

Міністерство освіти і науки України
Одеський національний політехнічний університет

УДК 004.942:[532.5+533.6]

ВАСИЛЕВСЬКА ОЛЕКСАНДРА ПЕТРІВНА

МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ПРОЕКТУВАННЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ
ГІДРОАЕРОДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ У СПЕЦІАЛІЗОВАНОМУ АРМ

05.13.12 – системи автоматизації проектувальних робіт

ДИСЕРТАЦІЯ
на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Науковий керівник
Арсирій Олена Олександрівна
доктор технічних наук,
професор

Одеса 2016

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	5
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 ПРОБЛЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ГІДРОАЕРОДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ В АРМ ПРОЕКТУВАЛЬНИКІВ	12
1.1 Аналіз вимог з енергозбереження до гідроаеродинамічних си- стем, що проектуються	12
1.2 Аналіз сучасних технологій автоматизованого проектування гідроаеродинамічних систем	17
1.2.1 Проблеми синтезу енергозберігаючих проектних рішень в машинобудівних АРМ проектувальників	17
1.2.2 Проблеми синтезу енергозберігаючих проектних рішень в інженерних АРМ проектувальників	21
1.2.3 Проблеми створення і використання баз типових проектних рішень в АРМ проектувальників	24
1.3 Методи аналізу параметрів та структури складних систем	26
1.4 Методи аналізу та моделювання стану гідроаеродинамічних процесів при створенні бази типових проектних рішень	30
1.4.1 Методи візуалізації стану гідроаеродинамічних процесів	30
1.4.2 Методи інтелектуального аналізу візуальних даних гідроае- родинамічних процесів	36
1.5 Висновки. Постановка задач дослідження	43
РОЗДІЛ 2 МОДЕЛІ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНОГО СИНТЕЗУ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ГАС	45
2.1 Задачі автоматизації структурно-параметричного синтезу	46
2.2 Розробка структурно-параметричної моделі гідроаеродинамі- чної системи	49
2.2.1 Розробка структурно-параметричної моделі мережевої час-	50

тини гідроаеродинамічної системи	
2.2.2 Розробка структурно-параметричної моделі генеруючої частини гідроаеродинамічної системи	55
2.3 Розробка логіко-чисельної моделі генерації технічних пропозицій	60
2.4 Визначення цільових параметрів структурно-параметричної моделі гідроаеродинамічної системи	67
2.5 Обговорення отриманих результатів. Висновки	67
РОЗДІЛ 3 МЕТОДИ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНОГО СИНТЕЗУ ЕНЕРГОСБЕРІГАЮЧИХ ГІДРОАЕРОДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЇХ ДОПОМІЖНИХ ЕЛЕМЕНТІВ	69
3.1 Задачі створення методів автоматизації структурно-параметричного синтезу	70
3.2 Метод структурно-параметричного синтезу енергозберігаючих гідроаеродинамічних систем	72
3.3 Розробка методу синтезу енергозберігаючого фізичного прототипу допоміжного елемента	76
3.3.1 Алгоритм створення проектного рішення за методом синтезу енергозберігаючого фізичного прототипу допоміжного елемента	76
3.3.2 Засоби отримання кількісної оцінки стану гідроаеродинамічного потоку	79
3.3.3 Засоби отримання якісної оцінки стану гідроаеродинамічного потоку	85
3.3.3.1 Створення бази даних гідродинамічних структурних примитивів	88
3.3.3.2 Створення бази даних гідродинамічних потоків	95
3.3.4 Синтез енергозберігаючого фізичного прототипу допоміжного елемента	97
3.4 Обговорення отриманих результатів. Висновки	104
РОЗДІЛ 4 ТЕХНОЛОГІЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ	

	4
ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ГІДРОАЕРОДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЇХ ДОПОМІЖНИХ ЕЛЕМЕНТІВ У СПЕЦІАЛІЗОВАНОМУ АРМ	106
4.1 Розробка технології автоматизованого проектування енергозберігаючих гідроаеродинамічних систем та їх елементів	107
4.1.1 Розробка процедур структурно-параметричного синтезу енергозберігаючих гідроаеродинамічних систем та їх допоміжних елементів	109
4.1.2 Розробка процедур структурно-параметричного синтезу фізичних прототипів допоміжних елементів	113
4.2 Використання спеціалізованого АРМ проектувальника для проектування енергозберігаючих гідроаеродинамічних систем	117
4.2.1 Проектування аеродинамічної системи енергоблоку	119
4.2.2 Проектування системи тепло- та тепловодопостачання на базі котельної установки.	127
4.2.3 Проектування термостатичного клапану	133
4.3 Обговорення отриманих результатів. Висновки	138
ВИСНОВКИ	141
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	144
Додаток А Акти впровадження	156
Додаток Б Програмні коди	160

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АРМ	– автоматизоване робоче місце.
ВВП	– валовий внутрішній продукт.
ГАС	– гідроаеродинамічна система.
ГП	– гідроаеродинамічний потік.
ГСП	– гідродинамічні структурні примітиви.
ЕВВП	– енергоємність валового внутрішнього продукту.
ІАД	– інтелектуальний аналіз даних.
ІТ	– інформаційна технологія.
ККД	– коефіцієнт корисної дії.
МНВ	– машина нейромережевого виведення.
МСЕПДЕ	– метод синтезу енергозберігаючих прототипів допоміжних елементів.
МСПС	– метод структурно-параметричного синтезу.
САПР	– система автоматизації проектувальних робіт.
СПМ	– структурно-параметрична модель.
ТАП	– технологія автоматизованого проектування енергозберігаючих гідроаеродинамічних систем та їх допоміжних елементів.
ЕГАС(Е)	– енергозберігаючі технології автоматизованого проектування енергозберігаючих гідроаеродинамічних систем та їх допоміжних елементів.
ЧМ	– чисельне моделювання.
<i>Econtrol</i>	– control element (контролюючий елемент типу засувка)
<i>Emajor</i>	– major element (основний елемент)
<i>Eminor</i>	– minor element (допоміжний елемент)
<i>Etechnolog</i>	– technolog element (енергетично пасивний технологічний елемент типу фільтрів, пальників, теплообмінників)
<i>Generation</i>	– генеруюча частина гідроаеродинамічної системи
<i>Network</i>	– мережева частина гідроаеродинамічної системи
<i>SimNNet</i>	– проекти машини нейромережевого виведення
<i>SOM</i>	– self-organizing map (карта, яка самоорганізується)
<i>Sys_{H-A}</i>	– гідроаеродинамічна система

ВСТУП

Актуальність теми. В сучасних умовах рівень енергетичної незалежності держави визначається за узагальнюючим показником енергоемності валового внутрішнього продукту (ЕВВП). Згідно зі світовою тенденцією енергозбереження розробляються нові підходи щодо його суттєвого зниження. Пошук таких підходів є особливо актуальним для України тому, що значення національного ЕВВП вдвічі перевищує середньосвітове та вчетверо його значення у США. Проведений аналіз довів, що значне зниження ЕВВП можливо за рахунок енергозбереження в гідраеродинамічних системах (ГАС), які є основою виробництва технологічно складної продукції металургійних, нафтопереробних, вугледобувних, харчових та інших подібних виробництв, а також споживання у системах вентиляції, тепло-, газо- і водопостачання. Тому вимоги щодо енергозбереження в ГАС повинні враховуватися вже при їх проектуванні.

Однак аналіз сучасних технологій автоматизованого проектування ГАС, які використовуються в машинобудівних АРМ проектувальників, показав, що моделі і методи структурного і параметричного синтезу складових ГАС – генеруючих енергетично активних основних елементів і мережевих енергетично пасивних допоміжних елементів не повною мірою враховують вплив стану реальних гідраеродинамічних потоків (ГП) при формуванні бази типових проектних рішень (шаблонів) елементів. А існуючі в інженерних АРМ проектувальників моделі і методи структурного синтезу мережевої частини ГАС використовують саме такі шаблони з невиправдано високими значеннями гідраеродинамічних опорів. Ситуацію ускладнює використання в існуючих інженерних АРМ моделей і методів параметричного синтезу ГАС, які враховують сумарні втрати тиску в допоміжних елементах ГАС в якості основного обмежувального параметра задля вибору основного елемента, спроможного згенерувати тиск для забезпечення заданих витрат робочого тіла в проектованій системі. При цьому значення обмежувального параметра

формується на основі завищених гідраеродинамічних опорів допоміжних елементів, а при остаточному прийнятті рішення з проектування ГАС враховується тільки значення коефіцієнта корисної дії обраного основного елемента. Дослідження показують, що зазначені проблеми призводять до втрат енергії до 40 % в ГАС, що проектується за допомогою існуючих машинобудівних і інженерних АРМ проектувальників.

Таким чином, виявлено *протиріччя між підвищенням вимог з енергозбереження ГАС, що проектується, з одного боку, і обмеженістю існуючих моделей і методів структурного і параметричного синтезу проектних рішень щодо ГАС та їх окремих елементів, з іншого*. Тому розв'язання цього протиріччя є актуальною науково-технічною задачею в галузі систем автоматизованого проектування.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. В основу дисертації покладено результати досліджень і розробок, одержаних під час виконання науково-дослідних робіт на кафедрах інформаційних систем в менеджменті та інформаційних систем Одеського національного політехнічного університету: № 700-145 «Моделі, методи та інструментальні засоби підтримки прийняття рішень з підвищення ефективності гідраеродинамічних процесів в діючому енергетичному обладнанні» (№ ДР 0115U000413); № 448-68 «Дослідження інформаційних сховищ як моделей предметних областей в системах підтримки прийняття рішень» (№ ДР 0104U002401); № 626-68 «Дослідження моделей предметних областей в системах управління якістю інтелектуальної продукції» (№ ДР 0106U013172) при безпосередній участі автора.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційного дослідження є зниження енергоємності гідраеродинамічного процесу в системах, що проектуються, за рахунок розробки моделей та методів структурно-параметричного синтезу для автоматизованого проектування енергозберігаючих гідраеродинамічних систем у спеціалізованому АРМ.

Для досягнення поставленої мети в роботі розв'язані такі задачі:

- проаналізовані проблеми енергозбереження в ГАС, які проектуються за допомогою машинобудівних та інженерних АРМ проектувальників, і визначені шляхи їх розв'язання;
- розроблені моделі структурно-параметричного синтезу енергозберігаючих гідроаеродинамічних систем для формалізації технічних пропозицій при автоматизованому проектуванні у спеціалізованому АРМ;
- розроблені методи структурно-параметричного синтезу енергозберігаючих гідроаеродинамічних систем та їх допоміжних елементів для формалізації процесу автоматизованого проектування у спеціалізованому АРМ;
- розроблено технологію автоматизованого проектування енергозберігаючих гідроаеродинамічних систем та їх допоміжних елементів у спеціалізованому АРМ, а також проведено її практичне випробовування із позитивним технічним ефектом.

Об'єкт досліджень – процес структурного та параметричного синтезу гідроаеродинамічних систем в машинобудівних та інженерних АРМ проектувальників.

Предмет досліджень – моделі та методи структурного і параметричного синтезу енергозберігаючих гідроаеродинамічних систем.

Методи дослідження. При вирішенні поставлених у дисертаційній роботі задач використані: системний підхід при аналізі проблем енергозбереження в гідроаеродинамічних системах, що проектуються з використанням АРМ; структурний підхід та теорія графів при побудові моделей і методів структурно-параметричного синтезу енергозберігаючих гідроаеродинамічних систем; методи розпізнавання образів, статистичного аналізу та нейронних мереж для автоматизації обробки візуальних даних гідроаеродинамічних потоків; методи прийняття рішень при побудові технології проектування енергозберігаючих гідроаеродинамічних систем; принципи об'єктно-орієнтованого програмування при розробці програмного забезпечення спеціалізованого АРМ проектувальника; методи експериментальних досліджень для апробації АРМ

проектувальника при вирішенні практичних задач із забезпечення енергозбереження гідроаеродинамічних систем, що проектуються.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у створенні нових та розвитку існуючих моделей та методів структурно-параметричного синтезу для автоматизованого проектування енергозберігаючих гідроаеродинамічних систем у спеціалізованому АРМ:

– отримали подальший розвиток структурно-параметричні моделі генеруючої та мережевої частин гідроаеродинамічної системи, який полягає в одночасному врахуванні правил компоновки і параметрів енергетично активного та енергетично пасивних елементів системи, що дозволило формалізувати розробку технічних пропозицій у спеціалізованому АРМ;

– вперше розроблено логіко-чисельну модель генерації технічних пропозицій у вигляді знакового зваженого орграфа, що дозволило врахувати взаємний вплив параметрів удосконалених структурно-параметричних моделей генеруючої і мережевої частин гідроаеродинамічної системи для обґрунтування доцільності використання запропонованого показника енергоємності гідроаеродинамічного процесу як характеристики енергозбереження;

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

– отримав подальший розвиток метод структурно-параметричного синтезу енергозберігаючих фізичних прототипів допоміжних елементів гідроаеродинамічної системи, який полягає у врахуванні оцінок стану гідродинамічних потоків у цих прототипах, що дозволило розробити проектні рішення по зниженню гідравлічних опорів в допоміжних елементах, які проектуються, і автоматизувати створення бази енергозберігаючих допоміжних елементів у спеціалізованому АРМ.

Практичне значення одержаних результатів. Практична цінність дисертаційної роботи полягає в створенні технології автоматизованого проектування енергозберігаючих гідроаеродинамічних систем та їх допоміжних елементів у спеціалізованому АРМ проектувальника на базі розроблених моделей і методів структурно-параметричного синтезу. Запропоновані рішення у складі спеціалізованого АРМ були використанні для проектування:

– фізичних прототипів термостатичного клапану фірми Herz Armaturen та розподільчого колектора аеродинамічної системи енергоблоку № 11 Молдавської ДРЕС, гідравлічний опір яких знижено відповідно в 1,5 та 2 рази; використання розроблених проектних рішень в системах теплопостачання та аеродинамічних системах, що проектуються дозволило знизити енергоємність гідроаеродинамічних процесів в них відповідно на 25-30 % та 14 %;

– системи тепло- та тепловодопостачання на базі котла Е-2,5, енергоємність гідродинамічного процесу якої на 15 % нижче від подібних існуючих; систему спроектовано для українського дитячого центру «Молода гвардія».

Основні положення, висновки і рекомендації, викладені в дисертаційній роботі, використовувалися при виконанні науково-дослідних робіт, а також в навчальному процесі Одеського національного політехнічного університету в дисциплінах «Проектування інформаційних систем», «Методи та системи підтримки прийняття рішень» і «Методи і системи штучного інтелекту».

Особистий внесок здобувача. Особистий внесок здобувача полягає в удосконаленні структурно-параметричних моделей генеруючої та мережевої частин гідроаеродинамічної системи [1, 7, 8, 10]; розробці логіко-чисельної моделі генерації технічних пропозицій та обґрунтуванні доцільності використання запропонованого показника енергоємності гідроаеродинамічного процесу як характеристики енергозбереження [1, 7, 8, 9, 10, 12]; розробці методу структурно-параметричного синтезу енергозберігаючих гідроаеродинамічних систем [1, 4, 10, 12]; розробці методу структурно-параметричного синтезу

енергозберігаючих фізичних прототипів допоміжних елементів гідроаеродинамічної системи [2, 3, 4, 5, 6, 11].

Апробація результатів дисертації. Матеріали роботи доповідались та обговорювались на: міжнародних науково-практичних конференціях «Сучасні інформаційні та електронні технології» (м. Одеса, 2007, 2012); XVI Всеукраїнській науково-методичній конференції «Проблеми економічної кібернетики 2011» (м. Одеса, 2011 р.); XI Всеукраїнській міжнародній конференції з оброблення сигналів і зображень та розпізнавання образів «УкрОбраз'2012» (м. Львів, 2012 р.), а також на розширених наукових семінарах кафедр інформаційних систем ОНПУ та кондиціонування повітря та механіки рідини ОДА-БА.

Публікації. За темою дисертації викладені у 12 наукових публікаціях, серед них 7 статей у наукових журналах із переліку МОН України, 4 з яких включені до міжнародних наукометричних баз, 5 у працях або тезах доповідей міжнародних та національних конференцій.

РОЗДІЛ 1
ПРОБЛЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ
ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ГІДРОАЕРОДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ В АРМ
ПРОЕКТУВАЛЬНИКІВ

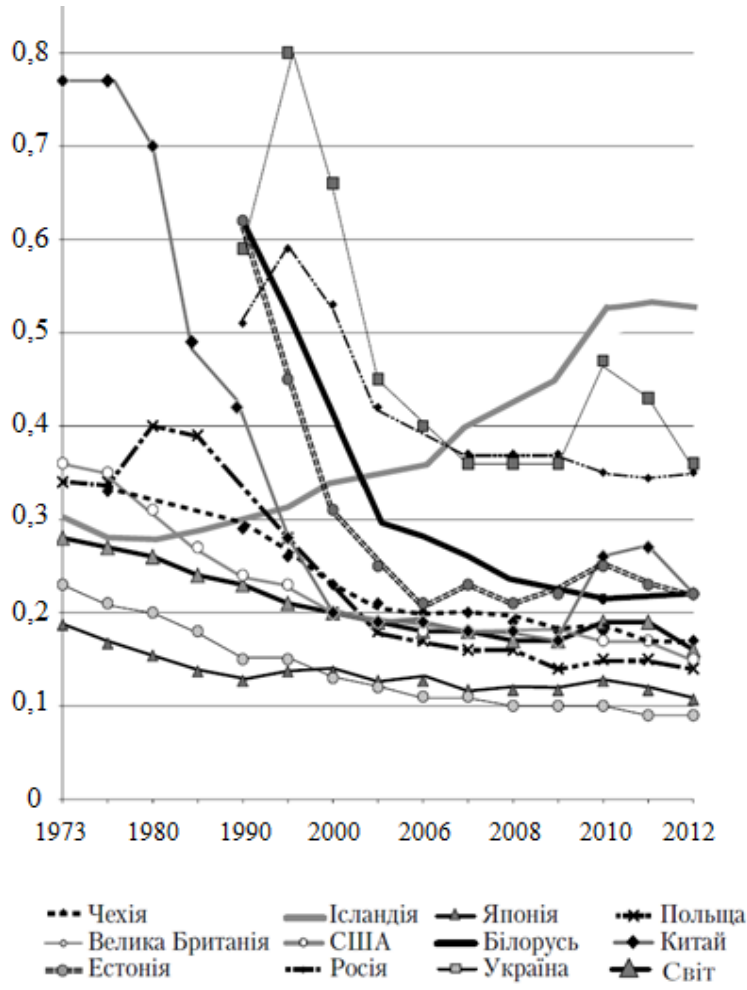
В першому розділі дисертаційної роботи з урахуванням сучасної енергетичної ситуації та рівня розвитку технологій автоматизованого проектування проаналізовані проблеми проектування енергозберігаючих гідроаеродинамічних систем та їх елементів у спеціалізованих АРМ і визначені шляхи їх вирішення [1-12].

1.1. Аналіз вимог з енергозбереження до гідроаеродинамічних систем, що проектуються

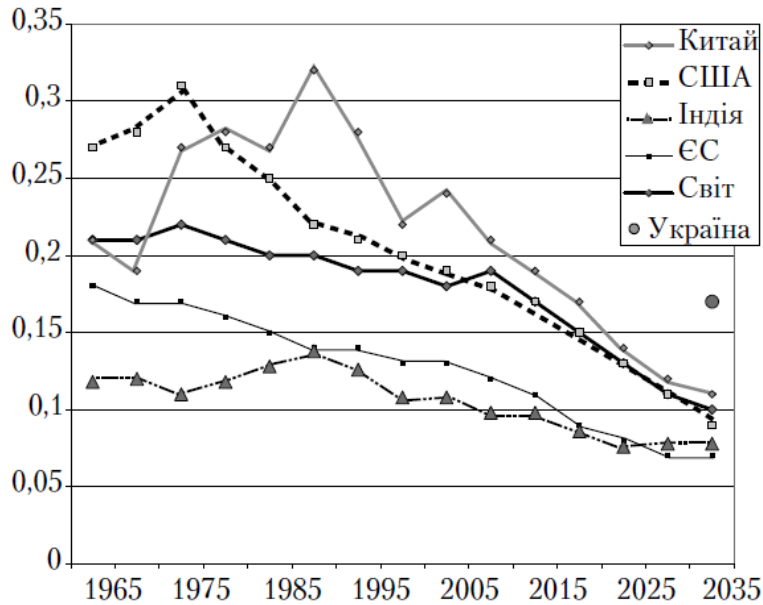
Аналіз сучасної енергетичної ситуації показав, що енергетична незалежність держави, рівень негативного впливу на навколишнє середовище енерговиробництва та енергоспоживання, конкурентоспроможність національного виробництва визначається за допомогою узагальнюючого показника енергоємності валового внутрішнього продукту (ВВП). Енергоємність ВВП K_{gdp} визначається як відношення загальних обсягів N_{gdp} споживання паливно-енергетичних ресурсів виробничою і невиробничою сферами до обсягів Q_{gdp} ВВП країни за певний період (для більш адекватного порівняння рівень ВВП країни враховується з паритетом купівельної спроможності – ПКС):

$$K_{gdp} = N_{gdp}/Q_{gdp} \cdot \quad (1.1)$$

Для розрахунку з метою мінімізації впливу грошової емісії, валютних коливань національних валют, при зіставленні енергоємності ВВП для різних країн здебільшого використовують ВВП країни за ПКС у доларах США (у.о.). Для оцінки обсягу споживання енергії використовують умовне паливо у нафтовому еквіваленті (н. е.) (рис. 1.1, а).



а



б

Рисунок 1.1 – Динаміка зміни (а) та прогноз (б) енергоємності ВВП (т н.е./1000 у.о.) у деяких країнах і регіонах світу

При цьому 1 т н.е. (toe) еквівалентна кількості енергії, що виділяється при спалюванні однієї тонни сирої нафти, близько 41,868 ГДж або 11,63 МВт-год. енергії [13]. Можна навести загальноприйняте визначення енергоефективності, яке подано Національною лабораторією Лоуренса Берклі [13, с. 18]: енергоефективність – це зменшення споживання енергії для забезпечення одних і тих самих послуг.

Аналізуючи динаміку змін енергоємності ВВП за період 1970 – 2012 рр. можна визначити позитивний тренд щодо суттєвого його зменшення. Водночас, як показано в роботі [14, с. 2], незважаючи на значні позитивні зрушення в засобах та ефективності використання енергетичних ресурсів людством, чинні моделі енергоспоживання ведуть нас до нестійкого майбутнього.

В той же час Україна має величезний потенціал щодо енергоефективності [15]. Проте країна є однією з найбільш енергоємних у світі: рівень енергоємності ВВП відповідає рівню розвинених країн світу (США, Канада, Чехія, Польща) середини 1970-х років (рис. 1.1, а). Відповідно, потенціал енергоефективності встановлюється приблизно на рівні 20 – 30 % від постачань енергоресурсів. Таким чином, виходячи з дійсного становища щодо рівня енергоємності ВВП України (0,36 т н.е./1000 дол. (2005), наявного досвіду досягнення прийнятно високого рівня ефективності в багатьох високорозвинених країнах світу та перспективних цільових завдань глобального й регіонального масштабу, *головним цільовим показником Енергетичної Стратегії на період до 2035 року слід визначити досягнення загальносвітового рівня енергоємності ВВП на рівні 0,1 т н.е./1000 у.о.* (рис. 1.1, б).

Показник енергоємності ВВП є опосередкованим свідченням зміни енергоефективності, оскільки залежить не тільки від безпосередньо ефективності використання енергії, а й від структури енергоспоживання, кліматичних умов країни тощо.

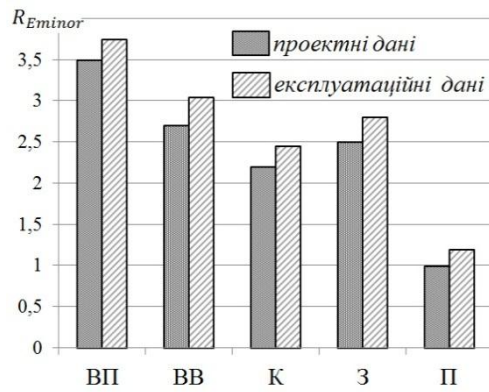
Аналіз досліджень [16-18] показав, що в першу чергу сучасні високі значення енергоємності ВВП залежать від енергоємності виробництва тех-

нологічно складної продукції теплових та атомних електричних станцій, металургійних, нафтопереробних, вугледобувних, харчових та інших подібних виробництв, а також від енергоємності енергоспоживання в системах вентиляції, тепло-, газо- і водопостачання. При цьому основні витрати енергії припадають на системи підйому, стиснення/розширення і транспортування робочого тіла (рідини, повітря, газу, пару) – *гідроаеродинамічні системи* (ГАС).

Для аналізу енерговитрат в існуючих ГАС з урахуванням технічної і нормативної документації [19-21] та літературних джерел [22-25] в ГАС виділяють енергетично активні основні *Emajor* елементи (насоси, вентилятори, димососи), енергетично пасивні технологічні *Etechnolog* (фільтри, пальники, теплообмінники) та допоміжні *Eminor* (повороти, трійники, колектори, засувки) елементи.

На рис. 1.2, а наведено графіки типових середньозважених витрат потужності (МВт-год.) на власні потреби по деяким ГАС пилувугільного енергоблоку 200 МВт теплової електростанції, основними елементами яких є живильні насоси (ЖН), дугтьові вентилятори (ВД) та димососи (Д), які оснащені традиційними асинхронними електроприводами з постійною частотою обертання. Данні по затратах наведено з врахуванням проектною документації та експлуатаційних звітів з управління технологічним процесом. Значні витрати потужності на власні потреби та їх збільшення в першу чергу викликані великими втратами енергії в допоміжних елементах, які традиційно мають високі гідроаеродинамічні опори (рис. 1.2, б). Крім того, урахування зовнішніх та сучасних екологічних вимог, які пов'язані із встановленням додаткових фільтрів і поліпшених систем очищення, при проектуванні нових ГАС і модернізації існуючих, призводить тільки до збільшення гідроаеродинамічних опорів (рис. 1.2, б).

Так, в табл. 1.1 показана порівняльна оцінка деяких характеристик типових рішень з проектування ГАС, що забезпечують подачу пара вітчизняного енергоблоку потужністю 200 МВт і енергоблоку фірми АВВ потужністю 350 МВт.



Групи допоміжних елементів

ВМ – вимірювальний пристрій;

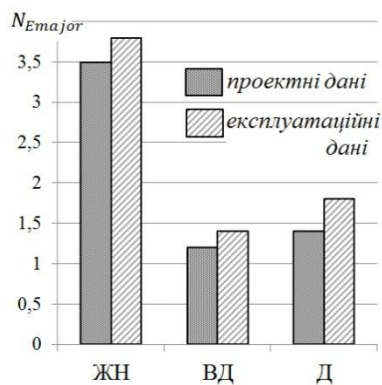
ВВ – вхідні/вихідні;

К – колектор;

З – засувки;

П – повороти.

а



Групи основних елементів

ЖН – живильний насос;

ВД – дуттьовий вентилятор;

Д – димосос.

б

Рисунок 1.2 – Втрати потужності на власні потреби основних і значення гідроаеродинамічних опорів допоміжних елементів ГАС

Таблиця 1.1 – Типове проектне рішення ГАС енергоблоків теплових електричних станцій

Характеристики	Блок 200 МВт Україна	Блок 350 МВт Швейцарія
Тиск на вході	15,5 МПа	17,5 МПа
Вихідний тиск	13 МПа	16,5 МПа
Втрати тиску	2,5 МПа (16 %)	1 МПа (5,7 %)
Кількість допоміжних елементів типу поворот	29	14
Втрати потужності на власні потреби	10-15 %	5-7 %

Згідно порівняльним даними високі значення втрат тиску в головних паропроводах енергоблоків можуть бути пов'язані, крім усього іншого з великою кількістю поворотів потоку ($R = 1,5$, рис. 1.2, б), що призводить до підвищення втрат потужності на власні потреби при роботі живильних насосів котла енергоблоку. Тому вимоги щодо енергозбереження в ГАС повинні враховуватися вже при їх проектуванні.

Таким чином, перераховані енергетичні особливості ГАС та їх основних і допоміжних елементів визначають підвищення вимог з енергозбереження в ГАС, що проектуються.

1.2 Аналіз сучасних технологій автоматизованого проектування гідродинамічних систем

Проведено аналіз сучасних технологій автоматизованого проектування ГАС і встановлено, що структура спеціалізованого автоматизованого робочого місця (АРМ) інженера проектувальника ГАС визначається їх функціональним призначенням. Так, для проектування ГАС із короткими трубопроводами, які є технологічною підсистемою теплових або атомних станцій, металургійних, нафтопереробних, цементних, харчових та інших виробництв використовуються *машинобудівні АРМ проектувальників* типу SolidWorks, Solid Edge, Autodesk Inventor, КОМПАС, САТІА, Ansys, АРМ WinMashine і ін. А для проектування ГАС із довгими трубопроводами, таких як системи вентиляції, тепло і водопостачання, газо- і нафтопроводи використовуються *інженерні АРМ проектувальників* типу фірмових систем HERZ, DANFOS, VentSoft, Lessar, Pump Automation Technology, LG, IMI Hydronic Engineering і ін.

1.2.1 Проблеми синтезу енергозберігаючих проектних рішень в машинобудівних АРМ проектувальників

У системах автоматизації проектування (САПР) системах МСAD (Mechanical CAD) [26, 27] або АРМ проектувальників, які застосовуються в галузях загального машинобудування, у залежності від досліджуваних властивостей технічного об'єкта прийнято виділяти підсистеми *функціонального, конструкторського і технологічного проектування* (рис. 1.3). Підсистему функціонального проектування називають часто підсистемою розрахунків і інженерного аналізу, або САЕ (Computer Aided Engineering). З її допомогою відображають фізичні та інформаційні про-процеси, що протікають в ГАС

при її функціонуванні. За допомогою підсистеми конструкторського проектування – CAD (Computer Aided Design) відображають структуру ГАС, розташування в просторі і форми основних елементів ГАС. Проектування технологічних процесів становить частину технологічної підготовки виробництва і виконується в підсистемах CAM (Computer Aided Manufacturing), за допомогою яких відображають можливості та способи реалізації ГАС або виготовлення її основних елементів. Функції координації роботи систем CAE / CAD / CAM, управління проектними даними та проектування покладені на підсистему *управління проектними даними* PDM (Product Data Management).

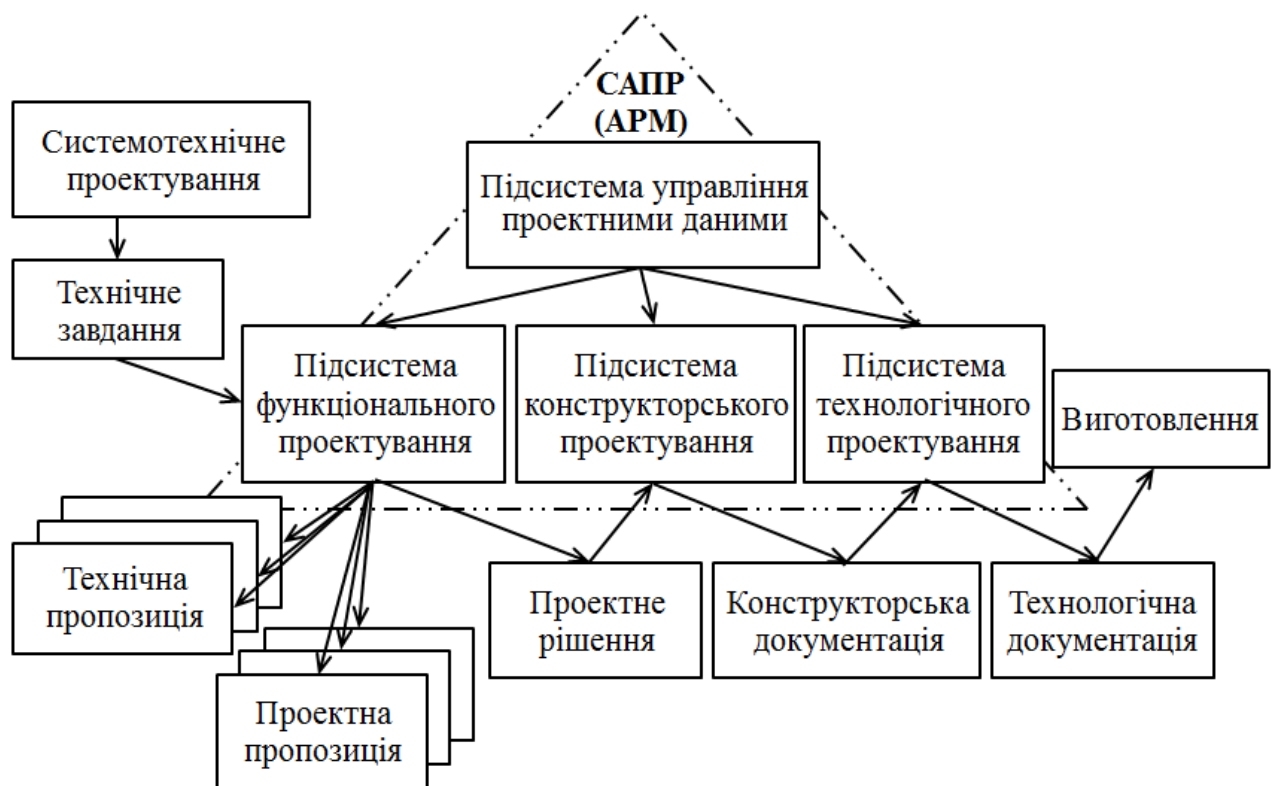


Рисунок 1.3 – Схема взаємозв'язку підсистем (етапів) в машинобудівному САПР (АРМ)

За змістом задач, що вирішуються, проектні процедури (частина проектування, яка вирішує певну задачу, що закінчується отриманням деякого опису (часткового проектного рішення) об'єкта, що проектується) в САПР/АРМ об'єднують в етапи (рис. 1.3). При цьому оцінюють ступінь автоматизації етапу (коефіцієнт автоматизації $k_{ав}$) як відношення кількості проектних процедур, що виконуються на комп'ютері без участі людини, до

загального обсягу проектних процедур. При проектуванні ГАС в машинобудівному АРМ, виділяють етапи.

1. *Системотехнічне* проектування, при якому вибираються і формулюються цілі проектування, обґрунтовуються вхідні дані і визначаються принципи побудови системи. Результатом етапу є технічне завдання на проектування. Коефіцієнт автоматизації етапу $k_{ав} \approx 0$.

2. *Функціональне* проектування, яке називають також *технічним проектуванням*, має на меті поелементну реалізацію складових частин системи (комплексів, пристроїв, вузлів) з вирішенням завдань гідродинаміки елементів і вузлів, моделювання турбулентності ін. При цьому вибирають елементну базу, принципові схеми та оптимізують параметри (здійснюють структурний і параметричний синтез схем) з точки зору забезпечення найкращого функціонування та ефективного виробництва. Результатом етапу є технічна пропозиція та рішення. При сучасному рівні розвитку ІТ коефіцієнт автоматизації етапу $k_{ав} \approx 0,5$.

3. *Конструкторське* проектування, вирішує завдання компоновання схем і розміщення елементів і вузлів, при цьому прагнуть оптимізувати рішення, що приймаються по конструктивно-технологічним, економічним та експлуатаційним показниками. На цьому етапі проектування розробляють проектну документацію, необхідну для виготовлення та експлуатації ГАС та її елементів. Найавтоматизований етап з коефіцієнтом автоматизації $k_{ав} \approx 0,85$.

4. *Технологічне* проектування *технологічна підготовка виробництва* забезпечує розробку технологічних процесів виготовлення окремих блоків і всієї системи в цілому. На цьому етапі проектування створюється *технологічна документація* на основі попередніх результатів. Коефіцієнт автоматизації етапу також є високим $k_{ав} \approx 0,75$.

З урахуванням схеми, наведеної на рис. 1.3 визначальний вплив на формування енергозберігаючого рішення з проектування ГАС надають процедури функціонального або технічного проектування, які входять в підсистему

розрахунків або інженерного аналізу САЕ. При розробці процедур технічного проектування використовується чисельне моделювання гідроаеродинамічних процесів в аналітичних моделях і теоретичні методи їх аналізу.

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 САЕ входять програмні комплекси обчислювальної гідродинаміки і тепломасообміну, міцності, електродинаміки, такі як: CFX, FLUENT, FlowVision, SolidWorks, FOAM, OpenFOAM ін. Технологічний ланцюжок формування технічного рішення при проектування основних вузлів і елементів ГАС узагальнено можна представити у вигляді чотирьох процедур, які повторюються циклічно (рис 1.4) [14].

1. *Підготовча* – проектування геометрії шаблону елемента або вузла за допомогою одного з редакторів інтегрованого програмного комплексу АРМ, який в подальшому використовується для ЧМ.

2. *Експертна* – ініціалізація на основі можливостей інтерфейсу програмного комплексу початкових умов для ЧМ (тип математичної моделі течії, граничні умови і типи границь, розміри глобальних і локальних розрахункових сіток для розв'язання рівнянь математичної моделі, параметри методу ЧМ ін.).

3. *Обчислювальна* – моделювання турбулентності (застосовуються методи інтегрування усереднених за часом рівнянь Нав'є-Стокса (RANS), інтегрування частково усереднених за обсягом рівнянь Нав'є-Стокса (LES), безпосереднього інтегрування рівнянь Нав'є-Стокса (DNS)) і візуалізація отриманих результатів.

4. *Аналітична* – перегляд, аналіз та інтерпретація результатів попередньої процедури, прийняття рішень, побудова проміжних геометрій шаблонів елементів або вузлів, уточнення початкових умов і, якщо необхідно, повернення на виконання процедури 2.

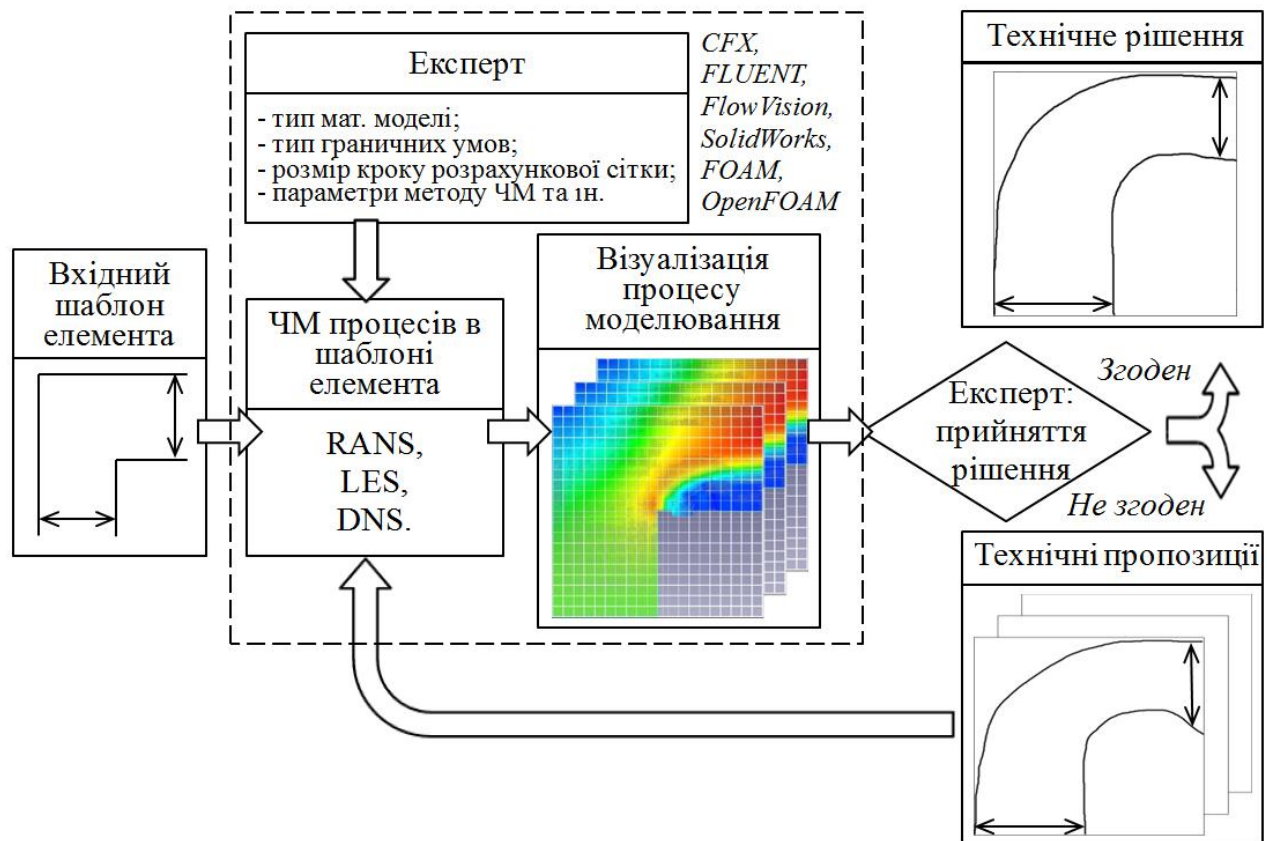


Рисунок 1.4 – Технологія формування технічного рішення при проектуванні основних вузлів і елементів ГАС в машинобудівному АРМ

До переваг такої технології проектування відносяться значне розширення можливостей і прискорення процесу проектування, а також скорочення витрат на моделювання ГП. До недоліків відносяться значна тривалість комп'ютерного експерименту для моделювання складних процесів ГП в складних елементах і вузлах ГАС, складність завдання початкових умов ЧМ, вибору множини параметрів для розрахунків, оцінки точності отриманого рішення і, нарешті, самих моделей турбулентності ГП.

1.2.2 Проблеми синтезу енергозберігаючих проектних рішень в інженерних АРМ проектувальників

АРМ проектувальників інженерних систем і мереж являє собою програмно-технічний комплекс, призначений для виконання таких функцій:

- оперативного введення, виведення, відображення, редагування і перетворення текстової та графічної інформації;
- налаштування, редагування, контролю та виконання програм користувачів в діалоговому режимі;
- формування архіву проектних рішень і бібліотеки стандартних елементів і процедур (меню);
- доповнення проектних структур.

Оснoву АРМ проектувальників інженерних систем і мереж становить універсальна САПР AutoCAD (продукт компанії Autodesk), що поєднує в собі функції двовимірного креслення і тривимірного моделювання. Формат, що використовується в AutoCAD, DWG є стандартом серед проектувальників різних галузей промисловості, а також є можливість експорту та імпорту інших поширених файлових форматів, таких як pdf, що дозволяє ефективно організувати обмін даними між фахівцями. Залежно від типу інженерної мережі, що проектується AutoCAD доповнюється профільними програмами, реалізованими за допомогою VisualLisp – мови програмування, вбудованої і адаптованої в AutoCAD. У даний час це невід’ємний компонент самого AutoCAD. Профільні програми автоматично розпаковуюються, встановлюються в систему та впроваджуються в AutoCAD. Після установки в AutoCAD з’являється нова панель інструментів. Панель інструментів дозволяє вибрати профільні таблиці відповідно до державних стандартів. Мережі можуть бути будь-якого призначення. Кількість і довжина профілів не обмежені. Створені за допомогою програми креслення відповідають за оформлення вимогам ГОСТ 21.604-82 (водопровід і каналізація), ГОСТ 21.610-85 (газопровід), ГОСТ 21.605-82 (теплотраса), ГОСТ 21.101-97 (будівництво), кресляться в масштабі, по шарах. На рисунку 1.5 показані екранні форми спеціалізованого програмного забезпечення «Профіль» для формування проектного рішення в інженерному АРМ.

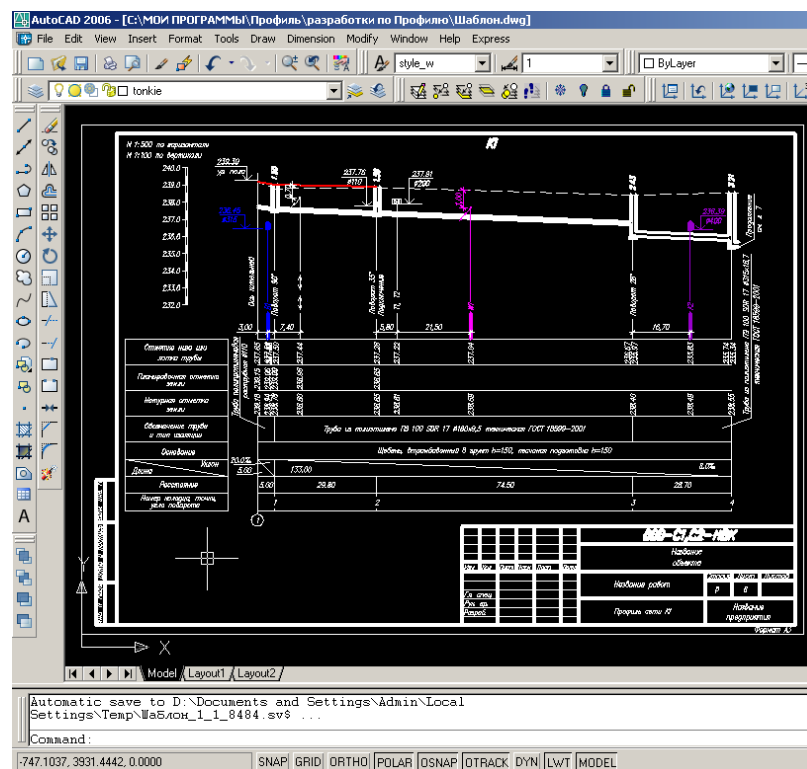
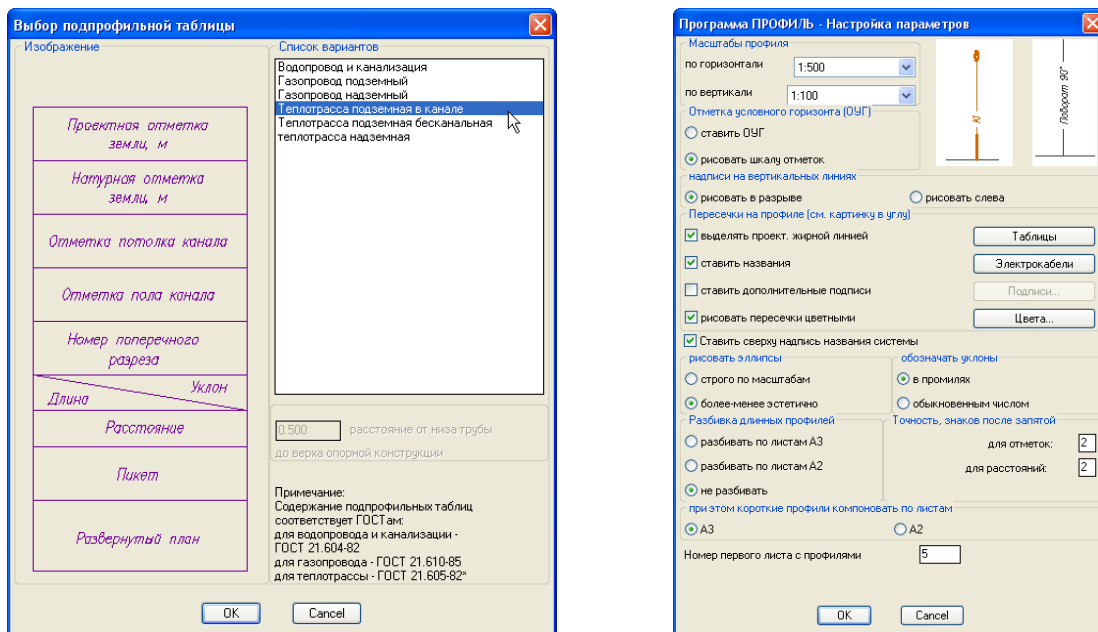


Рисунок 1.5 – Экранні форми спеціалізованого програмного забезпечення «Профіль» для формування проектного рішення в інженерному АРМ

Для інформаційної підтримки прийняття проектних рішень, прийняття рішень в інженерних АРМ використовуються інструкції з проектування, які включають:

– довідники технологічних *Etechnolog* і допоміжних *Eminor* елементів ГАС, зміст та опис конструкцій з відповідними значеннями гідроаеродинамічних опорів [28-33];

- каталоги основних *Major* елементів ГАС, зміст та опис конструкцій з відповідними характеристиками напору, потужності і ККД [28, 29];
- правила розміщення-компонування основних і допоміжних елементів для створення системи [22, 23];
- правила визначення робочих параметрів елементів системи, критерії оцінки ефективності на основі експериментальних або аналітичних показників у реальних або питомих одиницях.

При цьому основні проектні процедури підсистеми технічного проектування зводяться до структурного синтезу технічних пропозицій на основі вибору та компонентування енергетично пасивних елементів технологічних *Etechnolog* і допоміжних *Eminor* елементів ГАС, проведенню їх параметричного моделювання у вигляді різних інженерних розрахунків і прийняття попередніх проектних рішень на основі аналізу результатів моделювання.

Таким чином, аналіз структурних і параметричних моделей, а також методів структурного і параметричного синтезу проектних рішень, використуваних при розробці технології автоматизації технічного проектування в інженерних АРМ показав, що при проектуванні ГАС використовуються тільки готові проектні рішення по їх елементам, що не дозволяє досягти задовільних показників з енергоефективності та енергозбереження на системному рівні в ГАС, що проектуються.

1.2.3 Проблеми створення і використання баз типових проектних рішень в АРМ проектувальників

Для аналізу проблеми енергозбереження в проєктованих ГАС запропоновано розглядати технологію проектування ГАС та їх елементів в машинобудівних і інженерних АРМ проектувальників з використанням баз даних типових проектних рішень. Встановлено, що в АРМ проектувальників машин і механізмів (рис. 1.6, кроки 1.1 – 1.5) з використанням моделей і методів структурного і параметричного синтезу окремих енергетично активних осно-

вних *Major* елементів і енергетично пасивних технологічних *Etechnolog* та допоміжних *Minor* елементів ГАС формуються відповідні бази даних типових проектних рішень. Показано, що існуючі моделі і методи структурного і параметричного синтезу не повною мірою враховують вплив стану реальних гідроаеродинамічних потоків в енергетично пасивних елементах *Major* та *Etechnolog* на проектне рішення, що приймається. Це, в свою чергу, призводить до появи в базі даних типових проектних рішень шаблонів елементів *Minor* і *Etechnolog* з невиправдано високими значеннями гідроаеродинамічних опорів.

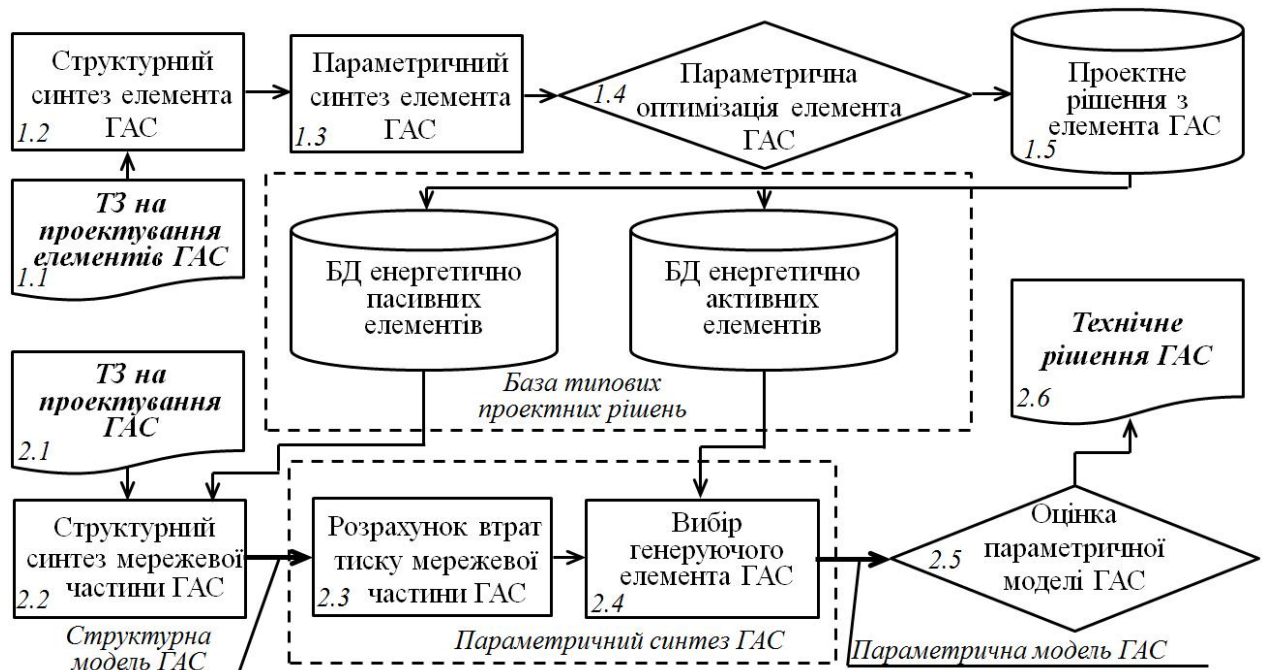


Рисунок 1.6 – Структурна схема технології проектування ГАС в машинобудівних АРМ проектувальників

З іншого боку, встановлено, що в інженерних АРМ (рис. 1.6, кроки 2.1-2.6) існуючі моделі та методи структурного синтезу використовують для проектування мережевої частини ГАС шаблони елементів *Minor* і *Etechnolog* зі сформованої бази даних типових (фірмових) і, як показано, не завжди енергозберігаючих проектних рішень.

Крім того, виявлено, що моделі і методи параметричного синтезу ГАС, із використанням яких вибирають елемент *Major*, що генерує тиск для заданих витрат робочого тіла в ГАС, що проектується враховують сумарні

втрати тиску в елементах *Etechnolog* і *Eminor*, які в першу чергу залежать від значень гідроаеродинамічних опорів цих елементів. У висновках показано, що рішення з проектування ГАС формується на основі її параметричної моделі, відповідно до якої, оптимальність вибору *Emajor* оцінюється на основі розрахунку значення його ККД за необхідних витрат потужності на створення тиску для забезпечення заданих витрат робочого тіла у системі. При цьому ККД є суто параметром *Emajor* та характеризує ефективність ГАС лише опосередковано.

Таким чином, на основі аналізу сучасних вимог з енергозбереження в ГАС, що проектуються в підрозділі 1.1 та сучасних технологій автоматизованого проектування гідроаеродинамічних систем у підрозділі 1.2, виявлено *протиріччя між підвищенням вимог з енергозбереження ГАС, що проектуються, з одного боку, і обмеженістю існуючих моделей і методів структурного і параметричного синтезу проектних рішень щодо ГАС та їх окремих елементів, з іншого*. Тому розв'язання цього протиріччя є актуальною науково-технічною задачею в галузі систем автоматизованого проектування, яка може бути вирішена шляхом розробки моделей та методів структурно-параметричного синтезу для автоматизованого проектування енергозберігаючих ГАС у спеціалізованому АРМ.

1.3 Методи аналізу параметрів та структури складних систем

Для аналізу стану ГП при проектуванні енергозберігаючих ГАС на системному рівні використовують моделі представлення параметрів ГАС у вигляді графів та відповідних матриць суміжності і інциденцій.

Моделі у вигляді графів набули широкого поширення в науці і техніці, зокрема в машинобудуванні, завдяки додатковим можливостям, які з'являються при геометричному підході до трактування і вирішення різних задач у сфері проектування виробництва та управління [33, 34, 35]. Це обумовлено тим, що на відміну від евклідових, прямокутних, криволінійних і інших прос-

торів у графових моделях використовуються концепції топологічних геометрій і просторів.

У просторово-часовій області граф – сукупність точок і ліній, що з'єднують ці точки. Ці сполуки можуть мати велику кількість характеристик. Наявно граф зображується у вигляді множини точок площини, які називаються вершинами (рис. 1.7), і множини спрямованих відрізків, що з'єднують всі або деякі з вершин, які називаються дугами. Математично граф G визначають як пару зазначених множин X та U .

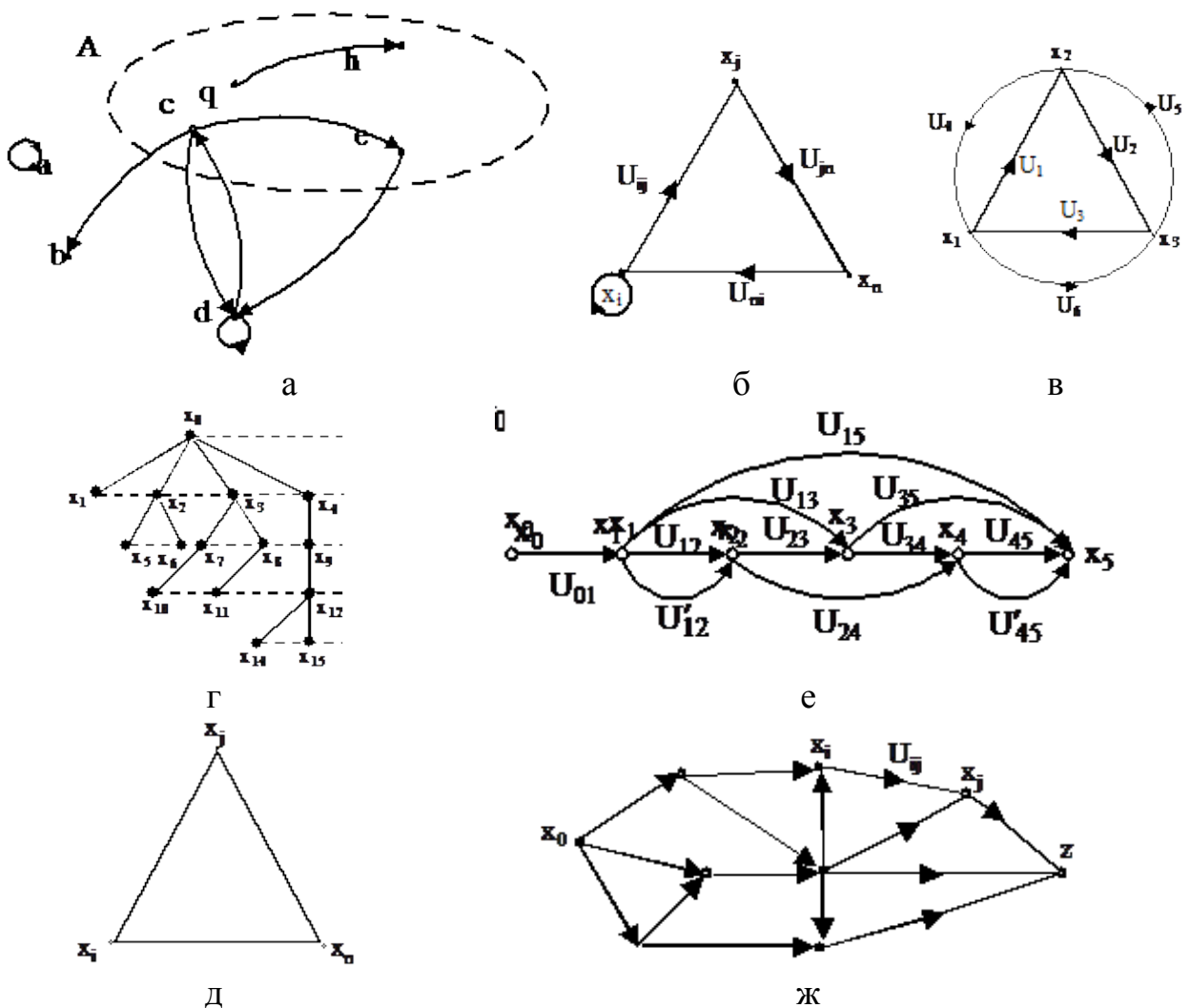


Рисунок 1.7 – Загальний вигляд (а) та приклади графів (б – з петлею; в – симетричний; г – у вигляді дерева; д – неорієнтований; е – орієнтований; ж – у вигляді мережі)

Вершини графа a, b, c, d, e, g, h , а його дугами є відрізки $(a, a), (c, b), (c, d), (d, c), (d, d), (e, d), (g, h)$. Якщо вважати, що множина спрямованих дуг U , що з'єднують елементи множини X , відображає цю мно-

жину саму у себе, то граф можна вважати заданим. Якщо дана множина його вершин і спосіб відображення Γ множини X до X , тобто граф G є пара (X, Γ) , що складається з множини X і відображення Γ , заданого на цій множині: $G = (X, \Gamma)$.

Для графа на рис. 1.7 відображення Γ визначене в такий спосіб:

$$\Gamma a = a; \Gamma b = \emptyset; \Gamma c = \{b, d, e\}; \Gamma d = \{d, c\}; \Gamma e = d; \Gamma h = \emptyset. \quad (1.2)$$

Граф називається повним, якщо для будь-якої його пари вершин x_i і x_j $x_i \neq x_j$ існує дуга (x_i, x_j) .

Нехай X_1 є підмножина вершин графа $G = (X, \Gamma)$. Тоді граф $G_1 = (X_1, \Gamma_1)$, множина вершин якого збігається з $X_1 \subseteq X$, а множина дуг $\Gamma_1 \subseteq \Gamma$ включає всі дуги множини Γ з кінцевими вершинами тільки з множини X_1 , називається підграфом графа G , породженим множиною X_1 .

Граф називається планарним, якщо він може бути зображений на площині так, щоб його ребра перетиналися лише в вершинах.

Підграфом G_A графа $G = (X, \Gamma)$ називається граф, в який входить лише частина вершин графа G , що утворюють множину A , разом з дугами, що з'єднують ці вершини.

$$G_A = (A, \Gamma_A) \subseteq G; \Gamma_A^x = (\Gamma_x) \cap A. \quad (1.3)$$

Зв'язані підграфи, на які може бути розбитий незв'язний граф, називаються його частинами.

Суміжність характеризує відношення між елементами однойменних множин X і Γ . Різні вершини називаються суміжними, якщо вони з'єднані дугою (ребром). Різні дуги (ребра) називаються суміжними, якщо вони мають загальну кінцеву вершину.

Інцидентність характеризує відношення між елементами різнойменних множин X і Γ . Дуга і вершина інцидентні, якщо вершина є для дуги кінцевою вершиною.

Ступенем вершини x_i ($\deg x_i$ або $d x_i$) для неорієнтованого графа називають число ребер, інцидентних вершині x_i .

Якщо $d x_1 = 1$ – вершина тупикова, а якщо $d x_1 = 0$ – вершина ізольована.

Графи зручно представляти у вигляді деяких матриць. Часто зустрічаються описи графів у вигляді матриць суміжності і інциденцій. Позначимо через x_1, \dots, x_n вершини графа, а через u_1, \dots, u_m його дуги.

Введемо числа:

$$r_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } \epsilon \text{ дуга, яка з'єднує вершину } i \text{ з вершиною } j; \\ 0, \text{ якщо такої дуги немає.} \end{cases} \quad (1.4)$$

Квадратна матриця $R = \|r_{ij}\|$ порядку $n \times n$, рядки і стовпці якої відповідають вершинам, називається матрицею суміжності вершин графа. У разі неорієнтованого графа елемент матриці дорівнює числу ребер, що з'єднують вершини x_i і x_j .

Матриця суміжності ребер – матриця, рядки і стовпці якої відповідають ребрам графа, а елемент r_{ij} дорівнює числу вершин, інцидентних двом ребрам U_i та U_j .

Введемо, далі, числа

$$s_{ij} = \begin{cases} +1, \text{ якщо } u_j \text{ виходить з } x_i; \\ -1, \text{ якщо } u_j \text{ входить до } x_i; \\ 0, \text{ якщо } u_j \text{ не інцидентна } x_i. \end{cases} \quad (1.5)$$

Матриця $S = \|s_{ij}\|$ порядку $n \times m$, рядки якої відповідають вершинам, а стовпці – ребрам, називається матрицею інциденцій для дуг графа.

Для неорієнтованого графа елемент матриці інциденцій S_{ij} дорівнює 1, якщо вершина інцидентна ребру. В іншому випадку $S_{ij} = 0$.

Матриці інциденцій в описаному вигляді застосовні тільки до графів без петель. При наявності в графі петель цю матрицю слід розчленити на дві напівматриці: позитивну і негативну.

Два графа називаються ізоморфними тоді і тільки тоді, коли є взаємно-однозначна відповідність між їх вершинами і ребрами при збереженні відносин інцидентності.

Описані графові моделі було використано при розробці моделей структурно-параметричного синтезу енергозберігаючих ГАС для формалізації технічних пропозицій при автоматизованому проектуванні у спеціалізованому АРМ.

1.4 Методи аналізу та моделювання стану гідроаеродинамічних процесів при створенні бази типових проектних рішень

При створенні бази енергозберігаючих проектних рішень за елементами ГАС для врахування стану ГП виконують моделювання. В даній дисертаційній роботі *моделювання* – процес встановлення відповідності між фізичним об'єктом і його прототипом (фізичною або математичною моделлю). При цьому вирішуються задачі не тільки отримання та вимірювання кількісних характеристик процесів, що досліджуються, а й отримання їх видимих якісних картин за допомогою засобів наукової візуалізації. Визначення наведено тому, що іноді термін «*моделювання*» використовують у вузькому сенсі стосовно створення моделі, а оперування моделлю називають аналізом або верифікацією.

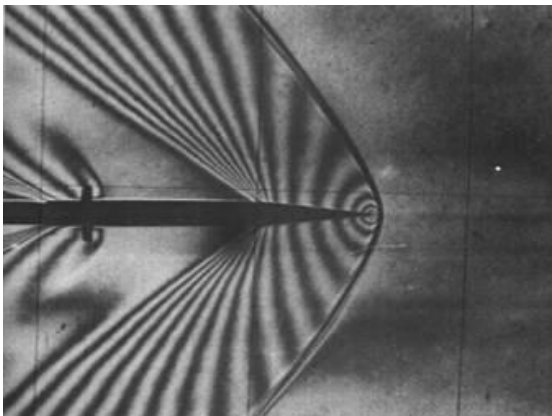
1.4.1 Методи візуалізації стану гідроаеродинамічних процесів

Наукова візуалізація (scientific visualization) – візуальне подання чисельних даних, які є результатами наукових досліджень або прикладних, інженерних і технологічних розрахунків, на сьогоднішній день є найважливішою галуззю знання та технологічного розвитку [33-35, 37]. Спочатку роль методів і алгоритмів візуального подання чисельних даних розглядалася в наукових і інженерних дисциплінах як допоміжна. При цьому виділялися дві функції візуалізації:

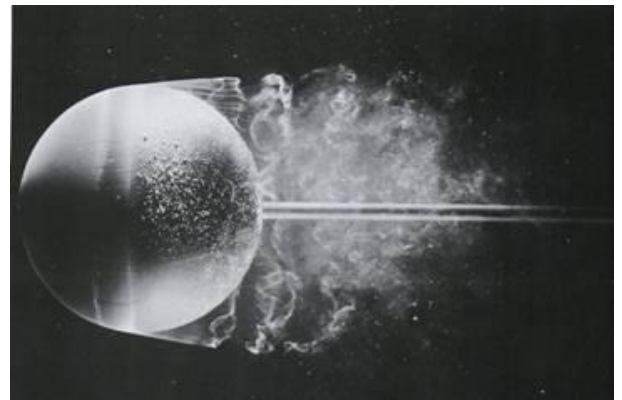
- забезпечення контролю та об'єктивного трактування чисельних результатів;
- ілюстративна функція.

Із 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 [34-57]. При реалізації основної наукової ролі засобів візуалізації можна виділити фізичне 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. Приклади показані на рис. 1.8 [36, 51].



а



б

Рисунок 1.8 – Іскрова фотографія моделі – результати фізичного моделювання в випробувальних камерах аеробалістичних установок (а – із застосуванням тіньового приладу (приладу Теплера), б – із застосуванням інтерферометра)

Візуальні картини (зображення) отримують за допомогою методів фізичних (як правило оптичних) методів візуалізації на спеціально створених експериментальних установках. Так, наприклад, у тіньовому приладі інтенсивність почорніння на фотографії пропорційна другій похідній щільності. Це дозволяє виділити скачки ущільнення, хвилі розрідження, межі областей

відривної течії. Прилад Теплера реагує на першу похідну щільності, а інтерферометр реагує на саму величину щільності і дозволяє виділити лінії рівної щільності.

Необхідно відзначити, що задовго до появи комп'ютерів і чисельних 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. Таким чином, 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 чисельних досліджень. Продовжують розвиватися різноманітні експериментальні методи візуалізації прозорих середовищ [35, 36, 51], такі як: оптичні (інтерференційні і тіньові, метод точки, яка світиться), абсорбційні методи, методи корпускулярного зондування (засновані на принципі ослаблення або розсіювання корпускулярних пучків – важких частинок, електронів, або на використанні супутнього випромінювання), розрядні методи (іскровий, коронний, тліючого розряду), методи післясвітіння азоту, окису азоту, повітря, гелію, аргону, метод вивчення структури фронту ударної хвилі за допомогою вимірювання коефіцієнта відбиття, методи трасування (флуоресцентного, іонами, освітлених або частинок, що світяться), метод електроіскрової пелени, метод, заснований на вимірюванні доплерівського зсуву спектральних ліній, які збуджуються пучком електронів, *поляризаційно-оптичні методи*. Завдання поляризаційно-оптичних методів згідно з [36] є візуалізація неоднорідностей у прозорих середовищах за рахунок перетворення змін фази хвильового фронту, який проходить крізь ці середовища в зміни освітленості зображення досліджуваного об'єкта, які можна зареєструвати. Перевагами оптичних методів є безконтак-

тність застосування, відсутність впливу на параметри досліджуваного явища, висока чутливість.

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. Для гідроаеродинаміки це інтегрування усереднених за часом рівнянь Нав'є-Стокса (RANS), інтегрування частково усереднених за обсягом рівнянь Нав'є-Стокса (LES), безпосереднього інтегрування рівнянь Нав'є-Стокса (DNS))

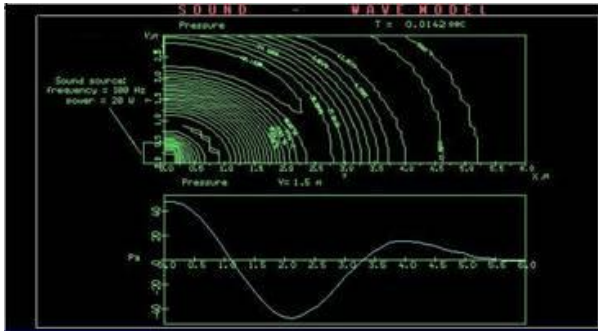
Важливу роль для розвитку ЧМ гідроаеродинаміки зіграв програмний комплекс Графор, розроблений в Інституті прикладної математики ім. М.В. Келдиша РАН під керівництвом Ю.М. Баяковського і йому подібні комплекси СМОГ, GINO 3D, Plot10. [34-44, 51].

З часом по мірі вдосконалення обчислювальної техніки та ускладнення вирішуваних задач ставало дедалі зрозуміліше, що для отримання реального результату вже недостатньо спочатку просто розрахувати його, а потім застосувати зображувальні засоби (рис. 1.9). Такий підхід вже не міг забезпечити адекватне трактування чисельних результатів, які одержувалися – занадто багато могло залишитися непоміченим, особливо при чисельному моделюванні складних нестационарних процесів. Тому в 80-ті роки минулого століття сформувався новий науковий напрям – наукова візуалізація (розрахунків). У 1987 р за підтримки Національного наукового фонду США (NSF) і з ініціати-ви ACM SIGGRAPH в IEEE Computer Society була організована дискусія з проблеми візуального подання наукових даних і результатів розрахунків, де були сформульовані основні задачі та напрямки розвитку наукової візуаліза-ції. Сучасний етап еволюції обчислювальної механіки рідини та газу харак-теризується основними факторами, що визначають подальші перспективи ро-звитку концепцій, методів, алгоритмів і програмних засобів наукової візуалі-зації:

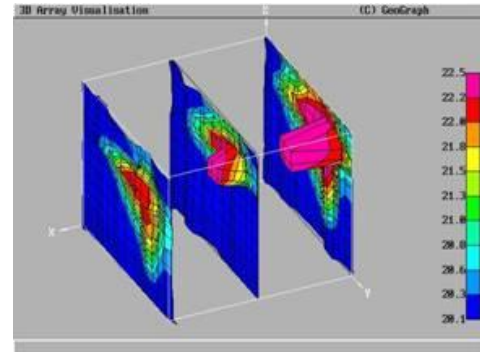
– інтенсивне зростання обчислювальних потужностей, поява паралель-но обчислювальних систем;

– поява принципово нових апаратних засобів, які дозволяють здійснювати тривимірне стереоподання результатів, побудова апаратно-програмних комплексів віртуальної реальності;

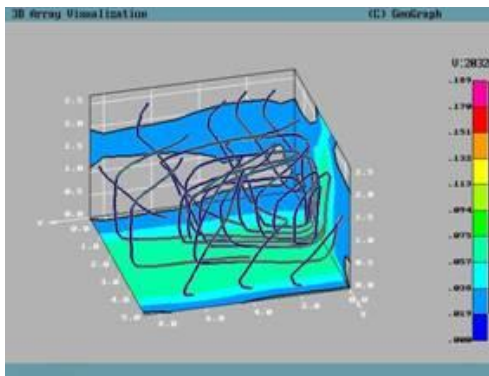
– ускладнення задач обчислювальної механіки рідини і газу.



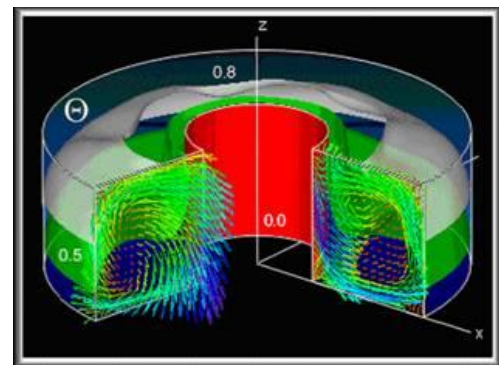
а



б



в



г

Рисунок 1.9 – Еволюція можливостей візуалізації даних в задачах обчислювальної гідроаеродинаміки

Сучасні задачі обчислювальної механіки рідини і газу – це, як правило, тривимірні нестационарні задачі, яким притаманна складна геометрія. Часто в подібних задачах передбачається злиття різних фізичних і математичних моделей. Дані математичні моделі реалізуються на складних неструктурованих сіткових розбиттях. Особливе значення набувають алгоритми розв'язання обернених задач, що мають на меті оптимізацію явищ, процесів, що визначають параметри задачі, різних конструктивних параметрів.

Слід особливо відзначити, що розвиток програмних засобів візуалізації завжди носив наздоганяючий характер. Візуальне представлення про чисельні рішення у першу чергу залежало від можливостей обчислювальних ресур-

сів, і лише в другу – від рівня складності вирішуваних задач математичного моделювання і чисельних методів, що при цьому використовуються [52-57].

Таким чином можемо представити порівняльний аналіз можливостей ФМ і ЧМ.

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 у 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;
- потрібен значний досвід експерта для завдання початкових умов ЧМ і вибору множини параметрів для розрахунків.

Тому для врахування стану ГП в фізичних прототипах допоміжних елементів ГАС при автоматизації створення і використання бази енергозберігаючих проектних рішень спільно з проведенням фізичного моделювання ГП пропонується використовувати можливості інтелектуальних методів аналізу

отриманих візуальних картин. Застосування такого підходу об'єднує переваги ЧМ і ФМ та враховує перераховані недоліки.

1.4.2 Методи інтелектуального аналізу візуальних даних гідроаеродинамічних процесів

Інтелектуальний аналіз даних (ІАД англ. Data Mining), згідно засновнику напрямку П'ятецькому-Шапіро, – виявлення «машиною» (засобами штучного інтелекту) в «сирих» даних раніше невідомих, нетривіальних, практично корисних і доступних для інтерпретації знань, необхідних для прийняття рішень у різних сферах людської діяльності [58-63].

ІАД – сукупність великого числа різних методів виявлення знань. До основних методів ІАД відносяться:

- статистичні – кореляційний, регресійний, дисперсійний кластерний аналіз та ін. Недоліком статистичних методів є усереднення значень, що призводить до втрати інформативності і як наслідок, до зменшення кількості даних, які можливо добути;

- евристичні – методи, засновані на переборі. Відомо, що простий перебір всіх об'єктів, що досліджуються вимагає $O(2^N)$ операцій, де N – кількість об'єктів. Для скорочення обчислювальної складності цих методів, використовують різного роду евристики, що призводять до скорочення перебору. До основного недоліку евристичних методів можна віднести відсутність формальної теорії і як наслідок складності, пов'язані з їх дослідженням і розвитком.

Для обґрунтування вибору методів ІАД предметні задачі класифікують за призначенням і способом вирішення.

За призначенням задачі ІАД діляться на описові (descriptive) і прогнозувальні (predictive). Найбільш поширеним прикладом описових задач є задача кластеризації, а прогнозувальних – задачі регресії і класифікації.

У рамках вирішення описових задач, будуються інформаційні моделі, призначені для поліпшення розуміння даних, що аналізуються, подання

знайдених залежностей у зручній для сприйняття ЛПР формі. Рішення прогностувальних задач розбивається на два етапи. Побудова на основі набору даних за відомими результатами інформаційної моделі, яка використовується для прогнозування результатів за новим набором даних.

За способом вирішення задачі ІАД діляться на навчання з учителем (supervised learning) і без учителя (unsupervised learning). Термін Machine Learning є практичним синонімом ІАД.

Задачу *кластеризації* формально можна представити в такий спосіб. Нехай є множина об'єктів:

$$O = \{o_1, o_2, \dots, o_i, \dots, o_n\}, \quad (1.6)$$

де o_i – досліджуваний об'єкт; n – кількість об'єктів.

Кожен об'єкт з (1.6) характеризується великою кількістю змінних, що означають властивості:

$$O = \{x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_m\}. \quad (1.7)$$

Задача кластеризації полягає в побудові множини

$$C = \{c_1, c_2, \dots, c_k, \dots, c_g\}, \quad (1.8)$$

де c_k – кластер, що містить схожі об'єкти множини (1.6):

$$C = \{o_i, o_j | o_i \in O, o_j \in O, d(o_i, o_j) < \sigma\}, \quad (1.9)$$

де σ – величина, що визначає міру близькості для включення в один кластер, а $d(o_i, o_j)$ – міра близькості між об'єктами, яка називається відстанню.

До найбільш відомих мір близькості відносять: Евклідову відстань, відстань по Хеммінгу, відстань Чебишева, відстань Махаланобіса, пікову відстань [64-66].

Для вирішення завдань кластеризації успішно застосовують карти Кохонена, що самоорганізуються (self-organizing map – SOM). SOM відноситься до нейронних мереж з прямою передачею даних і містить вхідний і вихідний

шари. Вхідний шар, розмірність якого відповідає розмірності вхідних даних, називається рецепторним або шаром вхідних вузлів і вважається нульовим. Вихідний обчислювальний шар, який називається шаром Кохонена, містить нейрони, кожен з яких пов'язаний з кожним рецептором вхідного шару прямими зв'язками, а з усіма іншими поперечними внутрішніми (латеральними) зв'язками [63-69].

Метод навчання (без учителя) карти, яка самоорганізується, запропонований Кохоненом, полягає в простому геометричному обчисленні властивостей відповідно до правила навчання і латеральних взаємодій, подібним класичному правилу навчання за Хебом:

$$w_{ij}(t) = w_{ij}(t - 1) + \alpha(y_i^{in}(t) - y_i^{in}(t - 1))(y_j^{out}(t) - y_j^{out}(t - 1)), \quad (1.10)$$

де $y_i^{in}(t)$ та $y_i^{in}(t - 1)$ – значення нейрона i вхідного шару на ітераціях t та $(t - 1)$ відповідно; $y_j^{out}(t)$ та $y_j^{out}(t - 1)$ – значення нейрона j вихідного шару на ітераціях t та $(t - 1)$ відповідно.

Наведемо етапи алгоритму самонавчання SOM (рис. 1.10, а).

Крок перший: *ініціалізація*. При реалізації алгоритму SOM заздалегідь задається конфігурація решітки, а також кількість нейронів у мережі. Рекомендується використовувати максимально можливу кількість нейронів у мережі. При цьому початковий радіус навчання значною мірою впливає на здатність узагальнення за допомогою отриманої карти. У разі, коли кількість вузлів карти перевищує кількість прикладів в навчальній вибірці, то успіх використання алгоритму більшою мірою залежить від відповідного вибору початкового радіуса навчання. Однак, у разі, коли розмір карти становить десятки тисяч нейронів, то час, необхідний на навчання карти, зазвичай буває надто великим для вирішення практичних задач, таким чином, необхідно досягати допустимого компромісу при виборі розмірності решітки.

Перед початком навчання карти необхідно проініціалізувати вагові коефіцієнти нейронів. Вдало обраний спосіб ініціалізації може істотно прискорити навчання та привести до отримання більш якісних результатів.

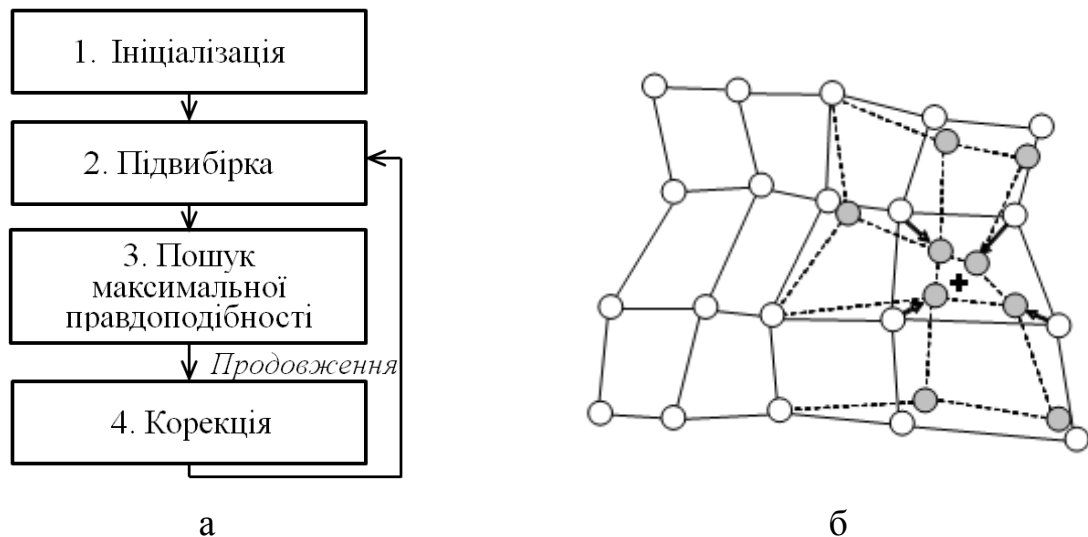


Рисунок 1.10 – Алгоритм навчання карти Кохонена, яка самоорганізується (а – схема алгоритму, б – ілюстрація етапу корекції)

Існують три способи ініціювання початкових ваг:

- ініціалізація випадковими значеннями, коли всім вагам надаються малі випадкові величини;
- ініціалізація прикладами, коли початковими задаються значення випадково обраних прикладів з навчальної вибірки;
- лінійна ініціалізація, коли ваги ініціюються значеннями векторів, лінійно впорядкованих вздовж лінійного підпростору, що проходить між двома головними власними векторами вхідного набору даних. Власні вектора можуть бути знайдені, наприклад, за допомогою процедури Грама-Шмідта.

Крок другий: *підвибірка*. Вибираємо вектор з вхідного простору з певною ймовірністю. Цей вектор являє собою збудження, яке застосовується до решітки нейронів.

Крок третій: *пошук максимальної подібності*. Знаходимо найбільш подібний до нього вектор коефіцієнтів нейронів. При цьому вибирається нейрон-переможець, який найбільш схожий на вектор входів у відповідності до обраної міри близькості (1.9). Таким чином, якщо позначити нейрон-переможець як w_c , то отримаємо $\|o_i - w_c\| = \min\{\|o_i - w_j\|\}$.

Крок четвертий: *корекція*. Після того, як знайден нейрон-переможець, проводиться коригування SOM. При цьому вектор, що описує нейрон-

переможець і вектора, що описують його сусідів коригуються таким чином, що по решітці переміщуються в напрямку вхідного вектора (рис.1.10, б). Коригування вагових коефіцієнтів виконується відповідно до виразу (1.6):

$$w_j(t + 1) = w_j(t) + \alpha(t)h_{cj}(t)[o_i(t) - w_j(t)], \quad (1.11)$$

де t – номер епохи (дискретний час); $\alpha(t)$ – швидкість навчання залежить від t ; $h(d, t)$ – задає околицю навчання і залежить від t і міри близькості.

Крок п'ятий: *продовження*. Повертаємося до другого кроку і продовжуємо обчислення до тих пір, поки в карті ознак не перестануть відбуватися помітні зміни (рис. 1.10).

Результатом є ваги зв'язків між вхідними векторами і вихідними нейронами, кожній з яких відповідає типовий вхідний образ для деякої підмножини вхідних даних, яке потрапляє в окремий кластер.

Формально задачу *класифікації* і *регресії* можна описати таким чином. Припустимо що множина об'єктів (1.6), кожен об'єкт характеризується множиною змінних, що означають властивості:

$$O = \{x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_m, y\}, \quad (1.12)$$

де x_j – незалежні змінні, що визначають властивості об'єкту; m – кількість властивостей об'єкта, яких значно менше, ніж аналізованих об'єктів – $m < n$; y – залежна змінна, значення якої визначається на основі множини незалежних змінних $\{x_j\}$.

Кожна змінна може приймати значення з деякої множини значень, яка може бути дискретною або безперервною.

Якщо множина значень змінної є дискретною (кінцевою), то задача, що вирішується, називається задачею класифікації, якщо y приймає значення на множині дійсних чисел, то задача називається задачею регресії.

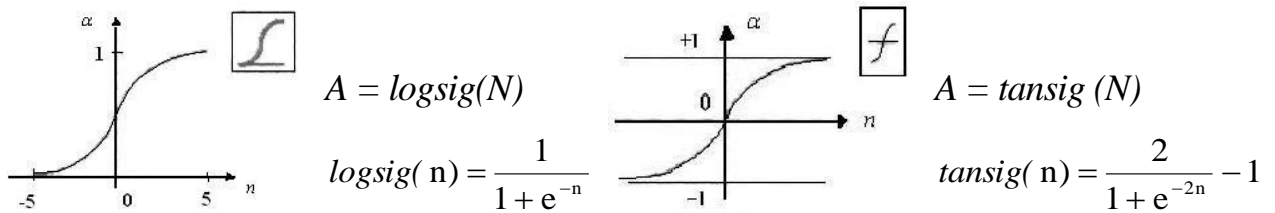
Багатошарові нейронні мережі – мережі прямого розповсюдження є нелінійними системами, що дозволяють набагато краще класифікувати лінійно-

нероздільні дані, ніж статистичні методи, які зазвичай використовуються. Багатошаровий перцептрон (multilayer perceptron – MLP) складається з множини вхідних вузлів, які утворюють вхідний шар, одного або декількох прихованих шарів обчислювальних нейронів і одного вихідного шару нейронів, при цьому сигнал поширюється по мережі в прямому напрямку від вхідного через приховані до вихідного шару. При навчанні MLP використовується алгоритм зворотного розповсюдження помилки (back-propagation learning) [70, 71], який можна розглядати як узагальнення алгоритму LMS [63, 64, 72-77]. Суть цього алгоритму полягає в наступному:

- під час прямого розповсюдження генерується набір вихідних сигналів, який є реакцією мережі на запропонований вхідний образ, при цьому всі синаптичні ваги нейронів залишаються фіксованими;
- під час зворотного проходу всі синаптичні ваги налаштовуються у відповідності до правила корекції помилок, при якому фактичний вихід віднімається від бажаного відгуку, в результаті чого формується сигнал помилки;
- сигнал помилки поширюється по мережі в зворотному напрямку, при цьому підлаштовує всі синаптичні ваги нейронів з метою максимального наближення вихідного сигналу мережі до бажаного [77-80].

При цьому кожен нейрон MLP має нелінійну гладку (усюди диференційовану) функцію активації, на відміну від жорсткої порогової, яка використовується в перцептроні Розенблата [64, 67, 68, 71, 76, 77]. Часто застосовуються нелінійні сигмоїдальні функції активації типу логістичної (в бібліотеці NNTools для реалізації цієї функції використовується M-функція logsig (рис. 1.11, а) або гіперболічного тангенса M-функція tansig (рис. 1.11, б)).

Наявність в MLP прихованих нейронів дозволяє мережі навчатися вирішенню складних задач, послідовно отримуючи найбільш важливі ознаки з вхідного образу (вектора). Численні експерименти показують, що навчання на основі зворотного розповсюдження хоч і дозволяє отримати високу точність класифікації, однак вимагає неприпустимо великого (для вирішення практичних задач) часу навчання.



а – логістична

б – гіперболічного тангенса

Рисунок 1.11 – Функції активації

Тому зворотне поширення використовує різні алгоритми оптимізації для скорочення часу навчання, які розділені на три групи: нульового, першого і другого порядку [64, 71, 74]. Градієнтні алгоритми навчання першого порядку є специфічною реалізацією градієнтного спуску в просторі вагових коефіцієнтів і зсувів MLP і забезпечують рух по поверхні функціоналу помилки в напрямку, протилежному вектору градієнта. До них відносяться алгоритми: градієнтного спуску з параметром швидкості навчання (налаштування) – GD (М-функція `traingd`); градієнтного спуску з адаптацією параметра швидкості навчання – GDA (`traingda`); пороговий алгоритм з евристичної стратегією зміни збільшення параметрів, що настроюються – `Rprop` (`trainrp`). Якщо до алгоритмів GD і GDA додати ще один параметр, що настроюється – обурення, то отримаємо ще два алгоритми – GDM (`traingdm`) і GDX (`traingdx`) відповідно [81-83].

Формально всі алгоритми градієнтного спуску можна записати у вигляді:

$$w_{k+1} = w_k - \alpha_k g_k, \quad (1.13)$$

де w_k – вектор вагових коефіцієнтів; α_k – параметр швидкості навчання; g_k – вектор градієнта функціоналу помилки.

Переходячи від k -ї ітерації до $k+1$ -ої, алгоритм виконує корекцію вагових коефіцієнтів:

$$\Delta w_k = w_{k+1} - w_k = -\alpha g_k. \quad (1.14)$$

З (1.13) виходить, що метод градієнтного спуску працює на основі лінійної апроксимації функції вартості в околиці поточної точки w_k , при якій єдиним джерелом інформації про поверхню помилок є градієнт g_k .

Таким чином, алгоритм градієнтного спуску коригує параметри, що налаштовуються в напрямку антиградієнта. Проте такий напрямок далеко не завжди є найсприятливішим напрямком, щоб за надмале число кроків забезпечити збіжність до мінімуму функціоналу якості. Сполучені напрямки і відповідний метод оптимізації – метод сполучених градієнтів дозволяють визначити шуканий мінімум набагато швидше.

Описані методи класифікації і кластеризації на основі нейронних мереж в рамках технології ІАД (Data Mining) на відміну від класичних статистичних методів дозволяють проводити обробку слабоструктурованої інформації, до якої відносяться дані про стан ГП у допоміжних елементах, отримані за допомогою фізичного моделювання. Дані методи були обрані в якості базових.

1.5 Висновки. Постановка задач дослідження

Проаналізовано проблеми енергозбереження в гідроаеродинамічних системах, які проектуються за допомогою машинобудівних та інженерних АРМ проектувальників. Враховуючи конструктивні особливості структурних елементів мережевої і генеруючої частин існуючих гідроаеродинамічних систем показано, що моделі і методи структурного і параметричного синтезу, які використовуються в машинобудівних АРМ, не повною мірою враховують вплив стану реальних гідроаеродинамічних потоків при формуванні бази типових проектних рішень щодо елементів, які в наслідок мають невиправдано високі значення гідроаеродинамічних опорів.

Використання в інженерних АРМ типових елементів при структурному синтезі мережевої частини, а також врахування їх підвищених опорів для розрахунку тиску і потужності при параметричному синтезі генеруючої частини тільки ускладнюють ситуацію зі енергозбереженням та призводять до сумарних втрат енергії до 40 % у гідроаеродинамічних системах, що проектуються.

Для визначення шляхів вирішення зазначених проблем автоматизованого проектування енергозберігаючих гідроаеродинамічних систем розглянуті можливості методів структурно-параметричного синтезу, візуалізації руху рідин та газів та інтелектуального аналізу візуальних даних задля отримання оцінок стану гідроаеродинамічних потоків в елементах і системах, що проектуються.

Таким чином, виявлено протиріччя між підвищенням вимог з енергозбереження ГАС, що проектуються, з одного боку, і обмеженістю існуючих моделей і методів структурного і параметричного синтезу проектних рішень щодо ГАС та їх окремих елементів, з іншого.

З врахуванням наведеного сформульовано мету дисертаційного дослідження як зниження енергоємності гідроаеродинамічного процесу в системах, що проектуються, за рахунок розробки моделей та методів структурно-параметричного синтезу для автоматизованого проектування енергозберігаючих гідроаеродинамічних систем у спеціалізованому АРМ.

Для досягнення поставленої мети в роботі потрібно розв'язати такі задачі:

- проаналізувати проблеми енергозбереження в ГАС, які проектуються за допомогою машинобудівних та інженерних АРМ проектувальників, і визначені шляхи їх розв'язання;
- розробити моделі структурно-параметричного синтезу енергозберігаючих гідроаеродинамічних систем для формалізації технічних пропозицій при автоматизованому проектуванні у спеціалізованому АРМ;
- розробити методи структурно-параметричного синтезу енергозберігаючих гідроаеродинамічних систем та їх допоміжних елементів для формалізації процесу автоматизованого проектування у спеціалізованому АРМ;
- розробити технологію автоматизованого проектування енергозберігаючих гідроаеродинамічних систем та їх допоміжних елементів у спеціалізованому АРМ, а також проведено її практичне випробування із позитивним технічним ефектом.

РОЗДІЛ 2

МОДЕЛІ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНОГО СИНТЕЗУ ПРОЕКТНИХ
РІШЕНЬ ЕНЕРГОСБЕРІГАЮЧИХ ГАС

У першому розділі дисертаційної роботи показано, що сучасні машинобудівні та інженерні АРМ проектувальників містять модуль параметричної оптимізації, який дозволяє при заданій структурі системи/елемента, що проектується підібрати такі значення параметрів, при яких характеристики системи/елемента будуть знаходитися в заданих розробником межах. Однак при цьому необхідно задати структуру системи/елемента, при якій можливе досягнення необхідних характеристик, а вибір такої структури є важкоформалізованою задачею і вимагає спеціальних знань розробника (експерта, проектувальника). Крім того, при вирішенні задачі вибору структури системи/елемента на основі перебору структурних рішень, навіть з використанням обчислювальних можливостей сучасних АРМ, можлива перевірка лише незначної кількості рішень. Це пов'язано з тим, що на синтез і модифікацію досліджуваних структурних рішень системи/елемента потрібні істотні часові і обчислювальні витрати. Тому логічною вимогою до розроблюваних спеціалізованих АРМ є підтримка автоматичної генерації варіацій різних структур систем і елементів, які проектуються, а також параметрична оптимізація як структури всієї системи, так і окремих, вказаних розробником, елементів.

Таким чином, програмно-алгоритмічне забезпечення, яке розробляється для спеціалізованого АРМ проектувальника енергозберігаючих ГАС і їх елементів повинно включати процедуру автоматизованого структурно-параметричного синтезу технічних пропозицій. Однак практична реалізація моделей і методів структурно-параметричного синтезу пов'язана з низкою труднощів теоретичного і технічного характеру.

З врахуванням сформульованого вище, у розділі наводиться:

– аналіз задач, щодо автоматизації структурно-параметричного синтезу ГАС і її елементів;

- результати вдосконалення структурно-параметричних моделей мережевої і генеруючої частин ГАС задля формалізації розробки технічних пропозицій;

- результати розробки логіко-чисельної моделі генерації технічних пропозицій, структури і параметрів систем, що проектуються.

А обґрунтування доцільності використання енергоємності гідроаеродинамічного процесу в якості показника енергозбереження дало можливість проводити оптимізацію як структури всієї ГАС, так і окремих елементів, які вказані розробником, при структурно-параметричному синтезі проектних рішень у спеціалізованому АРМ.

2.1 Задачі автоматизації структурно-параметричного синтезу

Структурно-параметричний синтез – це процес, у результаті якого визначається структура об'єкта та знаходяться значення параметрів складових її елементів, таким чином, щоб задовольнити умови технічного завдання. Якщо при цьому синтезований об'єкт є оптимальним (квазіоптимальним) за будь-яким критерієм (критеріями), то синтез також є оптимальним (квазіоптимальним).

При автоматизації процесу структурно-параметричного синтезу енергозберігаючих ГАС і їх елементів, як правило, вирішують наступні три задачі: розробка моделей системи та елементів, визначення цільової функції (показника, критерію), і створення (вибір) методу (алгоритму) синтезу.

У першому розділі було показано, що в існуючих машинобудівних і інженерних АРМ реалізовані методики створення комп'ютерних параметричних моделей ГАС і їх елементів (MicroCAP, MicrowaveOffice, ANSYS) [19-20]. Тому у даному розділі в порівнянні з аналогічними задачами параметричного синтезу сформульовано зміст перших двох з перерахованих задач автоматизації структурно-параметричного синтезу.

Розробка структурно-параметричної моделі системи. При параметричному синтезі і оптимізації ГАС пошук проектних рішень здійснюється в

просторі параметрів шаблонів елементів з бази проектних даних. Отже в параметричній моделі ГАС змінюються лише параметри цих елементів, які в свою чергу є складовими структури системи, що проектується, а сама структура системи в процесі параметричного синтезу і оптимізації залишається незмінною.

При структурно-параметричному синтезі ГАС пошук проектних рішень проводиться у просторі, як структур, так і шаблонів елементів цих структур [84-88]. Отже, необхідно виконувати моделювання не конкретної системи, а класу подібних систем, що проектуються. Така модель називається структурно-параметричною (універсальною) моделлю і задає обмеження на множину структур ГАС, у якій організовується пошук проектного рішення. Порівняння властивостей параметричних і структурно-параметричних моделей наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Властивості моделей параметричного і структурно-параметричного синтезу

Властивості параметричних моделей	Властивості структурно-параметричних моделей
Структура моделі фіксована і не змінюється в процесі синтезу	Структура моделі заздалегідь невідома і модель формується автоматично
Змінюються тільки параметри (шаблони елементів). Пошук здійснюється в просторі параметрів	Змінюються як структура, так і параметри. Пошук здійснюється в просторі структур і параметрів
Розмірність вектора параметрів фіксована	Розмірність вектора параметрів заздалегідь невідома і може бути визначена тільки після того як буде визначена структура

При розробці структурно-параметричних моделей з метою використання в спеціалізованих АРМ-ГАС виділяють два підходи:

– на основі «автономних» моделей, розв’язанням яких будуть характеристики систем, що проектуються;

– на основі «моделей морфологічної множини», рішенням яких будуть специфікації пристроїв, що проектуються.

У разі реалізації першого підходу на основі автономних моделей необхідно виконати процес комп'ютерного моделювання для всіх пропонованих структур ГАС, їх елементів і параметрів, включаючи формування і розрахунки. Вони можуть бути реалізовані у вигляді бібліотек (DLL), які динамічно підключаються. Перевагами таких моделей є їх ефективність, тому що при їх створенні можуть бути використані спеціальні методи моделювання систем вузького класу (наприклад алгоритм розробки тяго-дугтьового тракту, або теплотраси). АРМ на основі таких моделей виходять автономними і для їх роботи не потрібні інші дорогі програмні пакети (типу ANSYS). Недоліком є висока трудомісткість їх створення.

У разі реалізації другого підходу на основі моделей морфологічної множини необхідно забезпечити лише генерацію специфікацій структур класу проєктованих систем. Перевагами таких моделей є простота їх створення при наявності спеціального лінгвістичного забезпечення. Крім того, розділення різних видів знань – про структуру проєктованих систем (у моделі морфологічної множини) і про обчислення характеристик (у зовнішньому пакеті системи комп'ютерного моделювання) з методологічної точки зору є позитивним. Недоліком можна назвати те, що для АРМ, що використовують такі моделі, необхідні зовнішні дорогі програмні пакети комп'ютерного моделювання. Причому вони можуть використовуватися, лише спільно з пакетами, що мають вхідну мову сумісну зі специфікаціями, що генеруються цими моделями.

Визначення цільової функції. При параметричній оптимізації змінюються лише параметри елементів, які становлять структуру системи, що проектується, а сама структура залишається незмінною. При структурно-параметричній оптимізації змінюються як параметри, так і структура системи. Таким чином з формальної точки зору, цільова функція для кожної структури буде унікальна і необхідний алгоритм її автоматичного формування. Од-

нак на практиці при синтезі структур може знадобитися додаткова цільова функція, яка відображає структурні властивості об'єкта, що проектується і вказує на відповідність обраної структури умовам технічної задачі.

Слід підкреслити, що при структурно-параметричному синтезі систем розробник отримує більшу свободу при створенні цільової функції, що є формалізованим завданням на синтез. Так, при параметричному синтезі застосування обмежень на критерії при даній структурі системи, що проектується може виявитися недосяжним до виконання. При структурно-параметричному синтезі така проблема відсутня якщо алгоритм розроблений правильно, технічне завдання є коректним, а морфологічна множина містить структуру, при якій виконуються дані обмеження. Отже, з великою часткою ймовірності рішення, яке задовольняє умовам технічної задачі, буде знайдено.

2.2 Розробка структурно-параметричної моделі гідроаеродинамічної системи

При розробці структурно-параметричної моделі (СПМ) енергозберігаючих ГАС введено визначення ГАС, як системи елементів, що забезпечують технологічні процеси підйому, стискання та транспортування рідин та газів – гідроаеродинамічні процеси. Наприклад, системи для подачі палива, води, повітря, видалення димових відходів газів. Конструктивно ці системи складаються із енергетично активного елементу та енергетично пасивних технологічних та допоміжних комплектуючих елементів.

Для аналізу енерговитрат у таких системах запропоновано в структурі ГАС виділяти генеруючу частину, яка створює тиск за рахунок використання потужності в основному енергетично активному елементі (насос, вентилятор, димосос) та мережеву частину, яка витрачає створений тиск та складається із енергетично пасивних технологічних (фільтри, пальники, теплообмінники) та допоміжних (повороти, трійники, колектори, засувки) елементів.

Таким чином, при розробці структурно-параметричної моделі (СПМ)

енергозберігаючих ГАС з врахуванням існуючих конструкторських моделей та впливу стану ГП на структурні особливості систем та елементів, а також за наявності/відсутності процесу перетворення енергії запропоновано виділяти енергетично пасивну мережеву та енергетично активну генеруючу частини. Тоді СПМ ГАС наведемо як:

$$Sys_{H-A} = \langle Generation, Network \rangle, \quad (2.1)$$

де *Generation* – СПМ генеруючої частини;

Network – СПМ мережевої частини.

2.2.1 Розробка структурно-параметричної моделі мережевої частини гідроаеродинамічної системи

Для аналізу енерговитрат у мережевій частині *Network* виділено наступні енергетично пасивні комплектуючі елементи *Eminor*:

– вхідні і вихідні ділянки труб і каналів, обладнання (партубки);

– ділянки труб і каналів з:

1) Несподіваним розширенням або звуженням перетину (шайби, діафрагми);

2) Плавним розширенням перетину (дифузори) або звуженням (конфузор);

3) Зміною напрямку потоку - повороти (коліно, відведення);

4) Злиттям або поділом потоку (трійники, хрестовини, розподільні колектори);

5) Перешкодами (насадки, решітки, сітки, пористі шари);

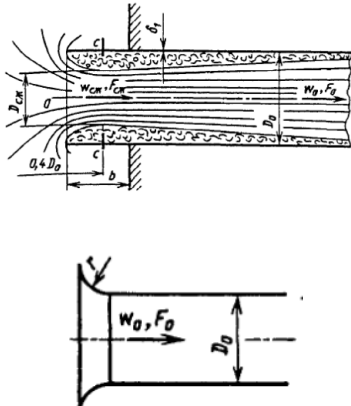
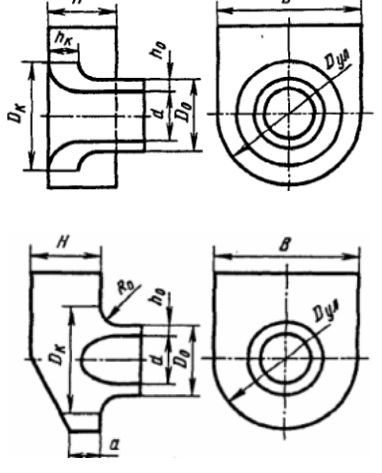
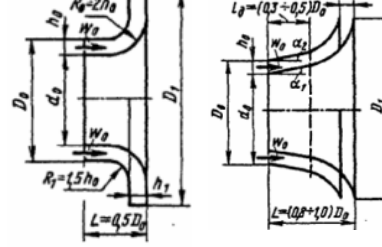
– трубопровідна арматура і лабіринти (клапани, засувки, затвори, ущільнення, компенсатори);

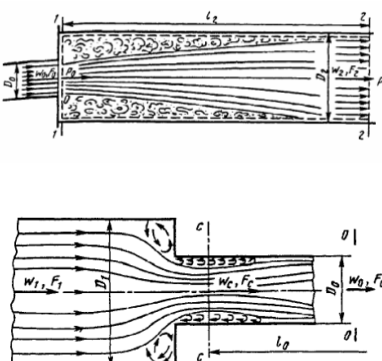
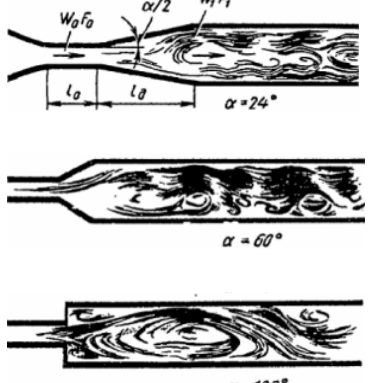
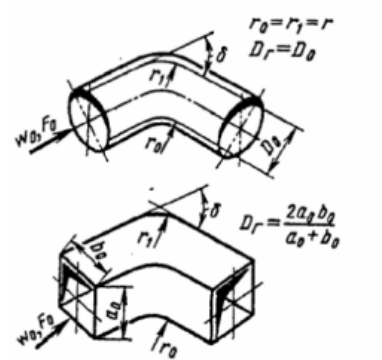

а також технологічні елементи *Etechnolog* – різні апарати (очисні апарати, фільтри теплообмінники).

При цьому технологічні елементи *Etechnolog* розглядаються як вузли,

що складаються із допоміжних елементів. Фрагмент бази допоміжних елементів показано в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Фрагмент бази допоміжних елементів

Назва елемента	Структурна модель (конструкція)	Параметрична модель (технічні вимоги та характеристики)
1	2	3
<p>Схема входу потоку в прямий канал (а) і круговий колектор (б) з необмеженого простору</p>		<p>Коефіцієнт опору $0,5 < \zeta < 1$ визначається двома параметрами: відносною товщиною δ_1/D_r стінки вхідної кромки труби і відносною відстанню b/D_r від місця обрізу труби до стінки, в яку вона закладена.</p> <p>Для кругового колектора з відносною величиною радіуса закруглення $r/D_r = 0,2$ коефіцієнт опору знижується $0,04 < \zeta < 0,05$ замість $\zeta = 1$ при $r/D_r = \delta_1/D_r = 0$ (гостра кромка)</p>
<p>Вхідні патрубки</p>		<p>Зменшення втрат тиску і забезпечення нормального розподілу профілю швидкостей у вихідному перерізі колектора, що підводить повітря до лопаток турбомашин. Ці умови краще над усе виконуються при високому ступені стиснення патрубка в нижній. Коефіцієнт опору $\zeta = \Delta p / (p_0 w_0^2 / 2) = 0,12 \div 0,15$ [де $w_0 = c_b$ – середня осьова швидкість у вихідному перерізі кільцевого колектора (в перерізі F_0); ρ_0 – щільність газу в тому ж перерізі].</p>
<p>Вихідні патрубки</p>		$\zeta_{\text{ви}} \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = f(n_n, \alpha_1),$ <p>де $\zeta_{\text{ви}} = f_1(n_n, D_1)$; $\zeta_{\text{ви}} = f(n_n, \alpha_1)$</p>

1	2	3
<p>Ділянки з раптовим (дискретним) розширенням /звуженням перетину</p>		<p>Коефіцієнт місцевого опору розширення розраховується по наближеній формулі:</p> $\zeta_{\text{ви}} \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} \approx N \left(1 - \frac{2}{3n_{\text{п}}} \right) + \frac{1}{n_{\text{п}}^2} - \frac{4}{3n_{\text{п}}}$ <p>Коефіцієнт місцевого опору звуження при великих числах Рейнольдса ($Re > 10^4$) може бути визначено наближено до розрахункової формули:</p> $\zeta_{\text{ви}} \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = 0,5 \left(1 - \frac{F_0}{F_1} \right)$
<p>Ділянки з плавним розширенням</p>		<p>Основними геометричними характеристиками дифузорів з прямими стінками є кут розширення α, ступінь розширення $n_{\text{п1}} = F_1/F_0$ і відносна довжина $l_{\text{д}}/D_0$. Ці величини пов'язані між собою співвідношеннями: для конічного дифузора $\frac{l_{\text{д}}}{D_0} = \frac{n_{\text{п1}} - 1}{2 \text{tg} \alpha / 2}$, для плоского дифузора $\frac{l_{\text{д}}}{a_0} = \frac{n_{\text{п1}} - 1}{2 \text{tg} \alpha / 2}$.</p>
<p>Зміна напрямку потоку</p>		<p>Гладкі стінки ($\Delta = 0$) і $Re = w_0 D_r / \nu \geq 2 \cdot 10^5$:</p> $\zeta \equiv \frac{\Delta p}{\rho w_0^2 / 2} = \zeta_{\text{м}} + \zeta_{\text{тр}}$ <p>де $\zeta_{\text{м}} = A_1 B_1 C_1$; $\zeta_{\text{тр}} = (1 + 0,0175 \delta r / D_r \lambda$; λ див. діаграми; $A_1 = f(\delta)$ і $C_1 = f(a_0 / b_0)$; $B_1 = f(r_0 / D_0)$.</p> <p>Нерівні стінки ($\Delta > 0$) і $Re \leq 10^4$: $\zeta = k_{\Delta} k_{Re} \zeta_{\text{м}} + \zeta_{\text{тр}}$, де k_{Δ} і k_{Re} див. діаграму.</p>
<p>З розподіленням потоків</p>		<p>Для практичних розрахунків при відсутності будь-яких додаткових перешкод вздовж каналів приймається</p> $\zeta_{\text{кол}} \approx 0,5 \lambda L / D_{\text{рн}}$ <p>де L – загальна довжина колектора, м; $D_{\text{рн}} = 4F_{\text{н}} / \Pi_{\text{н}}$ – гідралічний діаметр початкової перетину передавального каналу, м.</p>

Для аналізу стану ГП в допоміжних елементах та оцінки його ефективності, запропоновано використовувати коефіцієнти гідродинамічних опорів R_{Eminor_i} , $R_{Etechnolog_j}$, які обираються із бази допоміжних елементів (див. табл. 2.1). Сума опорів усіх елементів мережевої частини становить гідродинамічний опір R_{Net} мережевої частини ГАС, який визначається:

$$R_{Net} = \sum_{i=1}^n R_{Eminor_i} + \sum_{j=1}^m R_{Etechnolog_j}, \quad (2.2)$$

де R_{Eminor_i} , $R_{Etechnolog_j}$ – довідкові величини гідроаеродинамічних опорів i -го допоміжного елемента та j -го технологічного елемента відповідно.

При цьому кількість елементів визначається за правилами компонування.

Теоретичний розрахунок гідродинамічних (гідрравлічних) опорів R_{Eminor_i} , $R_{Etechnolog_j}$ можливий лише в найпростіших випадках (наприклад, при безвідривному обтіканні деяких добре обтічних тіл або при перебігу рідини по прямій циліндричній трубі). Тому на практиці при формуванні бази елементів гідравлічні опори визначають за емпіричними залежностями від критеріїв подібності, отриманих на підставі чисельних експериментальних досліджень.

У роботі [31] *гідроаеродинамічним опором називають* опір, що виникає при русі робочого тіла (рідини, газу) по трубах і каналах. У цьому випадку частина енергії (тиску) робочого тіла, що рухається витрачається на подолання внутрішнього (між частинками тіла) і зовнішнього (між рухомим тілом і поверхнями, які обмежують цей рух) тертя в плавних ділянках тракту, а також на утворення та відрив вихорів в несплавних ділянках – при різких поворотах, розширеннях або звуженнях каналу, перетікання через запірні і регулюючі пристрої, решітки, фільтри і т. п. Енергія або тиск рухомого робочого тіла, що витрачена на подолання гідроаеродинамічних опорів називається втраченою енергією або *втратами тиску* P_{Net} у мережевій частині ГАС. Втрати тиску визначаються за формулою Дарсі-Вейсбаха:

$$P_{Net} = R_{Net} Q_{Net}^2 = \left(\sum_{i=1}^n R_{Eminor_i} + \sum_{j=1}^m R_{Etechnolog_j} \right) (Q_{Net})^2, \quad (2.3)$$

де P_{Net} – втрати тиску в мережі, які розраховуються при проектуванні або вимірюються при експлуатації як різниця тисків на вході та виході;

R_{Net} – сума опорів всіх енергетично пасивних елементів мережі;

Q_{Net} – витрати робочого тіла в мережі.

При цьому $Q_{Net} = \rho d V_{cp} / 2$.

V_{cp} – середня швидкість робочого тіла перед входом до елемента, що розглядається;

ρ – щільність рідини;

d – діаметр елемента, що розглядається.

Таким чином при розробці технічних пропозицій, щодо проектування мережевої частини ГАС із бази типових елементів обирають необхідні технологічні *Etechnolog* і допоміжні *Eminor* елементи які об'єднуються між собою та утворюють структурну мережу відповідності із обраними правилами компонування. Враховуючи (2.2) та (2.3) мережеву частину ГАС запропоновано подавати у вигляді СПМ:

$$Network = \langle \cup_{i=1}^n [Rul_i] \cup (Eminor_i, Etechnolog_i, Eminor_{i+1}), P_{Net}(R_{Net}, Q_{Net}) \rangle, \quad (2.4)$$

де Rul_i – правило компонування i -х енергетично пасивних елементів $i = \overline{1, n}$, яке визначає структуру мережевої частини ГАС;

P_{Net} – функція втрат тиску в мережі, які залежать від суми опорів R_{Net} всіх енергетично пасивних елементів і витрат робочого тіла в мережі Q_{Net} .

За допомогою функції P_{Net} визначають параметри мережевої частини ГАС заданої структури.

У відповідності із СПМ мережевої частини (2.4) для заданих варіантів компонування та витрат робочого тіла Q_{Net} формалізована оцінка значення сумарних втрат тиску P_{Net} у мережевій частині ГАС, що проектується.

2.2.2 Розробка структурно-параметричної моделі генеруючої частини гідроаеродинамічної системи

До основних елементів (E_{major}) відносяться елементи, в яких відбувається перетворення одного виду енергії в інший, наприклад турбіни, двигуни, котли, нагнітачі та ін.

Для аналізу енерговитрат при автоматизації проектування генеруючої частини *Generation* ГАС особливий інтерес становлять нагнітачі (насоси, вентилятори, компресори, димососи), характеристиками гідроаеродинамічного процесу в яких є простір сформований такими функціями:

- повного тиску $P_{E_{major}}(Q_{E_{major}}, n_{Rotor})$;
- витрат потужності $N_{E_{major}}(Q_{E_{major}}, n_{Rotor})$;
- ККД основного елемента $\eta_{E_{major}}(P_{E_{major}}, Q_{E_{major}}, n_{Rotor}, N_{E_{major}})$.

При цьому ККД визначається як:

$$\eta_{E_{major}} = \frac{P_{E_{major}} Q_{E_{major}}}{N_{E_{major}}} \quad (2.5)$$

Для побудови функцій тиску, потужності та ККД використовуються данні випробувань основного елемента E_{major} на експериментальному стенді фірми виробника за необхідних витрат робочого тіла $Q_{E_{major}}$ при заданій кількості обертів електродвигуна n_{Rotor} основного елемента.

Для проведення випробувань з метою побудови простору аналізованих функцій визначають правила (схеми) $Rul_{E_{major}}$ компоновки основного генеруючого елемента E_{major} і елемента $E_{control}$, що регулює витрати робочого тіла $Q_{E_{major}}$ положенням направляючих лопаток. Тим самим виконується випробування генеруючої частини ГАС спільно з віртуальною мережевою частиною, функцію якої виконує елемент $E_{control}$. При цьому використовують чотири можливих правила:

- а) $Rul1_{E_{major}}$ – вільний вхід та вихід, тобто відсутність мережевої частини ($P_{Net}^{in} = 0$ та $P_{Net}^{out} = 0$);

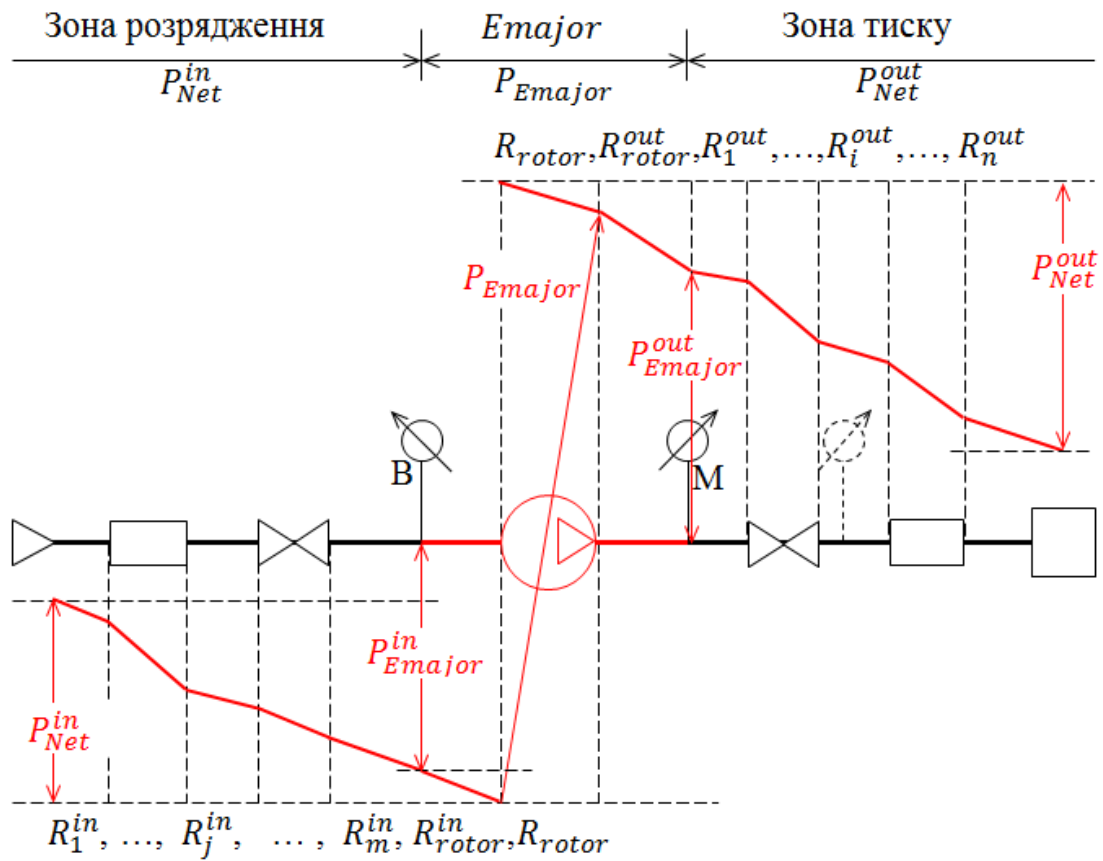
б) $Rul2_{Emajor}$ – вільний вхід та вихід з тиском, тобто мережева частина розташована на вихідній ділянці $P_{Net}^{in} = 0$ та $P_{Net}^{out} > 0$;

в) $Rul3_{Emajor}$ – вхід з розрядженням та вільний вихід, тобто мережева частина розташована на вхідній ділянці $P_{Net}^{in} > 0$ та $P_{Net}^{out} = 0$;

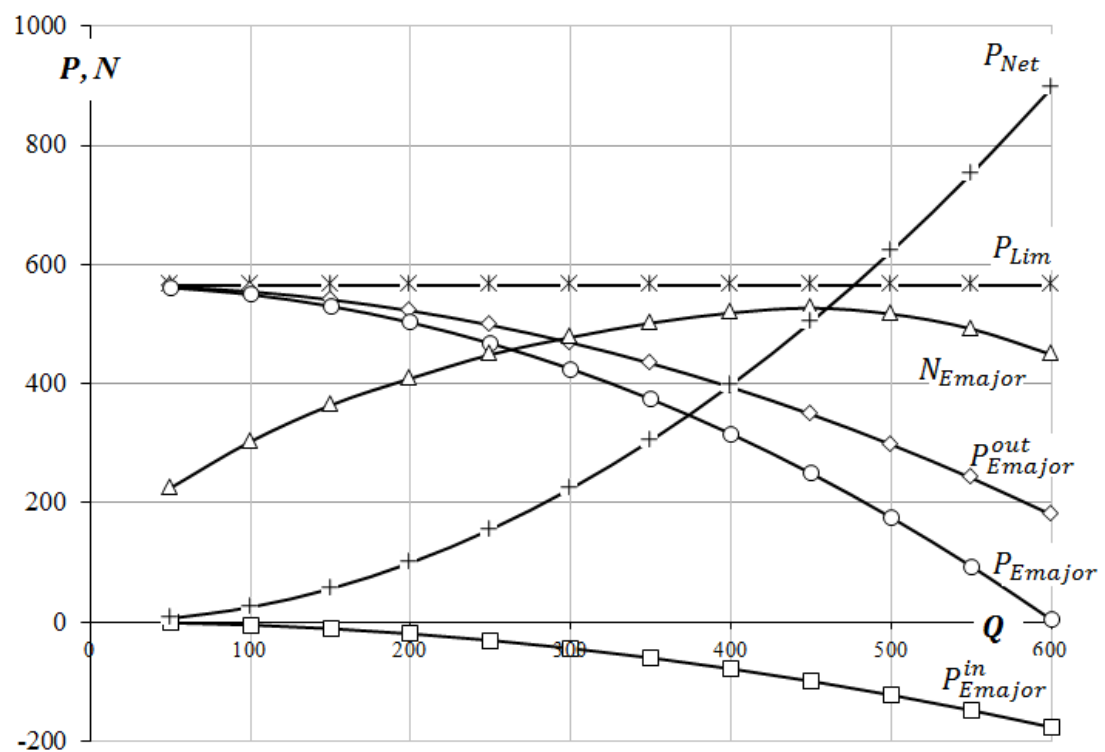
г) $Rul4_{Emajor}$ – вхід з розрядженням та вихід з тиском, тобто мережева частина розташована на обох ділянках $P_{Net}^{in} > 0$ та $P_{Net}^{out} > 0$.

Розташування основного $Emajor$ і регулюючого $Econtrol$ елементів визначає методику проведення експериментальних випробувань. При цьому по різному моделюються втрати тиску на вхідній P_{Net}^{in} і вихідній ділянках P_{Net}^{out} . Однак, як правило, при проектуванні враховують тільки параметри основного елемента $Emajor$. Тому для моделювання параметрів як вентиляторів, так і димососів, як уніфіковану використовують компоновку R_4 . При цьому вхідні і вихідні ділянки виконують роль стабілізації параметрів роботи ГАС.

Для аналізу впливу стану ГП на енергетичні характеристики ГАС, що проектується використовується так звана Р-модель (рис. 2.1, а) [13, 14]. За допомогою Р-моделі (моделі тиску) представлено якісну характеристику впливу стану ГП на енергетичні характеристики ГАС, що проектується. Показана взаємодія енергетично активного елемента з характеристиками тиску, потужності і ККД та енергетично пасивних елементів з характеристикою гідроаеродинамічного опору. У Р-моделі всі елементи ГАС наведені за величиною енергетичного потенціалу – величиною тиску P_{Net}^{out} (зона тиску) і величиною розрядження – P_{Net}^{in} (зона розрядження). Причому все обладнання характеризується величинами гідравлічних опорів (включаючи окремі елементи нагнітачів – вхідні ділянки зони розрядження від місця установки вакуумметра до робочого колеса, діаметр та кількість обертів якого впливають на збільшення потенціалу – тиску в ГАС, а також ділянки тиску від робочого колеса до місця установки манометра).



а



б

Рисунок 2.1 – Ілюстрація впливу структури ГАС, що проектується на її параметри за Р-моделлю (а – схема випробувань за правилом $Rul4_{Emajor}$; б – простір характеристик ГП в аналізованій ГАС)

Додатковим параметром Р-моделі є граничний тиск P_{Lim} , який розраховується за реальними величинами діаметра робочого колеса нагнітача D_{rotor} та кількості обертань робочого колеса n_{rotor} (об/хв)

$$P_{Lim} = ku^2 = k(\pi D_{rotor} n_{rotor})^2, \quad (2.6)$$

де u – окружна швидкість обертання у вихідному перетині робочого колеса нагнітача.

Як було зазначено вище, головна мета випробувань основного елемента на експериментальному стенді виробника – побудова простору функцій тиску, потужності та ККД у залежності від витрати робочого тіла, при заданій кількості обертів електродвигуна основного елемента (рис. 2.1, б)

За отриманими показами приладів параметрами втрат тисків і витрат робочого тіла в генеруючій частині розраховують гідроаеродинамічний опір проточної частини основного елемента

$$P_{Net} = R_{Net} Q_{Net}^{*2} = \left(\sum_{i=1}^n R_{Eminori} + \sum_{j=1}^m R_{Etechnologj} \right) (Q_{Net}^*)^2, \quad (2.7)$$

а отримані значення втрат тиску у вхідних та вихідних ділянках в основному елементу можна використовувати для розрахунку і побудови характеристики тиску генеруючої частини ГАС.

За Р-моделлю для основного елемента побудовані три характеристики тиску:

- 1 – характеристика граничного тиску, яка розрахована за (2.6);
- 2 – характеристика розрядження вхідних ділянок ГАС (ділянка розрядження). Значення розрядження цієї характеристики відповідає показаннями вакуумметра, встановленого в заданому перетині генеруючої частини ГАС;
- 3 – характеристика тиску вихідної ділянки після нагнітача (ділянка тиску). Значення тиску цієї характеристики відповідає показаннями манометра (або манометрів), встановленого (встановлених) у заданому перетині генеруючої частини ГАС;
- 4 – узагальнена характеристика тиску генеруючої частини ГАС, що

проектується, яку побудовано за наступним виразом:

$$P_{Emajor} = P_{Lim} - (P_{in} + P_{out}), \quad (2.8)$$

де $(P_{in} + P_{out})$ – втрати тиску в основному елементі.

За робочу точку РТ згідно з Р-моделлю обирають точку, яка визначається перетином характеристики тиску P_{Emajor} і втрат тиску $(P_{in} + P_{out})$.

Підсумовуючі вище вказане, для розробки технічних пропозицій щодо вибору, розміщення і об'єднання з мережею основного енергетично активного елемента $Emajor$ на основі аналізу його експериментальних довідкових характеристик тиску $P_{Emajor}(Q_{Emajor}, n_{Rotor})$, витрат потужності $N_{Emajor}(Q_{Emajor}, n_{Rotor})$ та ККД $\eta_{Emajor}(P_{Emajor}, Q_{Emajor}, n_{Rotor}, N_{Emajor})$ і в залежності від витрат робочого тіла Q_{Emajor} та кількості обертів електродвигуна n_{Rotor} розроблено структурно-параметричну модель генеруючої частини ГАС:

$$Generation = \left(\begin{array}{c} [Rul_{Emajor}] \cup (Econtrol, Emajor), \\ P_{Emajor}(Q_{Emajor}, n_{Rotor}), N_{Emajor}(Q_{Emajor}, n_{Rotor}), \\ \eta_{Emajor}(P_{Emajor}, Q_{Emajor}, n_{Rotor}, N_{Emajor}) \end{array} \right), \quad (2.9)$$

де Rul_{Emajor} – правило компонування основного генеруючого елемента $Emajor$ і елемента $Econtrol$, що регулює витрати робочого тіла положенням направляючих лопаток, а ККД основного елемента визначається при заданій кількості обертів електродвигуна n_{Rotor} як $\eta_{Emajor} = P_{Emajor}Q_{Emajor}/N_{Emajor}$.

З урахуванням структурно-параметричних моделей мережевої частини (2.4) та генеруючої частини (2.9) ГАС запропоновано для заданих витрат робочого тіла в системі $Q_{Emajor} = Q_{Net} = Q_{SysH-A}^*$ та тиску $P_{Net} = P_{major}$ розраховувати показник енергоємності гідроаеродинамічного процесу як характеристику енергозбереження у системі, що проектується:

$$K_{Sys_{H-A}} = \frac{N_{Emajor}}{Q_{Sys_{H-A}}} \quad (2.10)$$

З урахування (2.1) та (2.10) структурно-параметрична модель ГАС має вигляд:

$$Sys_{H-A} = \langle Generation, Network, K_{Sys_{H-A}} \rangle. \quad (2.11)$$

Таким чином, отримали подальший розвиток структурно-параметричні моделі генеруючої та мережевої частин гідроаеродинамічної системи, який полягає в одночасному врахуванні правил компоновки та параметрів енергетично активного та енергетично пасивних елементів системи, що дозволило формалізувати розробку технічних пропозицій у спеціалізованому АРМ.

2.3 Розробка логіко-чисельної моделі генерації технічних пропозицій

При структурно-параметричному синтезі енергозберігаючих ГАС виникає задача перебору можливих структурних рішень на основі вибору та розрахунку параметрів для кожного структурного рішення. Крім того, що ця задача є слабоформалізованою, при її вирішенні навіть з використанням обчислювальних можливостей сучасних АРМ, можлива перевірка лише незначної кількості рішень. Тому в розроблювальному спеціалізованому АРМ є актуальною підтримка автоматичної генерації технічних пропозицій, щодо структур і параметрів ГАС, задля порівняння цих пропозицій з врахуванням запропонованого показника енергоємності ГП $K_{Sys_{H-A}}$.

З метою аналізу стану ГП при проектуванні енергозберігаючих ГАС на основі розроблених СПМ мережевої та генеруючої частин для вирішення задачі автоматизованої генерації технічних пропозицій використовують моделі подання параметрів ГАС у вигляді графів.

При розробці оргграфа враховувалося, що значення вагових коефіцієнтів задають ступінь взаємного впливу зв'язаних дугою параметрів, а їх знаки

і напрямок дуги моделюють причинно-наслідкові зв'язки двох типів: «якщо $P \uparrow +0,5$ то і $Q \uparrow +0,25$ тоді $P \xrightarrow{+0,2} Q$ » і «якщо $Q \uparrow +0,8$, а $K \downarrow -0,4$ тоді $K \xrightarrow{-0,5} Q$ ». Крім того, оргграф містить підсилюючі «+» і стабілізуючі «-» цикли зворотного зв'язку (замкнені шляхи). Знак циклу визначається перемноженням знаків вагових коефіцієнтів дуг, що входять до нього.

Визначимо знаковий зважений орієнтований граф G або оргграф, як

$$G = \langle X, U \rangle, \quad (2.12)$$

де X – множина вершин оргграфа G , які відповідають параметрам СПМ мережевої (2.4) и генеруючої (2.9) частин – $\{K_{SysH-A}, N_{Emajor}, Q_{SysH-A}, P_{SysH-A}, \eta_{Emajor}, R_{Net}, n_{rotor}\}$, враховуючі такі умови:

$Q_{SysH-A} = Q_{Emajor} = Q_{Net}$ – витрати робочого тіла в системі, які є спільним параметром у мережевій та генеруючій частинах;

$P_{SysH-A} = P_{Emajor} = P_{Net}$ – тиск у системі, який є спільним параметром у мережевій та генеруючій частинах;

U – множина значень вагових коефіцієнтів дуг оргграфа G дугу утворюють упорядковані пари множини X .

Представимо множину X із (2.12) у вигляді вектора:

$$X = \{x_i\}, i = \overline{1,7}, \quad (2.13)$$

де $x_1 = K_{SysH-A}$ – показник енергоємності гідроаеродинамічного процесу;

$x_2 = N_{Emajor}$ – витрати потужності основного елемента $Emajor$;

$x_3 = Q_{SysH-A}$ – витрати робочого тіла в системі;

$x_4 = P_{SysH-A}$ – тиск у системі, який є спільним параметром у мережевій та генеруючій частинах;

$x_5 = \eta_{Emajor}$ – ККД основного елемента $Emajor$;

$x_6 = R_{Net}$ – сумарний гідроаеродинамічний опір мережевої частини;

$x_7 = n_{rotor}$ – кількість обертів електродвигуна.

Множина U значень вагових коефіцієнтів дуг орграфа G подана у вигляді квадратної матриці:

$$U = \{(x_i^* - y_{ji})/x_i^*, i = \overline{1,7}, j = \overline{1,7}, \quad (2.14)$$

де $X^* = \{x_i^*\}$ – вектор значень параметрів початкової технічної пропозиції з синтезу ГАС з врахуванням (2.13);

$Y = \{y_{ji}\}$ – матриця значень параметрів технічних пропозицій, які автоматично генеруються з врахуванням фіксованих значень параметрів вектора $X^{**} = \{x_i^{**t}\}$, який є теж технічної пропозицією, що генерується. Значення параметрів вектора X^{**} розміщуються на головній діагоналі матриці Y .

На рисунку 2.2 наведено приклади векторів X^* та X^{**} , а також матриці Y для створення орграфа G щодо оцінки стану ГП при структурно-параметричному синтезі технічних пропозицій з проектування аеродинамічної системи на базі основного елемента ВДН-25, простір параметрів структурно-параметричних моделей якої розглянуто третьому розділу дисертаційної роботи (див. рис 3.3).

X^*	X^{**}	Y						
980,00	1480,00	1480,00	0,22	2,85	65,00	185,00	920,00	84,00
0,22	0,08	980,00	0,08	1,05	65,00	68,00	320,00	80,00
1,22	4,11	1480,00	0,45	4,11	45,00	185,00	920,00	82,00
45,00	60,00	980,00	0,08	1,08	60,00	65,00	280,00	75,00
55,00	65,00	980,00	0,20	1,44	45,00	65,00	395,00	84,00
420,00	280,00	980,00	0,08	0,92	60,00	55,00	280,00	75,00
84,00	45,00	1480,00	0,23	3,57	42,00	150,00	410,00	45,00

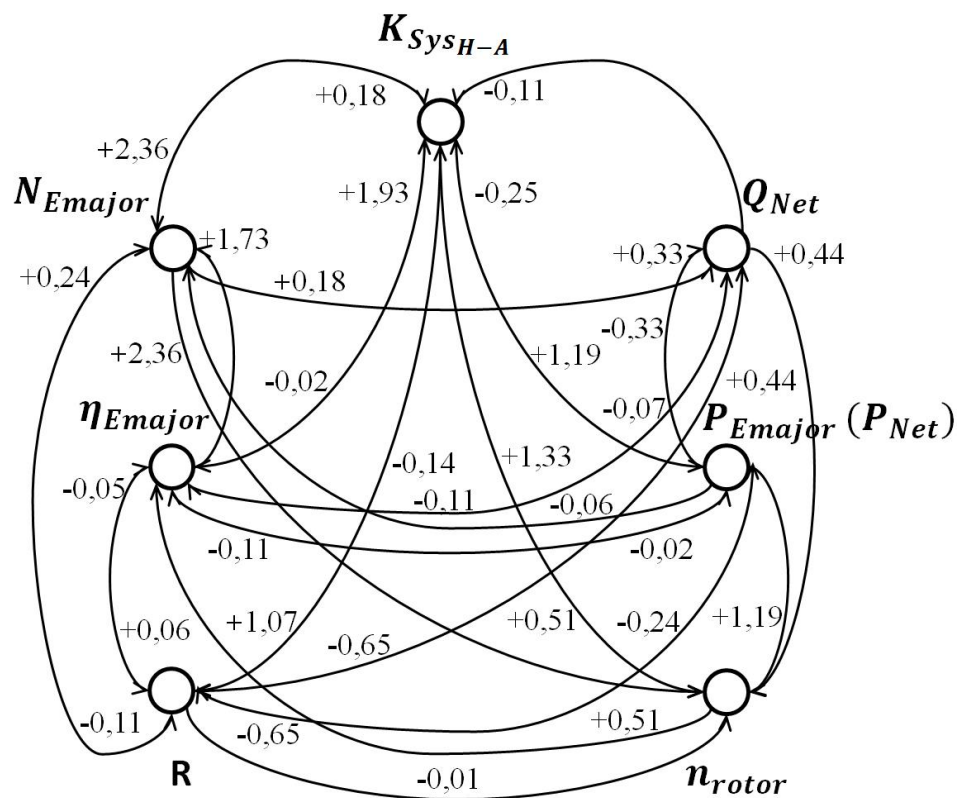
Рисунок 2.2 – Приклад вхідних даних для розрахунку матриці вагових коефіцієнтів орграфа G

В таблиці 2.3 наведено значення вагових коефіцієнтів дуг орграфа G , які розраховані у відповідності до (2.14) з урахуванням значень векторів X^* і X^{**} та матриці Y (рис. 2.2).

На основі множини значень вагових коефіцієнтів U , яка є матрицею суміжності побудованого орграфа G , загальний вигляд якого показано на рисунку 2.3.

Таблиця 2.3 – Матриця U значень вагових коефіцієнтів дуг орграфа G

	K_{SysH-A}	N_{Emajor}	Q_{Net}	P_{Emajor} (P_{Net})	η_{Emajor}	R	n_{rotor}
K_{SysH-A}	2,37	2,36	0,00	1,19	-0,02	1,07	0,51
N_{Emajor}	0,18	0,18	0,00	-0,06	0,00	-0,11	0,00
Q_{Net}	-0,11	0,18	0,33	-0,33	-0,11	-0,65	0,00
P_{Emajor} (P_{Net})	-0,25	0,00	0,33	-0,33	-0,11	-0,65	0,00
η_{Emajor}	1,93	1,73	-0,07	-0,02	-0,46	0,06	0,51
R	-0,14	0,24	0,44	-0,24	-0,05	-0,66	0,00
n_{rotor}	1,33	2,36	0,44	1,19	0,00	-0,01	0,51

Рисунок 2.3 – Загальний вигляд знакового зваженого орграфа G

На основі розробленої матриці суміжності U (табл. 2.3) орграфа (рис. 2.3) виконано ітераційне моделювання двох технічних пропозицій зі збільшення продуктивності ГАС (Q_{SysH-A}) на 44 %.

Згідно з першою технічною пропозицією, збільшення продуктивності ГАС виконується за рахунок підвищення тиску в основному елементі P_{Emajor} шляхом збільшення кількості обертів електродвигуна n_{Rotor} на 51 %. У таблиці 2.4 та на рисунку 2.4 показані значення відносних змін вагових коефіцієнтів параметрів СПМ мережевої (2.4) та генеруючої (2.9) частин ГАС, щодо моделювання *першої технічної пропозиції*.

Таблиця 2.4 – Відносні зміни значень параметрів СПМ щодо моделювання першої технічної пропозиції

	Вхідні дані		Моделювання за ітераціями								Вихідні дані
			1	2	3	4	5	6	7	Разом	
K_{SysH-A}	1,22	0	67,04	33,33	17,49	8,47	4,30	2,80	-0,13	133,29	2,85
N_{Emajor}	55	0	119,16	59,13	29,82	15,36	8,02	4,66	0,21	236,36	185
Q_{Net}	45	0	23,17	12,09	6,19	3,57	1,72	1,65	-3,94	44,44	65
$P_{Emajor} (P_{Net})$	420	0	60,02	29,89	15,03	8,43	4,46	2,61	-1,39	119,05	920
η_{Emajor}	84	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	84
R	0,22	0	-0,23	0,60	0,19	0,69	0,68	0,89	-3,84	-1,02	0,22
n_{rotor}	980	51	25,95	13,23	6,79	3,24	2,49	1,17	-1,84	51,02	1480

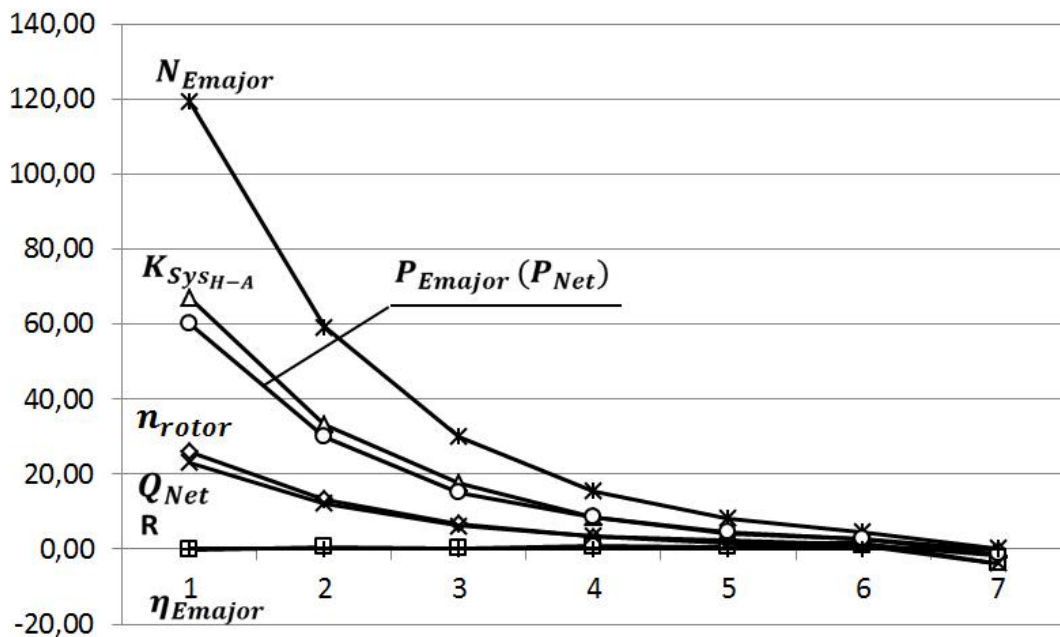


Рисунок 2.4 – Відносні зміни значень вагових коефіцієнтів параметрів СПМ щодо моделювання першої технічної пропозиції

У таблиці 2.5 показані абсолютні значення параметрів СПМ.

Таблиця 2.5 – Абсолютні зміни значень параметрів СПМ при моделюванні першої технічної пропозиції

	Вхідні дані		Моделювання за ітераціями					
			1	2	3	4	5	6
K_{SysH-A}	1,22	0	2,04	2,44	2,66	2,76	2,81	2,85
N_{Emajor}	55	0	120,54	153,06	169,46	177,91	182,33	184,89
Q_{Net}	45	0	55,43	60,86	63,65	65,26	66,03	66,77
$P_{Emajor} (P_{Net})$	420	0	672,08	797,60	860,73	896,14	914,87	925,82
η_{Emajor}	84	0	84	84	84	84	84	84
R	0,22	0	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,23
n_{rotor}	980	51	1234,3	1363,9	1430,5	1462,2	1486,6	1498,1

Аналіз результатів моделювання показує, що обрання першої пропозиції в якості проектного рішення призводить до зростання тиску P_{Emajor} і витрат потужності N_{Emajor} у 2,2 та 3,4 рази відповідно. При цьому ККД основного елемента η_{Emajor} остається незмінним, але суттєво збільшується значення енергоємності гідроаеродинамічного процесу K_{SysH-A} (у 2,3 рази).

Таким чином, наведені результати моделювання щодо першої пропозиції свідчать що таке збільшення продуктивності ГАС не є енергозберігаючим тому, що виконується за рахунок суттєвого зростання витрат потужності.

Згідно з першою технічною пропозицією, збільшення продуктивності ГАС виконується за рахунок зниження втрат тиску P_{Net} у мережевій частині шляхом зниження опорів R на 65,5 %.

В таблиці 2.6 та на рисунку 2.5 показані значення відносних змін вагових коефіцієнтів параметрів СПМ мережевої (2.4) та генеруючої (2.9) частин ГАС, щодо моделювання *другої технічної пропозиції*.

Аналіз результатів моделювання показує, що прийняття в якості проектного рішення другої технічної пропозиції призводить до несуттєвого зростання витрат потужності N_{Emajor} на 23,6 %, але забезпечує зниження тиску P_{Emajor} та енергоємності гідроаеродинамічного процесу K_{SysH-A} на 23,8 % і 14 % відповідно. При цьому ККД основного елемента η_{Emajor} теж несуттєво знижується (4,8 %).

Таким чином, обрання другої технічної пропозиції в якості проектного рішення дозволить забезпечити енергозбереження в ГАС, що проектується відповідно до запропонованого показника енергоємності гідроаеродинамічного процесу.

Таким чином, вперше розроблено логіко-чисельну модель генерації технічних пропозицій у вигляді знакового зваженого орграфа, що дозволило врахувати взаємний вплив параметрів удосконалених структурно-параметричних моделей генеруючої та мережевої частин гідроаеродинамічної системи для обґрунтування доцільності використання запропонованого показника енергоємності гідроаеродинамічного процесу як характеристики енергозбереження.

2.4 Визначення цільових параметрів структурно-параметричної моделі гідроаеродинамічної системи

З урахуванням розроблених структурно-параметричних моделей мережевої *Network* (1) і генеруючої *Generation* (3) частин ГАС, а також логіко-чисельної моделі їх параметрів для вибору енергозберігаючого технічного рішення запропоновано оцінювати енергоємність гідроаеродинамічного процесу наступним чином:

$$K_{SysH-A} = \frac{N_{Emajor}(Q_{Emajor}, n_{Rotor})}{Q_{SysH-A}} \xrightarrow{R} \min \quad (2.15)$$

за таких умов:

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{Emajor}(Q_{Emajor}, n_{Rotor}) = \\ = P_{Net} \left(\sum_i^n (R_{Eminor_i} + R_{Etechnolog_i} + R_{Eminor_{i+1}}), Q_{Net} \right), \quad (a) \quad (2.16) \\ Q_{Emajor} = Q_{Net} = 1,1Q_{SysH-A}^*. \quad (b) \end{array} \right.$$

2.5 Обговорення отриманих результатів. Висновки

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

Вперше розроблено логіко-чисельну модель генерації технічних пропозицій у вигляді знакового зваженого орграфу, що дозволило врахувати взаємний вплив параметрів удосконалених структурно-параметричних моделей генеруючої та мережевої частин гідроаеродинамічної системи для обґрунтування доцільності використання запропонованого показника енергоємності гідроаеродинамічного процесу як характеристики енергозбереження.

У відповідності із удосконаленою структурно-параметричною моделлю

мережевої частини гідраеродинамічних систем, що проектуються для заданих варіантів компонування та витрат робочого тіла, формалізовано оцінку значення сумарних втрат тиску задля вибору, розміщення і об'єднання з мережею основного енергетично активного елемента. При удосконаленні структурно-параметричної моделі генеруючої частини гідраеродинамічних систем, що проектуються, окрім правила компонування та параметрів основного елемента запропоновано враховувати показник енергоємності гідраеродинамічного процесу як характеристики енергозбереження у системі, що проектується.

Ітераційне моделювання відносних змін параметрів структурно-параметричних моделей мережевої та генеруючої частин гідраеродинамічної системи, щодо технічної пропозиції зі збільшення продуктивності системи на 44 % шляхом зниження гідравлічних опорів на 65,5 %, яку згенеровано за допомогою логіко-чисельної моделі, показало, що значення енергоємності гідраеродинамічного процесу знижується на 14 %, у той час, як значення коефіцієнту корисної дії основного елемента теж знижується на 4,8 %. Отримані результати моделювання на основі визначення взаємного впливу параметрів розробленої логіко-чисельної моделі підтвердили доцільність використання запропонованого показника енергоємності гідраеродинамічного процесу як характеристики енергозбереження в гідраеродинамічних систем, що проектуються.

Таким чином, у розділі розроблені структурно-параметричні моделі генеруючої і мережевої частин гідраеродинамічної системи та логіко-чисельна модель параметрів цих моделей. Розроблені моделі дозволяють формалізувати створення технічних пропозицій і вибір енергозберігаючого технічного рішення при проектуванні енергозберігаючих ГАС у спеціалізованому АРМ.

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНОГО СИНТЕЗУ ЕНЕРГОСБЕРІГАЮЧИХ ГІДРОАЕРОДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЇХ ДОПОМІЖНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Для формалізації технічних пропозицій, щодо проектування енергозберігаючих ГАС, у другому розділі дисертаційної роботи розроблені:

- структурно-параметричні моделі генеруючої та мережевої частин гідроаеродинамічної системи, які одночасно враховують правила компоновки і параметри енергетично активного та енергетично пасивних елементів системи;

- логіко-чисельна модель генерації технічних пропозицій у вигляді знакового зваженого орграфу, яка дозволяє врахувати взаємний вплив параметрів удосконалених структурно-параметричних моделей, а також значення показника енергоємності при моделюванні стану ГП у ГАС, що проектується.

У третьому розділі для автоматизованої генерації технічних пропозицій та раціонального вибору проектного рішення, щодо синтезу енергозберігаючих ГАС та їх допоміжних елементів розроблені два методи структурно-параметричного синтезу (МСПС):

- енергозберігаючих гідроаеродинамічних систем, який використовує запропонований показник енергоємності гідроаеродинамічного процесу в якості характеристики енергозбереження;

- енергозберігаючих фізичних прототипів допоміжних елементів гідроаеродинамічної системи, який враховує оцінки стану гідродинамічних потоків у цих прототипах, що дозволяє знизити гідравлічні опори в допоміжних елементах, які проектуються.

На основі розробленого МСПС енергозберігаючих фізичних прототипів допоміжних елементів автоматизовано створення бази елементів у спеціалізованому АРМ.

3.1 Задачі створення методів автоматизації структурно-параметричного синтезу

У першому розділі було показано, що в існуючих машинобудівних і інженерних АРМ реалізовані алгоритми параметричного синтезу технічних рішень, щодо проектування ГАС і їх елементів, а у другому розділі визначено, що створення методів автоматизованого структурно-параметричного синтезу (МСПС) технічних пропозицій щодо енергозберігаючих ГАС пов'язано з вирішенням низки задач теоретичного і технічного характеру. Тому для аналізу задач створення методів структурно-параметричного синтезу розглянемо процедури параметричного синтезу ГАС в існуючих АРМ і процедури структурно-параметричного синтезу технічних рішень щодо енергозберігаючих ГАС з врахуванням запропонованих у другому розділі СПМ і моделі генерації технічних пропозицій (рис. 3.1).

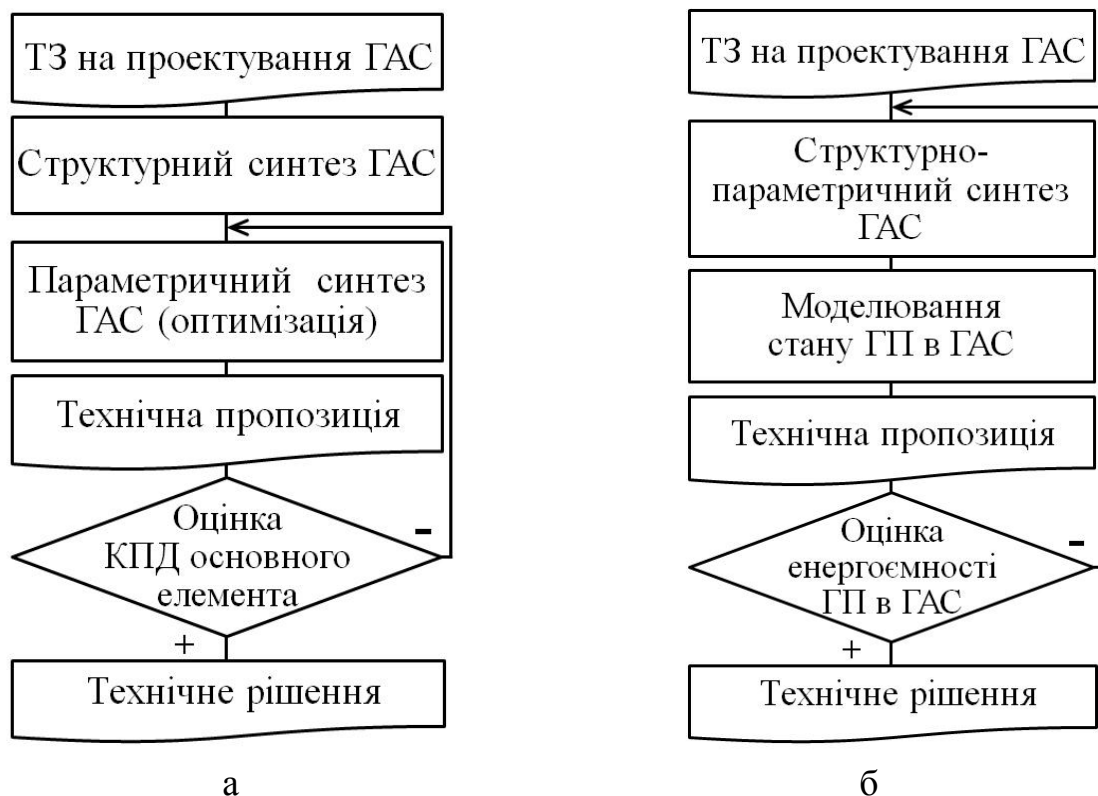


Рисунок 3.1 – Алгоритм синтезу технічного рішення щодо ГАС (а – за параметричним синтезом, б – за структурно-параметричним синтезом)

Показано, що при параметричному синтезі технічних пропозицій ГАС, що проектується налаштовуються параметри елементів, що становлять структуру системи, яку створено за процедурою структурного синтезу з використанням шаблонів типових елементів з бази проектних даних. При цьому сама структура ГАС залишається незмінною. Технічне рішення обирається з врахуванням ККД основного елемента ГАС.

При структурно-параметричному синтезі технічних пропозицій щодо проектування ГАС на основі запропонованої структури розраховуються вхідні параметри які є основою для моделювання стану ГП з метою генерації технічної пропозиції системи, що проектується. При цьому технічне рішення обирається на основі показника енергоємності ГП, яке розраховується на етапі моделювання для кожної структурно-параметричної технічної пропозиції. Таким чином з формальної точки зору, значення показника енергоємності ГП буде змінюватись для кожного структурного рішення, що генерується. Як показує аналіз технічних пропозицій, що генеруються нові структурні рішення відбуваються за рахунок заміни окремих типових допоміжних елементів на нові зі зниженими значеннями гідродинамічних опорів.

Структурно-параметричний синтез нових технічних рішень щодо ГАС та їх допоміжних елементів є завданням яке важко формалізується та потребує використання системного підходу, який засновано на використанні методів теорії графів та інтелектуального аналізу даних, для врахування стану ГП у системах, які проектуються.

Для формалізації процесу автоматизованого проектування у спеціалізованому АРМ запропоновано удосконалили метод структурно-параметричного синтезу енергозберігаючих гідродинамічних систем, який дозволяє на основі запропонованого показника енергоємності гідродинамічного процесу автоматизувати раціональний вибір енергозберігаючого проектного рішення із низки технічних пропозицій, які генеруються з використанням розробленої логіко-чисельної моделі.

3.2 Метод структурно-параметричного синтезу енергозберігаючих гідроаеродинамічних систем

З врахуванням задач пункту 3.1 розроблено метод структурно-параметричного синтезу технічних рішень, який на базі запропонованих моделей дозволяє формалізувати задачі автоматизованого проектування енергозберігаючих ГАС та їх допоміжних елементів у спеціалізованих АРМ. МСПС складається з чотирьох кроків.

Крок 1. *Структурно-параметричний синтез технічних пропозицій з проектування мережевої частини Network ГАС.*

Відповідно до розробленої у другому розділі структурно-параметричної моделі (2.4) мережевої частини ГАС з урахуванням зовнішніх умов і обмежень з бази даних енергетично пасивних елементів вибираються необхідні технологічні $E_{technolog_i}$ та допоміжні E_{minor_i} елементи, які розміщуються і об'єднуються відповідно до правил компоновання Rul_i . Для заданих витрат робочого тіла Q_{Net}^* відповідно до (2.3) оцінюються сумарні втрати тиску P_{Net} у мережевій частині ГАС, яка проектується.

Крок 2. *Структурно-параметричний синтез технічних пропозицій з проектування ГАС.*

Відповідно до розробленої у другому розділі структурно-параметричної моделі (2.9) генеруючої частини ГАС з урахуванням зовнішніх умов і обмежень та оцінки сумарних втрат тиску P_{Net} , які розраховано на кроці 1, з бази даних енергетично активних елементів вибирається необхідний основний елемент E_{major} , який розміщується, об'єднується з мережею і з регулюючим елементом $E_{control}$ відповідно до правила $Rul_{E_{major}}$. Графічна інтерпретація поля (простору) експериментальних довідкових характеристик тиску $P_{E_{major}}(Q_{E_{major}}, n_{Rotor})$, ККД $\eta_{E_{major}}(Q_{E_{major}}, n_{Rotor})$ і витрат потужності $N_{E_{major}}(Q_{E_{major}}, n_{Rotor})$ у залежності від витрат робочого тіла $Q_{E_{major}}$ і кількості обертів електродвигуна n_{Rotor} обраного E_{major} для різних положень направляючих лопаток регу-

люючого елемента $E_{control}$ показана на рисунку 3.2. Розробка технічної пропозиції закінчується побудовою в просторі експериментальних довідкових характеристик обраного E_{major} функціональної залежності сумарних втрат тиску в мережевій частині $P_{Net}(R_{Net}, Q_{Net}^2)$, які оцінювались на кроці 1 (рис 3.2).

Крок 3. *Моделювання стану ГП у ГАС, що проектується.*

Для кількісної оцінки енергоефективності кожної технічної пропозиції для заданих витрат робочого тіла $Q_{E_{major}} = Q_{Net} = Q_{Sys_{H-A}}^*$ і за умови $P_{Net}(R_{Net}, Q_{Net}^2) = P_{E_{major}}(Q_{E_{major}}, n_{Rotor})$ визначаються так звані робочі точки (рис. 3.2, а точки А0 і В), в яких $\eta_{E_{major}}(Q_{E_{major}}, n_{Rotor}) \xrightarrow{P_{E_{major}}} \max$.

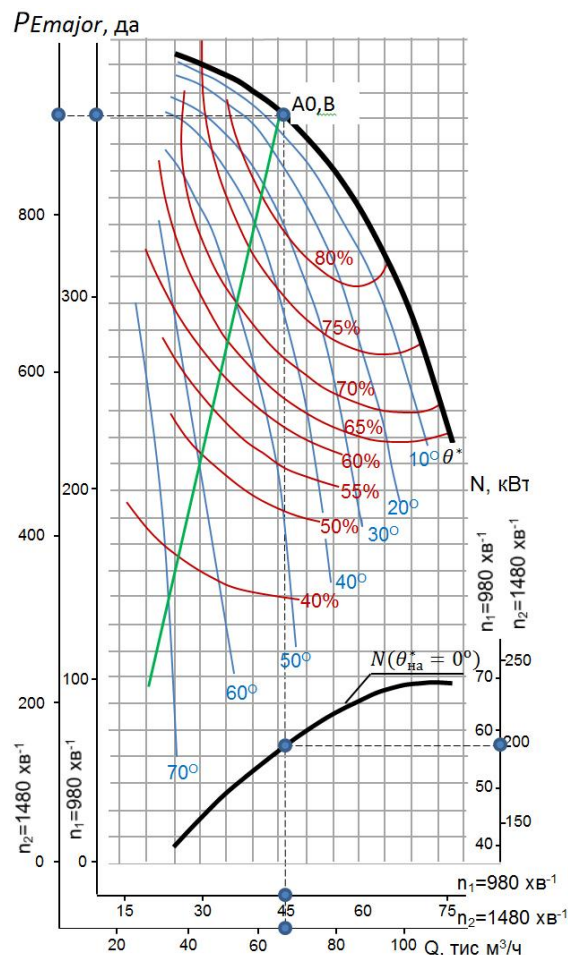


Рисунок 3.2 – Графічна інтерпретація простору параметрів структурно-параметричних моделей типового технічного рішення при проектуванні аеродинамічної системи на базі основного елемента ВДН-25

На основі розробленої у другому розділі логіко-чисельної моделі (рис. 2.3, табл. 2.3) виконано ітераційне моделювання технічних пропозицій щодо

зниження сумарних втрат тиску P_{Net} шляхом зниження сумарних опорів R_{Net} (2.2) у мережевій частині *Network* ГАС, яка проектується. Відповідно до (2.4) і (2.9) зниження сумарних опорів R_{Net} виконувалося за допомогою заміни окремих допоміжних елементів E_{minor_i} з опорами $R_{E_{minor_i}}$ на нові технічні рішення по допоміжним елементам $E_{minor_i}^R$ зі зниженими значеннями опорів $R_{E_{minor_i}^R}$ у мережевій частині *Network* ГАС, що проектується.

Технічні рішення по допоміжним елементам $E_{minor_i}^R$ синтезуються у спеціалізованому АРМ за допомогою розробленого *методу структурно-параметричного синтезу енергозберігаючих прототипів допоміжних елементів* з урахуванням стану гідроаеродинамічних потоків в цих елементах. МСПС енергозберігаючих прототипів допоміжних елементів описано в наступному пункті дисертаційної роботи та показано, що отримання кількісної та якісної оцінок стану ГП дозволяє визначити причини високих опорів в допоміжних елементах і автоматизувати синтез технічних рішень щодо їх зниження.

З урахуванням синтезованих нових технічних рішень по допоміжним елементам $E_{minor_i}^R$ зі зниженими значеннями опорів $R_{E_{minor_i}^R}$ розробляються енергозберігаючі технічні пропозиції по мережевій частині ГАС, для яких нові сумарні втрати тиску P_{Net}^R з урахуванням (2.3) оцінюються як :

$$P_{Net}^R = R_{Net} Q_{Net}^{*2} \left(\sum_{i=1}^{n-q} R_{E_{minor_i}} + \sum_{j=1}^m R_{E_{technolog_j}} + \sum_{l=1}^q R_{E_{minor_l}^R} \right) (Q_{Net}^*)^2. \quad (3.1)$$

Крок 4. *Оцінка структурно-параметричної моделі ГАС з метою синтезу енергозберігаючого проектного рішення.*

На основі запропонованого показника енергоємності гідроаеродинамічного процесу (2.15) у системі для заданих витрат робочого тіла (2.16-б) з урахуванням оцінки нових сумарних втрат тиску P_{Net}^R і умови (2.16-а) обґрунтовано вибирається енергозберігаюче проектне рішення. Йому відповідає робоча точка С на рис. 3.3, що утворена перетином характеристик

тиску в основному елементі P_{Emajor} і інтегральних втрат тиску в мережі P_{Net^R} (2.16-а) для заданого значення витрат робочого тіла $1,1Q_{SysH-A}^*$ в системі (2.16-б) з урахуванням сформульованого показника енергоємності гідроаеродинамічного процесу (2.15). При цьому, зниження опорів R (2.4) енергетично пасивних елементів призводить до розташування характеристики тиску мережі P_{Net^R} правіше її початкового аналога P_{Net} , а значення енергоємності K_{SysH-A} знижується з 1,22 до 1,077 (11,4%).

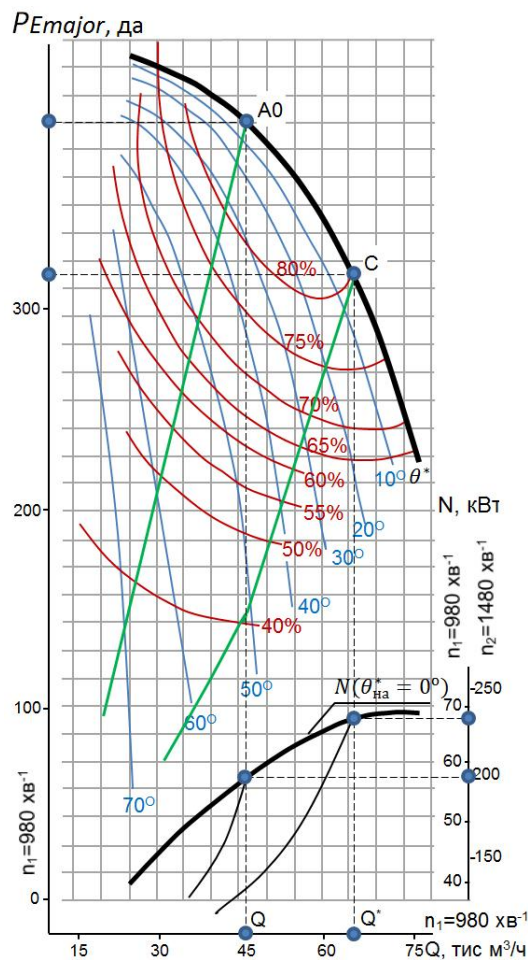


Рисунок 3.3 – Графічна інтерпретація простору параметрів структурно-параметричних моделей енергозберігаючого технічного рішення при проектуванні аеродинамічної системи на базі основного елемента ВДН-25

Таким чином, отримав подальший розвиток метод структурно-параметричного синтезу енергозберігаючих гідроаеродинамічних систем, який полягає у використанні запропонованого показника енергоємності гідроаеродинамічного процесу в якості характеристики енергозбереження, що

на основі розроблених моделей дозволило автоматизувати раціональний вибір енергозберігаючого проектного рішення у спеціалізованому АРМ.

3.3 Розробка методу синтезу енергозберігаючого фізичного прототипу допоміжного елемента

При створенні бази шаблонів енергозберігаючих допоміжних елементів ГАС у спеціалізованому АРМ отримав подальший розвиток МСПС енергозберігаючих фізичних прототипів допоміжних елементів з урахуванням кількісної та якісних оцінок стану ГП у них.

3.3.1 Алгоритм створення проектного рішення за методом синтезу енергозберігаючого фізичного прототипу допоміжного елемента

Алгоритм створення проектного рішення за МСПС енергозберігаючого фізичного прототипу допоміжного елемента GE_{minor_i} на основі технічної пропозиції E_{minor_i} показано на рисунку 3.4. Проектні процедури за МСПС енергозберігаючого фізичного прототипу розділені на три етапи – отримання кількісної та якісної оцінок стану ГП та синтезу обґрунтованого енергозберігаючого проектного рішення з їх врахуванням.

Етап 1. *Кількісна оцінка стану ГП у допоміжному елементі ГАС, який проектується.*

Для отримання *кількісної оцінки стану ГП у допоміжному елементі E_{minor_i}* на основі його геометричної моделі з бази шаблонів з урахуванням коефіцієнта масштабування $scale$ виготовляється фізично подібний прототип $E_{minor_i} \cong GE_{minor_i}$. На експериментальному стенді в умовах подібності за числом Рейнольдса $10^4 \leq Re \leq 10^6$ турбулентних ГП проводиться симуляція функціонування прототипу GE_{minor_i} як допоміжного елемента мережевої частини ГАС. Для заданих витрат робочого тіла Q_{GNet}^* вимірюються втрати тиску P_{GNet} і відповідно до (2.16) обчислюється значення гідроаеродинамічного опору $R_{GE_{minor_i}} = P_{GNet}/Q_{GNet}^{*2}$, яке потім порівнюється з нормативним

опором R_{Eminor_i} аналізованого допоміжного елемента $Eminor_i$. Для визначення причин високих нормативних значень опорів R_{Eminor_i} за допомогою методу візуалізації дискретних структур потоку, що належить до класу поляризаційно-оптичних методів візуалізації прозорих робочих тіл [88-96], отримують штучні поверхні розподілу інтенсивності (кольоровості) світла, які однозначно характеризують поле градієнтів швидкостей (тисків) ГП у прототипі $GEminor_i$ аналізованого допоміжного елемента $Eminor_i$. 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 $Eminor_i$ (рис. 3.4).

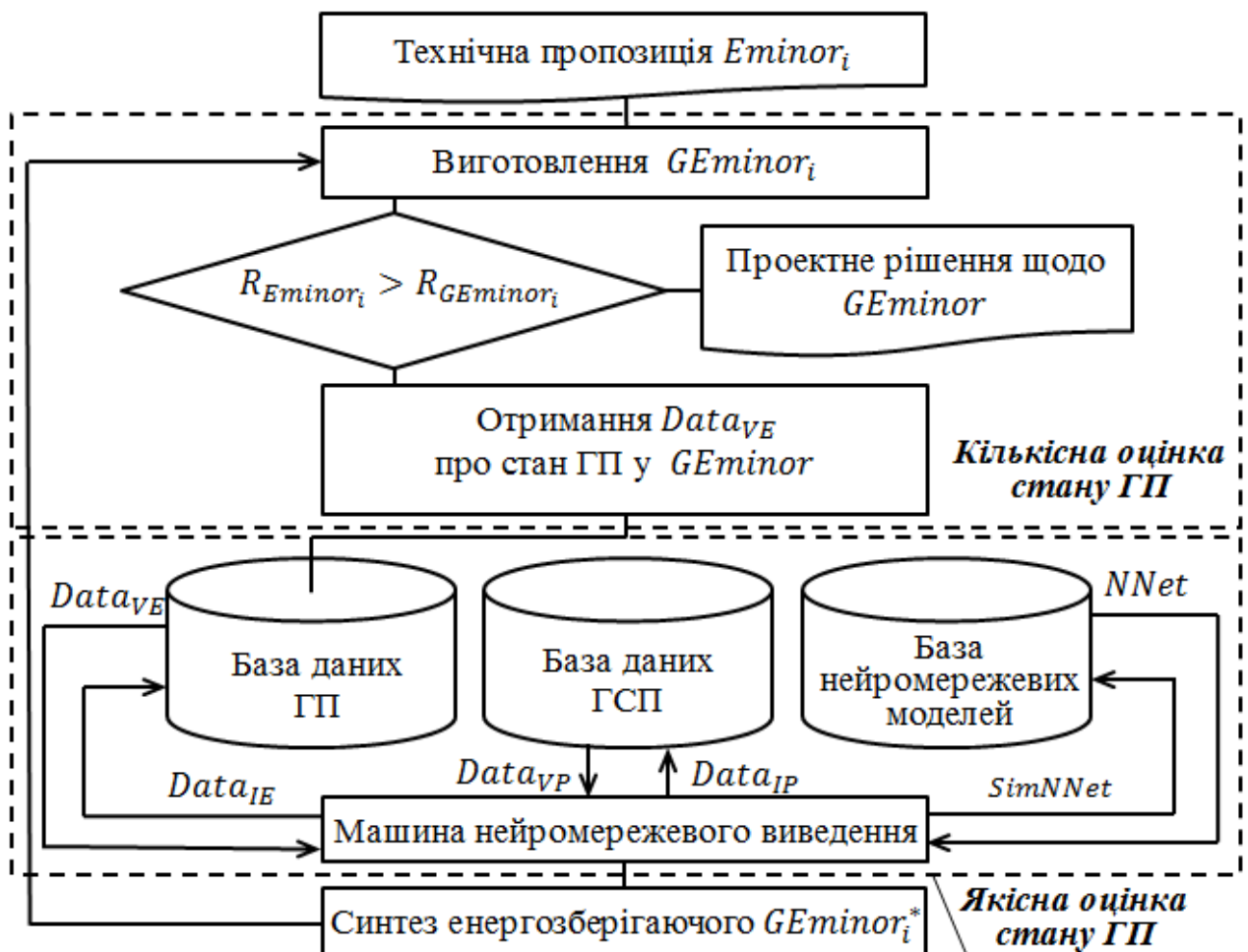


Рисунок 3.4 – Схема створення проектного рішення щодо енергозберігаючого фізичного прототипу допоміжного елемента відповідно до МСПС

Етап 2. *Якісна оцінка стану ГП у допоміжному елементі ГАС, який проектується.*

Для отримання *якісної оцінки стану ГП у вигляді інтелектуальних даних* $Data_{IE}$ у фізичному прототипі $GEminor_i$ аналізованого допоміжного елемента $Eminor_i$ використовують машину нейромережевого виведення (МНВ) (рис. 3.4).

За допомогою *машини нейромережевого виведення* на основі об'єктів $NNet$ бази нейромережевих 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 нейромережевих моделей містить процедури 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.

Результатом виконання проектів $SimNNet$ у машині нейромережевого 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 подання інтелектуальних даних у вигляді об'єднання ГСП. Інтелектуальні дані ГП ($Data_{IE}$) є формалізованим описом стану ГП щодо візуалізації причин підвищених значень гідроаеродинамічних опорів у фізичному прототипі $GEminor_i$ та зберігаються у базі даних ГП.

Етап 3. *Синтез обґрунтованого енергозберігаючого проектного рішення.* 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 $GEminor_i^*$, щодо 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 лабораторному стенді. Тобто для обґрунтування енергозбереження розраховується значення гідродинамічного опору в синтезованому фізичному прототипі за допомогою технічних засобів першого етапу.

3.3.2 Засоби отримання кількісної оцінки стану гідроаеродинамічного потоку

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

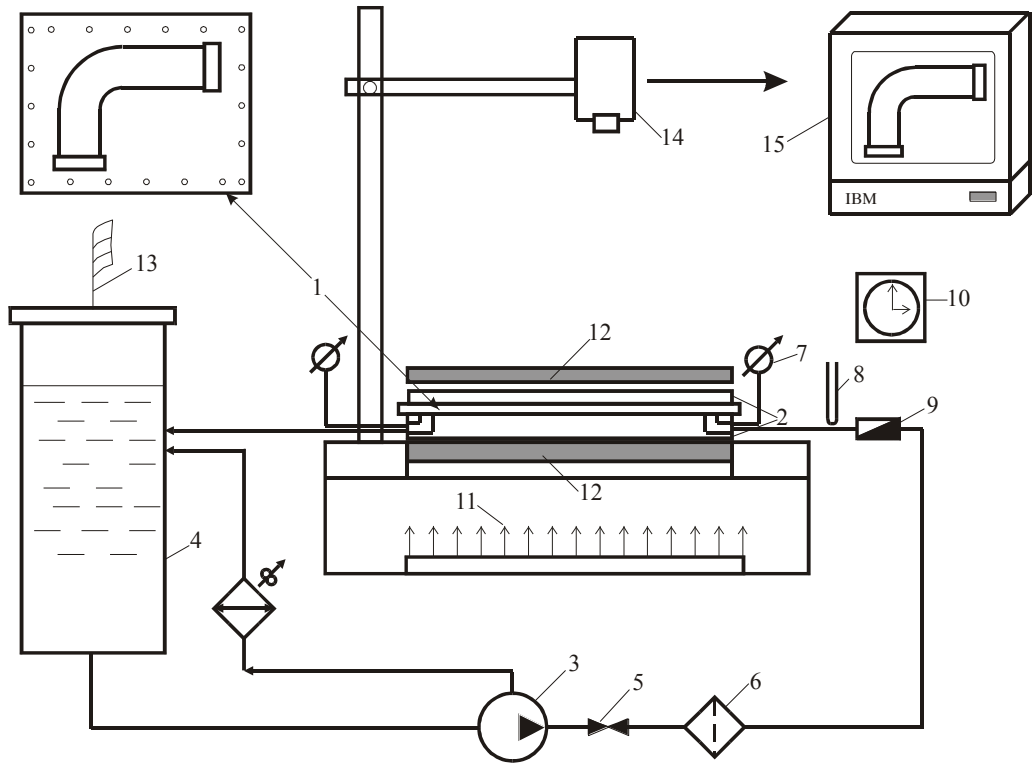
- за масштабом прототип допоміжного елемента GE_{minor_i} ;
- за умовами функціонування фізичний прототип ГАС $GSys_{H-A}$.

Фізичний прототип ГАС $GSys_{H-A}$, реалізований у вигляді *лабораторного стенду* моделювання стану ГП, який включено до складу спеціалізованого АРМ. Лабораторний стенд складається з (рис. 3.5):

- *пневматичної напірно-розподільної частини*, яка є фізичною прототипом генеруючої частини ГАС, що проектується, і забезпечує ГП із заданими параметрами по числу Рейнольдса параметрами;

- *моделюючого пристрою* який являє собою фізичний прототип GE_{minor_i} допоміжного елемента, виконаний відповідно до масштабу моделювання;

- *системи управління*, яка складається із підсистем *моніторингу* технологічних параметрів, *освітлення* та *фото-відео реєстрації*.



а



б

Рисунок 3.5 – Функціональна схема (а) та зображення (б) лабораторного стенду моделювання

Розглянемо обладнання лабораторного стенду детальніше.

Пневматична напірно-розподільна частина містить (рис. 3.5, а):

– насос ЦГ 6.3/3.2К 3 (рис. 3.5, а), який є фізичним прототипом основного елементу;

– додаткове обладнання, що забезпечує фізичну подібність ГП за числом Рейнольдса (бак компенсатор-повітрявідділювач – 4, вентиль РУ-16 – 5, фільтр механічний 205-02-11 для гасіння пульсацій – 6) (рис. 3.5, а);

– вимірювальне обладнання (манометри – 7, термopара ХК – термометр ГОСТ 5.2156-74 – 8, витратомір – 9, секундомір – 10, теплообмінник з вентилятором – 13 (рис. 3.5, а).

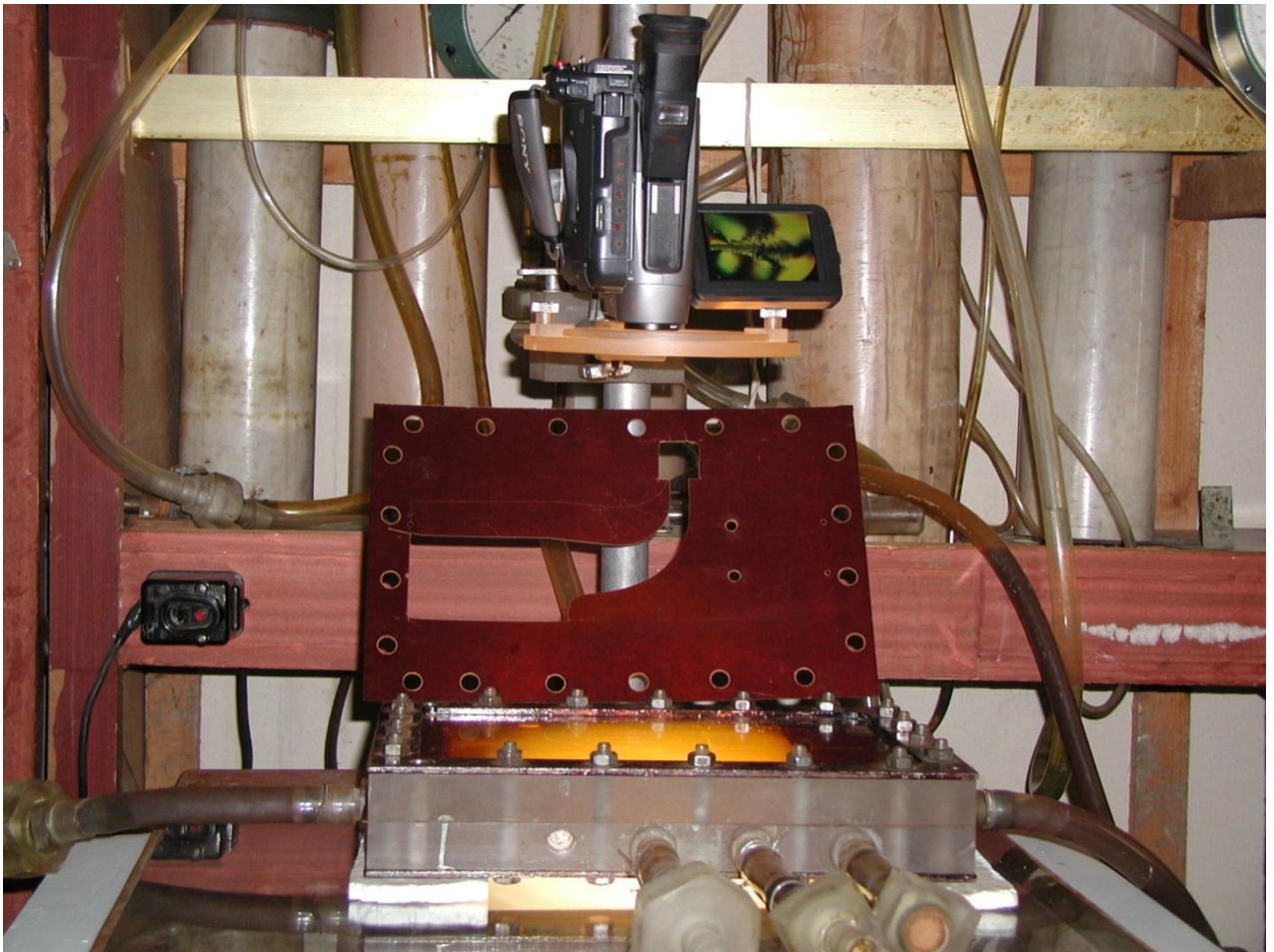
Моделюючий пристрій (рис.3.5, а) складається із:

– тонкого листа каліброваного матеріалу – 1 (гетинаксу – електрополяризаційний шаруватий пресований матеріал, просочений фенольною або епоксидною смолою) з вирізаним (штампованим) каналом, що моделює конструкцію $GEminor_i$;

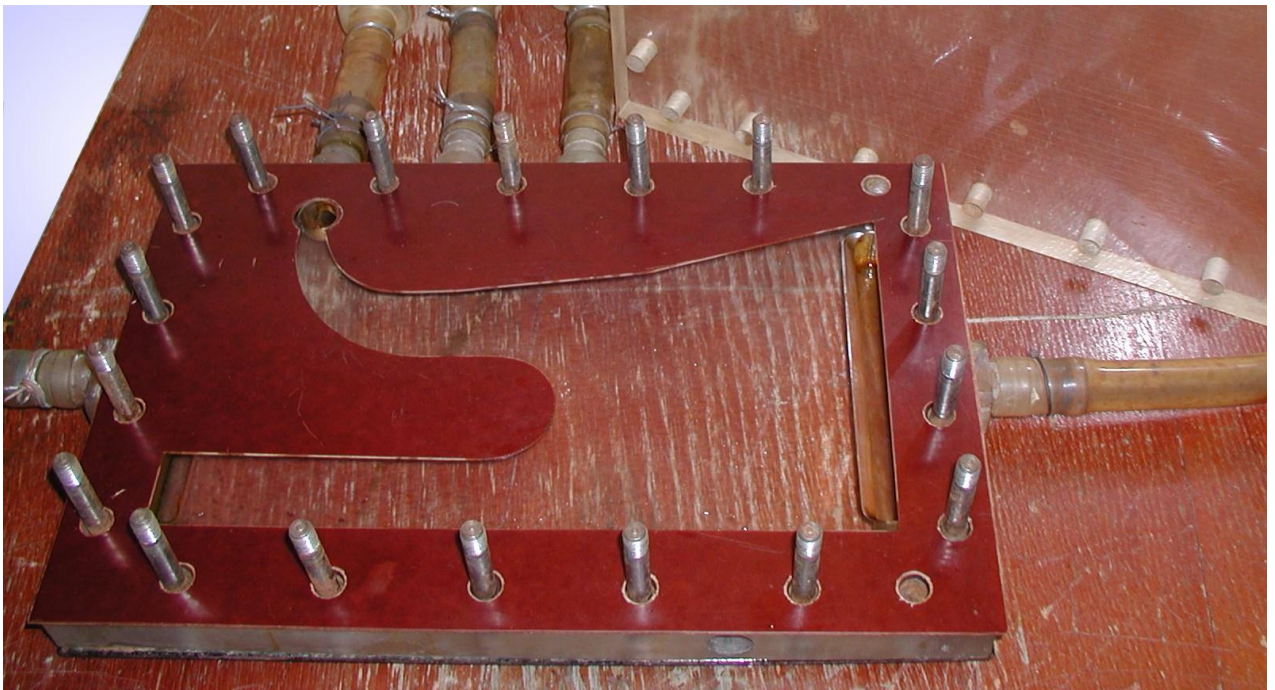
– двох плит з оптично неактивного скла – 2, між якими жорстко закріплюється лист гетинаксу; товщина плит обирається за умови забезпечення герметичності та сталості витрат робочого тіла (оптично-активної рідини) в фізичному прототипі $GEminor_i$ при заданих значеннях тиску.

На рисунку 3.6 показані зображення моделюючого пристрою в складі лабораторного стенду (рис. 3.6, а) та в розібраному вигляді (рис. 3.6, б).

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 $P_{Net} = P_{major}$ та витрат робочого тіла $Q_{Emajor} = Q_{Net} = Q_{Sys_{H-A}}^*$, що надходять від вимірювального обладнання 7 - 10 (див. рис. 3.4, а) напірно-розподільчої частини. Це, в свою чергу, з використанням (2.3) із другого розділу дозволяє розрахувати кількісну характеристику стану ГП у фізичному прототипі $GEminor_i$ у вигляді реального зна-



а



б

Рисунок 3.6 – Зображення моделюючого пристрою у складі лабораторного стану (а) і в розібраному вигляді (б)

чення гідроаеродинамічного опору R_{Eminor_i} . Порівняння отриманої реальної оцінки R_{Eminor_i} з нормативною $R_{Eminor_{norm}}$ із бази допоміжних елементів дозволяє зробити висновок необхідності отримання візуальних даних про стан ГП у допоміжному елементі задля створення модифікованого фізичного прототипу $GEminor_i^*$.

Підсистема освітлення лабораторного стенду (рис. 3.6, 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. 3.5, 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 та фото-відео реєстрації реалізовано у вигляді окремих модулів спеціалізованого АРМ проектувальника та встановлено на сервер управління (комп'ютер) – 15 (рис.3.5, 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 у фізичному прототипі $GEminor_i$ допоміжного елемента. Динамічні штучні поверхні розподілу градієнтів швидкостей (тисків) ГП отримані шляхом використання методу візуалізації дискретних структур потоку (МВДСП) [97, 98, 100, 101], 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 у рідину додається 0,06% п'ятиокису 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. 3.7):

$$Data_{VE} = \{B_{ij}\}, (i = \overline{1, Dw}, j = \overline{1, Dh}), \quad (3.2)$$

де $Data_{VE}$ – візуальні дані ГП.

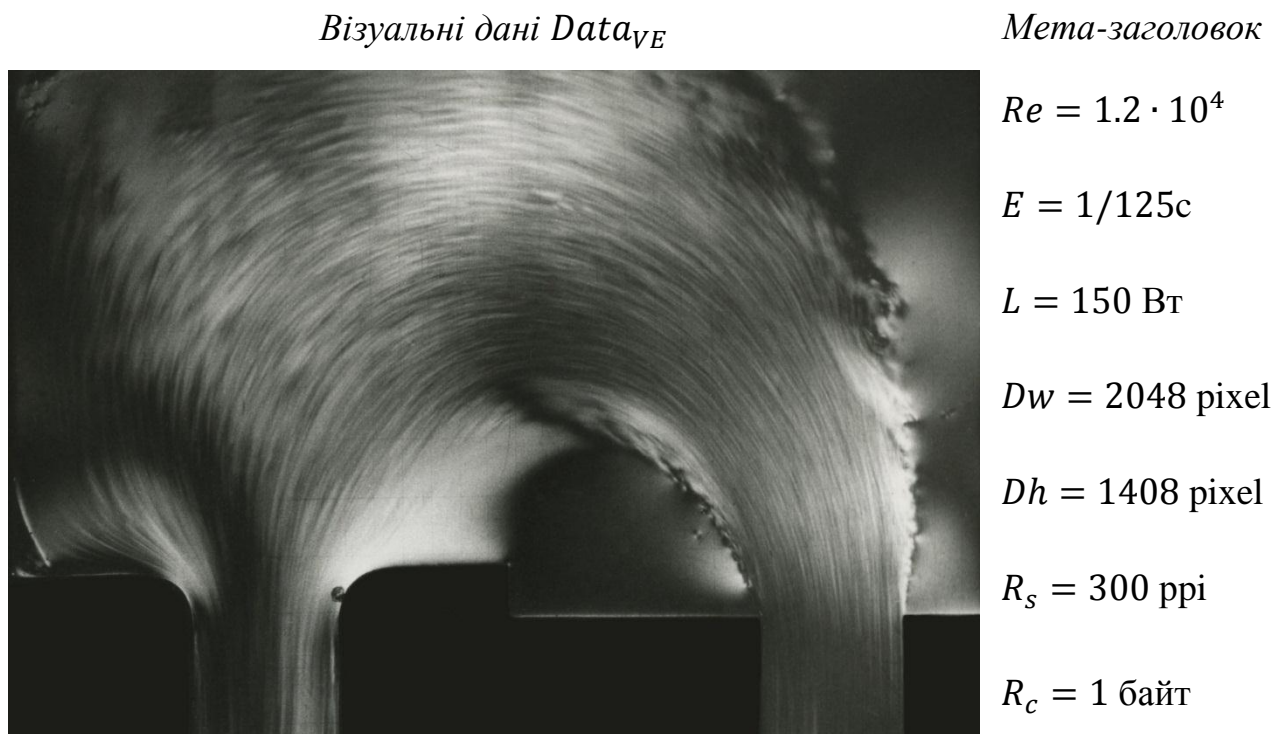


Рисунок 3.7 – Приклад візуальних даних про стан ГП у фізичному прототипі допоміжного елемента «поворот потоку на 180°»

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

$$Meta_E = \langle Re, E, L, Dw, Dh, R_s, R_c \rangle, \quad (3.3)$$

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);

Dw – горизонтальний розмір зображення в точках (pixel);

Dh – вертикальний розмір зображення в точках (pixel);

R_s – просторова роздільна здатність у 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 аналізованих допоміжних елементів $Eminor_i$ (див. рис. 3.3)

Візуальні дані ГП $Data_{VE}$, які було отримано за допомогою засобів підсистем управління освітленням і фотореєстрації на лабораторному стенді, використовуються в якості вхідних даних про стан ГП в $GEminor_i$ 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 ГАС.

3.3.3 Засоби отримання якісної оцінки стану гідроаеродинамічного потоку

Згідно з алгоритмом створення проектного рішення за МСПС енергозберігаючого фізичного прототипу допоміжного елемента $GEminor_i$ на основі технічної пропозиції $Eminor_i$, який показано на рисунку 3.4 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: гідродинамічних потоків (ГП), гідродинамічних структурних примітивів (ГСП), нейромережевих моделей.

База даних ГП містить зв'язані між собою за допомогою ідентифікатора фізичного прототипу $GEminor_i$ мета-заголовки (рис. 3.7) 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 $Data_{IP}$:

$$Data_{IE} = [R_{IE}] \bigcup_{i=1}^X \bigcup_{j=1}^Y Data_{IP_{i,j}}, \quad (3.4)$$

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, відповідно:

$$Data_{IP_X} = (Dw \cdot R_S) / d_w, \quad (3.5)$$

$$Data_{IP_Y} = (Dh \cdot R_S) / d_h, \quad (3.6)$$

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 кортежем:

$$I_GEmenor = \langle Id_E, Meta_{VE}, Data_{VE}, Data_{IE} \rangle, \quad (3.7)$$

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

База даних ГСП містить зв'язані між собою за допомогою ідентифікатора мета-заголовків, 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 у залежності від R_c (3.3) інтенсивності або кольоровості точок зображення:

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

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 (3.3).

Інтелектуальні дані ГСП визначимо як:

$$Data_{IP} = \{Bk_{ij}, i = \overline{1, d_w}, j = \overline{1, d_h}\}, \quad (3.9)$$

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

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

$$Meta_{IP} = \langle d_w, d_h, F, K \rangle, \quad (3.10)$$

де F – множина ознак ГСП;

K – номер класу ГСП.

Візуальні (3.8) та інтелектуальні данні ГСП (3.9) разом з мета-заголовком (3.10) та ідентифікатором становлять запис таблиці бази даних ГСП, структура якої задається кортежем:

$$I_{Prim} = \langle Id_p, Meta_{IP}, Data_{VP}, Data_{IP} \rangle, \quad (3.11)$$

де Id_p – ідентифікатор ГСП.

База нейромережеских 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.

3.3.3.1 Створення бази даних гідродинамічних структурних примітивів

Для побудови бази даних ГСП запропоновано режим навчання МНВ, який включає 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 нейромережевих моделей для отримання $Data_{IP}$.

Визначення класів у прототипі K у $Meta_{IP}$ здійснювалось за допомогою процедури кластеризації візуальних даних $Data_{VP}$ заснованій на застосуванні самоорганізованих карт Кохонена (self-organizing map – SOM) [63, 64, 65, 72].

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 [9]. Найбільш часто SOM мають одновимірну (1D) або двовимірну (2D) топологію в залежності від розташування нейронів у 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 та горизонтальні латеральні зв'язки, а якщо в кутах гексагональної решітки тоді – вертикальні та діагональні зв'язки.

Відображення вхідних візуальних даних ГСП $Data_{VP}$ у 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. Відображення $Data_{VP_i}$ у двовимірний простір ознак SOM показано на рис 3.8.

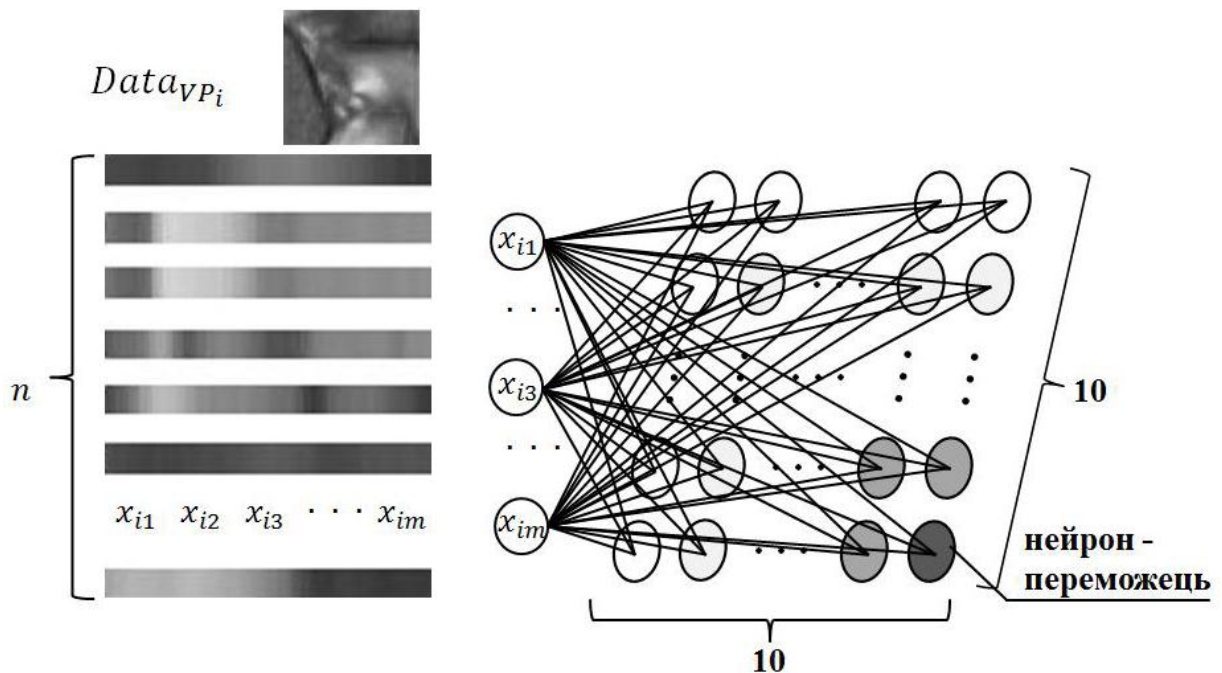


Рисунок 3.8 – Відображення візуальних даних ГСП у двовимірну топологію SOM

Таким чином формується простір класів, який дозволяє визначити схожі морфологічні типи ГСП, які формують класи (рис 3.8):

– 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;

– ГСП «потік» (flow) – потокові ГСП, що відображають зону оптично активної рідини в шаблоні моделювання, яка характеризує зміну величини пульсаційної складової швидкості в поле потоку.

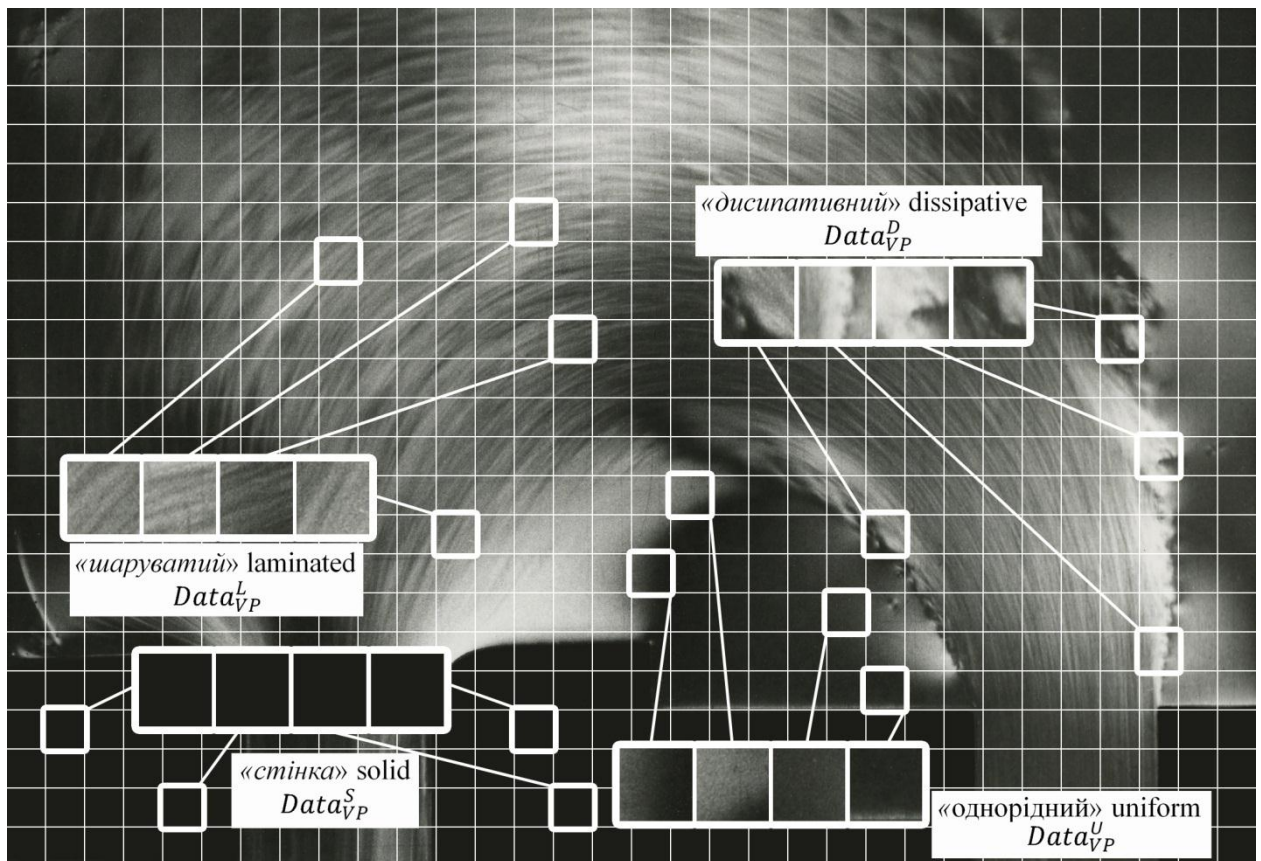


Рисунок 3.9 – Візуалізація основних класів ГСП

У 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, тільки 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 [102, 103, 104]. Математична статистика оперує з оцінками зазначених моментів.

Для візуальних даних ГСП $Data_{VP}$ згідно (3.10) оцінка початкових моментів m_n n -го порядку має вигляд:

$$m_n = \frac{1}{d_W * d_H} \sum_{i=1}^{d_W} \sum_{j=1}^{d_H} (B_{ij})^n. \quad (3.12)$$

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

реднім квадрантом; моменти третього і четвертого порядків використовуються для обчислення коефіцієнтів асиметрії та ексцесу [101-106].

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

$$u_n = \frac{1}{d_W * d_H} \left(\sum_{i=1}^{d_W} \sum_{j=1}^{d_H} B_{ij} - m_1 \right)^n. \quad (3.13)$$

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 у 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.

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 .

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)
$u_4 = m_4 - 4m_1m_3 - 6m_1^2m_2 - 3m_1^4$	$Kur = u_4/\sigma^4$

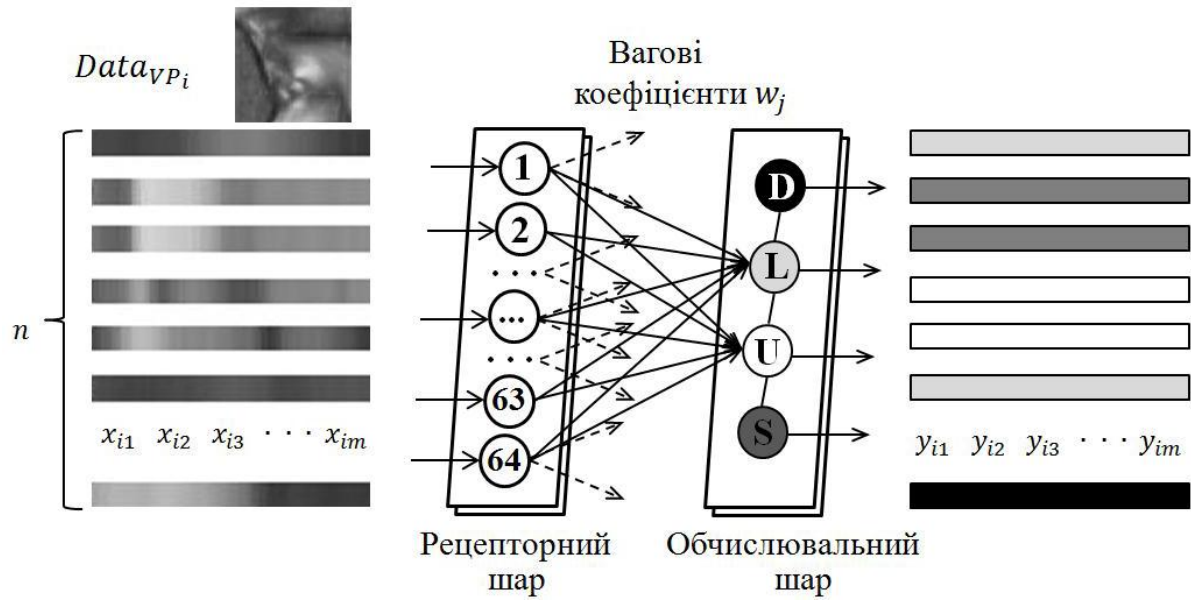
Коефіцієнт ексцесу Kur , показує наскільки вибірка по нахилу кривої функції щільності ймовірності відповідає нормальному закону («крутість»

розподілу) і обчислюється на основі центрального моменту четвертого порядку u_4 . Коефіцієнт ексцесу нормального розподілу дорівнює нулю. Якщо крива щільності ймовірностей має більш високу та гостру вершину у порівнянні з нормальним розподілом, то ексцес позитивний, якщо нижчу та пологіу – негативний.

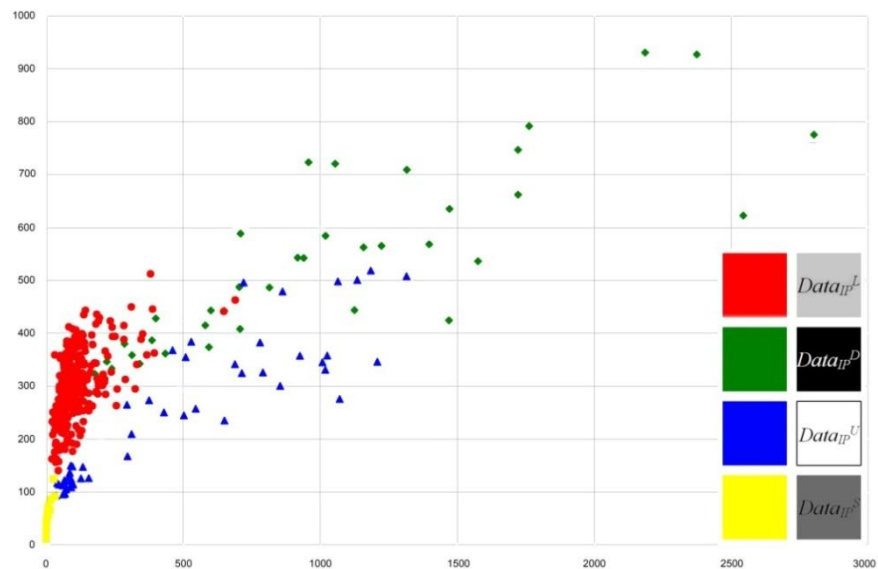
Створення проекту нейронної мережі для отримання $Data_{IP}$. Побудова бази даних ГСП у відповідності із запропонованим кортежем (3.11) завершується створенням проекту нейронної мережі *SimNNet* на основі об'єктів *NNet* бази нейромережевих моделей для автоматизації отримання $Data_{IP}$.

Задля навчання в МНВ об'єкту *NNet* задано одномірну 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 (рис.3.10).

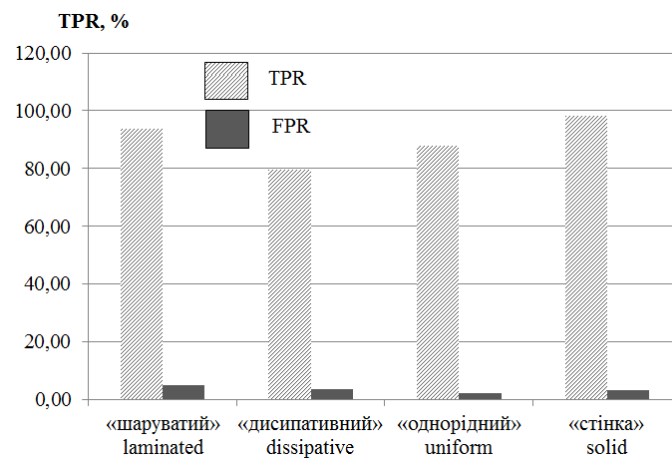
Метою процедури створення проекту *SimNNet_SOM* є отримання векторів статистичних ознак, завдяки яким можливо відображення найбільш характерних вхідних півтонових ГСП у вихідний простір, який відповідає чотирьом класам ГСП. Вихідний простір відображається за допомогою чотирьох псевдокольорів. Процедура відображення вхідних характерних ГСП у вихідний простір реалізована наступним чином. На вхід рецепторного шару SOM послідовно подають підобласті $Data_{VP_i}$ вхідного простору X . При цьому вхідний простір X штучно сформовано із зображень еталонних представників півтонових ГСП кожного із морфологічних типів (див. рис. 3.9) ($Data_{VP_i}^S, Data_{VP_i}^U, Data_{VP_i}^D, Data_{VP_i}^L$), а підобласть $Data_{VP_i}$ формується у вигляді вектору-рядку з вхідного простору. Внаслідок конкурентної самоорганізації вагові коефіцієнти нейронів обчислювального шару адаптуються так, щоб максимальним чином реагувати на схожі послідовності даних з підобластей $Data_{VP_i}$ вхідного простору X і мінімальним на послідовності, що відрізняються. Результатом самоорганізації є матриця W адаптованих ваго-



а



б



в

Рисунок 3.10 – Результат створення проекту нейронної мережі (а – схема навчання, б – результат класифікації, в – помилки першого та другого роду)

вих коефіцієнтів прямих зв'язків нейронів обчислювального шару, яка складає простір ознак (рис. 3.10). 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 *SimNNet_SOM* зберігається в базі нейромережових моделей, а інтелектуальні ГСП відповідних класів у базі даних ГСП. Таким чином, реалізацією процедури автоматизації отримання $Data_{IP}$ завершується створення бази даних ГСП.

3.3.3.2 Створення бази даних гідродинамічних потоків

Для побудови бази даних ГП у відповідності зі запропонованим кортежем (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. 3.11), 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. 3.11, а) на візуальні дані ГСП $Data_{VP}$ передбачає формування в дискретних просторових координатах зображення у вигляді.

$$Data_{VE} = \sum_{i=1}^X \sum_{j=1}^Y Data_{VP_{ij}} . \quad (3.14)$$

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

При дискретизації завдання визначення розмірів d_H та d_W в просторовій області (площині XY -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 $GEminor_i$ 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 :

$$f: \langle d_W, d_H, \{B_{ij}\} \rangle \rightarrow \langle 1, M_{VP}, \{B_{ij}\} \rangle. \quad (3.15)$$

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:

$$i(w_j) = \arg \min_i \|v_j - w_j\|, \quad i = \overline{1, L_{SOM}}, \quad j = \overline{1, M_{VP}}. \quad (3.16)$$

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.

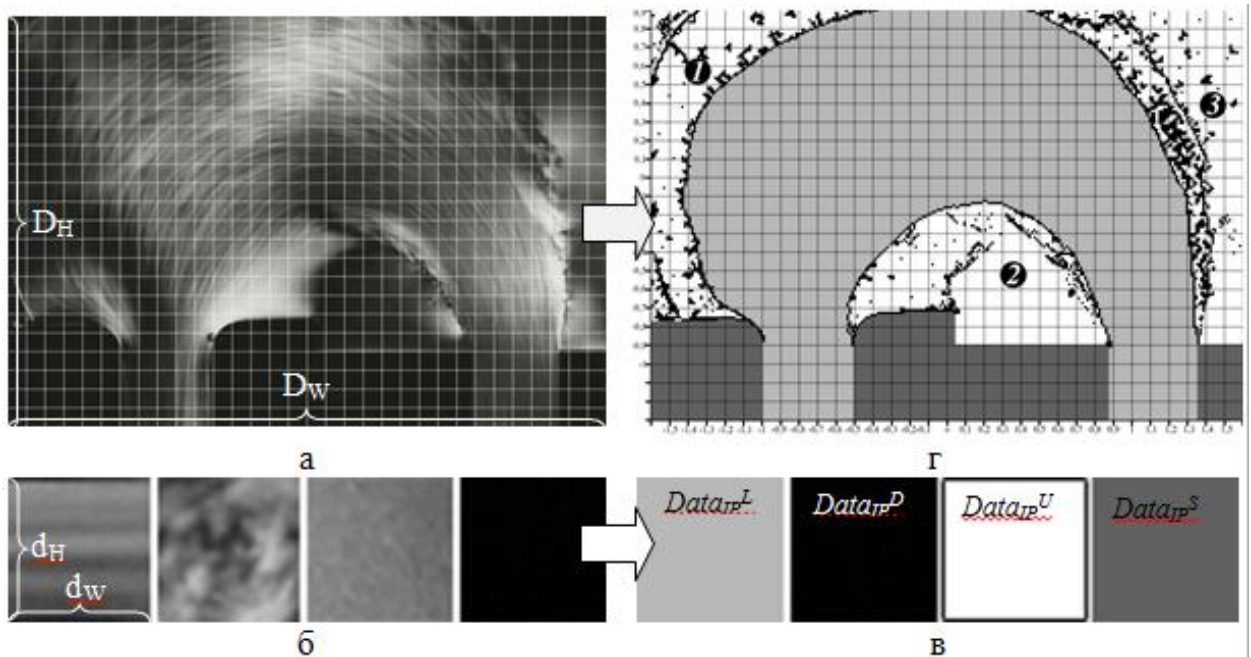


Рисунок 3.11 – Результати роботи МНВ в режимі сегментації візуальних даних в фізичному прототипі допоміжного елемента «поворот потоку на 180° » (а – візуальні дані ГП, б, в – візуальні та інтелектуальні дані ГСП, г – інтелектуальні дані ГП)

Практичне використання МНВ у режимі сегментації візуальних даних у фізичному прототипі допоміжного елемента «поворот потоку на 180° » (рис. 3.11, а, б) дозволяє виділити три зв'язаних області які утворено об'єднанням ГСП дисипативного $Data_{GP}^D$ і однорідного $Data_{GP}^U$ класів (рис. 3.10, в) в інтелектуальних даних ГП $Data_{VE}$ (рис. 3.10, г). На рисунку 3.10, г ці області позначено номерами 1, 2 та 3.

3.3.4 Синтез енергозберігаючого фізичного прототипу допоміжного елемента.

У відповідності до МСПС енергозберігаючого фізичного прототипу допоміжного елемента GE_{minor_i} враховуючи схему наведену на рисунку 3.4 розглянемо на прикладі допоміжного елемента «поворот потоку на 180° » більш детальніше 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.3.11, 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 нейромережових моделей. В якості об'єкта запропоновано використати радіальну базисну нейронну мережу (Radial Basis Function Network – RBF) тому, що вона демонструє хороші властивості, щодо апроксимації складних нелінійних функцій [63, 72, 75].

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. 3.12, б).

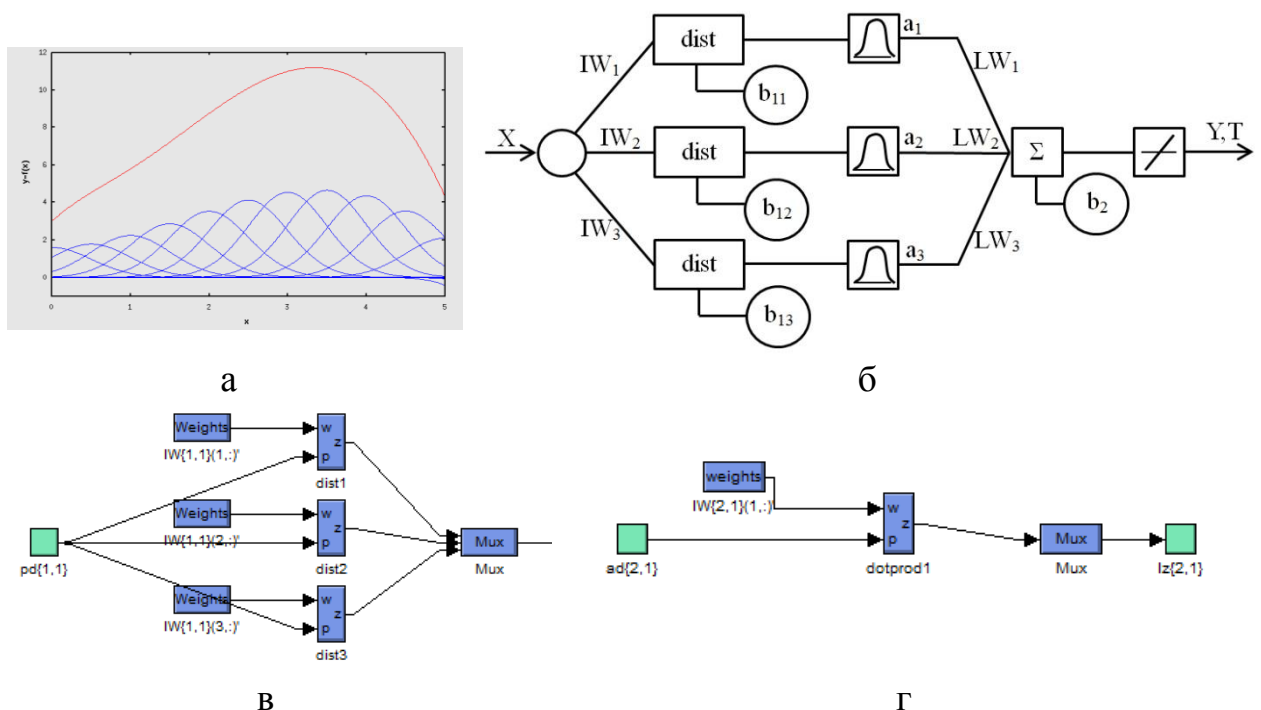


Рисунок 3.12 – Нейронна мережа RBF (а – ілюстрації локальної апроксимації; б – структура мережі; структура шарів проекту $SimNrb_1$: в – радіально-базисний шар, г – лінійний шар)

Еталонні вектори 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. 3.12, а). Так, наприклад, червона крива подана 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 $SimNrb_1$ для локальної апроксимації *функцій огинаючих* інтелектуальних даних, що утворено оптично активними зв'язаними областями ГСП $Data_{IP}^D$ і $Data_{IP}^U$ класів у фізичному прототипі допоміжного елемента «поворот потоку на 180° » для того, щоб прихований шар був радіально симетричним необхідно враховувати:

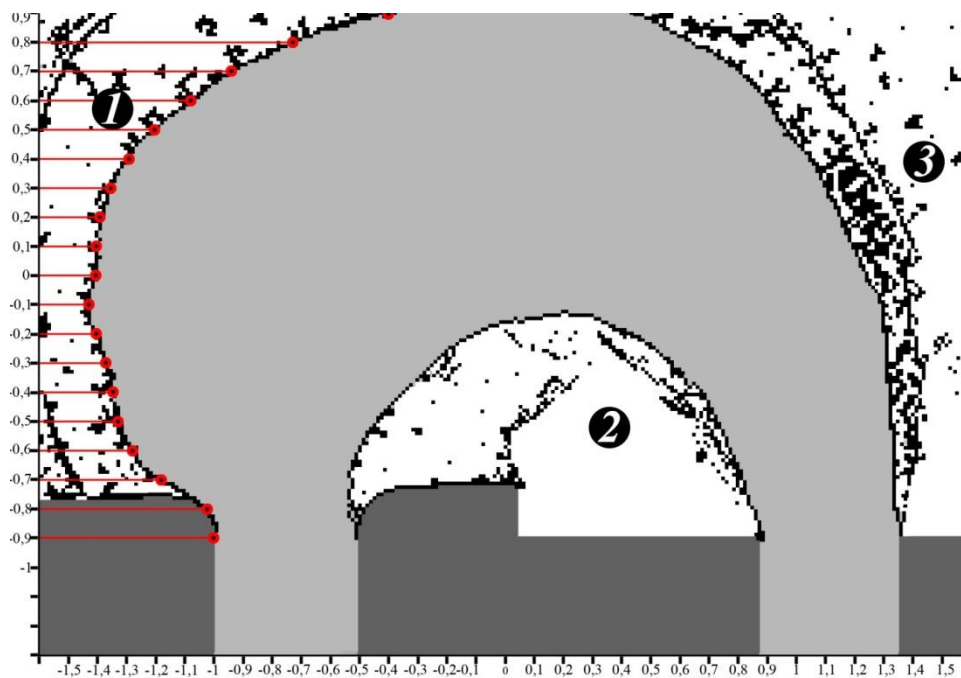
- наявність центру, представленого у вигляді вектора у вхідному просторі; зазвичай цей вектор зберігається в просторі ваг від вхідного шару до шару шаблонів;

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

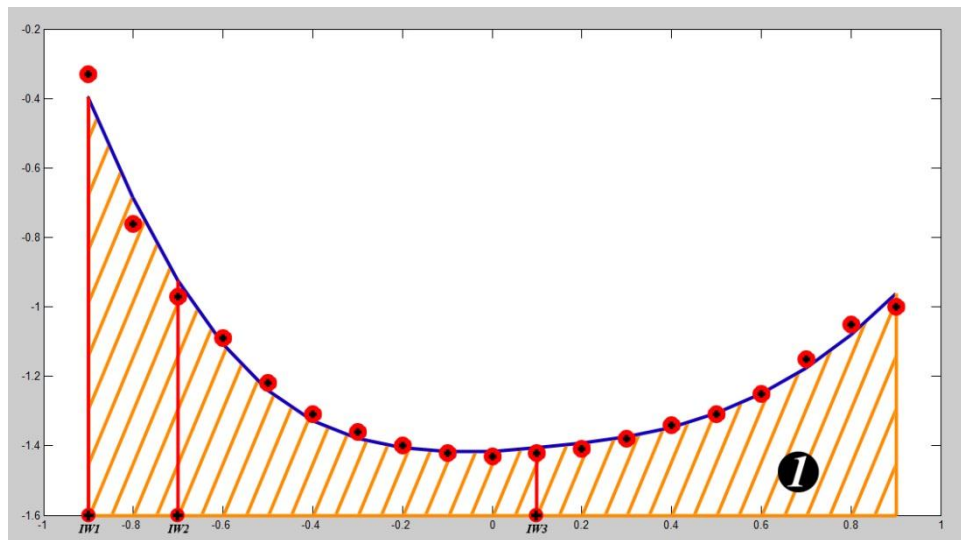
- наявність спеціальної функції активації нейронів прихованого шару, яка задає обраний спосіб вимірювання відстані; зазвичай використовується функція Гауса, істотно підсилює малу різницю між вхідним і еталонними векторами.

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. 3.13, а), що отримані відповідно до координат лінії яка розділяє зв'язані області ГСП $Data_{IP}^D$ і $Data_{IP}^U$ класів та класу $Data_{VP_i}^L$.



а



б

Рисунок 3.13 – Формування вхідних та даних проекту $SimNrb_i$
 (а – масиви вхідних X і цільових T векторів; б – відображення цільових та вихідних даних та аргументів)

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. 3.12, в, г).

Значення середньоквадратичної помилки мережі визначається:

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

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:

$$A_l = radbas(\|IW_l - X_j\|) b_l^1, \text{ radbas}(n) = e^{-n^2}.$$

По аналогії з першим проектом $SimNrb_1$ для отримання форми оптично неактивних вставок для областей 2 та 3 за допомогою МНВ у режимі навчання створено ще 2 проекти $SimNrb_2$ та $SimNrb_3$ радіально-базисних нейронних мереж з бази нейромережеских моделей. Результати виконання цих проектів показані на рисунку 3.14, а.

На рисунку 3.14, б показано результати роботи МНВ з синтезу енергозберігаючого фізичного прототипу допоміжного елемента «поворот потоку на 180° » шляхом заміщення зв'язаних оптично активних невпорядкованих 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. 3.14, в).

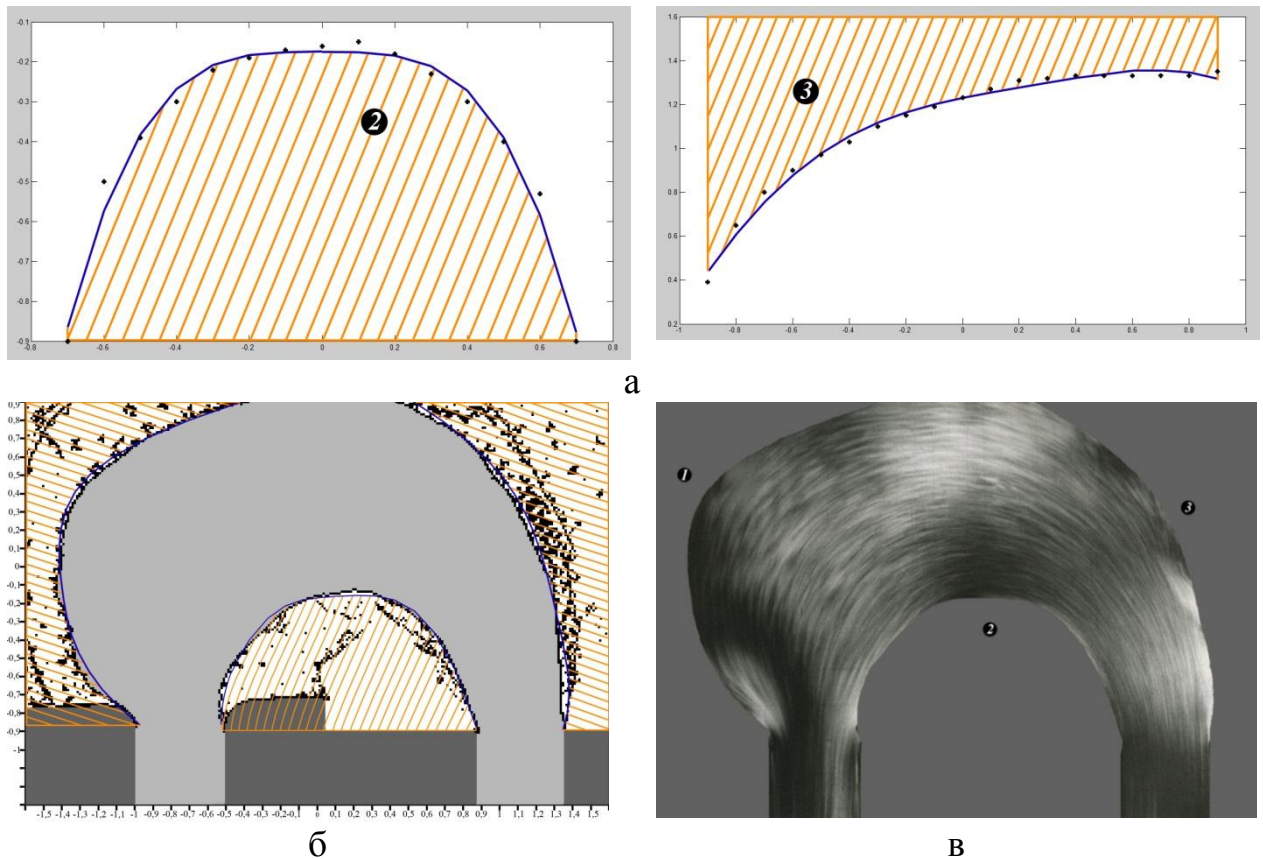
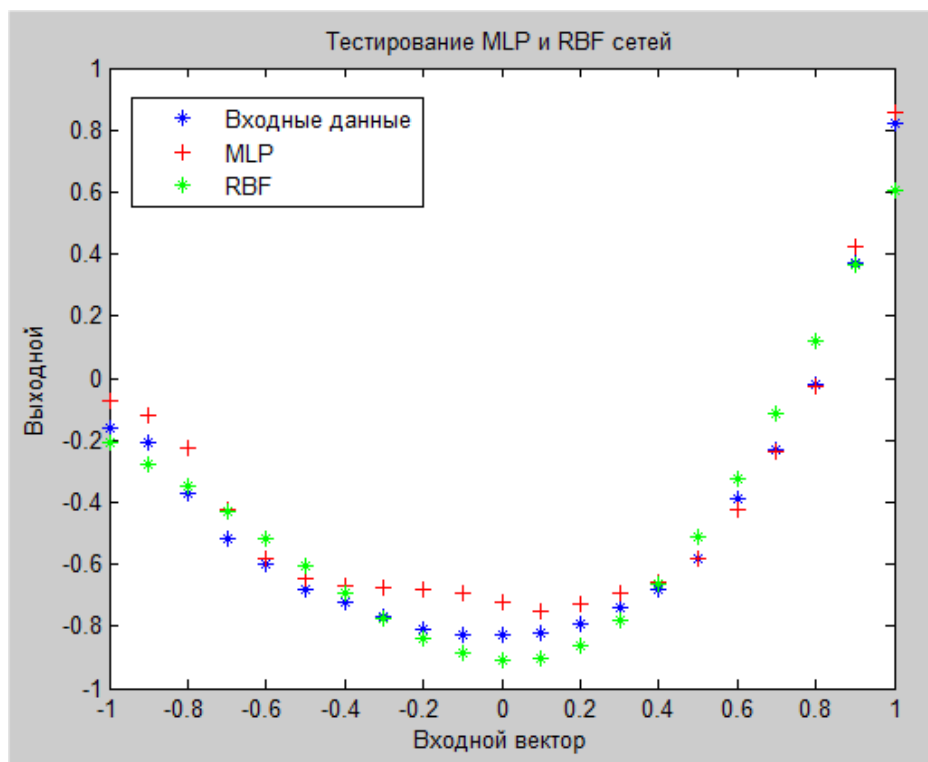


Рисунок 3.14 – Результати роботи МНВ з синтезу енергозберігаючого фізичного прототипу допоміжного елемента «поворот потоку на 180° » (а – результати роботи проектів $SimNrb_{i2}$ та $SimNrb_{i3}$, б – синтезовані форми оптично неактивних вставок; в зображення модифікованого фізичного прототипу $GEminor_i^*$

Отримання кількісної оцінки стану ГП у 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 проектного рішення для елемента «поворот потоку на 180° » зі зниженим в 2,6 рази (з 0,040 до 0,015) значенням гідраеродинамічного опору.

У висновку до викладеного матеріалу з використання нейронних мереж для апроксимації функцій огинаючих зв'язних областей, які утворено інтелектуальними даними ГП наведено порівняння з можливостями багатосарових персептронів (multilayer perceptron MLP) щодо вирішення задач апроксимації функцій (рис. 3.15).



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	Однчасне, більш повільне	Роздільне, більш швидке Потрібно дуже багато навчальних даних для прийняттого результату
Техніка апроксимації	$F(x) = \sum_{i=1}^{m_1} a_i \varphi(w_i^T x + b_i)$	$F(x) = \sum_{i=1}^{m_1} a_i \exp\left(-\frac{\ x - t_i\ ^2}{2\sigma^2}\right)$

Рисунок 3.15 – Порівняльні характеристики мереж MLP та RBF щодо апроксимації функцій

Багатошарові перцептрони 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.

3.4 Обговорення отриманих результатів. Висновки

Таким чином, у даному розділі наведено результати удосконалення МСПС енергозберігаючих ГАС та їх допоміжних елементів для формалізації процесу автоматизованого проектування у спеціалізованому АРМ.

Показано, що основою для розробки МСПС енергозберігаючих ГАС є удосконалені в другому розділі СПМ мережевої та генеруючої частин ГАС та розроблена логіко-чисельна модель генерації технічних пропозицій.

Розроблено алгоритм структурно-параметричного синтезу технічного рішення щодо автоматизації проектування ГАС, у відповідності до якого розглянуті кроки прийняття технічного рішення за МСПС енергозберігаючих ГАС.

Показано, що подальший розвиток МСПС енергозберігаючих ГАС полягає у використанні запропонованого показника енергоємності гідроаеродинамічного процесу в якості характеристики енергозбереження, що на основі розроблених моделей дозволило автоматизувати раціональний вибір енергозберігаючого проектного рішення із низки технічних пропозицій, які генеруються з використанням розробленої логіко-чисельної моделі.

Для формалізації процесу створення бази енергозберігаючих допоміжних елементів при автоматизованому проектуванні у спеціалізованому АРМ розроблено МСПС енергозберігаючих фізичних прототипів допоміжних елементів ГАС.

Показано, до основи МСПС енергозберігаючих фізичних прототипів допоміжних елементів ГАС покладено кількісну та якісну оцінки 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 1,5 – 5 разів, залежно від типу енергозберігаючого допоміжного елемента.

РОЗДІЛ 4

ТЕХНОЛОГІЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ
ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ГІДРОАЕРОДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ ТА ЇХ
ДОПОМІЖНИХ ЕЛЕМЕНТІВ У СПЕЦІАЛІЗОВАНОМУ АРМ

У розділі створено технологію автоматизованого проектування енергозберігаючих гідроаеродинамічних систем та їх допоміжних елементів (ТАП ЕГАС(Е)) у спеціалізованому АРМ проектувальника на базі розроблених моделей і методів структурно-параметричного синтезу.

На основі створеної ТАП ЕГАС(Е) розроблено прикладне програмне забезпечення спеціалізованого АРМ проектувальника.

Використання розробленого програмного забезпечення дає можливість автоматизувати виконання таких завдань:

- структурно-параметричних енергозберігаючих фізичних прототипів допоміжних елементів ГАС з врахуванням результатів моделювання стану реальних гідроаеродинамічних потоків у цих прототипах задля усунення причин високих гідравлічних опорів;
- створення проектних рішень (шаблонів) щодо енергозберігаючих допоміжних елементів на основі синтезованих прототипів;
- зберігання модифікованих шаблонів допоміжних елементів зі зниженим гідравлічним опором у базі допоміжних елементів
- використання модифікованих шаблонів допоміжних елементів задля структурно-параметричного синтезу проектного рішення мережевої частини ГАС зі зниженими втратами тиску;
- обґрунтований вибір генеруючого елемента з бази даних основних елементів з врахуванням енергоємності ГП у ГАС задля структурно-параметричного синтезу енергозберігаючого проектного рішення.

4.1 Розробка технології автоматизованого проектування енергозберігаючих гідроаеродинамічних систем та їх елементів

При створенні ТАП ЕГАС(Е) враховувались розроблені складові процесу структурно-параметричного синтезу проектного рішення щодо енергозберігаючих ГАС та їх допоміжних елементів у спеціалізованому АРМ, саме [11, 35, 37, 41, 42, 45 – 50].

1. СПМ, які одночасно враховують правила компоновки і параметри енергетично активного та енергетично пасивних елементів системи. Розроблено СПМ: генеруючої частини ГАС, мережевої частині ГАС та системі в цілому.

2. Логіко-чисельну модель генерації технічних пропозицій у вигляді знакового зваженого орграфа для моделювання взаємного впливу параметрів ГАС, що проектується. Використання логіко-чисельної моделі в автоматизованому проектуванні дозволило обґрунтувати доцільність використання запропонованого показника енергоємності ГП, як характеристики енергозбереження в ГАС, що проектуються

3. МСПС енергозберігаючих ГАС, який на основі запропонованого показника енергоємності ГАС дозволяє автоматизувати раціональний вибір енергозберігаючого проектного рішення, щодо енергозберігаючих ГАС.

4. МСПС енергозберігаючих фізичних прототипів допоміжних елементів ГАС, який полягає у врахуванні кількісної і якісної оцінок стану ГП у цих прототипах та дозволяє автоматизувати синтез проектного рішення за рахунок використання машини нейромережевого виведення.

Взаємний зв'язок між складові процесу структурно-параметричного синтезу проектного рішення за технологією ТАП ЕГАС(Е) показано на рисунку 4.1.

Для зберігання інформації при автоматизації структурно-параметричного синтезу проектного рішення, щодо енергозберігаючих ГАС

та їх допоміжних елементів використовуються засоби нормативно-довідкових баз даних основних і допоміжних елементів:

– база основних елементів ГАС містить конструктивні рішення з відповідними діаграмами (простір) основних характеристик параметрів, а саме тиск, витрати, потужність, ККД та ін.;

– база допоміжних елементів ГАС містить конструктивні рішення з відповідними характеристиками гідродинамічних опорів для заданих параметрів ГП у відповідності до числа Рейнольдса.

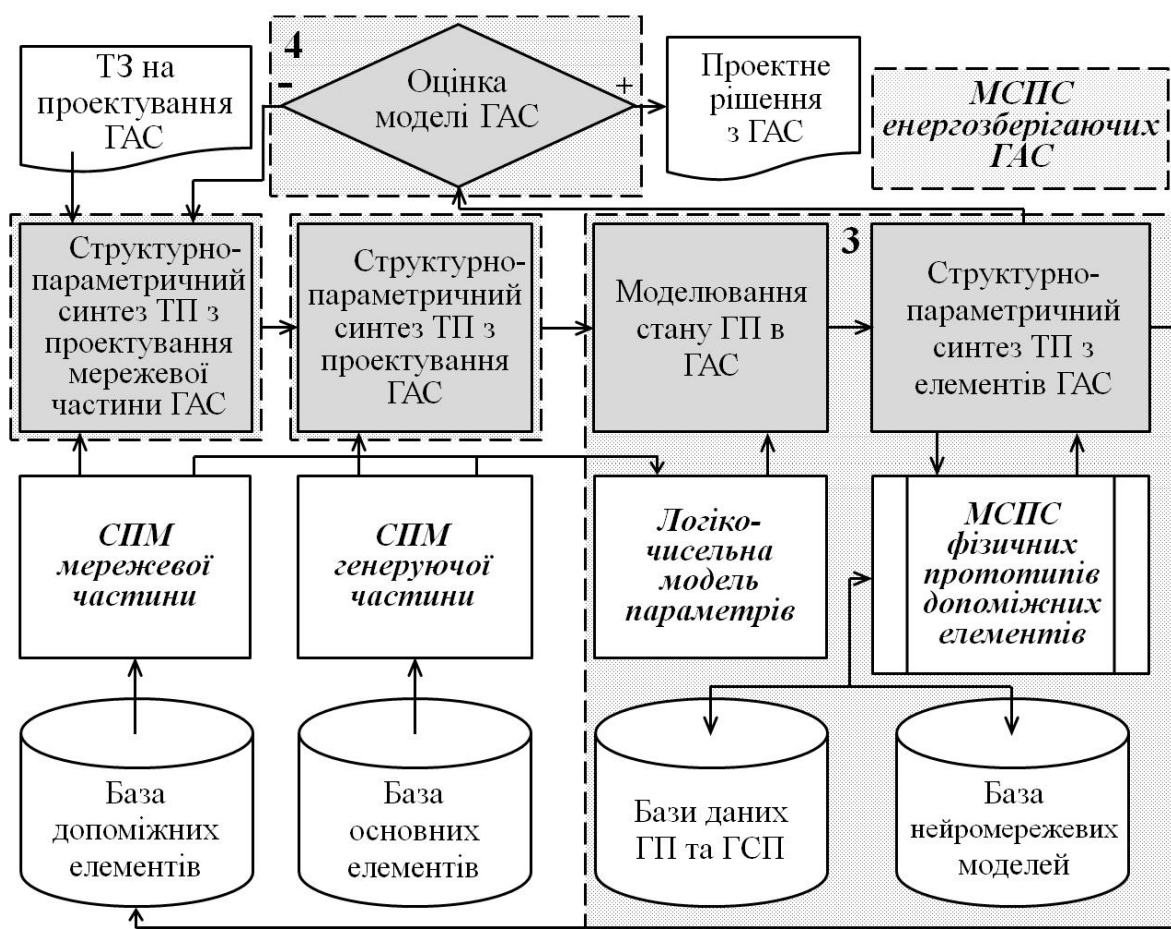


Рисунок 4.1 – Складові процесу структурно-параметричного синтезу проектного рішення за технологією ТАП ЕГАС(Е)

А також спеціалізованих баз, щодо проведення моделювання стану ГП при проектуванні:

– база даних ГП містить зв'язані між собою за допомогою ідентифікатора фізичного прототипу мета-заголовок візуальні та інтелектуальні данні ГП в фізичному прототипі допоміжного елемента;

– база даних ГСП містить зв'язані між собою за допомогою ідентифікатора мета-заголовок візуальні та інтелектуальні данні ГСП у відповідному зображенні візуальних даних ГП;

– база нейромережових моделей містить процедури 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.

Взаємний зв'язок між базами допоміжних елементів, їх фізичних прототипів та стану ГП у фізичних прототипах в вигляді даних моделювання ГП та ГСП здійснюється за допомогою відповідних індексів.

В основу побудови програмного забезпечення системи були покладені принципи структурного програмування [9, 10, 23, 63]: модульності і децентралізації управління. Згідно з ними, окремі частини програмного забезпечення були виділені у вигляді окремих підсистем. Це дозволяє підвищити надійність всієї системи в цілому, спрощує її подальше вдосконалення. Кожен блок реалізує рішення однієї із задач. Фрагменти створеного програмного коду наведено в додатку Б.

4.1.1 Розробка процедур структурно-параметричного синтезу енергозберігаючих гідроаеродинамічних систем та їх допоміжних елементів

У рамках запропонованої ТАП ЕГАС(Е) з врахуванням розробленого МСПС енергозберігаючих систем та їх допоміжних елементів дії інженера-проектувальника, який використовує розроблені процедури спеціалізованого АРМ складаються із трьох кроків. Інтерфейс проектувальника містить засоби управління діалогом у вигляді екранних форм, показаних на рисунку 4.2 а, б та в. Розглянемо дії проектувальника, щодо синтезу структурно-

параметричного синтезу енергозберігаючих гідроаеродинамічних систем та їх допоміжних елементів більш детально.

Крок 1. Вибір допоміжних елементів при структурно-параметричному синтезі проектного рішення щодо мережевої частини ГАС (рис. 4.2, а). Для заданих витрат робочого тіла з ієрархічно упорядкованих списків допоміжних елементів проектувальник обирає необхідні елементи, які розміщуються та з'єднуються у відповідності до правил компоновання. У відповідності до довідкових даних розраховуються втрати тиску в мережевій частині. Для врахування стану ГП у допоміжних елементах проектувальник має можливість провести моделювання підвищення продуктивності ГАС за рахунок зниження опору в допоміжному елементі, який аналізується та зробити висновок чи є елемент проблемним.

Крок 2. Вибір основного елемента при структурно-параметричному синтезі проектного рішення щодо генеруючої частини ГАС. (рис. 4.2, б). Для заданих витрат робочого тіла з ієрархічно упорядкованих списків основних елементів проектувальник обирає необхідний елемент, який розміщується та з'єднується з мережевою частиною у відповідності до правил компоновання. При цьому проектувальник має можливість проаналізувати простір основних параметрів ГАС, що проектується, а саме тиск, витрати, потужність, ККД та ін. Для врахування стану ГП у ГАС, що проектується, інженер має можливість провести моделювання підвищення продуктивності ГАС за рахунок підвищення тиску основного елемента збільшенням обертів його електродвигуна.

Крок 3. Проведення фізичного моделювання ГП у допоміжному елементі, який синтезується, для отримання кількісної та якісної оцінок стану ГП в елементі з метою аналізу причин високого значення гідроаеродинамічного опору (рис. 4.2, в). На експериментальному стенді проводиться серія експериментів проектувальник отримує доступ до даних кожного експерименту, для цього достатньо вибрати номер експерименту зі списку.

The screenshot shows a web browser window with the address bar containing "emajor.php". The page title is "Выбор основного элемента". The form includes the following fields and buttons:

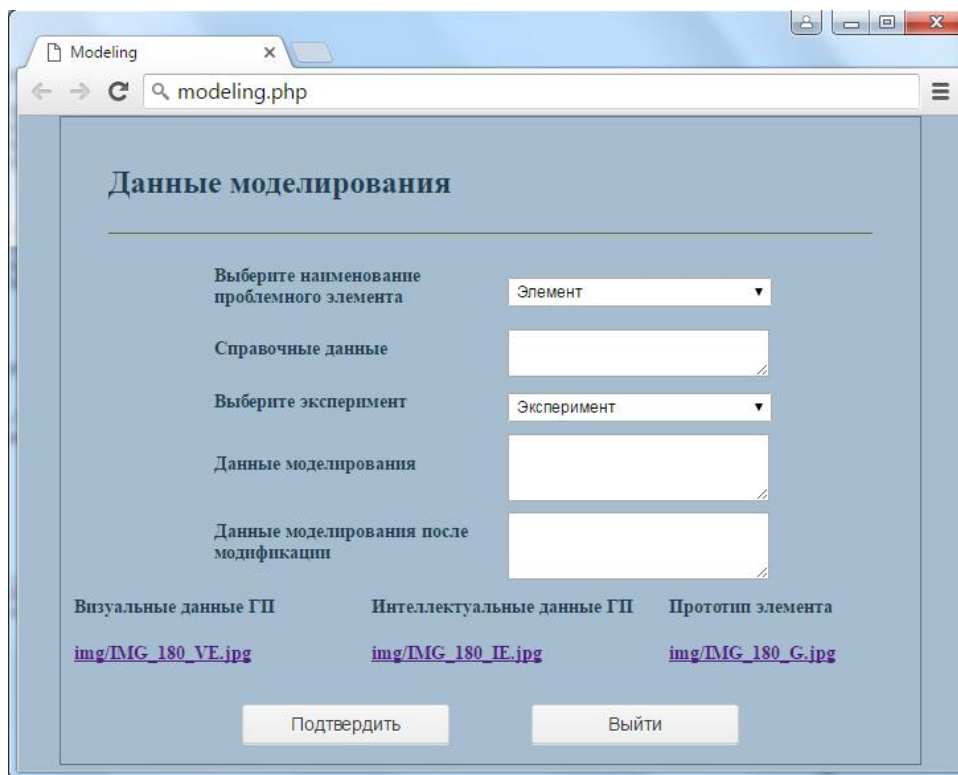
- Field: "Задайте необходимый расход" (Specify the required consumption)
- Field: "Выберите наименование элемента" (Select the element name) with a dropdown menu showing "Элемент"
- Field: "Справочные данные" (Reference data)
- Button: "Построить поле характеристик" (Build characteristic field)
- Button: "Моделирование изменений" (Modeling changes)
- Field: "Оперативные данные" (Operational data)
- Buttons: "Подтвердить" (Confirm) and "Выйти" (Exit)

а

The screenshot shows a web browser window with the address bar containing "eminor.php". The page title is "Выбор вспомогательного элемента". The form includes the following fields and buttons:

- Field: "Задайте необходимый расход" (Specify the required consumption)
- Field: "Выберите наименование элемента" (Select the element name) with a dropdown menu showing "Элемент"
- Field: "Справочные данные" (Reference data)
- Button: "Построить поле характеристик" (Build characteristic field)
- Button: "Моделирование снижения сопротивлений" (Modeling reduction of resistances)
- Field: "Данные моделирования" (Modeling data)
- Buttons: "Подтвердить" (Confirm) and "Выйти" (Exit)

б



В

Рисунок 4.2 – Екранні форми інтерфейсу інженера-проектувальника при структурно-параметричному синтезі проектних рішень щодо мережевої частини (а), щодо генеруючої частини (б), щодо моделювання стану ГП (в)

За кожним експериментом для допоміжного елемента, стан ГП в якому аналізується є доступною інформація із бази допоміжних елементів та інформація із бази даних ГП у вигляді мета-заголовку, візуальних та інтелектуальних даних ГП у фізичному прототипі допоміжного елемента та технічне рішення, щодо фізичного прототипу. Проектувальник аналізує отримані експериментальні дані щодо гідравлічних опорів та схеми, представлені на рисунку 3.4 у третьому розділі, при позитивному рішенні підтверджує його прийняття. При цьому остаточні дані моделювання перезаписуються у відповідні бази, уточнюючи значення відповідних полів, і стають доступними для подальшого аналізу. Проектувальник виконує повернення до першого кроку для заміни в технічній пропозиції мережевої частини старого допоміжного елемента на новий модифікований. Таким чином, згідно з рисунком 4.1 має місце ітераційний процес структурно-параметричного синтезу.

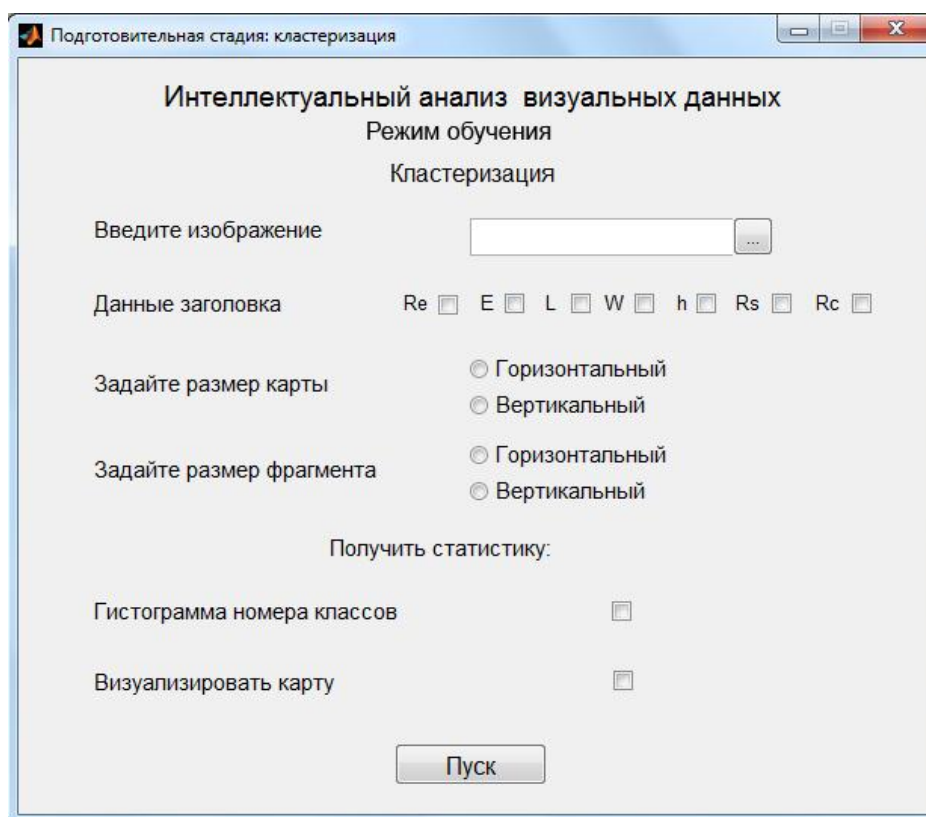
4.1.2 Розробка процедур структурно-параметричного синтезу фізичних прототипів допоміжних елементів

У рамках запропонованої ТАП ЕГАС(Е) з врахуванням розробленого МСПС енергозберігаючих фізичних прототипів допоміжних елементів ГАС дії інженера-проектувальника, який використовує розроблені процедури спеціалізованого АРМ складаються із чотирьох кроків. Інтерфейс проектувальника містить засоби управління діалогом у вигляді екранних форм, показаних на рисунку 4.3 а, б, в та г. Розглянемо дії проектувальника, щодо структурно-параметричного синтезу енергозберігаючих фізичних прототипів допоміжних елементів більш детально.

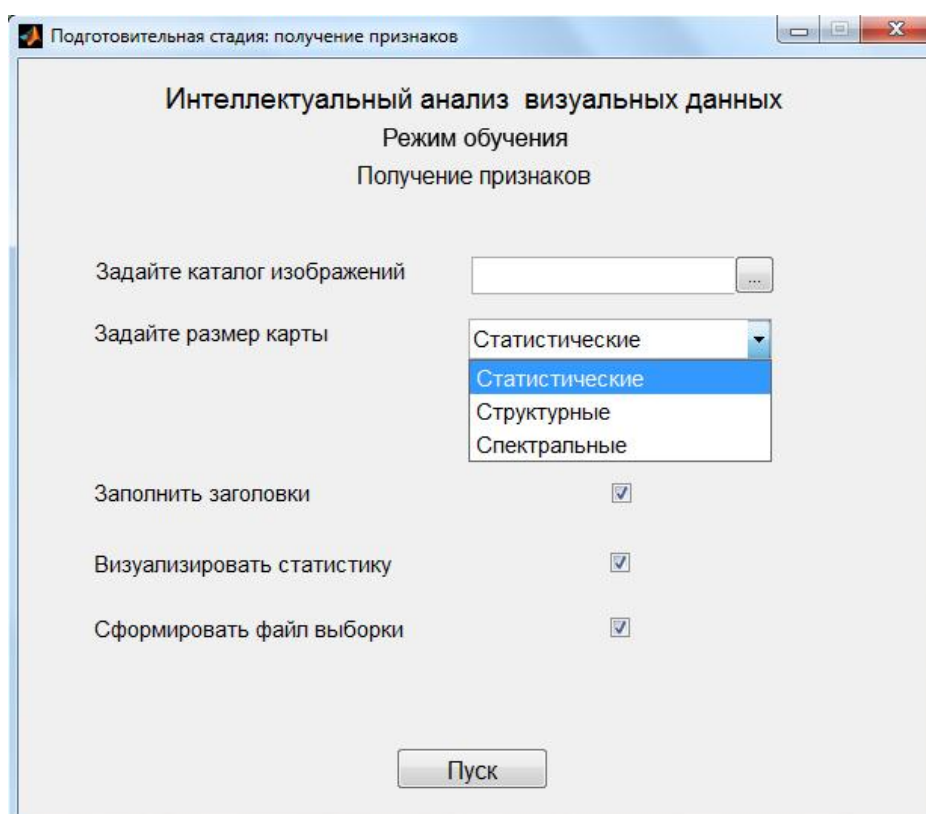
Крок 1. Режим навчання МНВ – створення бази даних ГСП. Структура відповідної таблиці бази даних ГСП задається кортежем (3.11) та містить візуальні (3.8) та інтелектуальні дані ГСП (3.9) разом з мета-заголовком (3.10) та відповідним ідентифікатором.

Для отримання візуальних даних ГСП (див. рис. 3.8) проектувальник бази даних ГП вибирає зображення яке підлягає аналізу (рис. 4.3, а). У відповідних полях форми «Кластеризація» інтерфейсу проектувальника відображаються дані мета-заголовка про умови отримання відповідних візуальних даних. На основі попереднього аналізу даних заголовка проектувальник задає параметри для проведення кластеризації (відображення вхідних візуальних даних ГСП у вихідний простір класів прототипів) у вигляді значень розмірів SOM і розмірів ГСП. Візуальні дані ГСП зберігаються вигляді набору зображень в окремому каталозі.

Для отримання значень полів мета-заголовка ГСП у вигляді груп статистичних, спектральних, структурних ознак та їхніх комбінацій проектувальник задає ім'я каталогу, що містить зображення ГСП бази даних ГСП (див. рис. 4.3, б). При включенні відповідних параметрів формується файл навчальної вибірки, який містить вектора необхідних ознак ГСП для побудови класифікатора на наступному кроці.



а



б

Рисунок 4.3 – Экранні форми інтерфейсу проектувальника для автоматизації обробки візуальних даних ГСП та ГП (а – кластеризація ГСП, б – отримання ознак ГСП)

Подготовительная стадия: классификация

Интеллектуальный анализ визуальных данных
Режим обучения
Классификация

Обучение:

Задайте файл выборки

Выберите проект сети

Получить статистику

Тестирование:

Введите файл изображения

Данные заголовка Re E L W h Rs Rc

Выберите проект сети

Визуализировать статистику

Сформировать файл выборки

а

Основная стадия

Интеллектуальный анализ визуальных данных
Режим сегментации
Основная стадия

Введите изображение

Данные заголовка Re E L W h Re Rc

Задайте шаг дискретизации Горизонтальный
 Вертикальный

Выберите тип признаков

Заполнить заголовки

Визуализировать статистику

Сформировать файл выборки

Выберите проект сети

Получить статистику

Сформировать изображение

б

Рисунок 4.4 – Экранні форми інтерфейсу для автоматизації обробки візуальних даних ГП та ГСП (а – класифікація, б – отримання інтелектуальних даних ГП)

Крок 2. Режим навчання МНВ – створення проекту нейронної мережі для отримання інтелектуальних даних ГСП (див. рис. 4.4, а). За допомогою даної діалогової форми проектувальник вибирає зі списку бази нейромережевих моделей нейронну мережу із заданою топологією і параметрами її навчання/самонавчання, наприклад, багат шаровий перцептрон SOM або LVQ. З використанням файлу навчальної вибірки, отриманого на попередньому кроці та проводиться адаптація (навчання/донавчання) нейронної мережі. Якщо статистика правильних класифікаційних рішень є задовільною, тоді згідно із методикою побудови проектів нейронних мереж проводиться її тестування на візуальних даних з кроку 1. Отриманий таким чином підсумковий проект нейронної мережі зберігається у базі нейромережевих моделей.

Крок 3. Режим сегментації МНВ – створення бази даних ГП. Структура відповідної таблиці бази даних ГП задається кортежем (3.7) та містить візуальні (3.2) та інтелектуальні данні ГСП (3.4) разом з мета-заголовком (3.3) та відповідним ідентифікатором. Для отримання інтелектуальних даних ГП проектувальник за допомогою діалогової форми (див. рис. 4.4, б) обирає необхідні візуальні дані (зображення ГП), задає рівень дискретизації його на фрагменти відповідно до інформації про розміри ГСП, отримані при кластеризації на кроці 1. Для кожного з отриманих фрагментів візуальних даних ГП обчислюються ознаки, з яких формується тестова вибірка. Вибірка подається на створений на другому кроці проект нейронної мережі який формує псевдокольорові зображення інтелектуальних даних ГП. Отримані таким чином інтелектуальні данні ГП разом з відповідними візуальними та заголовком записуються в базу даних ГП.

Крок 4. Синтез енергозберігаючого фізичного прототипу допоміжного елементу. Вхідними даними для синтезу нового енергозберігаючого фізичного прототипу є зображення інтелектуальних даних ГП, на якому засобами попередніх етапів виділені зв'язані області, що утворюються оптично активними ГСП дисипативного і однорідного класів. Нова технічна

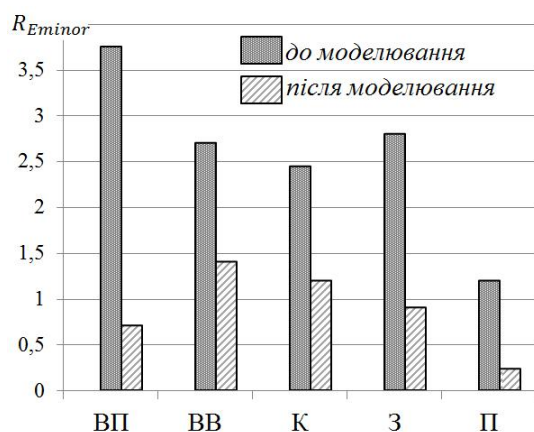
пропозиція розробляється як результат заміщення зв'язаних областей вставками складної форми, які утворені оптично неактивними ГСП класу «стінка».

Для отримання форми оптично неактивної вставки за допомогою МНВ використовуються RBF із бази нейромережевих моделей. RBF навчається на основі навчальної вибірки, яку сформовано із даних координат лінії, що розділяє зв'язані області ГСП дисипативного і однорідного класів та класу впорядкованого класу «потік». Масиви вхідних та цільових даних формуються з врахуванням координатної сітки, яку спеціально нанесено на зображення. Відповідне зображення модифікованого фізичного прототипу показано на рисунку 3.14, г.

4.2 Використання спеціалізованого АРМ проектувальника для проектування енергозберігаючих гідроаеродинамічних систем

У рамках запропонованої ТАП ЕГАС(Е) за допомогою розробленого спеціалізованого АРМ проектувальника було вирішено низку науково-практичних задач зі структурно-параметричного синтезу аеродинамічних систем та систем тепло- та тепловодопостачання енергоємність ГП в яких нижче на 15-30% від подібних існуючих.

Експериментальні дослідження розробленої ТАП ЕГАС(Е) для вирішення задач зі структурно-параметричного синтезу фізичних прототипів допоміжних елементів показали, що врахування оцінок стану ГП дозволяє розробити проектні рішення по зниженню опорів в 1,5 – 5 разів, залежно від типу енергозберігаючого допоміжного елемента, що проектується. При створенні бази енергозберігаючих допоміжних елементів отримані зниження гідроаеродинамічних опорів у елементах (рис. 4.5, а): в вимірювальних пристроях (ВП) у 5 разів, у вхідних та вихідних патрубках (вх./вих.) у 2,25 рази, у розподільних колекторах (К) у 1,4 рази і в поворотах типу коліно (ППК) у 5,2 рази.



Групи допоміжних елементів

ВП – вимірювальний пристрій;

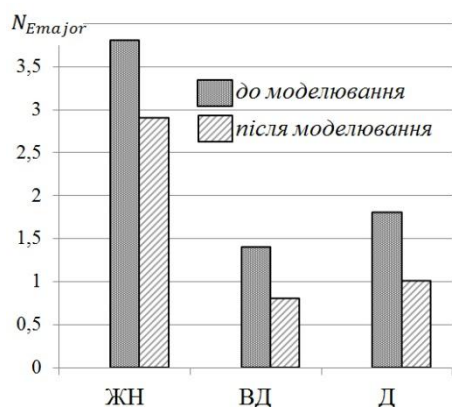
ВВ – вхідні/вихідні;

К – колектор;

З – засувки;

П – повороти.

а



Групи основних елементів

ЖН – живильний насос;

ВД – дугтьовий вентилятор;

Д – димосос.

б

Рисунок 4.5 – Результати синтезу енергозберігаючих проектних рішень ГАС та їх допоміжних елементів

Крім того, як показують дослідження, зниження гідроаеродинамічних опорів у допоміжних елементах ГАС дозволило знизити енергоємність ГП за рахунок зменшення потужності, яка витрачається на забезпечення заданих витрат робочого тіла, що створюються основними елементами, такими як живильні насоси (ЖН) на 24%, вентилятори дугтьові (ВД) на 43%, димососи (Д) на 45% (рис. 4.5, б).

Запропоновані рішення у складі спеціалізованого АРМ були використанні для проектування: фізичних прототипів розподільчого колектора аеродинамічної системи енергоблоку № 11 Молдавської ДРЕС та термостатичного клапану фірми Herz Armaturen системи теплопостачання, а також системи тепло- та тепловодопостачання на базі котла Е-2,5

українського дитячого центру (УДЦ) «Молода гвардія». Підтверджуючі документи представлені в додатку А.

4.2.1 Проектування аеродинамічної системи енергоблоку

В якості практичного застосування розробленої ТАП ЕГАС(Е) за допомогою розробленого спеціалізованого АРМ проектувальника було вирішено задачу зі структурно-параметричного синтезу проектного рішення, щодо модернізації аеродинамічної системи енергоблоку № 11 (парогазової установки ПГУ-250) Молдавської ДРЕС (див. рис. 4.6), а саме зниження енергоємності ГП у тракті транспортування окислювача або повітря до котельної установки за рахунок зниження гідравлічних опорів у допоміжному елементі – колектор. У результаті проведення модернізації отримане підвищення електричної потужності турбінної установки ГТУ-35 з 23,6 до 25,1 МВт та зниження електричної потужності на 15% на власні потреби вентилятора ВДН-25, який забезпечує транспортування повітря до котельної установки енергоблоку.

У рамках запропонованої ТАП ЕГАС(Е) в спеціалізованому АРМ з використанням розробленого інтерфейсу користувача дії інженера-проектувальника при структурно-параметричному синтезі проектного рішення, щодо модернізації аеродинамічної системи енергоблоку складаються із трьох кроків (див. рис. 4.2, а, б, в). Наведемо опис кроків більш детальноше.

Крок 1. Вибір допоміжних елементів при структурно-параметричному синтезі проектного рішення щодо мережевої частини ГАС (рис. 4.2, б). З ієрархічно упорядкованих списків елементів, що входять до складу мережевої частини систем транспортування окислювача/повітря в котел парогазових енергоблоків, вибирається найменування аналізованого допоміжного елемента. Аналіз реальних втрат тиску при заданих значеннях витрат окислювача/повітря та довідкових величин гідроаеродинамічних

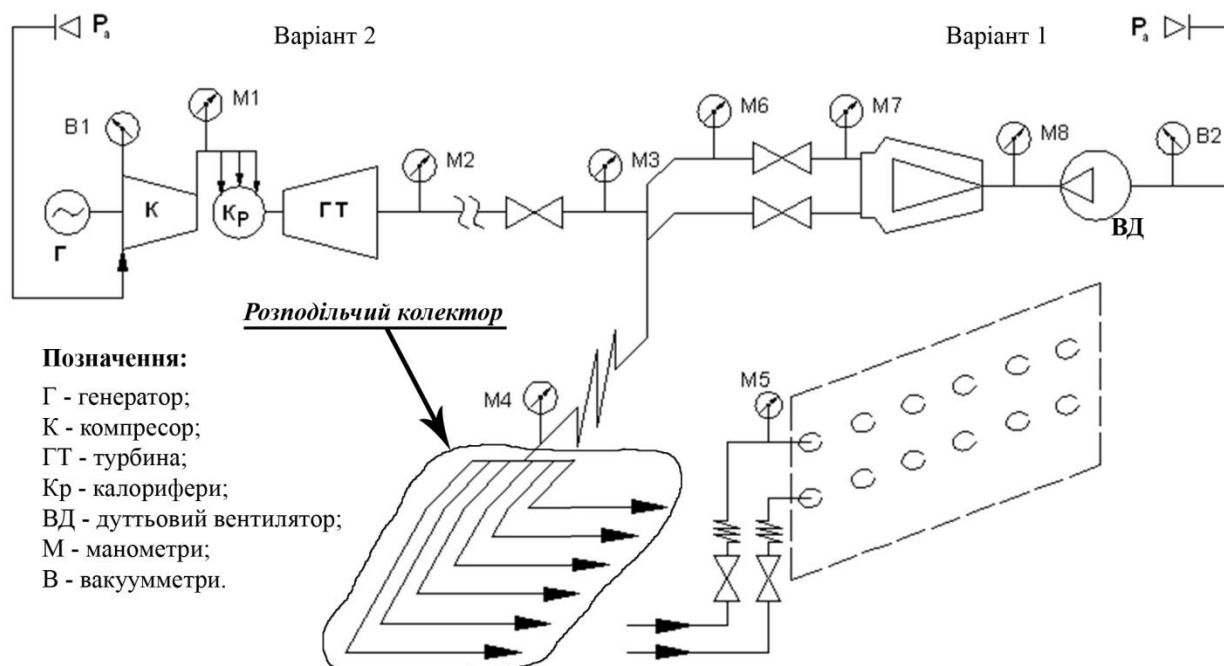


Рисунок 4.6 – Сумісна схема роботи системи транспортування окислювача/повітря в котел парогазових енергоблоків з розстановкою виміральної апаратури

опорів показав, що найбільші реальні (по втратам тиску) значення опорів мають допоміжні елементи: трійник від ГТ і ДВ до котла, аеродинамічний зуб після трійника, розподільний колектор і ділянка тракту після колектора до пальників котла (див. рис. 4.6).

Для врахування стану ГП в мережевій частині ГАС проектувальник має можливість провести моделювання підвищення продуктивності ГАС за рахунок зниження опору в допоміжних елементах, які аналізуються, та зробити висновок, чи є елемент проблемним. Щодо проектування мережевої частини аеродинамічної системи енергоблоку, то для подальшого проведення фізичного моделювання було обрано розподільчий колектор.

Крок 2. Вибір основного елемента при структурно-параметричному синтезі проектного рішення щодо генеруючої частини ГАС (рис. 4.2, б).

На принциповій схемі для моделювання параметрів стану ГП за показником енергоємності в аеродинамічній системі енергоблоку представлені два можливих варіанти підведення окислювача/повітря для горіння (рис 4.6.). При роботі енергоблоку в двох режимах:

– 1 *варіант* – режим паросилової установки (ПСУ), коли працює тільки парова турбіна, а подача атмосферного повітря з 21% – вим вмістом кисню в котел для забезпечення горіння здійснюється за допомогою дуттьових вентиляторів (ВД або ВДН);

– 2 *варіант* – режим парогазової установки (ПГУ), коли працюють одночасно парова і газова турбіна (ГТ), а подача атмосферного повітря за допомогою компресора (К) здійснюється в газову турбіну, де димові гази після ГТ є сумішшю з 16 % -вим вмістом кисню, що створюють окислювач, який скидається в котел для забезпечення горіння палива.

Результати проведеного моделювання підтвердили, що ефективність роботи енергоблоку в режимі ПГУ складає більш ніж 55 %, а в режимі ПСУ менше ніж 40 %, тому найкращим режимом роботи парогазових енергоблоків є режим ПГУ. Однак наслідком складної системи мережевої частини транспортування окислювача в котел (див. рис. 4.6, варіант 2) є наявність великої кількості допоміжних елементів складної форми, які мають високі гідроаеродинамічні опори. Через значення цих опорів необхідно збільшувати тиск в основному елементі генеруючої частини – ГТ для забезпечення заданих витрат окислювача для забезпечення горіння в котлі енергоблоку. У свою чергу, збільшення тиску в основному елементі призводить відповідно до підвищення температури після ГТ та зниження потужності турбіни. Таким чином, у результаті аналізу простору основних параметрів ГАС, що проектується, а саме тиску, витрат, потужності, ККД та ін. в якості основного режиму функціонування аеродинамічної системи обрано режим ПГУ.

Крок 3. Проведення фізичного моделювання ГП у допоміжному елементі, який синтезується, для отримання кількісної та якісної оцінок стану ГП в елементі з метою аналізу причин високого значення гідроаеродинамічного опору (рис. 4.2, в). Для проведення фізичного моделювання ГП у розподільному колекторі на основі його структурної (геометричної) моделі (див. рис. 4.7, а) із бази допоміжних елементів був виготовлений фізичний прототип *GEminor_i* (див. рис. 4.7, б). Далі на

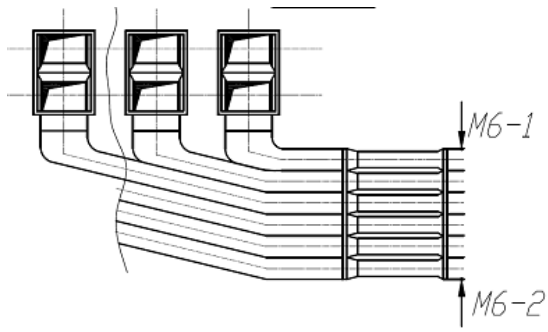
експериментальному стенді принципова схема якого показана в розділі 3 на рис. 3.5, в умовах подібності за числом Рейнольдса $10^4 \leq Re \leq 10^6$ турбулентних ГП проводиться симуляція функціонування прототипу $GEminor_i$ як допоміжного елемента мережевої частини ГАС. При цьому данні моделювання зберігаються у вигляді серії експериментів. Відповідно до розробленого інтерфейсу користувача проектувальник має доступ до даних кожного експерименту, для цього достатньо вибрати номер експерименту зі списку. По кожному експерименту для допоміжного елемента згідно у базі допоміжних елементів зберігається наступна інформація:

- вихідний $GEminor_i$ і модифікований $GEminor_i$ фізичні прототипи аналізованого допоміжного елемента;
- значення гідраеродинамічних опорів в них $R_{Eminor}^R, R_{EminorGi}$, як кількісна оцінка стану ГП;
- візуальні данні про стан ГП (див рис 4.7, в) в фізичному прототипі $GEminor_i$ та данні, щодо умов отримання візуальних даних у вигляді мета-заголовку; ця інформація заноситься базу даних ГП.

Проектувальник аналізує отримані експериментальні дані, щодо гідравлічних опорів та схеми, представленої на рисунку 3.4 у третьому розділі, при позитивному рішенні підтверджує його прийняття. При цьому остаточні дані моделювання перезаписуються у відповідні бази, уточнюючи значення відповідних полів, і стають доступними для подальшого аналізу.

Проектувальник виконує повернення до першого кроку для заміни в технічній пропозиції мережевої частини старого допоміжного елемента на новий модифікований. Таким чином, згідно з рисунком 4.1, має місце ітераційний процес структурно-параметричного синтезу.

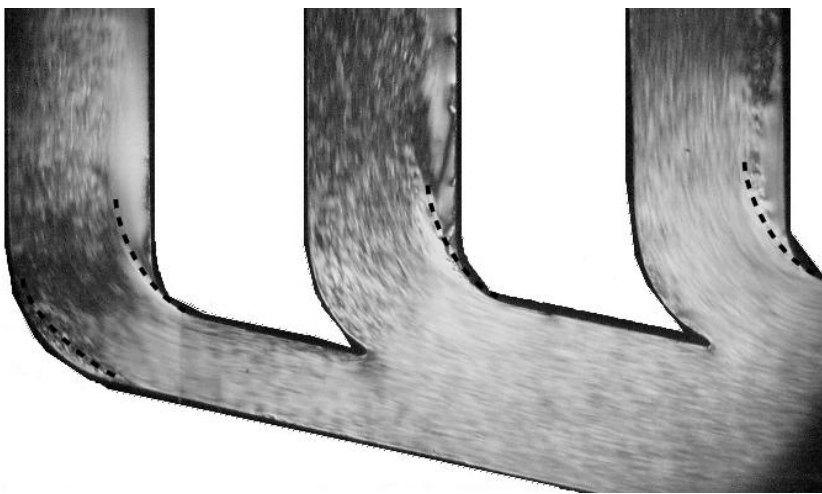
У рамках запропонованої ТАП ЕГАС(Е) у спеціалізованому АРМ з використанням розробленого інтерфейсу користувача дії інженера-проектувальника при структурно параметричному синтезі проектного



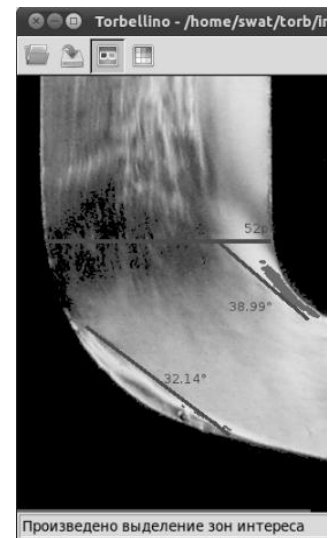
а



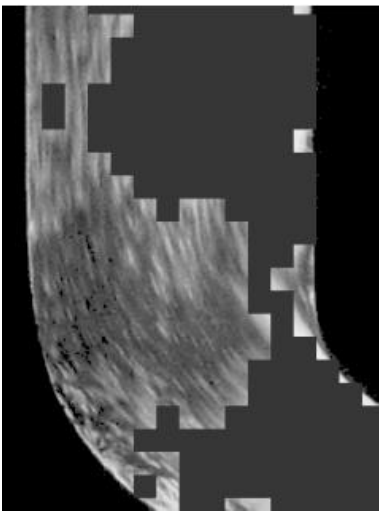
б



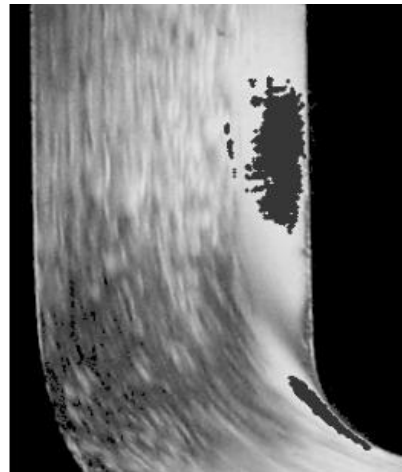
в



г



д

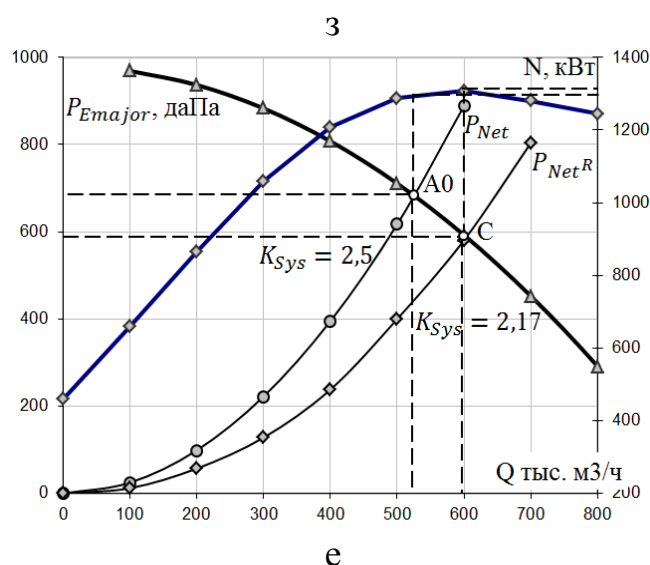
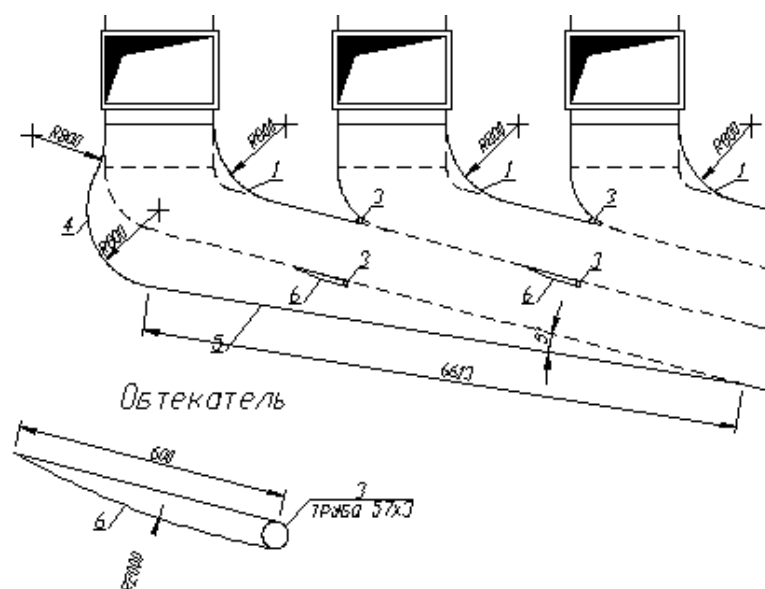


е



ж

Рисунок 4.7 – Зниження опору в розподільчому колекторі (а – геометрична модель, б – фізичний прототип, в – візуальні данні ГП, г-ж – результати процедур структурно-параметричного синтезу проектного рішення)



е

Рисунок 4.7 – Зниження опору в розподільчому колекторі (з – нова геометрична модель розподільчого колектора, б – ілюстрація простору параметрів в системі транспортування окислювача в котел

рішення, щодо модифікованого фізичного прототипу розподільчого колектору аеродинамічної системи енергоблоку складаються із чотирьох кроків (див. рис. 4.3 а, б в та г).

1. Створення бази даних ГСП у режимі навчання. На основі отриманих візуальних даних ГП (див рис 4.7, в) згідно з інтерфейсом користувача (4.3, а) для отримання візуальних даних ГСП проектувальник бази даних ГП вибирає зображення яке підлягає аналізу та виконує кластеризацію. Для отримання значень полів мета-заголовку ГСП у вигляді груп статистичних, спектральних, структурних ознак та їхніх комбінацій в автоматичному

режимі проектувальник задає ім'я каталогу, що містить візуальні дані (див. рис. 4.3, б).

2. Створення проекту нейронної мережі для отримання інтелектуальних даних ГСП у режимі навчання МНВ. З використанням файлу навчальної вибірки, який сформовано на основі візуальних даних ГСП та даних мета заголовку отриманих на попередньому кроці проводиться адаптація (навчання/донавчання) нейронної мережі. Для створення проекту нейронної мережі проектувальник вибирає зі списку бази нейромережевих моделей нейронну мережу та задає параметри її навчання/самонавчання (див. рис. 4.4, а). Результати дій проектувальника з метою побудови бази даних ГСП на основі візуальних даних ГП у фізичному прототипі розподільчого колектору показані на рисунку 4.7, (д – ж).

3. Створення бази даних ГП у режимі сегментації МНВ. Для отримання інтелектуальних даних ГП проектувальник за допомогою діалогової форми (див. рис. 4.4, б) обирає необхідні візуальні дані (зображення ГП) у розподільчому колекторі, задає рівень дискретизації його на фрагменти відповідно до інформації про розміри ГСП, які отримано при кластеризації на кроці 1. Для кожного з отриманих фрагментів візуальних даних ГП обчислюються ознаки, з яких формується тестова вибірка. Вибірка подається на створений на кроці 2 проект нейронної мережі, який формує псевдокольорові зображення інтелектуальних даних ГП у розподільчому колекторі. Отримані таким чином інтелектуальні данні ГП разом з відповідними візуальними та заголовком записуються в базу даних ГП. Результати дій проектувальника з метою побудови бази даних ГП на основі створеного проекту нейронної мережі в фізичному прототипі розподільчого колектору показані на рисунку 4.7, (в, г).

4. Синтез енергозберігаючого фізичного прототипу розподільчого колектору виконується з використанням зображення інтелектуальних даних ГП у якому засобами попередніх етапів виділені зв'язані області, що утворюються оптично активними ГСП дисипативного і однорідного класів.

Нова технічна пропозиція розробляється як результат заміщення зв'язаних областей вставками складної форми, які утворені оптично неактивними ГСП класу «стінка».

Для проведення моделювання стану ГП у синтезованому прототипі необхідно повернення до початку кроку 3 на процедуру симуляції функціонування модифікованого прототипу GE_{minor_i} розподільчого колектору, як допоміжного елемента мережевої частини ГАС. При цьому отримуються данні щодо кількісної оцінки стану ГП у вигляді розрахованого нового значення гідродинамічного опору в розподільчому колекторі. Експериментальні дослідження показали зниження значення гідродинамічного опору в колекторі з 2,45 до 1,2 тобто в 2 рази (див. рис. 4.5, а).

На основі синтезованого модифікованого фізичного прототипу побудована результуюча геометрична модель розподільчого колектора (див. рис. 4.7, з).

Пунктирними лініями показана вихідна геометрична модель розподільчого колектора, а суцільними – результуюча (нова). Проведення реконструкції розподільчого колектора згідно з новою геометричною моделлю призвело до ослаблення стійкості його конструкції. Для відновлення параметрів жорсткості додатково розроблена геометрія обтічника з невеликим гідроаеродинамічним опором (див. рис. 4.7, з).

Для аналізу отриманих результатів було проведено моделювання за розробленою в другому розділі логіко-чисельною моделлю (2.12). З врахуванням отриманих параметрів побудовано аналітичні характеристики витрат тиску в мережевій частині до P_{Net} та P_{Net}^R після проведення модернізації розподільчого колектора, а також тиску P_{Emajor} витрат потужності N_{Emajor} основного елемента в залежності від витрат окислювача Q_{Net} у аеродинамічній системі енергоблоку (рис. 4.7, е). В точках А0 і С у відповідності до (2.10) отримані значення енергоємності ГП $K_{SYS_{SH-A}}$ до та після проведення модернізації, які становлять 2,5 та 2,17 відповідно, що

складає 14% зниження. Отримані результати моделювання було підтверджено проведенням випробувань на реальному обладнанні. При цьому до існуючих у системі моніторингу параметрів тракту окислювача вимірювальних приладів – манометрів М1, М2 і М8 і вакуумметра В2 було додано кілька додаткових манометрів М3 – М7 (див. рис. 4.6). Експериментальні випробування підтвердили наведені результати моделювання.

Таким чином, експериментально підтверджена практична цінність розробленої ТАП ЕГАС(Е) при структурно-параметричному синтезі проектних рішень щодо модернізації аеродинамічної системи та її допоміжного елемента – розподільчого колектора. В акті впровадження № 1 (додаток А) зазначено, що запропоновані рішення у складі спеціалізованого АРМ були використанні для проектування фізичного прототипу розподільчого колектора аеродинамічної системи енергоблоку № 11 Молдавської ДРЕС, гідравлічний опір якого знижено в 2 рази; використання розробленого проектного рішення в аеродинамічній системі, що проектується дозволило знизити енергоємність гідроаеродинамічних процесів та 14 %.

4.2.2 Проектування системи тепло- та тепловодопостачання на базі котельної установки

В якості ще одного прикладу практичного застосування розробленої ТАП ЕГАС(Е) за допомогою розробленого спеціалізованого АРМ проектувальника було вирішено задачу зі структурно-параметричного синтезу проектного рішення, щодо системи тепло- та тепловодопостачання УДЦ «Молода гвардія» (далі просто УДЦ), а саме, зниження енергоємності ГП у тракці транспортування повітря котельної установки Е-2,5 МВт за рахунок зниження гідравлічних опорів у допоміжному елементі вхідного патрубку дуттьового вентилятора ВДН-15. У результаті проведення

модернізації отримане підвищення теплової потужності котельної установки 1,5 МВт до 2,5 МВт та зниження електричної потужності на 15 % на власні потреби вентилятора ВДН-15, який забезпечує транспортування повітря до котельної установки.

У рамках запропонованої ТАП ЕГАС(Е) в спеціалізованому АРМ з використанням розробленого інтерфейсу користувача дії інженера-проектувальника при структурно-параметричному синтезі проектного рішення, щодо модернізації системи транспортування повітря до котельної установки також складаються із трьох кроків (див. рис. 4.2, а, б, в). При цьому виконання проектних процедур збігається з діями проектувальника в попередньому практичному прикладі. Тому наведемо опис лише деяких кроків більш детальноше.

Крок 1. Вибір допоміжних елементів при структурно-параметричному синтезі проектного рішення щодо мережевої частини ГАС (рис. 4.2, б). З ієрархічно упорядкованих списків елементів, що входять до складу мережевої частини систем транспортування *повітря до пальників котла* системи тепло- та тепловодопостачання УДЦ вибирається найменування аналізованого допоміжного елемента. Аналіз реальних втрат тиску при заданих значеннях витрат повітря та довідкових величин гідроаеродинамічних опорів показав, що найбільші реальні (по втратам тиску) значення опорів мають такі допоміжні елементи мережевої частини, як вхідні патрубки вентилятора ($R = 2,5$) і 2-х пальників ($R = 8,5$) та 10-ти поворотів ($R = 1,2$). Для врахування стану ГП в мережевій частині ГАС проектувальник має можливість провести моделювання підвищення продуктивності ГАС за рахунок зниження опору в допоміжних елементах, які аналізуються та зробити висновок, чи є елемент проблемним. Щодо проектування мережевої частини аеродинамічної системи енергоблоку, то для подальшого проведення фізичного моделювання було обрано вхідний патрубок вентилятора.

Крок 2. Вибір основного елемента при структурно-параметричному синтезі проектного рішення щодо генеруючої частини ГАС (рис. 4.2, б). Для забезпечення теплової потужності котла 2,5 МВт витрати повітря, які забезпечуються вентилятором ВДН-15, повинні складати 62 тис. м³/год але згідно режимних карт реальні витрати вентилятора становлять 40 тис. м³/год. Тому виконане моделювання трьох технічних пропозицій щодо вибору основного елемента для забезпечення збільшення подачі повітря в котел до 50 тис. м³/год. Для цього за допомогою логіко-чисельної моделі виконане моделювання двох варіантів:

– 1 варіант – збільшення діаметра робочого колеса до $D_2 = 1,9$ м шляхом його заміни. У цьому випадку подача буде збільшена до $Q_{Net} = 60$ тис. м³/год, умова максимуму ККД вентилятора буде дотримуватися $\eta_{Emajor} = 85\%$, проте потужність електродвигуна збільшиться $N_{Emajor} = 55$ кВт;

– 2 варіант – збільшення числа оборотів робочого колеса до $n_{rotor} = 1000$ об/хв. шляхом заміни електродвигуна. У цьому випадку ККД вентилятора також складе $\eta_{Emajor} = 85\%$, проте витрати потужності електродвигуна збільшаться до $N_{Emajor} = 70$ кВт.

Тому для збільшення витрат повітря в системі транспортування повітря до пальників котла при модернізації системи тепло- та тепловодопостачання котлів Е-2,5 запропоновано 3-тій енергозберігаючий варіант проектування за рахунок зниження гідродинамічних опорів допоміжних елементів, які обрані на першому кроці. Таким чином, у результаті аналізу простору основних параметрів ГАС, що проектується, а саме тиску, витрат, потужності, ККД та ін. в якості основного елемента аеродинамічної системи запропоновано залишити ВДН-15.

Крок 3. Проведення фізичного моделювання ГП у допоміжному елементі, який синтезується, для отримання кількісної та якісної оцінок стану ГП в елементі з метою аналізу причин високого значення гідроаеродинамічного опору (рис. 4.2, в). Для проведення фізичного

моделювання ГП у вхідному патрубку вентилятора на основі його структурної (геометричної) моделі із бази допоміжних елементів був виготовлений фізичний прототип GE_{minor_i} (див. рис. 4.8, а).

Подальші дії проектувальника на кроці 3 були описані в пункті 4.2.1.

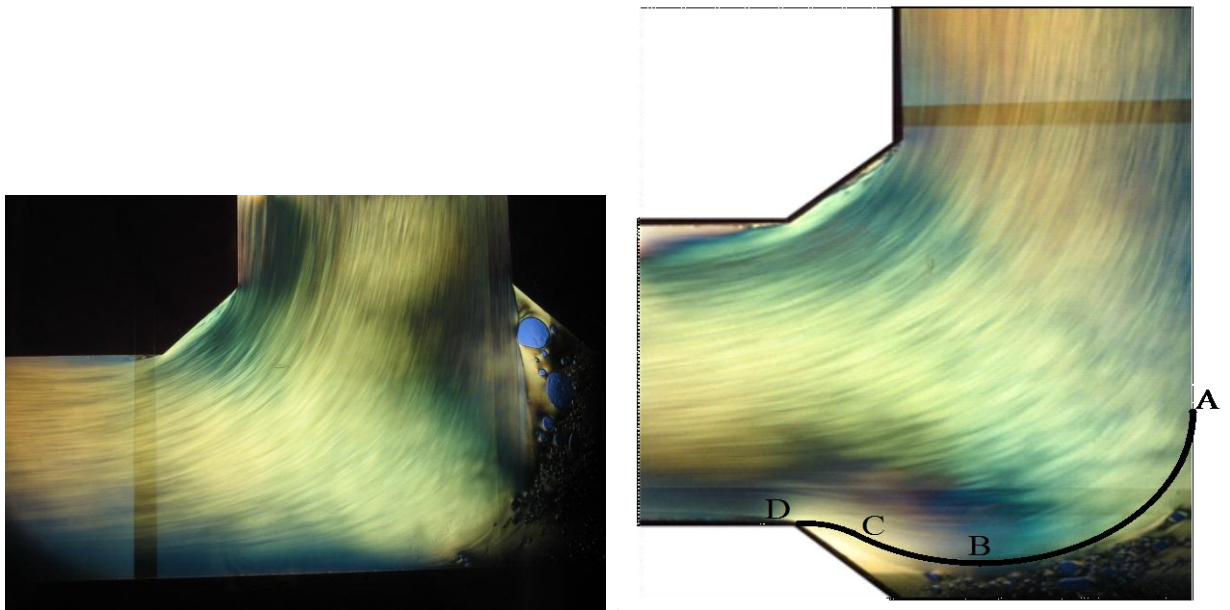
У рамках запропонованої ТАП ЕГАС(Е) в спеціалізованому АРМ з використанням розробленого інтерфейсу користувача дії інженера-проектувальника при структурно-параметричному синтезі проектного рішення щодо модифікованого фізичного прототипу вхідного патрубку вентилятора системи постачання повітря до котла Е-2,5 системи тепло- та тепловодопостачання УДЦ складаються із чотирьох кроків (див. рис. 4.3 а, б в та г).

Подальші дії проектувальника по створенню бази даних ГСП у режимі навчання на кроці 1, створення проекту нейронної мережі для отримання інтелектуальних даних ГСП у режимі навчання МНВ на кроці 2 та створення бази даних ГП у режимі сегментації МНВ більш детально описані в пункті 4.2.1.

Аналіз отриманих інтелектуальних даних ГП у вхідному патрубку вентилятора показав наявність зв'язаних областей, які створено ГСП дисипативного класу близько робочого колеса, що призводить до підвищення гідравлічних опорів у вхідному патрубку вентилятора.

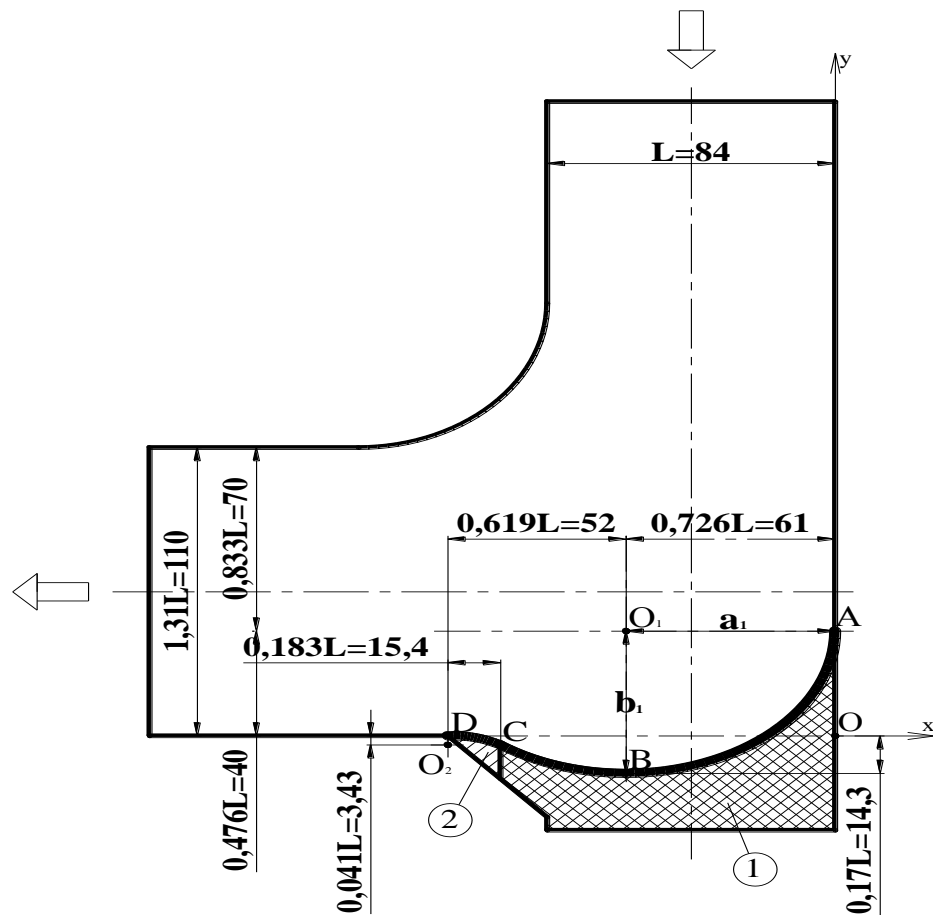
4. Синтез енергозберігаючого фізичного прототипу вхідного патрубку вентилятора виконується з використанням зображення інтелектуальних даних ГП у якому засобами попередніх етапів виділені зв'язані області, що утворюються оптично активними ГСП дисипативного (більшою мірою) і однорідного класів. Нова технічна пропозиція розробляється як результат заміщення зв'язаних областей вставками складної форми, які утворені оптично неактивними ГСП класу стінка (рис. 4.7, б).

Для проведення моделювання стану ГП у синтезованому прототипі необхідно повернення до початку кроку 3 на процедуру симуляції функціонування модифікованого прототипу GE_{minor_i} вхідного патрубку, як



а

б



в

Рисунок 4.8 – Результати процедур структурно-параметричного синтезу проектного рішення щодо вхідного патрубка вентилятора ВДН-15 (а – фізичний прототип, б – модифікований фізичний прототип, в – проектне рішення)

допоміжного елемента мережевої частини ГАС. При цьому отримуються данні щодо кількісної оцінки стану ГП в вигляді розрахованого нового значення гідродинамічного опору у вхідному патрубку. Експериментальні дослідження показали зниження значення гідродинамічного опору у вхідному патрубку з 2,7 до 1,4 тобто в 1,9 рази при $Re > 10^5$ (див. рис. 4.5, а).

На основі синтезованого модифікованого фізичного прототипу побудована результуюча геометрична модель вхідного патрубку (див. рис. 4.7, в), де зони вставок складної форми, які утворені оптично неактивними ГСП класу «стінка» виділені заштрихованою областю.

Крім того, при проектуванні енергозберігаючої системи тепло- та тепловодопостачання були запропоновані такі рішення:

- у поворотах мережевої частини тракту постачання повітря до котельної установки знижено гідравлічні опори з 1,2 до 0,23;
- пальник РГМГ з опором 8,5 замінено на пальник СНТ з опором 2,7.

Для аналізу отриманих результатів було проведено моделювання за розробленою в другому розділі логіко-чисельною моделлю (2.12). З врахуванням отриманих параметрів побудовано аналітичні характеристики витрат тиску в мережевій частині до P_{Net} та P_{Net}^R після проведення модернізації вхідного патрубку, а також тиску P_{Emajor} витрат потужності N_{Emajor} основного елемента в залежності від витрат повітря Q_{Net} в дуттьовому тракті.

Отримані результати моделювання було підтверджено проведенням випробувань на реальному обладнанні. При цьому зафіксовано такі результати.

Подача повітря в котел збільшена більш ніж на 40 % (з 39 тис. м³/год до 52 тис. м³/год) за рахунок зниження гідроаеродинамічних опорів допоміжних елементів – вхідного патрубку вентилятора та поворотів потоку.

Отримані результати дозволили знизити втрати в зонах розрядження і тиску дуттьового тракту, що дало можливість використовувати в основному

елементі – дугтьовому вентиляторі ВДН-15 режим роботи двигуна з числом оборотів $n_{rotor} = 750$ об/хв. та знизити витрати потужності на власні потреби вентилятора з 57 кВт до 27 кВт. При цьому енергоємність ГП у системі транспортування повітря знизилась з 1,46 до 0,52 з врахуванням зменшення кількості оборотів двигуна вентилятора, а зменшення енергоємності ГП за рахунок тільки зниження опору вхідного патрубку скала 15 %, що підтверджено в акті №2 додатку А.

Таким чином, експериментально підтверджена практична цінність розробленої ТАП ЕГАС(Е) при структурно-параметричному синтезі проектних рішень щодо модернізації системи тепло- та тепловодопостачання УДЦ «Молода гвардія» на базі котельної установки Е-2,5. Модернізовано допоміжний елемент дугтьового тракту системи.

4.2.3 Проектування термостатичного клапану

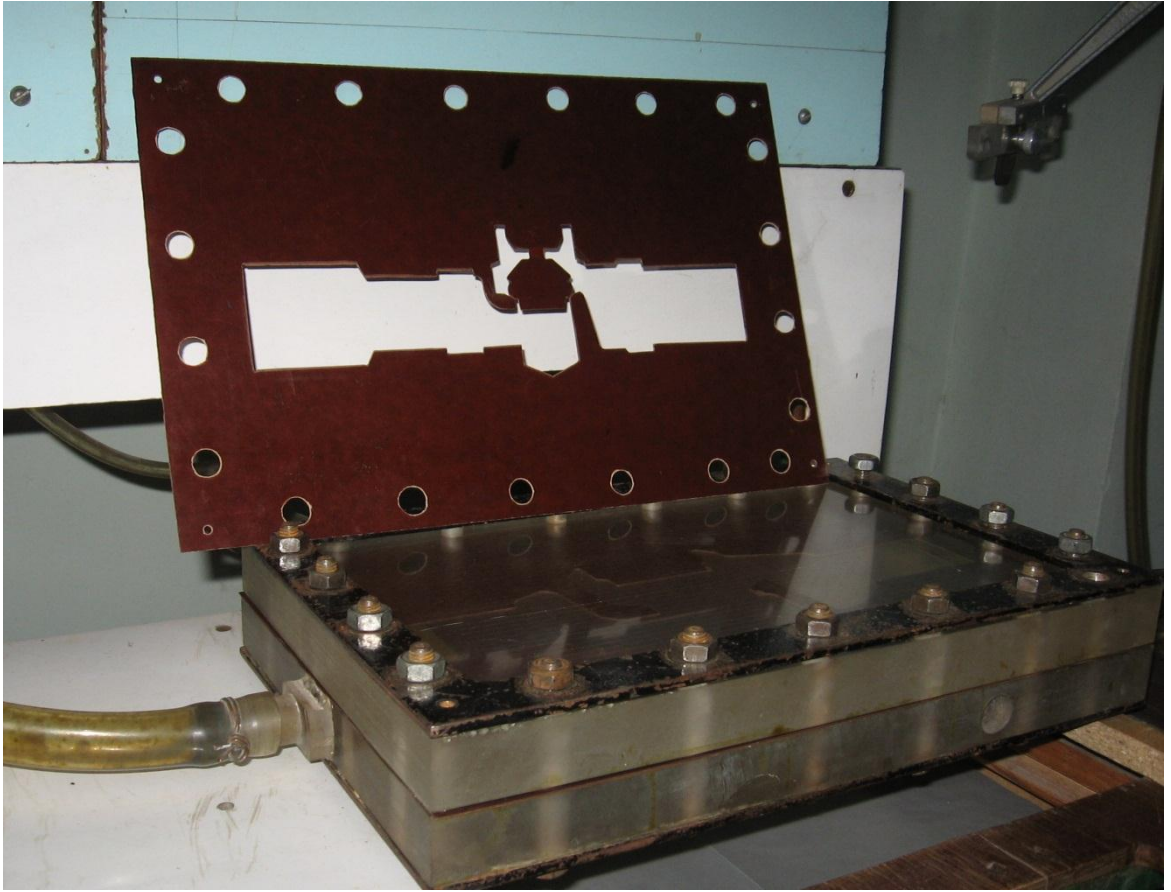
Наведемо ще один приклад практичного застосування розробленої ТАП ЕГАС(Е). За допомогою розробленого спеціалізованого АРМ проектувальника було вирішено задачу структурно-параметричного синтезу проектних рішень, щодо термостатичного клапану Herz Armaturen зі зниженим у 1,5 рази значенням гідравлічного опору. Компанія Herz Armaturen є одним із відомих постачальників арматури, котельної техніки, труб та фітінгів, та виконавців робіт з проектування систем водо- тепло- холодопостачання.

У рамках запропонованої ТАП ЕГАС(Е) у спеціалізованому АРМ з використанням розробленого інтерфейсу користувача дії інженера-проектувальника при структурно-параметричному синтезі проектних рішень, щодо зниження опору термостатичного клапана, якій регулює постачання теплоносія до радіаторів починаються на кроці 3 – проведення фізичного моделювання ГП у допоміжному елементі, який синтезується, для отримання кількісної та якісної оцінок стану ГП в елементі з метою аналізу причин високого значення гідроаеродинамічного опору (рис. 4.2, в). Для

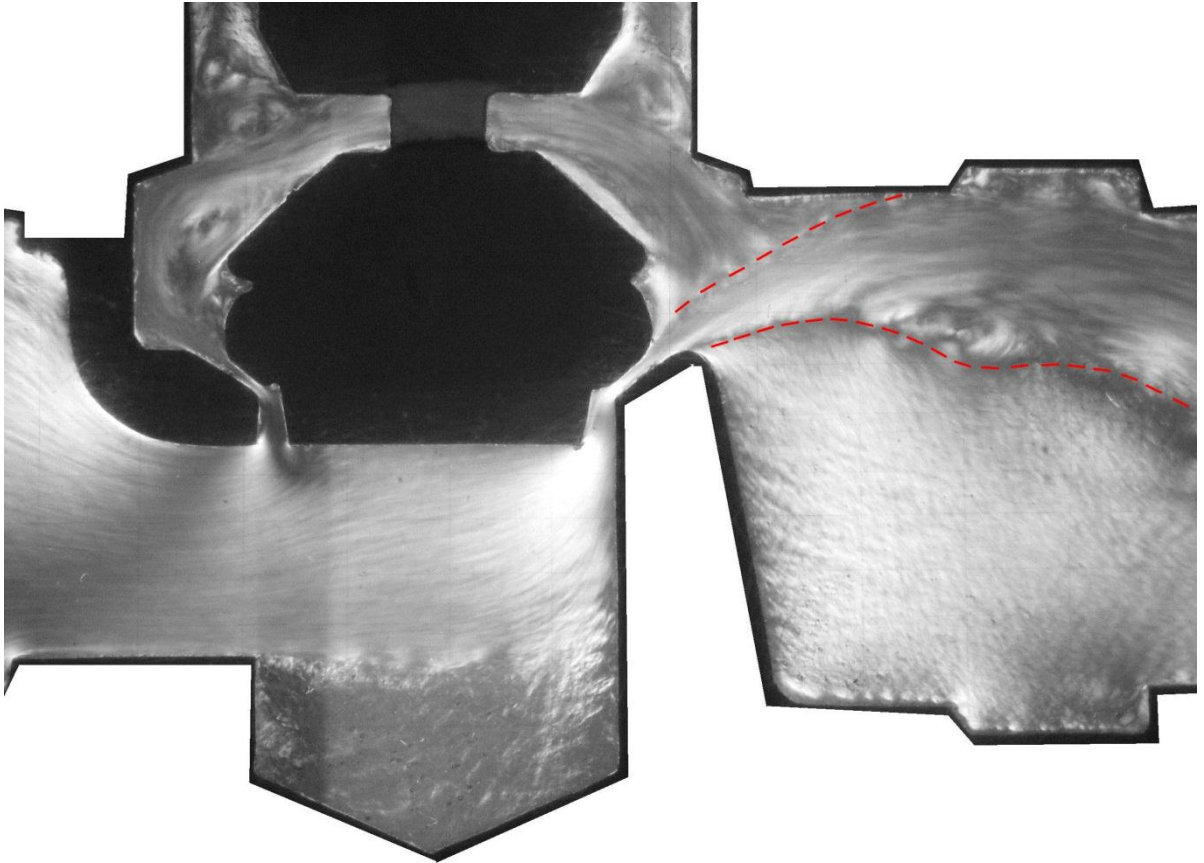
проведення фізичного моделювання ГП у термостатичному клапані на основі його структурної (геометричної) моделі із бази допоміжних елементів був виготовлений фізичний прототип *GEminor_i*. На рисунку 4.9, а показано виготовлену із гетинаксу конструкцію фізичного прототипу термостатичного клапану та моделюючий пристрій із двох плит з оптично-неактивного скла, між якими жорстко закріплюється лист гетинаксу. Далі на експериментальному стенді, принципова схема якого показана в розділі 3 на рис. 3.5, в умовах подібності за числом Рейнольдса $10^4 \leq Re \leq 10^6$ турбулентних ГП проводиться симуляція функціонування прототипу *GEminor_i* як допоміжного елемента мережевої частини ГАС. Результати експериментів показали, що попереднє значення гідравлічного опору клапана, який аналізується становить 2,5 і є зависоким. За допомогою системи фотореєстрації лабораторного стенду отримані візуальні данні про стан ГП у фізичному прототипі елемента, який моделюється (рис. 4.9, б). Попередній аналіз отриманого зображення дозволив зрозуміти, що причиною підвищеного шуму і опору є висока турбулентність тонкого струменя особливо у вихідному перерізі клапана (пунктирні лінії на зображенні, рис. 4.9, б)

Подальші дії проектувальника по створенню бази даних ГСП у режимі навчання на кроці 1, створенню проекту нейронної мережі для отримання інтелектуальних даних ГСП у режимі навчання МНВ на кроці 2 та створенню бази даних ГП у режимі сегментації МНВ більш детально описані в пункті 4.2.1.

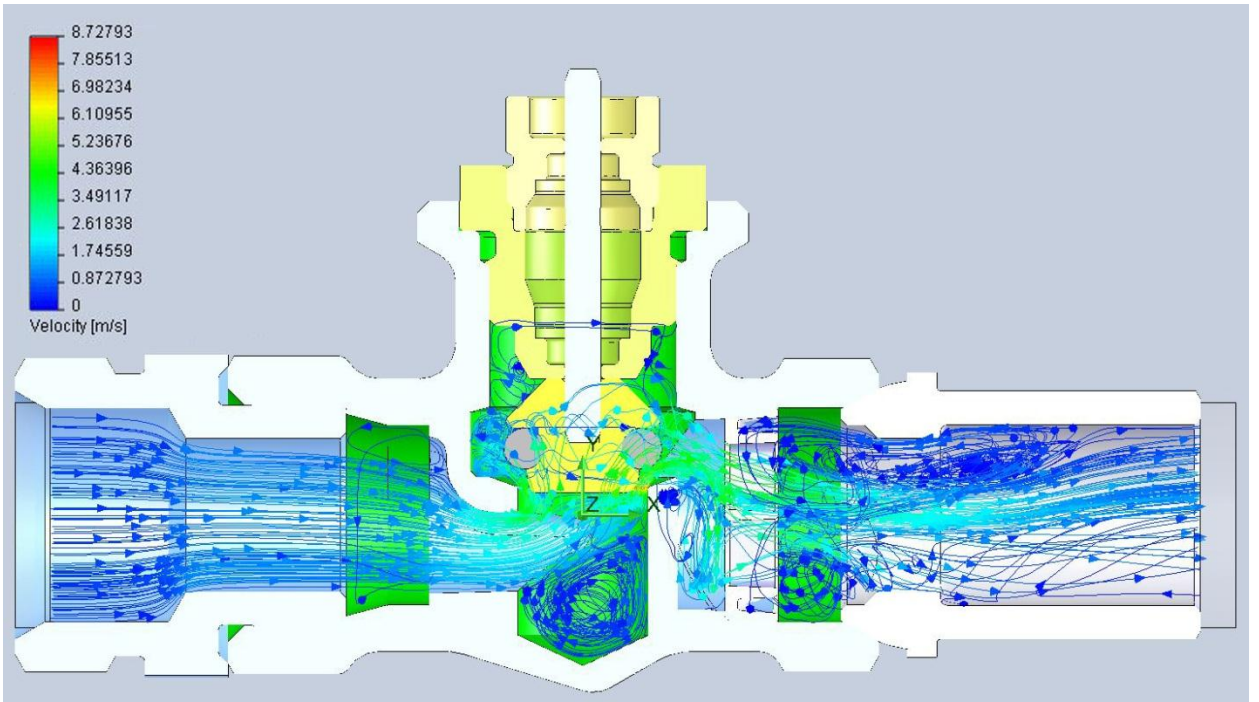
Аналіз інтелектуальних ГП, отриманих в режимі сегментації за допомогою МНВ, показав наявність зв'язаних областей ГСП дисипативного класу, особливо при витіканні потоку зі штоку, а також ГСП однорідного класу у нижній частині клапана. Отримання інтелектуальних даних ГП та їх порівняння з результатами чисельного моделювання у середовищі CFD



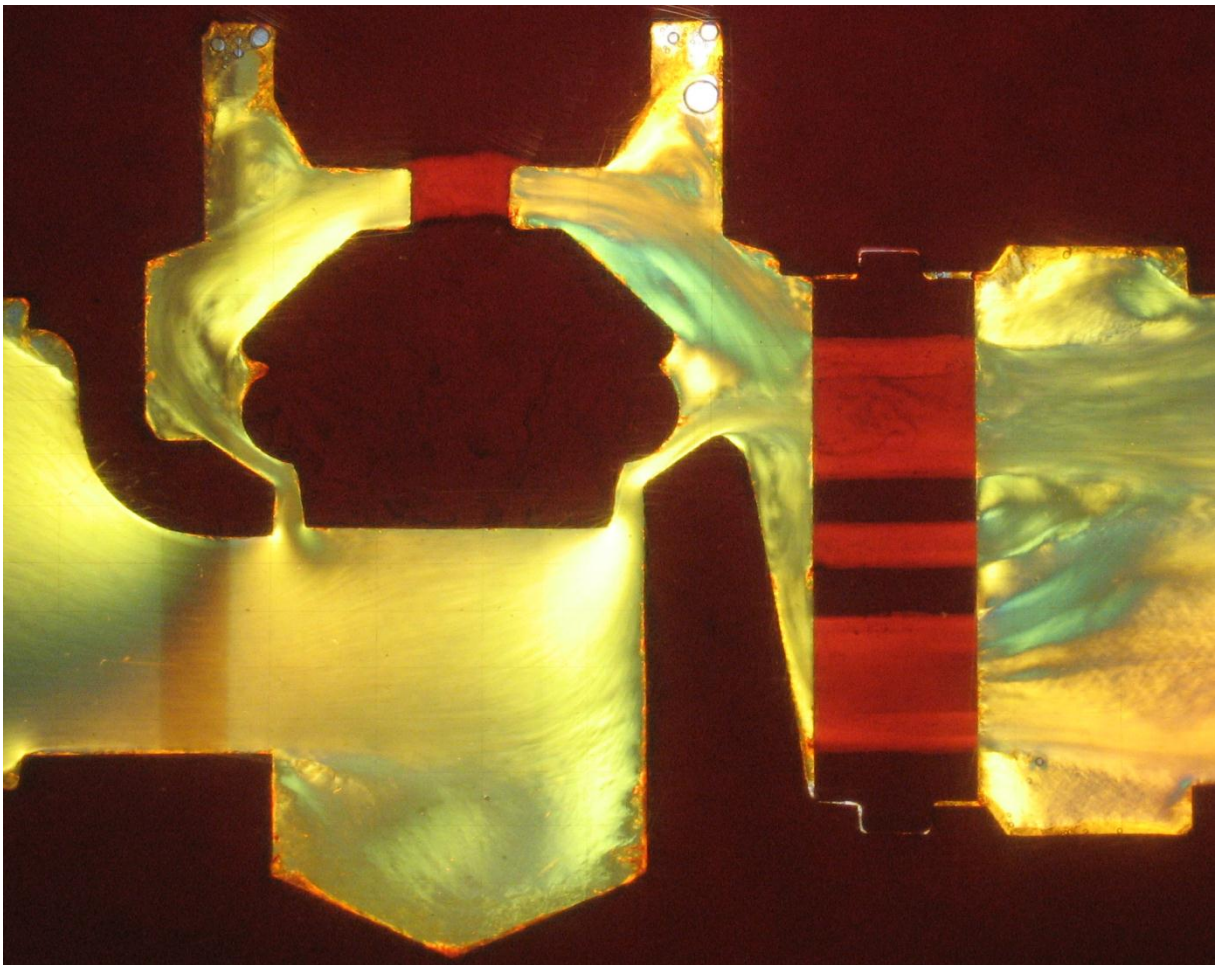
a



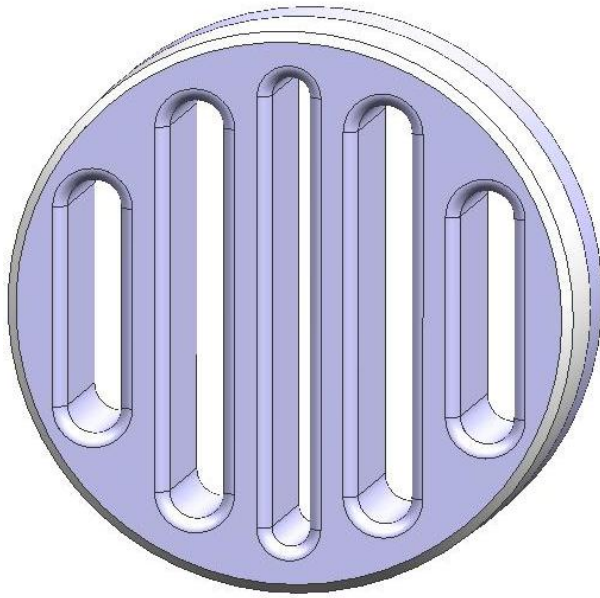
б



B



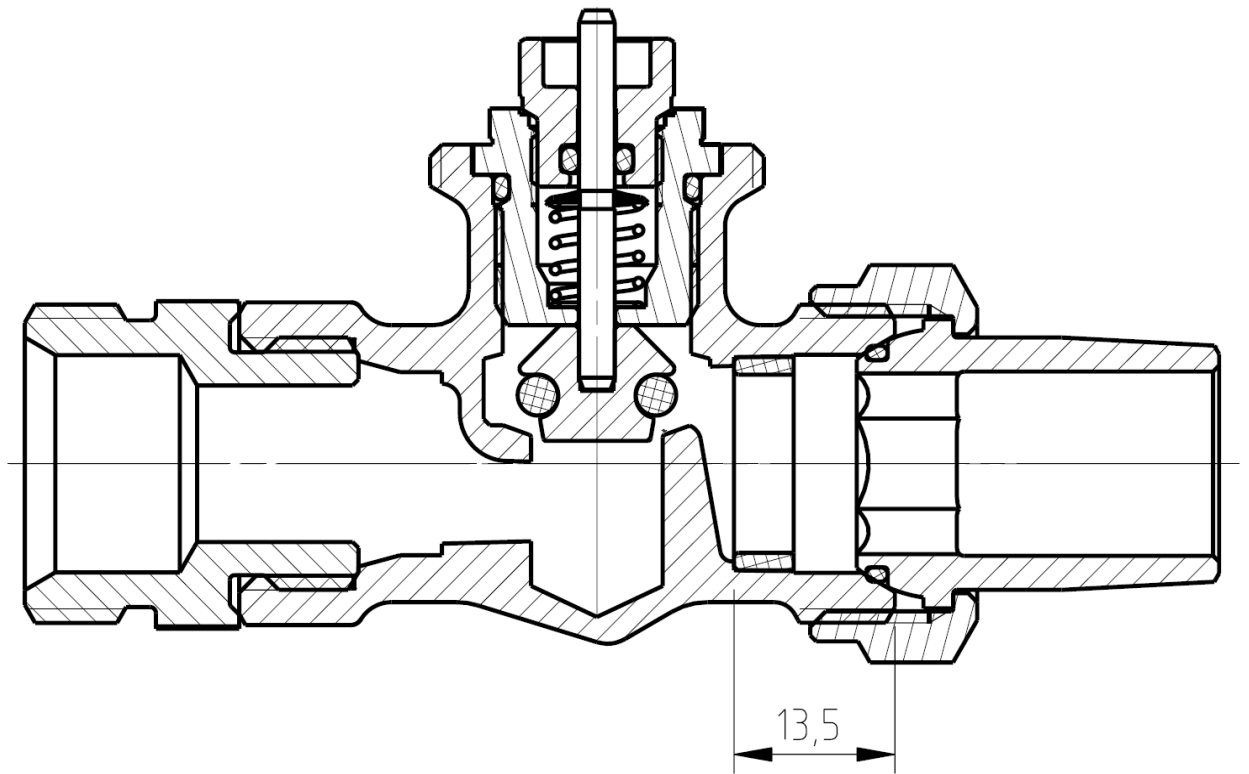
Г



д



е



ж

Рисунок 4.9 – Зниження опору в термостатичному клапані (а – фізичний прототип та моделюючий пристрій, в – візуальні данні ГП, г-е – результати, ж – проектне рішення)

(Computational Fluid Dynamics – FLUENT CFD Software) (рис 4.9, в) дозволив запропонувати конструкцію, яку розміщено на виході із термостатичного клапана (рис. 4.9, д – ж). Повторне проведення фізичного моделювання в модифікованому з урахуванням вставки фізичному прототипі (рис. 4.9,г) показало, що наявність вставки дозволяє значно знизити турбулентність (зменшити кількість ГСП дисипативного класу) в вихідному перерізі фізичного прототипу термостатичного клапану.

Нова технічна пропозиція розроблюється як результат заміщення зв'язаних областей ГСП дисипативного і однорідного класів вставками складної форми, які утворені оптично неактивними ГСП класу «стінка».

Експериментальні дослідження на лабораторному стенді та на випробувальному стенді для визначення витрати гарячої води згідно EN215 Herz Armaturen показали зниження значення гідродинамічного опору у термостатичному клапані з 2,5 до 1,8, тобто в 1,5 рази. При цьому значно знижено шум при роботі клапана.

Таким чином, експериментально підтверджена практична цінність розробленої ТАП ЕГАС(Е) при структурно-параметричному синтезі проектних рішень щодо модернізації системи теплопостачання та її допоміжного елемента – термостатичного клапану Herz Armaturen. В акті впровадження № 1 (додаток А) зазначено, що запропоновані рішення у складі спеціалізованого АРМ були використанні для проектування фізичного прототипу термостатичного клапану Herz Armaturen, гідравлічний опір якого знижено у 1,5 рази. Використання розробленого проектного рішення у аеродинамічній системі, що проектується, дозволило знизити енергоємність гідроаеродинамічних процесів на 14 %.

4.3 Обговорення отриманих результатів. Висновки

У четвертому розділі створено технологію автоматизованого проектування енергозберігаючих гідроаеродинамічних систем та їх допоміжних еле-

ментів (ТАП ЕГАС(Е)) у спеціалізованому АРМ проектувальника на базі розроблених моделей і методів структурно-параметричного синтезу.

На основі створеної ТАП ЕГАС(Е) розроблено прикладне програмне забезпечення спеціалізованого АРМ проектувальника.

Використання програмного забезпечення дає можливість автоматизувати виконання таких завдань:

- структурно-параметричний енергозберігаючих фізичних прототипів допоміжних елементів ГАС з врахуванням результатів моделювання стану реальних гідроаеродинамічних потоків у цих прототипах задля усунення причин високих гідравлічних опорів;

- створення проектних рішень (шаблонів) щодо енергозберігаючих допоміжних елементів на основі синтезованих прототипів;

- зберігання створених шаблонів зі зниженим гідравлічним опором у базі даних допоміжних елементів і використання їх задля структурно-параметричного синтезу проектного рішення мережевої частини ГАС зі зниженими втратами тиску;

- обґрунтований вибір генеруючого елемента з бази даних основних елементів з врахуванням енергоємності ГП у ГАС задля структурно-параметричного синтезу енергозберігаючого проектного рішення.

Практичне використання створеного АРМ для автоматизації проектування фізичних прототипів термостатичного клапану фірми Herz Armaturen та розподільчого колектора аеродинамічної системи енергоблоку №11 Молдавської ДРЕС, що дозволило знизити гідравлічний опір цих допоміжних елементів відповідно в 1,5 та 2 рази.

Використання розроблених енергозберігаючих проектних рішень щодо допоміжних елементів у системах теплопостачання та аеродинамічних системах, що проектуються, дозволило знизити енергоємність гідроаеродинамічних процесів у них відповідно на 25-30 % та 14 %. Запропоновані рішення у складі спеціалізованого АРМ також були використанні для проектування сис-

теми тепло- та тепловодопостачання на базі котла Е-2,5, енергоємність гідродинамічного процесу якої на 15 % нижче від подібних існуючих.

Одержані позитивні результати впровадження спеціалізованого АРМ задля автоматизації проектування енергозберігаючих ГАС та їх допоміжних елементів підтверджено відповідними актами підприємств.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна містить раніше не захищені наукові положення та одержані автором нові науково-обґрунтовані результати, які полягають у розробці та дослідженні моделей і методів автоматизованого проектування енергозберігаючих гідраеродинамічних систем та їх допоміжних елементів у спеціалізованому АРМ.

У результаті аналізу проблем енергозбереження в гідраеродинамічних системах, які проектуються в машинобудівних та інженерних АРМ існуючими методами структурного і параметричного синтезу встановлено, що ці методи не повною мірою враховують стан реальних гідраеродинамічних потоків при прийнятті проектних рішень, що призводить до додаткових (біля 40 %) втрат енергії на підйом, стиснення або транспортування робочих тіл.

У відповідності із удосконаленою структурно-параметричною моделлю мережевої частини гідраеродинамічних систем, що проектуються для заданих варіантів компонування та витрат робочого тіла, формалізовано оцінку значення сумарних втрат тиску задля вибору, розміщення і об'єднання з мережею основного енергетично активного елемента. При удосконаленні структурно-параметричної моделі генеруючої частини гідраеродинамічних систем, що проектуються, окрім правила компонування та параметрів основного елемента запропоновано враховувати показник енергоємності гідраеродинамічного процесу, як характеристику енергозбереження у системі, що проектується.

Ітераційне моделювання відносних змін параметрів структурно-параметричних моделей мережевої та генеруючої частин гідраеродинамічної системи щодо технічної пропозиції зі збільшення продуктивності системи на 44 % шляхом зниження гідравлічних опорів на 65,5 %, яку згенеровано за допомогою логіко-чисельної моделі, показало, що значення енергоємності гідраеродинамічного процесу знижується на 14 %, у той час, як значення коефіцієнту корисної дії основного елемента теж знижується на 4,8 %. Отри-

мані результати моделювання на основі визначення взаємного впливу параметрів розробленої логіко-чисельної моделі підтвердили доцільність використання запропонованого показника енергоємності гідроаеродинамічного процесу як характеристики енергозбереження в гідроаеродинамічних систем, що проектуються.

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.

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 1,5 – 5 разів, залежно від типу енергозберігаючого допоміжного елемента.

Запропоновані рішення у складі спеціалізованого АРМ використанні для автоматизації проектування фізичних прототипів термостатичного клапану фірми Herz Armaturen та розподільчого колектора аеродинамічної системи енергоблоку № 11 Молдавської ДРЕС та дозволили знизити гідравлічний опір цих допоміжних елементів, відповідно, в 1,5 та 2 рази. Використання розроблених енергозберігаючих проектних рішень щодо до-

поміжних елементів у системах теплопостачання та аеродинамічних системах, що проектуються, дозволило знизити енергоємність гідроаеродинамічних процесів у них відповідно на 25-30 % та 14 %. Запропоновані рішення у складі спеціалізованого АРМ були використанні в УДЦ «Молода гвардія» для проектування системи тепло- та тепловодопостачання на базі котла Е-2,5, енергоємність гідродинамічного процесу якої на 15 % нижче від подібних існуючих.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Арсирий, Е. А. Анализ изображений гидродинамических потоков с помощью оценки параметров вихревых волновых структур / Е. А. Арсирий, В. А. Арсирий, А. П. Василевская // Труды Одесского политехнического университета. – 2005. – Вып. 1(23). – С. 107 – 112.
2. Арсирий, Е. А. Исследование эффективности искусственных нейронных сетей различных архитектур для распознавания образов / Е. А. Арсирий, А. П. Василевская, Е. Д. Петрова // Холодильна техніка і технологія. – 2005. – № 6(98). – С. 117 – 124.
3. Арсирий, Е. А. Интеллектуальный классификатор структурных примитивов гидродинамических потоков / Е. А. Арсирий, А. П. Василевская, Т. В. Павличенко // Труды Одесского политехнического университета. – Одесса, 2008. – Вып. 2(30). – С. 160 – 166.
4. Арсірій, О. О. Аналіз зображень гідродинамічних потоків на основі саморганізованих карт Кохонена / О. О. Арсірій, С. Г. Антощук, О. П. Василевська // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – 2012. – № 03(78). – С.132 – 136.
5. Маникаева, О. С. Машинное обучение самоорганизующегося слоя Кохонена в системах нейросетевого распознавания образов по статистической информации / О. С. Маникаева, Е. А. Арсирий, А. П. Василевская // Системні технології. – Вип. 5 (100). – Дніпропетровськ, 2015. С. 93 – 105.
6. Арсирий, Е. А. Разработка подсистемы поддержки принятия решений в системах нейросетевого распознавания образов по статистической информации / Е. А. Арсирий, О. С. Маникаева, А. П. Василевская // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015 – №6/4(78). – С. 4 – 12.
7. Василевская, А. П. Модели и метод энергосберегающего функционального проектирования гидроаэродинамических систем / А. П. Василевская // Электротехнические и компьютерные системы. – 2016. – № 21(97). – С. 35 – 38.

8. Арсирый, Е. А. Построение нейронных классификаторов для распознавания вихревых волновых структур гидродинамических потоков / Е. А. Арсирый, А. П. Василевская // Труды 8-й международной научно-практической конференции «Современные информационные и электронные технологии (СИЭТ-2007)». – Одесса: ОНПУ, 2007. – С. 80.

9. Арсирый, Е. А. Самоорганизующиеся одно- и двумерные карты Кохонена для кластеризации неструктурированных данных / Е. А. Арсирый, А. П. Василевская // Матеріали XVI Всеукраїнської науково-методичної конференції «Проблеми економічної кібернетики 2011». – Одеса: ОНПУ, 2011. – Т. 2. – С. 56 – 57.

10. Арсірій, О. О. Комплексне моделювання і інтелектуальний аналіз візуальних даних в САПР елементів систем транспортування / О. О. Арсірій, С. Г. Антощук, О. П. Василевська // Матеріали XI Всеукраїнської міжнародної конференції з оброблення сигналів і зображень та розпізнавання образів «УкрОбраз'2012». – Львів: НУ «Львівська політехніка». – С. 91 – 95.

11. Арсирый, Е. А. Самоорганизующиеся одно- и двумерные карты Кохонена для кластеризации неструктурированных данных / Е. А. Арсирый, А. П. Василевская // Труды XIII международной научно-практической конференции «Современные информационные и электронные технологии (СИЭТ-2012)». – Одесса: ОНПУ, 2012. – С. 122.

12. Арсирый, Е. А. Информационная поддержка проектирования элементов систем транспортирования / Е. А. Арсирый, С. Г. Антощук, А. П. Василевская // Материалы международной научно-технической конференции «Информационные системы и технологии (ИСТ-2012)». – Харьков: ХНУРЭ, 2012. – С. 106.

13. Мазуренко, А. С. Повышение эффективности газотурбинных установок за счет совершенствования аэродинамики проточных частей / А. С. Мазуренко, В. А. Арсирый, Е. А. Арсирый // Труды Одесского политехнического университета. – 2004. – Вып. 2(22). – С. 79 – 83.

14. Арсирый, В. А. Модернизация центробежного вентилятора «ДА-210» на основе визуализации структуры потока / В. А. Арсирый,

Е. А. Арсирый // Холодильна техніка і технологія. – 2005. – № 3(95). – С. 37 – 40.

15. Арсирый, Е. А. Интеллектуальный анализ при комплексном моделировании для повышения надежности работы энергетического оборудования / Е. А. Арсирый, С. Г. Антощук, В. А. Арсирый, В. И. Кравченко // Радиоэлектроні і комп'ютерні системи. – 2012. – № 6(58). – С. 89 – 95.

16. Арсирый, Е. А. Разработка моделей элементов гидроаэродинамических систем на основе средств интеллектуальной визуализации / Е. А. Арсирый // Восточ.–Европ. журн. передовых технологий. Энергосберегающие технологии и оборудование. – 2013. – №3/8(63). – С. 4 – 8.

17. Арсирый, Е. А. Иерархическая модель данных для поддержки принятия решений при интенсификации процессов // Электротехн. і комп'ют. системи. – 2013. – № 10(86). – С. 133 – 138.

18. Арсирый, Е. А. Концептуальная модель информационной поддержки принятия решений по совершенствованию эксплуатируемого энергетического оборудования / Е. А. Арсирый, С. Г. Антощук, В. А. Арсирый // Электротехн. і комп'ют. системи. – 2013. – № 11(87). – С. 133 – 138.

19. Норенков, И. П. Основы автоматизированного проектирования : учебник для вузов / И. П. Норенков – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. – 333 с. – ISBN 5–7038–2090–1

20. Норенков, И. П. Информационная поддержка наукоемких изделий. CALS–технологии / Норенков И. П., Кузьмик П. К. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. – 319 с – ISBN 5–7038–1962–8.

21. ГОСТ 3.1109–82. Процессы технологические. Основные термины и определения. – 1982.

22. ГОСТ 14.001–73 – ГОСТ 14.416–83. Единая система технологической подготовки производства М.: Изд-во стандартов. – 1984.

23. Управление качеством и элементы системы качества (п.5.1.1). Стандарт ИСО 9004–1–94 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.docload.ru/Basesdoc/4/4994/index.htm>

24. Надежность в технике. Основные понятия. Термины, определения: ГОСТ 27.002–89. – М.: Госстандарт России: Изд–во стандартов, 1989.

25. Неолант. Тепло– и электроэнергетика Решения [Электронный ресурс]: разработка инновационных решений и поставка инжиниринговых и IT–услуг для предприятий топливно–энергетического комплекса и органов государственного и муниципального управления. – Режим доступа: <http://www.neolant.ru/hape>

26. Информационно–образовательный портал по Управлению ТоиР [Электронный ресурс]: информационно–образовательный проект по вопросам управления надежностью, техническим обслуживанием и ремонтами оборудования – Режим доступа: <http://www.prostoev.net/>

27. Арматура–2000. Номенклатурный каталог–справочник по трубопроводной арматуре, выпускаемой в СНГ. – М.: ОАО «МосЦКБА», 2000. – 658 с.

28. Насосы Аирпамп. Промышленные насосы – [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://airpump.ru/item_novarotors_manual_08.html

29. Идельчик, И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / под ред. М. О. Штейнберга. – 3–е изд. – М. : Машиностроение, 1992. – 672 с., ил. – ISBN 5–217–00393–6

30. Малыгин, Е. Н. Решение проблемы оптимального синтеза технологических процессов сложных систем / Е. Н. Малыгин, В. А. Немтинов, Ж. Е. Зимнухова, Ю. В. Немтинова // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2002. – Т. 7, № 2. – С. 242 – 245.

31. Меренков, А. П. Теория гидравлических цепей / А. П. Меренков, В. Я. Хасилев. – М. : Наука, 1985. – 235 с.

32. Уоссерман, Ф. Нейрокомпьютерная техника : теория и практика / Ф. Уоссерман. – М. : Мир, 1992. – 240 с. – ISBN 5–03–002115–9.

33. Belotserkovskii, O. M. Visualization of Hydrodynamic Calculations / O. M. Belotserkovskii, V. M. Chechetkin, A. M. Oparin // Научная визуализация в прикладных задачах: сб. науч. тр. – М.: МГУ. – 2003. – С. 13–20.

34. Стриханов, М. Н. Компьютерная визуализация наноструктур / М. Н. Стриханов, Н. Н. Дегтяренко, В. В. Пилюгин [и др.] // Российские нанотехнологии. – 2010. – Т.5. – N5–6. – С. 12–13.
35. Демина, Д. А. Технология трехмерной визуализации в лингводидактике / Д. А. Демина // Трехмерная визуализация научной, технической и социальной реальности. Кластерные технологии моделирования: тр. 2-й междунар. конф. – Ижевск, 2010.
36. Белозеров, А. Ф. Оптические методы визуализации газовых потоков / А. Ф. Белозеров. – Казань: КГТУ, 2007. – 747 с.
37. Математическое обеспечение графопостроителей. II уровень. СМОГ. Инструкция по программированию / [под ред. Ю.А.Кузнецова]. – Новосибирск: ВЦ СО АН СССР, 1976. – 78 с.
38. McCormick, V. Visualization in Scientific Computing / McCormick V., DeFanti T., Brown M. – ACM Press, 1987.
39. Применение методов научной визуализации в прикладных задачах: сб. науч. тр. – М.: МГУ, 2000. – 58 с.
40. Научная визуализация в прикладных задачах: сб. науч. тр. – М.: МГУ, 2003. – 48 с.
41. Бондарев, А. Е., Функции визуализации в вычислительной аэродинамике / А. Е. Бондарев, Е. Н. Бондарев // Общероссийский научно-технический журнал «Полет». – М.: Машиностроение. – 2000. – № 10. – С. 53–60.
42. Горячев, В. Д. Визуализация результатов расчетов в I&CS2 – сетевой информационно-вычислительной системе моделирования термогидродинамических процессов / В. Д. Горячев // Применение методов научной визуализации в прикладных задачах: сб. науч. тр. – М.: МГУ, 2000. – С. 19–36.
43. Mathematical Foundations of Scientific Visualization, Computer Graphics, and Massive Data Exploration / [ed. by T. Möller, B. Hamann, R. Russell]. – Springer-Verlag, 2009. – P. 35–190.
44. Interrante, V. Visualizing 3D Flow / V. Interrante, C. Grosch // IEEE Computer Graphics and applications. – 1998. – V.18. – № 4. – P. 70–74.

45. Mogilenskikh, D. V. Nonlinear Color Interpretation of Physical Processes / D. V. Mogilenskikh // GraphiCon'2000: the 10th Int. Conf. on Computer Graphics. – Moscow, 2000. – P. 202–211.

46. Базаров, С. Б. Применение цифровой обработки изображений для визуализации результатов газодинамических расчетов / С. Б. Базаров // Применение методов научной визуализации в прикладных задачах: сб. науч. тр. – М.: МГУ, 2000. – С. 39–42.

47. Бондарев, А. Е. О трассировке вихревых структур / А. Е. Бондарев, Е. Н. Бондарев // Научная визуализация в прикладных задачах: сб. науч. тр. – М.: МГУ, 2003. – С. 4–13.

48. Tricoche, X. Topological Methods for Visualizing Vortical Flows / X. Tricoche, C. Garth // Mathematical Foundations of Scientific Visualization, Computer Graphics, and Massive Data Exploration [ed. by T. Möller, B. Hamann, R. Russell.]. – Springer-Verlag, 2009. – P. 89–108.

49. McNamara, A. Fluid control using the adjoint method / A. McNamara, A. Treuille, Z. Popovic, J. Stam // ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH 2004). 2004. – №23(3).

50. Uselton, S. ExVis: Developing A Wind Tunnel Data Visualization Tool / S. Uselton // IEEE Visualization 97: proc. – New York:ACM press, Oct.1997. – P. 417– 420.

51. Альбом течений жидкости и газа / [под ред. М. Ван-Дайка]. – М.: Мир, 1986. – 182 с.

52. Потехин, А. Л. Методы быстрого формирования изображения в параллельной системе постобработки результатов научных вычислений ScientificView / А. Л. Потехин // ГРАФИКОН–2010: 20–ая междунар. конф. по компьютерной графике и зрению: труды. – СПб, 2010. – С. 273–280.

53. Harlow, F. H. Numerical Calculation of Time-Dependent Viscous Incompressible Flow of Fluids with Free Surface / F. H. Harlow, E. Welch // Phys. Fluids. – 1965. – Vol. 8. – P. 2182,.

54. Андреев, С. В. Синтез фотореалистичных трехмерных изображений в современных системах презентаций / С. В. Андреев, В. А. Галактионов,

Е. Ю. Денисов, Н. Е. Кирилов // Программные продукты и системы. – 2007. – № 3. – С. 37–40.

55. Ma, Kwan-Liu. Visualizing Visualizations / Ma Kwan-Liu // IEEE Computer Graphics and Applications. – 2000. – V.20. – № 5. – P. 16 – 19.

56. Van Wijk, J. J. Model-Based Visualization: Computing Perceptually Optimal Visualizations / J. J. Van Wijk // Mathematical Foundations of Scientific Visualization, Computer Graphics, and Massive Data Exploration [ed. by Möller T., Hamann B., Russell R.]. – Springer-Verlag, 2009. – P. 343–350.

57. Барсегян, А. А. Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining / А. А. Барсегян, М. С. Куприянов, В. В. Степаненко // Холод И.И. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 336с.

58. Пospelов, Г. С. Системный анализ и искусственный интеллект / Г.С. Пospelов. М.: ВЦ АН СССР, 1980.

59. Представление знаний в человеко-машинных и робототехнических системах. Том А. Фундаментальные исследования в области представления знаний / под ред. Д.А. Пospelова. – М.: ВИНТИ, 1984. – 261 с.

60. Представление знаний в человеко-машинных и робототехнических системах. Том В. Инструментальные средства разработки систем, ориентированных на знания / под ред. В.Н. Захарова, В.Ф. Хорошевского. – М.: ВИНТИ, 1984. – 236 с.

61. Представление знаний в человеко-машинных и робототехнических системах. Том С. Прикладные человеко-машинные системы, ориентированные на знания / под ред. Г.С. Пospelова, В.Ф. Хорошевского. – М.: ВИНТИ, 1984. – 380 с.

62. Представление знаний в человеко-машинных и робототехнических системах. Том D. Фундаментальные и прикладные исследования в области робототехнических систем / под ред. И. Пландера, А. Платонова. – М.: ВИНТИ, 1984. – 291 с.

63. Хайкин, С. Нейронные сети: полный курс / С. Хайкин: 2-е изд., испр., пер. с англ. / Под ред. Н.Н. Куссуль. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2006. – 1104 с.

64. Кохонен, Т. Самоорганизующиеся карты / Т. Кохонен; пер. 3-го англ. изд. – М. : БИНОМ Лаборатория знаний, 2008. – 655с. ил. – ISBN 978–5–94774–352–4.
65. Kohonen, T. The self-organizing map / Neural Networks: Theoretical foundations and analysis/ Edited by Clifford G. Y. Lau. New York. IEEE Press. – 1992.
66. Барский, А. Б. Нейронные сети: распознавание, управление, принятие решений / А. Б. Барский. – М. : Финансы и статистика, 2004. – 176 с: ил. – ISBN 5–279–02757–X
67. Глибовець, М. М. Штучний інтелект: Підручник для студентів вищих навчальних закладів, що навчаються за спеціальностями "Комп'ютерні науки" та "Прикладна математика" [Текст] / М. М. Глибовець, О. В. Олецкий. – К. : Видавничий дім "KM Academia", 2002. – 366 с. – ISBN 966–518153–X.
68. Субботін, С. О. Подання й обробка знань у системах штучного інтелекту та підтримки прийняття рішень: навч. посіб. / С. О. Субботін ; – М-во освіти і науки України, Запоріж. нац. техн. ун-т. – Запоріжжя, 2008. – 340 с. – ISBN 978–966–7809–87–4.
69. Джонс, М. Т. Программирование искусственного интеллекта в приложениях / М. Т. Джонс : пер. с англ. Осипов А. И. – М. : ДМК Пресс, 2004. – 312 с.: ил. – ISBN 5940742750.
70. Горбань, А. Н. Обучение нейронных сетей / А. Н. Горбань – М.: СП Параграф, 1990.
71. Горбань, А. Н. Нейроинформатика / А. Н. Горбань, В. Л. Дунин-Барковский, А. Н. Кирдин, Е. М. Миркес и др. – Новосибирск: Сибирское предприятие РАН: Наука, 1998. – 296 с.
72. Бодянский, Е. В. Искусственные нейронные сети: архитектуры, обучение, применения / Е. В. Бодянский , О. Г. Руденко. – Харьков: Телетех, 2004. – 369.
73. Заенцев, И. В. Нейронные сети: основные модели : учеб. пособие для студентов / И. В. Заенцев. – Воронеж : ВГУ, 1999. – 76 с.

74. Горбань, А. Н. Нейронные сети на персональном компьютере / А. Н. Горбань, Д. А. Россиев. – Новосибирск: Наука, 1996. – 276 с.
75. Суровцев, И. С. Нейронные сети / И. С. Суровцев, В. И. Клюкин, Р. П. Пивоварова. – Воронеж : ВГУ, 1994. – 224 с.
76. Иванченко, А. Г. Персептрон – системы распознавания образов / А. Г. Иванченко. – К. : Наукова думка, 1972. – 142 с.
77. Каллан, Р. Основные концепции нейронных сетей / Р. Каллан. – М. : Вильямс, 2003. – 288 с. – ISBN 5–8459–0210–X.
78. Васильев, В. И. Интеллектуальные системы управления с использованием нейронных сетей : учеб. пособие / В. И. Васильев, Б. Г. Ильясов, С. С. Валеев и др. – Уфа : Уфимск. гос. авиац. техн. ун–т, 1997. – 92 с. – ISBN 5–86911–178–1.
79. Круглов, В. В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика / В. В. Круглов, В. В. Борисов. – М. : Горячая линия – Телеком, 2002. – 382 с. – ISBN 5–93517–031–0.
80. Медведев, В. С. Нейронные сети. MATLAB 6 / В. С. Медведев, В. Г. Потемкин. – М. : Диалог–МИФИ, 2002. – 496 с. – ISBN 5–86404–163–7.
81. Джонс, М. Т. Программирование искусственного интеллекта в приложениях / М. Т. Джонс : пер. с англ. Осипов А. И. – М. : ДМК Пресс, 2004. – 312 с.: ил. – ISBN 5940742750.
82. Мещеряков, С. В. Эффективные технологии создания информационных систем / С. В. Мещеряков. – СПб. : Политехника, 2005. – 309 с.
83. Шумский, С. А. Самоорганизующиеся карты финансовых индикаторов 200 крупнейших российских предприятий. Материалы Всероссийской научной конференции «Нейроинформатика–99» / С.А. Шумский, А.Н. Кочкин – Москва, 1999. Часть 3. С.122–127.
84. Корячко В.П., Курейчик В.М., Норенков И.П. Теоретические основы САПР. Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 400 с.
85. Арсирий, Е. А. Системы поддержки принятия решений по совершенствованию энергетического оборудования на базе сетей Петри / Е. А. Арсирий, С.Г. Антошук, В. А. Арсирий // Материалы 2–й междунар. науч.–

техн. конф. «Информ. системы и технологии (ИСТ–2013)». – Харьков: ХНУРЭ, 2013. – С. 80 – 81.

86. Арсірій, О.О. Інтелектуалізація підтримки прийняття рішень при інтенсифікації процесів в гідроаеродинамічних системах / О.О. Арсірій, С. Г. Антощук // Матеріали міжнарод. наук.–практ. конф. «Інформ. управляючі системи та технології (ІУСТ–2013)». – Одеса: ОНМУ, 2013. – С. 31 – 32.

87. Арсірий, Е. Интенсификация работы газовой турбины за счет совершенствования аэродинамических процессов / А. Мазуренко, В. Арсірий, В. Кравченко, Е. Арсірий // FORUM ENERGETYKOW GRE, Politechnika Opolska, Instytut Elektrowni i Systemów Pomiarowych, 25–27.04.2012 – Szczyrk, Poland 2012, – P. 212

88. Арсірий, Е. А. Цифровой макет оборудования энергетического предприятия / Е. А. Арсірий, С. Г. Антощук // Електротехн. і комп'ют. системи.– К. : Техніка, 2013. – № 12(88). – С. 71 – 82.

89. Arsiriy, E. The physical method of visual diagnostics of flow structure / E. Arsiriy, 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.

90. Арсірий, Е. А. Информационные технологии обработки данных в задачах анализа и идентификации вихревых волновых структур / Е. А. Арсірий, В. И. Гриценко, В. А. Арсірий, В. А. Власенко // Управляющие системы и машины. – Киев, 1998. – № 6. – С. 20 – 26.

91. Арсірий, Е. А. Интеллектуальная визуализация при принятии проектных решений в САПР гидроаэродинамических систем / Е. А. Арсірий, С. Г. Антощук // Матеріали междунар. науч. конф. «Інтелект. системи підтримки прийняття рішень і проблеми вычисл. інтелекта (ISDMCI'2013)». – Херсон: ХНТУ, 2013. – С. 344 – 345.

92. Mathematical Foundations of Scientific Visualization, Computer Graphics, and Massive Data Exploration / [ed. by T. Möller, B. Hamann, R. Russell]. – Springer–Verlag, 2009. – P. 35 –190.

93. Гудзовский, А. В. Визуализация свободно–конвективных течений жидкости в полости / Гудзовский А. В., Клименко С. В. // ГРАФИКОН–1998: междунар. конф. по компьютерной графике: труды. – М.: МГУ, 1998. – С. 31–38.

94. Stolk, J. Surface–Particles for 3D Flow Visualization / J. Stolk, J. J. van Wijk // *Advances in Scientific Visualization*. Springer Verlag, – 1992. – P. 119–130.

95. Сельвачев, А. Ю. Анимационная визуализация трехмерных векторных полей / А. Ю. Сельвачев, А. А. Аксенов, С. В. Клименко // ГРАФИКОН–1998: междунар. конф. по компьютерной графике: труды. – М.: МГУ, 1998. – С. 53–56.

96. Forsell, L. K. Using Line Integral Convolution for Flow Visualization: Curvilinear Grids, Variable–Speed Animation and Unsteady Flows / L. K. Forsell, S. D. Cohen // *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*. – 1995, № 1(2). – P. 133–141.

97. Anikanov, A. A. Texture Advection for 3D Flow Visualization / A. A. Anikanov, O. A. Potiy // *GraphiCon'2003: the 13th Int. Conf. on Computer Graphics*. – Moscow, 2003. – P. 100–105.

98. Weiskopf, D. Iterative Twofold Line Integral Convolution for Texture–Based Vector Field Visualization / D. Weiskopf:[ed. by Möller T., Hamann B., Russell R.] // *Mathematical Foundations of Scientific Visualization, Computer Graphics, and Massive Data Exploration*. – Springer–Verlag, 2009. – P. 191–212.

99. Афендииков, А. Л. Локализация разрывов в полях газодинамических функций с помощью вейвлет анализа / А. Л. Афендииков, Л. И. Левкович–Маслюк, А. Е. Луцкий, А. В. Плёнкин // *Математическое моделирование*. – 2008. – Т. 20. – №7. – С. 65–84.

100. Kenwright, D. Automatic Vortex Core Detection / D. Kenwright, R. Haines // *IEEE Computer Graphics and Applications*. – 1998. – V.18. – № 4. – P. 70–74.

101. Алексеев, А. К. Визуализация переноса погрешности при расчете поля течения / А. К. Алексеев, А. Е. Бондарев // Научная визуализация в прикладных задачах : сб. науч. тр. – М.: МГУ, 2003. – С. 4–13.

102. Паклин Н. Б. Бизнес–аналитика: от данных к знаниям / Н.Б. Паклин, В.И. Орешков – СПб.: Изд. Питер, 2009. – 624 с.

103. Фисенко В. Компьютерная обработка и распознавание изображений: учеб. Пособие. / В.Т. Фисенко, Т.Ю. Фисенко – СПб: СПбГУ ИТМО, 2008. – 192 с.

104. Фисенко В. Метод автоматического анализа цветных изображений / В.Т. Фисенко, Т.Ю. Фисенко – Оптический журнал, Т.70., номер 9, сентябрь 2003. С.18–23.

105. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Гонсалес Р., Вудс Р.; пер. с англ. под ред. П. А. Чочиа. – Москва: Техносфера, 2006. – (Мир цифровой обработки; XI, 01). – 1070 с.: ил. – ISBN 5–94836–028–8.

106. Гаврилова, Т. А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Г. Хорошевский. – СПб.: Питер, 2000. – 384 с.

Додаток А

АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ РОБОТИ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ

ОДЕСЬКА
ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИОДЕССКАЯ
ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ
СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫІНСТИТУТ
ІНЖЕНЕРНО-ЕКОЛОГІЧНИХ
СИСТЕМІНСТИТУТ
ІНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ
СИСТЕМУкраїна, 65029, м. Одеса, вул. Дітріхсона, 4.
тел.: (0482) 23-29-83, 20-47-71, 20-48-51Украина, 65029, г. Одесса, ул. Дидрихсона, 4.
тел.: (0482) 23-29-83, 20-47-71, 20-48-51№ _____
на № _____ от _____

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів дисертаційної роботи Василевської Олександри Петрівни на тему: «Моделі та методи проектування енергозберігаючих гідроаеродинамічних систем у спеціалізованому АРМ» при виконанні науково-дослідних робіт щодо автоматизації проектування систем теплопостачання та модернізації аеродинамічної системи енергоблоку № 11 Молдавської ДРЕС

При виконанні науково-дослідних робіт «Зниження шуму термостатичного клапану Herz Armaturen» та «Модернізація тракту підводу окислювача від ГТУ до пальників котла» було використано спеціалізований АРМ проектувальника, який створено в рамках наукових досліджень Василевської О.П.

Практичне використання розробленого спеціалізованого АРМ дозволило:

– синтезувати фізичний прототип термостатичного клапану фірми Herz Armaturen, гідравлічний опір якого в 1,5 рази нижче за існуючий, використання розробленого клапану в системах теплопостачання, що проектуються дозволило знизити енергоємність гідродинамічного процесу на 25-30%;

– синтезувати фізичний прототип розподільчого колектора тракту підводу окислювача від ГТУ до пальників котла гідравлічний опір якого в 2 рази нижче за існуючий, використання розробленого проектного рішення при модернізації аеродинамічної системи енергоблоку дозволило знизити енергоємність гідродинамічного процесу на 14%.

Директор Інституту
інженерно-екологічних систем



к.т.н., доцент Вітюков В.В.



МІНІСТЕРСТВО СОЦІАЛЬНОЇ ПОЛІТИКИ УКРАЇНИ

Державне підприємство „Український дитячий центр „МОЛОДА ГВАРДІЯ”

65069, Одеса Миколаївська дорога 172; тел. (048) 755-92-34; факс 755-92-60; e-mail: molgvard@ukr.net
код ЄДРПОУ 33636307 <http://moloda-gvardiya.com.ua>

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів дисертаційної роботи Василевської Олександри Петрівни на тему: «Моделі та методи проектування енергозберігаючих гідроаеродинамічних систем у спеціалізованому АРМ» при проектуванні системи тепло та тепловодопостачання

При виконанні науково-дослідної роботи по корективувці гідродинаміки системи тепло та тепловодопостачання на базі котла Е-2,5 ДП «УДЦ «Молода гвардія» було використано інформаційну технологію автоматизованого проектування енергозберігаючих гідро аеродинамічних систем та їх допоміжних елементів, яку розроблено і реалізовано у вигляді спеціалізованого АРМ проектувальника в рамках наукових досліджень Василевської О.П.

За допомогою розробленої технології автоматизовано структурно-параметричний синтез системи тепло та тепловодопостачання на базі котла Е-2,5. Проведення модернізації існуючої системи з врахування запропонованих проектних рішень дозволило знизити енергоємність її гідродинамічного процесу на 15% .

Генеральний директор



Е.Б. Лебединський

Заступник генерального директора
з капітального будівництва та експлуатації

С.М. Леонідов

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Проректор з науково-педагогічної
та виховної роботи Одеського
національного політехнічного
університету
Нестеренко С.А.

«23» травня 2016 р.



АКТ


про впровадження в навчальний процес результатів дисертаційної роботи за темою
«Моделі та методи проектування енергозберігаючих гідроаеродинамічних систем у
спеціалізованому АРМ» на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
Василевської Олександри Петрівни

Комісія у складі професора кафедри інформаційних систем д.т.н. Крилова В.М., заступника завідувача кафедри інформаційних систем доцента к.т.н. Бабілонги О.Ю., заступника завідувача кафедри інформаційних систем доцента к.т.н. Ніколенко А.О. склали цей акт про те, що у Одеському національному політехнічному університеті, при викладанні дисциплін «Проектування інформаційних систем», «Методи та системи підтримки прийняття рішень» і «Методи і системи штучного інтелекту», а також при виконанні курсових і дипломних робіт для студентів спеціальності 122 «Комп'ютерні науки та інформаційні технології» використовувались наступні оригінальні матеріали, які отримано у дисертаційній роботі Василевської Олександри Петрівни:


1. Логіко-чисельна модель генерації технічних пропозицій у вигляді знакового зваженого орграфу, для побудови, якої розроблено методики з використанням засобів структурного підходу, теорії графів та методів прийняття рішень.

2. Засоби моделювання і інтелектуального аналізу візуальних даних гідроаеродинамічних потоків в синтезованих фізичних прототипах допоміжних елементів гідроаеродинамічних систем а саме: основні архітектури нейронних мереж таких як: прямого поширення сигналу (найпростіші і багаточарові перцептрони, лінійні мережі), мереж зустрічного і зворотного поширення сигналу, радіально-базисних мереж, шарів і карт Кохонена, що самоорганізуються.

Професор кафедри ІС
професор, д.т.н.


В.М. Крилов

Заступник завідувача кафедри ІС
доцент, к.т.н.


О.Ю. Бабілонга

Заступник завідувача кафедри ІС
доцент, к.т.н.


А.О. Ніколенко

Додаток Б
ПРОГРАМНІ КОДИ


```

%_апроксимация функций
clear all
close all

P=-.9:.1:.9;
T=[-.33 -.76 -.97 -1.09 -1.22 -1.31 -1.36 -1.4 -1.42 -1.43 -1.42 -1.41 -1.38 -1.34 -1.31 -1.25 -
1.15 -1.05 -1];          %первая кривая

GOAL=0.001;
SPREAD=1;
net=newrb(P,T,GOAL,SPREAD);

plot(P,T,'+k')
hold on;
X=-.9:.1:.9;

Y=sim(net,X);
plot(X,Y);
IW=net.IW;
IW1=IW{1,1};

%_форми
function varargout = forma_1(varargin)
% FORMA_1 MATLAB code for forma_1.fig
%   FORMA_1, by itself, creates a new FORMA_1 or raises the existing
%   singleton*.
%
%   H = FORMA_1 returns the handle to a new FORMA_1 or the handle to
%   the existing singleton*.
%
%   FORMA_1('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local
%   function named CALLBACK in FORMA_1.M with the given input arguments.
%
%   FORMA_1('Property','Value',...) creates a new FORMA_1 or raises the
%   existing singleton*. Starting from the left, property value pairs are
%   applied to the GUI before forma_1_OpeningFcn gets called. An
%   unrecognized property name or invalid value makes property application
%   stop. All inputs are passed to forma_1_OpeningFcn via varargin.
%
%   *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one
%   instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help forma_1

% Last Modified by GUIDE v2.5 17-Feb-2014 20:25:13

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @forma_1_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @forma_1_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [] , ...
                  'gui_Callback',    []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before forma_1 is made visible.
function forma_1_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to forma_1 (see VARARGIN)

% Choose default command line output for forma_1
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

```

```

% UIWAIT makes forma_1 wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = forma_1_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject handle to figure
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

function edit1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit1 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit1 as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit1 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit1 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit2 as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit2 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on button press in radiobutton2.
function radiobutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to radiobutton2 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of radiobutton2

% --- Executes on button press in radiobutton3.
function radiobutton3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to radiobutton3 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of radiobutton3

% --- Executes on button press in radiobutton4.
function radiobutton4_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to radiobutton4 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of radiobutton4

% --- Executes on button press in radiobutton5.

```

```

function radiobutton5_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to radiobutton5 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of radiobutton5

% --- Executes on button press in checkbox1.
function checkbox1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to checkbox1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of checkbox1

function edit4_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit4 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit4 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit4 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit4 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%        See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on button press in checkbox2.
function checkbox2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to checkbox2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of checkbox2

% --- Executes on button press in checkbox3.
function checkbox3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to checkbox3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of checkbox3

% --- Executes on button press in pushbutton1.
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% --- Executes on button press in pushbutton2.
function pushbutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% --- Executes on button press in checkbox4.
function checkbox4_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to checkbox4 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of checkbox4

% --- Executes on button press in checkbox5.
function checkbox5_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to checkbox5 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of checkbox5

% --- Executes on button press in checkbox6.

```

```

function checkbox6_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to checkbox6 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of checkbox6

% --- Executes on button press in checkbox7.
function checkbox7_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to checkbox7 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of checkbox7

% --- Executes on button press in checkbox8.
function checkbox8_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to checkbox8 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of checkbox8

% --- Executes on button press in checkbox10.
function checkbox10_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to checkbox10 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of checkbox10

% --- Executes on button press in checkbox11.
function checkbox11_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to checkbox11 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of checkbox11



---


function varargout = forma_2(varargin)
% FORMA_2 MATLAB code for forma_2.fig
%   FORMA_2, by itself, creates a new FORMA_2 or raises the existing
%   singleton*.
%
%   H = FORMA_2 returns the handle to a new FORMA_2 or the handle to
%   the existing singleton*.
%
%   FORMA_2('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local
%   function named CALLBACK in FORMA_2.M with the given input arguments.
%
%   FORMA_2('Property','Value',...) creates a new FORMA_2 or raises the
%   existing singleton*. Starting from the left, property value pairs are
%   applied to the GUI before forma_2_OpeningFcn gets called. An
%   unrecognized property name or invalid value makes property application
%   stop. All inputs are passed to forma_2_OpeningFcn via varargin.
%
%   *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one
%   instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help forma_2

% Last Modified by GUIDE v2.5 17-Feb-2014 21:08:13

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @forma_2_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @forma_2_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [] , ...
                  'gui_Callback',   []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else

```

```

    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before forma_2 is made visible.
function forma_2_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to forma_2 (see VARARGIN)

% Choose default command line output for forma_2
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes forma_2 wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = forma_2_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

% --- Executes on button press in checkbox10.
function checkbox10_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to checkbox10 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of checkbox10

function edit2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit2 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit2 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on button press in radiobutton5.
function radiobutton5_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to radiobutton5 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of radiobutton5

% --- Executes on button press in radiobutton6.
function radiobutton6_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to radiobutton6 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of radiobutton6

% --- Executes on button press in radiobutton7.
function radiobutton7_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to radiobutton7 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

```

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of radiobutton7

% --- Executes on button press in radiobutton8.
function radiobutton8_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to radiobutton8 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of radiobutton8

% --- Executes on button press in checkbox11.
function checkbox11_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to checkbox11 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of checkbox11

% --- Executes on button press in checkbox12.
function checkbox12_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to checkbox12 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of checkbox12

% --- Executes on button press in pushbutton3.
function pushbutton3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% --- Executes on button press in pushbutton4.
function pushbutton4_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton4 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% --- Executes on button press in checkbox13.
function checkbox13_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to checkbox13 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of checkbox13

% --- Executes on button press in checkbox14.
function checkbox14_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to checkbox14 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of checkbox14

% --- Executes on button press in checkbox15.
function checkbox15_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to checkbox15 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of checkbox15

% --- Executes on button press in checkbox16.
function checkbox16_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to checkbox16 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of checkbox16

% --- Executes on button press in checkbox17.
function checkbox17_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to checkbox17 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of checkbox17

```

```

% --- Executes on button press in checkbox18.
function checkbox18_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to checkbox18 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of checkbox18

% --- Executes on selection change in popupmenu1.
function popupmenu1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to popupmenu1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: contents = cellstr(get(hObject,'String')) returns popupmenu1 contents as cell array
%        contents{get(hObject,'Value')} returns selected item from popupmenu1

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function popupmenu1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to popupmenu1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: popupmenu controls usually have a white background on Windows.
%        See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on button press in checkbox19.
function checkbox19_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to checkbox19 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of checkbox19

function varargout = forma_3(varargin)
% FORMA_3 MATLAB code for forma_3.fig
%   FORMA_3, by itself, creates a new FORMA_3 or raises the existing
%   singleton*.
%
%   H = FORMA_3 returns the handle to a new FORMA_3 or the handle to
%   the existing singleton*.
%
%   FORMA_3('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local
%   function named CALLBACK in FORMA_3.M with the given input arguments.
%
%   FORMA_3('Property','Value',...) creates a new FORMA_3 or raises the
%   existing singleton*. Starting from the left, property value pairs are
%   applied to the GUI before forma_3_OpeningFcn gets called. An
%   unrecognized property name or invalid value makes property application
%   stop. All inputs are passed to forma_3_OpeningFcn via varargin.
%
%   *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one
%   instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help forma_3

% Last Modified by GUIDE v2.5 17-Feb-2014 22:38:18

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @forma_3_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @forma_3_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [], ...
                  'gui_Callback',    []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
end

```

```

% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before forma_3 is made visible.
function forma_3_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to forma_3 (see VARARGIN)

% Choose default command line output for forma_3
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes forma_3 wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = forma_3_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

function edit1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit1 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit1 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%        See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on button press in checkbox1.
function checkbox1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to checkbox1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of checkbox1

% --- Executes on button press in checkbox2.
function checkbox2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to checkbox2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of checkbox2

% --- Executes on button press in pushbutton1.
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% --- Executes on button press in pushbutton2.
function pushbutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% --- Executes on selection change in popupmenu1.
function popupmenu1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to popupmenu1 (see GCBO)

```



```

% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: contents = cellstr(get(hObject,'String')) returns popupmenu1 contents as cell array
% contents{get(hObject,'Value')} returns selected item from popupmenu1

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function popupmenu1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to popupmenu1 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: popupmenu controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on button press in checkbox3.
function checkbox3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to checkbox3 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of checkbox3

function edit3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit3 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit3 as text
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit3 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to edit3 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on button press in pushbutton4.
function pushbutton4_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to pushbutton4 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% --- Executes on button press in checkbox18.
function checkbox18_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to checkbox18 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of checkbox18

% --- Executes on button press in checkbox19.
function checkbox19_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to checkbox19 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of checkbox19

% --- Executes on button press in checkbox20.
function checkbox20_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to checkbox20 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of checkbox20

% --- Executes on button press in checkbox21.
function checkbox21_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to checkbox21 (see GCBO)

```

```

% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of checkbox21

% --- Executes on button press in checkbox22.
function checkbox22_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to checkbox22 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of checkbox22

% --- Executes on button press in checkbox23.
function checkbox23_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to checkbox23 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of checkbox23

% --- Executes on button press in checkbox24.
function checkbox24_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to checkbox24 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of checkbox24

% --- Executes on selection change in popupmenu2.
function popupmenu2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to popupmenu2 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: contents = cellstr(get(hObject,'String')) returns popupmenu2 contents as cell array
% contents{get(hObject,'Value')} returns selected item from popupmenu2

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function popupmenu2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to popupmenu2 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: popupmenu controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on button press in pushbutton5.
function pushbutton5_Callback(hObject, eventdata, handles)

function varargout = forma_4(varargin)
% FORMA_4 MATLAB code for forma_4.fig
% FORMA_4, by itself, creates a new FORMA_4 or raises the existing
% singleton*.
%
% H = FORMA_4 returns the handle to a new FORMA_4 or the handle to
% the existing singleton*.
%
% FORMA_4('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local
% function named CALLBACK in FORMA_4.M with the given input arguments.
%
% FORMA_4('Property','Value',...) creates a new FORMA_4 or raises the
% existing singleton*. Starting from the left, property value pairs are
% applied to the GUI before forma_4_OpeningFcn gets called. An
% unrecognized property name or invalid value makes property application
% stop. All inputs are passed to forma_4_OpeningFcn via varargin.
%
% *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one
% instance to run (singleton)".
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help forma_4

```

```

% Last Modified by GUIDE v2.5 17-Feb-2014 22:00:26

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',   gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @forma_4_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @forma_4_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [] , ...
                  'gui_Callback',    []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before forma_4 is made visible.
function forma_4_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to forma_4 (see VARARGIN)

% Choose default command line output for forma_4
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes forma_4 wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = forma_4_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

% --- Executes on button press in pushbutton1.
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% --- Executes on button press in checkbox4.
function checkbox4_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to checkbox4 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of checkbox4

function edit2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit2 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit2 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%        See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

end

% --- Executes on button press in pushbutton3.
function pushbutton3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% --- Executes on button press in checkbox5.
function checkbox5_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to checkbox5 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of checkbox5

% --- Executes on button press in checkbox6.
function checkbox6_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to checkbox6 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of checkbox6

% --- Executes on button press in checkbox7.
function checkbox7_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to checkbox7 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of checkbox7

% --- Executes on button press in checkbox8.
function checkbox8_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to checkbox8 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of checkbox8

% --- Executes on button press in checkbox9.
function checkbox9_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to checkbox9 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of checkbox9

% --- Executes on button press in checkbox10.
function checkbox10_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to checkbox10 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of checkbox10

% --- Executes on button press in radiobutton1.
function radiobutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to radiobutton1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of radiobutton1

% --- Executes on button press in radiobutton2.
function radiobutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to radiobutton2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of radiobutton2

% --- Executes on selection change in popupmenu3.
function popupmenu3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to popupmenu3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: contents = cellstr(get(hObject,'String')) returns popupmenu3 contents as cell array
%        contents{get(hObject,'Value')} returns selected item from popupmenu3

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function popupmenu3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to popupmenu3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: popupmenu controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on button press in checkbox11.
function checkbox11_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to checkbox11 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of checkbox11

% --- Executes on button press in checkbox12.
function checkbox12_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to checkbox12 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of checkbox12

% --- Executes on button press in checkbox13.
function checkbox13_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to checkbox13 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of checkbox13

% --- Executes on selection change in popupmenu4.
function popupmenu4_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to popupmenu4 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: contents = cellstr(get(hObject,'String')) returns popupmenu4 contents as cell array
%         contents{get(hObject,'Value')} returns selected item from popupmenu4

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function popupmenu4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to popupmenu4 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: popupmenu controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on button press in checkbox14.
function checkbox14_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to checkbox14 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of checkbox14
% --- Executes on button press in checkbox15.
function checkbox15_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to checkbox15 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of checkbox15

<!DOCTYPE html PUBLIC "-//W3C//DTD HTML 4.01//EN" "http://www.w3.org/TR/html4/strict.dtd">
<!-- saved from url=(0046)http://form.jotforme.com/form/40483035315346? -->

<html><head>

<meta charset=utf-8" />

```

```

<meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0, maximum-scale=1.0, user-
scalable=0">
<meta name="HandheldFriendly" content="true">

<title>Emajor</title>

<link href="/1_files/formCss.css" rel="stylesheet" type="text/css">
<link href="/1_files/nova.css" rel="stylesheet" type="text/css">
<link href="/1_files/printForm.css" rel="stylesheet" type="text/css" media="print">

<style type="text/css">
  .form-label{
    width:150px !important;    }
  .form-label-left{
    width:215px !important;    }
  .form-line{
    padding-top:12px;
    padding-bottom:12px;    }
  .form-label-right{
    width:200px !important;    }
  body, html{
    margin:0;
    padding:0;
    color:#213e52;
    background: #a6bdcf;    }
  .coll {
    width:215px !important;    }
  .form-all{
    margin:0px auto;
    padding-top:0px;
    width:650px;
    color:#213e52 !important;
    font-family:'Times New Roman';
    font-size:14px;
    background: #a6bdcf;
    border: 1px solid #597992;    }
  .form-radio-item label, .form-checkbox-item label, .form-grading-label, .form-header{
    color:#213e52;    }

</style>

<meta name="chromesniffer" id="chromesniffer_meta" content="{}"><script type="text/javascript"
src="chrome-extension://homgcnaoacgigpkkljjjekpignblkeae/detector.js"></script>

</head>
<body>
<form >

  <input type="hidden" name="formID" value="40483035315346">
  <div class="form-all">
    <ul class="form-section">
      <li id="cid_1" class="form-input-wide">
        <div class="form-header-group">
          <h2 id="header_1" class="form-header">
            Выбор основного элемента
          </h2>
        </div>
      </li>
      <table>
        <tr><td class="coll"> <label class="form-label-right" id="label_6" for="input_6">
          Задайте необходимый расход </label></td>
          <td><textarea rows="2" cols="19" id="input_8" name="q8_input8" size="10"
          value=""></textarea></td></tr>
          <tr><td class="coll"><label class="form-label-right" id="label_4" for="input_4">
          Выберите наименование элемента </label></td>
          <td><select class="form-dropdown" style="width:155px" id="input_4"
          name="q4_input4">
            <option value=""> Элемент </option>
            <option value="вариант 1"> вариант 1 </option>
            <option value="вариант 2"> вариант 2 </option>
            <option value="вариант 3"> вариант 3 </option>
          </select></td></tr>
          <tr><td class="coll"> <label class="form-label-right" id="label_6"
          for="input_6">Справочные данные </label></td>
          <td><textarea rows="2" cols="19" id="input_8" name="q8_input8" size="10"
          value=""></textarea></td></tr>
          <tr><td class="coll"></td>

```

```

                <td> <button id="input_2" type="submit" class="form-submit-button">Построить поле
характеристик</button></td></tr>

                <tr><td class="coll"></td>
                <td> <button id="input_2" type="submit" class="form-submit-button">Моделирование
изменений</button></td></tr>

                <tr><td class="coll"> <label class="form-label-right" id="label_6"
for="input_6">Оперативные данные </label></td>
                <td><textarea rows="2" cols="19" id="input_8" name="q8_input8" size="10"
value=""></textarea></td></tr>

                <tr><td class="coll"></td><td>
                <button id="input_11" type="submit" class="form-submit-button">
                Подтвердить
                </button>
                <button id="input_12" type="submit" class="form-submit-button">
                Выйти
                </button>
                </div>
            </div>
        </li></td></tr>

</form>

</body></html>

```

```

<!DOCTYPE html PUBLIC "-//W3C//DTD HTML 4.01//EN" "http://www.w3.org/TR/html4/strict.dtd">
<!-- saved from url=(0046)http://form.jotforme.com/form/40483035315346? -->

```

```
<html><head>
```

```

<meta charset=utf-8" />
<meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0, maximum-scale=1.0, user-
scalable=0">
<meta name="HandheldFriendly" content="true">

```

```
<title>Eminor</title>
```

```

<link href="/1_files/formCss.css" rel="stylesheet" type="text/css">
<link href="/1_files/nova.css" rel="stylesheet" type="text/css">
<link href="/1_files/printForm.css" rel="stylesheet" type="text/css" media="print">

```

```

<style type="text/css">
    .form-label{
        width:150px !important;    }

    .form-label-left{
        width:215px !important;    }

    .form-line{
        padding-top:12px;
        padding-bottom:12px;    }

    .form-label-right{
        width:200px !important;    }

    body, html{
        margin:0;
        padding:0;
        color:#213e52;
        background: #a6bdcf;    }
    .coll
    {
        width:215px !important;    }
    .form-all{
        margin:0px auto;
        padding-top:0px;
        width:650px;
        color:#213e52 !important;
        font-family:'Times New Roman';
        font-size:14px;
        background: #a6bdcf;
        border: 1px solid #597992;    }
    .form-radio-item label, .form-checkbox-item label, .form-grading-label, .form-header{
        color:#213e52;    }
</style>

```

```

<meta name="chromesniffer" id="chromesniffer_meta" content="{}"><script type="text/javascript"
src="chrome-extension://homgcnaoacgigpkkljjekpignblkeae/detector.js"></script>

</head>
<body>
<form >

  <input type="hidden" name="formID" value="40483035315346">
  <div class="form-all">
    <ul class="form-section">
      <li id="cid_1" class="form-input-wide">
        <div class="form-header-group">
          <h2 id="header_1" class="form-header">
            Выбор вспомогательных элементов
          </h2>
        </div>
      </li>
      <table>
        <tr><td class="col1"> <label class="form-label-right" id="label_6" for="input_6">
          Задайте необходимый расход </label></td>
          <td><textarea rows="2" cols="19" id="input_8" name="q8_input8" size="10"
          value=""></textarea></td></tr>

          <tr><td class="col1"><label class="form-label-right" id="label_4" for="input_4">
            Выберите наименование элемента </label></td>
            <td><select class="form-dropdown" style="width:155px" id="input_4"
            name="q4_input4">
              <option value=""> Элемент </option>
              <option value="вариант 1"> вариант 1 </option>
              <option value="вариант 2"> вариант 2 </option>
              <option value="вариант 3"> вариант 3 </option>
            </select></td></tr>

            <tr><td class="col1"> <label class="form-label-right" id="label_6"
            for="input_6">Справочные данные </label></td>
            <td><textarea rows="2" cols="19" id="input_8" name="q8_input8" size="10"
            value=""></textarea></td></tr>

            <tr><td class="col1"></td>
            <td> <button id="input_2" type="submit" class="form-submit-button">Определить по-
            тери давления</button></td></tr>

            <tr><td class="col1"></td>
            <td> <button id="input_2" type="submit" class="form-submit-button">Моделирование
            снижения сопротивлений</button></td></tr>

            <tr><td class="col1"> <label class="form-label-right" id="label_6"
            for="input_6">Данные моделирования</label></td>
            <td><textarea rows="2" cols="19" id="input_8" name="q8_input8" size="10"
            value=""></textarea></td></tr>

            <tr><td class="col1"></td><td>
              <button id="input_11" type="submit" class="form-submit-button">
                Подтвердить
              </button>
              <button id="input_12" type="submit" class="form-submit-button">
                Выйти
              </button>
            </div>
          </div>
        </li></td></tr>

    </form>
  </body></html>

<!-- saved from url=(0046)http://form.jotforme.com/form/40483035315346? -->

<html><head>

<meta charset=utf-8" />
<meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0, maximum-scale=1.0, user-
scalable=0">
<meta name="HandheldFriendly" content="true">

<title>Modeling</title>

<link href="./1_files/formCss.css" rel="stylesheet" type="text/css">
<link href="./1_files/nova.css" rel="stylesheet" type="text/css">

```



```

<link href="./1_files/printForm.css" rel="stylesheet" type="text/css" media="print">
<style type="text/css">
  .form-label{
    width:150px !important;    }
  .form-label-left{
    width:215px !important;
  }
  .form-line{
    padding-top:12px;
    padding-bottom:12px;    }
  .form-label-right{
    width:200px !important;    }
  body, html{
    margin:0;
    padding:0;
    color:#213e52;
    background: #a6bdcf;    }
  .coll
  {
    width:215px !important;    }
  .form-all{
    margin:0px auto;
    padding-top:0px;
    width:650px;
    color:#213e52 !important;
    font-family:'Times New Roman';
    font-size:14px;
    background: #a6bdcf;
    border: 1px solid #597992;    }
  .form-radio-item label, .form-checkbox-item label, .form-grading-label, .form-header{
    color:#213e52;    }
</style>
<meta name="chromesniffer" id="chromesniffer_meta" content="{}"><script type="text/javascript"
src="chrome-extension://homgcnaoacgigpkkljjjekpignblkeae/detector.js"></script>

</head>
<body>
<form >

  <input type="hidden" name="formID" value="40483035315346">
  <div class="form-all">
    <ul class="form-section">
      <li id="cid_1" class="form-input-wide">
        <div class="form-header-group">
          <h2 id="header_1" class="form-header">
            Данные моделирования
          </h2>
        </div>
      </li>
      <table align=center>
        <tr><td class="coll"><label class="form-label-left" id="label_4"
for="input_4"> Выберите наименование проблемного элемента </label></td>
                                <td><select class="form-dropdown" style="width:200px" id="input_4"
name="q4_input4">
                                    <option value=""> Элемент </option>
                                    <option value="вариант 1"> вариант 1 </option>
                                    <option value="вариант 2"> вариант 2 </option>
                                    <option value="вариант 3"> вариант 3 </option>
                                </select></td>
        </tr>
        <tr>
          <td class="coll"><label class="form-label-left" id="label_6"
for="input_6">Справочные данные </label></td>
          <td><textarea rows="2" cols="25" id="input_8" name="q8_input8"
size="10" value=""></textarea></td>
        </tr>
        <tr>
          <td class="coll"><label class="form-label-left" id="label_4"
for="input_4"> Выберите эксперимент</label></td>
          <td><select class="form-dropdown" style="width:200px" id="input_4"
name="q4_input4">
                                    <option value=""> Эксперимент </option>
                                    <option value="вариант 1"> вариант 1 </option>
                                </select>
        </tr>
      </table>
    </ul>
  </div>
</form >

```

```

        <option value="вариант 2"> вариант 2 </option>
        <option value="вариант 3"> вариант 3 </option>
    </select></td>
</tr>
<tr>
    <td class="col1"> <label class="form-label-left" id="label_6"
for="input_6">Данные моделирования</label></td>
        <td><textarea rows="3" cols="25" id="input_8" name="q8_input8"
size="10" value=""></textarea></td>
</tr>
<tr>
    <td class="col1"> <label class="form-label-left" id="label_6"
for="input_6">Данные моделирования после модификации</label></td>
        <td><textarea rows="3" cols="25" id="input_8" name="q8_input8"
size="10" value=""></textarea></td>
</tr>
</table>
<table align=center>
    <tr>
        <td class="col1"></td>
        <td class="col1"> <label class="form-label-left"
id="label_6" for="input_6">Визуальные данные ГП </label></td>
        <td class="col1"> <label class="form-label-left"
id="label_6" for="input_6">Интеллектуальные данные ГП </label></td>
        <td class="col1"> <label class="form-label-left"
id="label_6" for="input_6">Прототип элемента </label></td>
    </tr>
    <tr>
        <td class="col1"></td>
        <td><label class="form-label-left" id="label_6"
for="input_6"><a href=имг/IMG_180_VE.jpg</a></label></td>
        <td><label class="form-label-left" id="label_6"
for="input_6"><a href=имг/IMG_180_IE.jpg</a></label></td>
        <td><label class="form-label-left" id="label_6"
for="input_6"><a href=имг/IMG_180_G.jpg</a></label></td>
    </tr>
</table>
<table align=center>
    <tr>
        <td class="col1"><button id="input_11" type="submit" class="form-
submit-button">Подтвердить</button></td>
        <td><button id="input_12" type="submit" class="form-submit-
button">Выйти</button></div></div></li></td>
    </tr>
</table>
</form>
</body></html>

```