

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя

На правах рукопису

УДК 519.25:681.518.5

Назаревич Олег Богданович

**ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ
МОНІТОРИНГУ ГАЗОСПОЖИВАННЯ МІСТА**

05.13.06 – Інформаційні технології

Дисертація на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Науковий керівник:
доктор технічних наук, професор,
лауреат Державної премії України
в галузі науки і техніки
Щербак Леонід Миколайович

Тернопіль 2015

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ І СКОРОЧЕНЬ.....	5
ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ НАЯВНИХ ІТ ГАЗОСПОЖИВАННЯ І ОБГРУНТУВАННЯ ЗАДАЧ ДИСЕРТАЦІЇ	14
1.1. Науково-технічна проблематика газоспоживання в наукових працях.....	14
1.2. Характерні особливості ієрархічної АСУТП	15
1.3. Динаміка процесу газоспоживання міста в часі та просторі	16
1.4. Топологія споживачів газу міста	20
1.5. Використання засобів ІВС для формування і накопичення даних вимірювань газоспоживання міста	24
1.6. Основні види математичних моделей газоспоживання	25
1.7. Статистичні методи обробки даних вимірювань процесів газоспоживання.....	30
1.8. Статистичні методи обробки даних вимірювань у задачах прогнозу	32
1.9. Порівняльний аналіз наявних ІТ.....	35
1.10. Обґрунтування актуальності побудови нової ІТ	37
1.11. Висновки	38
РОЗДІЛ 2. ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ГАЗОСПОЖИВАННЯ МІСТА ТА МЕТОДІВ ОПРАЦЮВАННЯ ДАНИХ ВІМІРЮВАННЯ НА РІЧНОМУ ІНТЕРВАЛІ СПОСТЕРЕЖЕННЯ	40
2.1. Формування часових рядів на основі даних вимірювань газоспоживання міста.....	40
2.2. Методи виділення адитивних компонент річного часового ряду газоспоживання міста.....	43
2.2.1. Метод емпіричних модових декомпозицій (EMD).....	43
2.2.2. Метод «Гусениця-SSA»	48

2.3. Етапи побудови математичної моделі та результати аналізу на річному інтервалі спостереження	52
2.3.1. Математична модель кусково стохастично-періодичний процесу	53
2.3.2. Розбиття адитивних компонент методом «Гусениця-SSA»	54
2.3.3. Метод розбиття на інтервали річного часового ряду	56
2.3.4. Лінійна апроксимація річного тренду на виділених ділянках.....	60
2.3.5. Загальна модель газоспоживання міста	61
2.3.6. Метод побудови добового прогнозу на виділених ділянках річного ряду газоспоживання.....	62
2.4. Верифікація прогнозової моделі.....	64
2.5. Оцінка компонент моделі на річному інтервалі спостереження	65
2.5.1. Оцінка періоду компоненти моделі.....	65
2.5.2. Перевірка статистичних характеристик методом гістограмного аналізу	67
2.6. Висновки	69
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	
МОНІТОРИНГУ ГАЗОСПОЖИВАННЯ.....	71
3.1. Інформаційне забезпечення формування даних вимірювань газоспоживання та метеоданих для міста	71
3.1.1. Формування вхідних даних газоспоживання	74
3.1.2. Імпорт даних газоспоживання із автоматичних обчислювачів	75
3.1.3. Формування вхідних даних архіву метрологічної станції	79
3.1.4. Формування вибірок часових рядів для подальшого моніторингу, статистичного аналізу та прогнозування.....	82
3.2. Структура сховища даних «АСК-метео плюс».....	83
3.3. Високопродуктивні реалізації алгоритму «Гусениця-SSA» на базі обчислювального кластера та в українському національному грід	86
3.4. Алгоритм пошуку точок розладки і поділу на інтервали річного часового ряду газоспоживання.....	91
3.5. Алгоритм добового прогнозування газоспоживання міста	92

3.6. Діаграма потоків даних нової ІТ «АСК-метео плюс»	93
3.7. Висновки	94

РОЗДІЛ 4. РЕАЛІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

МОНІТОРИНГУ ПРОЦЕСУ ГАЗОСПОЖИВАННЯ МІСТА.....	96
---	----

4.1. Реалізація задачі моніторингу газоспоживання як основа створення технічного завдання.....	97
4.2. Синтез ІТ на рівні компонент та протоколів обміну	102
4.3. Реалізація програмного забезпечення «АСК-метео плюс», як основа реалізації ІТ моніторингу газоспоживання міста.....	104
4.4. Загальна структура «АСК-метео плюс».....	105
4.4.1. Побудова графіків добового та погодинного газоспоживання	108
4.4.2. Діагностування аварійних ситуацій на газопроводі	111
4.5. Функціональна схема накопичення даних вимірювання в АС «АСК метео плюс».....	112
4.6. Структурна схема ІТ моніторингу.....	113
4.7. Перспективи розвитку досліджень інформаційного забезпечення моніторингу газоспоживання	115
4.8. Висновки	116
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	116
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	118

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ І СКОРОЧЕНЬ

ІТ – інформаційна технологія.

АС – автоматизована система.

АСК – автоматизована система контролю.

ГІС – геоінформаційна система.

ГТС – газотранспортна система.

ГРС – газороподільча система.

ІВС – інформаційно-вимірювальна система.

D (**Dx**) – оператор дисперсії.

M (**Mx**) – оператор математичного сподівання.

$X(w)$ – загальне позначення випадкової величини.

$X(w, t)$ – загальне позначення випадкового процесу.

Часовий ряд – випадкова послідовність, як реалізація випадкового процесу за вказаний часовий період з певним кроком накопичення.

EMD – (англ. Empirical Mode Decomposition) – емпірична модова декомпозиція, адаптивний чисельний метод аналізу часових рядів.

ННТ (англ. Hilbert-Huang Transformation) – перетворення Гільберта-Хуанга.

HSA (англ. Hilbert Spectral Analysis) – спектральний аналіз Гільберта.

SSA (англ. Singular Spectral Analyse) – в англomовній літературі позначення сингулярно-спектрального аналізу (інша назва – динамічний метод головних компонент) також відомий як метод «Гусениця» (в роботі «Гусениця-SSA»).

ВСТУП

Актуальність теми. Науково-технічні проблеми використання енергоносіїв в умовах економічної кризи на сьогодні набули особливої актуальності. Аналізуючи характеристики світового та вітчизняного розвитку енергетичного ринку, спостерігаємо постійне зростання споживання природного газу, який є одним із основних енергоресурсів планети. Тому питання економії та ефективного використання газу є як ніколи актуальним. Це знайшло своє відображення у значній кількості публікацій, де розглянуто результати досліджень науково-технічних проблем газоспоживання.

Зокрема, вагомий внесок в удосконалення методики розрахунку газоспоживання здійснили: Є.П. Пістун, М.П. Андрійшин, Ф.Д. Матіко. Питанням прогнозування витрат газу присвячені роботи: Д.Г. Бицадзе, М.В. Приймака, В.Е. Попадька, Н.В. Мулик, О.С. Тараєвського, А.Д. Тевяшева, R.H. Brown, J. Deferrari, S. Gil. Оперативне і перспективне планування висвітлено в роботі А.И. Гарляускаса, а питання контролю розподілу транспортування та діагностики аварійних ситуацій газоспоживання в роботах: Я.С. Марчука, С.В. Тижука, С.М. Тищика, О.М. Химко. Ефективне використання інформаційно-вимірювальних систем у диспетчерському управлінні досліджував В.С. Панкратов.

З аналізу опублікованих праць, присвячених проблемам газоспоживання, впливає таке: технічний стан та ефективність функціонування автоматизованих систем контролю (АСК) газотранспортних систем (ГТС) України є низькою. Це пов'язано з тим, що АСК було створено разом із основними потужностями ГТС у 70–80-х роках минулого століття, що не в повній мірі відповідає сучасним вимогам до інформаційних систем (ІС). Такий перебіг подій обумовлює проведення широкого кола досліджень і практичного використання їх результатів. Зокрема, в наявних на АСК недостатньо використовують сучасні інформаційні технології, які враховують динаміку процесу газоспоживання, стохастичну періодичність, топологію споживачів та метеофактори на тривалих інтервалах спостереження. Також у них відсутня єдина серверна база даних (а тим паче, сховище даних) газоспоживання та метеофакторів для міста в цілому,

недостатньо розвинуті методи статистичного опрацювання даних вимірювання. З огляду на це, спостерігаємо, що короткотермінове прогнозування газоспоживання на наступну добу залежно від практично метеофакторів відсутнє.

Вищевказані недоліки зумовлені недостатнім розвитком автоматизації накопичення та опрацювання інформації під час проведення моніторингу газоспоживання на різних рівнях, що у свою чергу дало можливість сформулювати актуальне та важливе наукове завдання розробки інформаційної технології моніторингу газоспоживання обласного центру на прикладі міста Тернополя. Розроблена інформаційна технологія має враховувати складові наявної АСК — інформаційно-вимірювальні засоби (витратомірні комплекси), способи відбору, передачі та зберігання даних вимірювання. Окрім того, потрібно враховувати у моделі процесу газоспоживання стохастичність і періодичність добових коливань, річну сезонність та пов'язану з нею зміну топології споживачів, вплив метеофакторів.

Виходячи з цього, необхідно удосконалити наявні інформаційні системи контролю газоспоживання розробкою і впровадженням інформаційної технології моніторингу (створення баз даних вимірювання газоспоживання, моделей та методів опрацювання інформації, алгоритмів і програмних засобів) для ефективного управління і прийняття рішень процесу газоспоживання міста та побудови добового прогнозу газоспоживання з врахуванням метеофакторів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація виконана відповідно до наукових досліджень, які проводились у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за замовлення Міністерства освіти і науки України у рамках науково-дослідної роботи (№ держ. реєстр. 0110U002262): «Інформаційно-обчислювальна система обліку, аналізу та прогнозу енергоносіїв у задачах підвищення ефективності енергозбереження» (особистий внесок здобувача – розроблена інформаційна технологія моніторингу газоспоживання міста).

Мета і задачі дослідження. Розробка інформаційної технології моніторингу газоспоживання міста з метою підвищення ефективності аналізу та прогнозу

витрат газу на річному інтервалі спостереження шляхом удосконалення моделей газоспоживання міста, обґрунтування нових методів обробки даних вимірювання на їх основі, створення комплексу алгоритмів, розробки сховища даних та програмного забезпечення.

Для досягнення вказаної мети необхідно вирішити такі завдання:

1. На основі аналізу відомих автоматизованих систем обліку і контролю в системі газоспоживання міста обґрунтувати актуальність і важливість розробки інформаційної технології моніторингу газоспоживання, що враховує стохастичну періодичність.

2. Розробити математичну модель газоспоживання міста, яка б враховувала випадковий та циклічний характер його динаміки, а також сезонні режими роботи газотранспортної мережі міста.

3. Обґрунтувати метод виділення компонент розробленої математичної моделі газоспоживання.

4. Обґрунтувати метод розбиття річного інтервалу спостереження на підінтервали, що відповідають опалювальному, неопалювальному та перехідним режимам роботи газотранспортної системи міста.

5. Обґрунтувати метод побудови добового прогнозу газоспоживання з врахуванням середньодобової температури та режимів роботи газотранспортної системи.

6. На основі запропонованої математичної моделі розробити структуру сховища даних для зберігання результатів вимірювання обсягів споживання газу та низки метеофакторів, а також програмне забезпечення для обробки даних та моніторингу газоспоживання міста.

7. Розробити інформаційну технологію моніторингу газоспоживання міста на основі запропонованих моделей та методів, яка може бути використана для удосконалення наявної системи контролю та обліку газоспоживання міста.

Об'єкт досліджень – процес газоспоживання окремого населеного пункту на тривалих інтервалах спостереження.

Предмет дослідження – математична модель, статистичні методи обробки та прогнозу газоспоживання на тривалих інтервалах спостереження, моделі

сховищ даних, інформаційні технології моніторингу газоспоживання міста в автоматизованих системах обліку і контролю.

Методи дослідження базуються на використанні методів теорії випадкових процесів для обґрунтування математичної моделі процесу газоспоживання міста; математичної статистики для статистичного опрацювання часових рядів даних вимірювання газоспоживання і отримання їхніх характеристик, регресійних методів для побудови добового прогнозу; діаграмної методики DFD (Data Flow Diagram) для моделювання потоків даних та діаграм розгортання, формування інтерфейсів між модулями на фізичному і програмному рівні; теорії алгоритмів та програмування для побудови інформаційної технології моніторингу в системах контролю та обліку газоспоживання міста.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Вперше розроблено математичну модель газоспоживання міста на річному інтервалі спостереження як суму детермінованого тренду і кусково стохастично-періодичного процесу з періодом 24 год, яка на відміну від наявних враховує не лише добову циклічність та випадковий характер газоспоживання, а й річний тренд та особливості режимів роботи газотранспортної системи міста упродовж року, які обумовлені дією значної кількості факторів, зокрема, зміною топології споживачів, впливом метеофакторів та інше.

2. Отримано подальший розвиток застосування методу «Гусениця-SSA» для оцінки компонент розробленої математичної моделі, яка на відміну від наявних методів, дозволяє виділити компоненти моделі: детермінований тренд та кусково стохастично-періодичний процес.

3. Вперше на основі модифікованої статистики Колмогорова-Смірнова розроблено метод розбиття річного інтервалу спостереження на підінтервали, який на відміну від наявних проводився для залишкового стохастичного процесу, отриманого в результаті застосування методу «Гусениця-SSA». Це дало можливість врахувати сезонні режими роботи газотранспортної системи міста.

4. Удосконалено метод лінійного регресійного аналізу для прогнозу добового газоспоживання міста, що залежить від середньодобової температури

навколишнього середовища, який на відміну від наявних враховує сезонні режими роботи газотранспортної системи міста, що дозволило оцінити точність та достовірність прогнозу на кожному із режимів.

Практичне значення одержаних результатів.

Отримані теоретичні результати мають наукове і практичне значення для задач моніторингу газоспоживання міста в системах обліку та контролю.

1. Побудовано інформаційну технологію для накопичення даних вимірювання шляхом створення та впровадження сховища даних для задач автоматичного накопичення, конвертації та зберігання даних обсягів споживання газу, метеоданих і результатів їхнього статистичного опрацювання, що сприяє підвищенню ефективності роботи операторів і диспетчерів систем обліку та контролю газоспоживання міста.

2. Розроблено інформаційну технологію для аналізу та прогнозу газоспоживання, що дає можливість оперативно отримувати результати обробки вимірювань із врахуванням ритмічності його реалізацій та режимів роботи газотранспортної системи, оцінювати їх інформативні характеристики, оптимально планувати подачу газу, здійснювати контроль динаміки витрат газу та вживати заходів щодо оптимізації режимів подання газу.

3. На базі запропонованих моделей та методів розроблено алгоритмічне та програмне забезпечення для розбиття річної реалізації на підінтервали, що відповідають опалювальному, неопалювальному та перехідним режимам газоспоживання. Це дає можливість проводити статистичне оцінювання газоспоживання та прогнозування добового споживання газу на річному інтервалі, що сприяє підвищенню ефективності оперативного управління та моніторингу режимів роботи газотранспортної мережі міста.

Розроблено інформаційну технологію, що реалізована в програмному пакеті «АСКметео плюс» та може бути використана для удосконалення сучасних АСК для автоматизації моніторингу, контролю та обліку газоспоживання з урахуванням особливостей різних режимів роботи газотранспортної системи та впливу метеофакторів.

Результати дисертації впроваджено в:

а) ТОВ «Тернопільське конструкторське бюро радіозв'язку «Стріла», де використання запропонованого пакета комп'ютерних програм уможливило пошук нештатних режимів обладнання дистанційного керування трансформаторними підстанціями, зменшило кількість аварійних відключень споживачів та підвищило надійність енергосистем електроспоживання.

б) Інформаційно-диспетчерському відділі м. Чортків ПАТ з газопостачання та газифікації «Тернопільгаз», де використання запропонованого пакета комп'ютерних програм підвищило ефективність управління газоспоживанням міста Чортків за рахунок прогнозування величини споживаного добового об'єму газу на основі метеорологічних даних середньодобової температури повітря в місті.

Особистий внесок здобувача. Дисертація є результатом самостійних наукових досліджень, в яких викладено авторський підхід до побудови інформаційної технології моніторингу газоспоживання міста. Основні твердження і результати наукового дослідження за темою дисертації автор отримав самостійно у процесі науково-дослідницької роботи.

У друкованих працях, написаних у співавторстві, дисертанту належать: [94] – досліджено закон розподілу випадкової величини процесу газоспоживання міста й оцінено реалізацію випадкового процесу методом гістограмного аналізу, окрім того проведено апроксимацію законів розподілу випадкових величин кривими Пірсона; [105] – обґрунтовано типову топологію споживачів газу в місті та вплив метеофакторів, що впливають на формування динаміки процесу газоспоживання міста на річному інтервалі спостереження. Проаналізовано отримані результати виділення річного тренду, гармонічних складових та стохастичного залишку як адитивних компонент часового ряду газоспоживання на річному інтервалі спостереження; [115] – проведено статистичний аналіз динаміки газоспоживання міста на річному інтервалі спостереження, обґрунтовано вплив основних факторів газоспоживання, розглянуто топологію споживачів, висвітлено питання характеристик точності витратомірних комплексів, формування інформаційної системи збору та аналізу інформації, застосовано методи попереднього статистичного аналізу динаміки

газоспоживання міста для обґрунтування математичних моделей окремих компонент.

Апробація результатів дисертації. Основні результати науково-дослідної роботи були висвітлені і обговорені на: науково-технічній конференції у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій» (Тернопіль, 2010); XIV науковій конференції ТНТУ (Тернопіль, 2010); Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених «Актуальні задачі сучасних технологій» (Тернопіль, 2010); Міжнародній науковій конференції студентів та молодих вчених «Theoretical and Applied Aspects of Cybernetics» (Київ, 2011); IX Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Теоретичні і прикладні проблеми фізики, математики та інформатики» (Київ, 2011); I науково-технічній конференції факультету комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії ТНТУ «Інформаційні моделі, системи та технології» (Тернопіль, 2011); Всеукраїнській школі семінару молодих вчених і студентів «Сучасні комп'ютерні інформаційні технології: АСІТ-2011» (Київ, 2011); Міжнародній науково-технічній конференції «Системний аналіз та інформаційні технології: SAIT-2011» (Київ, 2011); II, III, IV науково-технічних конференціях «Інформаційні моделі, системи та технології» (Тернопіль, 2012, 2013, 2014 рр.); щорічних науково-технічних конференціях молодих вчених та спеціалістів інституту проблем моделювання в енергетиці НАН України імені Г.Є. Пухова (Київ, 2011, 2012, 2013 рр.); шостій Міжнародній науково-практичній конференції «Інтегровані інтелектуальні робото-технічні комплекси ПРТК-2013» (Київ, 2013).

Результати дисертації висвітлено й обговорено на наукових семінарах кафедри комп'ютерних наук Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (Тернопіль); кафедри інформаційних систем та мереж Національного університету «Львівська політехніка» (Львів); міжкафедральному семінарі кафедр комп'ютерних наук і комп'ютерних систем та мереж ТНТУ (Тернопіль); об'єднаного наукового семінару відділу теоретичної електротехніки (№ 12) Інституту електродинаміки НАН України і

кафедри інформаційно-вимірювальних систем Національного авіаційного університету (Київ).

Публікації. Основні результати дисертації опубліковані в 22-ох публікаціях, 5 із них [94, 105, 106, 110, 115] – статті в наукових фахових виданнях України (з них, 3 статті [106, 110, 115] – одноосібні, 1 стаття – в журналі, що зареєстрований в міжнародній наукометричній базі даних “DOAJ – Directory of Open Access Journals»), 16 – тези доповідей науково-технічних конференцій [26, 27, 101, 102, 103, 104, 107, 108, 109, 111, 112, 114, 116, 117, 136, 176] та 1 – авторське свідоцтво [113].

Структура роботи. Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 189 найменувань і 8 додатків. Загальний обсяг дисертації становить 160 сторінок, з яких основний зміст викладено на 117 сторінках, містить 43 рисунки, 3 таблиці.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ НАЯВНИХ ІТ ГАЗОСПОЖИВАННЯ І ОБГРУНТУВАННЯ ЗАДАЧ ДИСЕРТАЦІЇ

У зв'язку з підвищенням ціни на газ та інші енергетичні ресурси, на сьогоdnішньому етапі, питання економії природних енергоресурсів є актуальним. Тому проблема ефективного використання газу належить до пріоритетних та стратегічних напрямів розвитку України.

Метою розділу є огляд наукових праць, присвячених газоспоживанню та апріорний аналіз факторів, що впливають на газоспоживання міста, топології споживачів, характеристики та точність вимірювання витратомірних комплексів; аналіз сучасних математичних моделей газоспоживання; огляд наявних інформаційних технологій моніторингу газоспоживання газу; формулювання мети та завдання дисертації.

1.1. Науково-технічна проблематика газоспоживання в наукових працях

Дослідження науково-технічних проблем газоспоживання є надзвичайно актуальним і важливим, оскільки наша держава починаючи з середини 90-х років ХХ століття за рівнем споживання газу увійшла в десятку найбільших країн світу. Статистичні дані підтверджують, що частка газу в балансі енергоносіїв становить приблизно 45 %, тоді, як середня частка споживання газу в світі – 28 %, а в Європі – 21.3 % [43]. Відомо, що газотранспортна система України (ГТС) включає 38,2 тис. км газопроводів, у т. ч. 14 тис. км діаметром 1020–1420 мм, 73 компресорні станції, з них 110 – компресорні цехи загальною потужністю 5450 МВт, а також 13 підземних сховищ газу. Пропускна спроможність системи на вході становить 288 млрд. м³ у рік, а на виході – 178.5 млрд. м³ у рік. Оператором газотранспортної системи є дочірня компанія «Укртрансгаз» НАК «Нафтогаз України», щороку для споживачів України транспортує приблизно 50–60 млрд. м³, а до країн Західної та Центральної Європи – транзитом 110-120 млрд. м³ природного газу.

На сучасному етапі з'явилася технічна можливість збільшити транзит газу в країни Центральної і Західної Європи до 142 млрд. м³ у рік без розширення газотранспортної системи. Важливим технологічним елементом газотранспортної системи є 13 підземних газосховищ із активним об'ємом 34,5 млрд. м³. Мережа підземного зберігання газу складається із чотирьох основних комплексів – Західноукраїнський, Київський, Донецький і Південноукраїнський. При абсолютному заповненні підземних сховищ газу максимальний можливий відбір може досягти 250 млрд. м³ за добу. Підземні сховища, пов'язані в єдину систему мережею газопроводів, забезпечують високу надійність функціонування всієї газотранспортної системи, гарантують безперебійність, як постачання газу внутрішнім споживачам, так і транзиту російського газу до Європи [175].

Ці факти обґрунтовують упровадження широкого кола науково-технічних проблем і завдань газоспоживання, тобто обумовлюють необхідність детального аналізу газоспоживання окремих ділянок ГТС, а саме: областей, міст, окремих підприємств тощо.

1.2. Характерні особливості ієрархічної АСУТП

Газотранспортна система (ГТС) України це надзвичайно складний та ієрархічний комплекс жорстко пов'язаних між собою технологічних об'єктів, а саме: магістральних газопроводів (МГ), комплексів газотранспортного обладнання разом із компресорними станціями (КС), лінійними магістралями для постачання таких об'єктів, як міста та села чи окремі крупні заводи та фабрики, станціями підземного зберігання газу та інші. (див. додаток Г).

Тому на динаміку постачання газу для міста на нижньому рівні ієрархії впливає величезна кількість факторів та їх комбінації, що неможливо врахувати навіть у най досконаліших математичних моделях. Тому в подальшій роботі буде використано *ретроспективний (апостеріорний) підхід* до аналізу динаміки газопостачання міста [65]. Це означатиме, що розроблена інформаційна технологія не матиме прямого зворотного зв'язку з каналами керування

технологічним процесом газоспоживання на середньому і верхньому рівнях управління. Наше завдання – надати додаткову інформацію людині-оператору для прийняття рішення в процесі управління ГТС на рівні лінійного трубопроводу газопостачання міста. Детальніше топологію споживачів та динаміку процесу газоспоживання для міста буде розглянуто в наступних параграфах.

1.3. Динаміка процесу газоспоживання міста в часі та просторі

Перший крок дослідження – аналіз типових споживачів газу в межах міста та приміській зоні й відповідної інфраструктури газоспоживання. Загальна схема основних об'єктів газоспоживання міста Тернополя зображена на Рис. 1.1. Інфраструктура типових споживачів газу міста сформована в результаті дії різних факторів соціального та економічного характеру. Споживачами газу є мешканці будинків, промислові підприємства, газові котельні та ін.

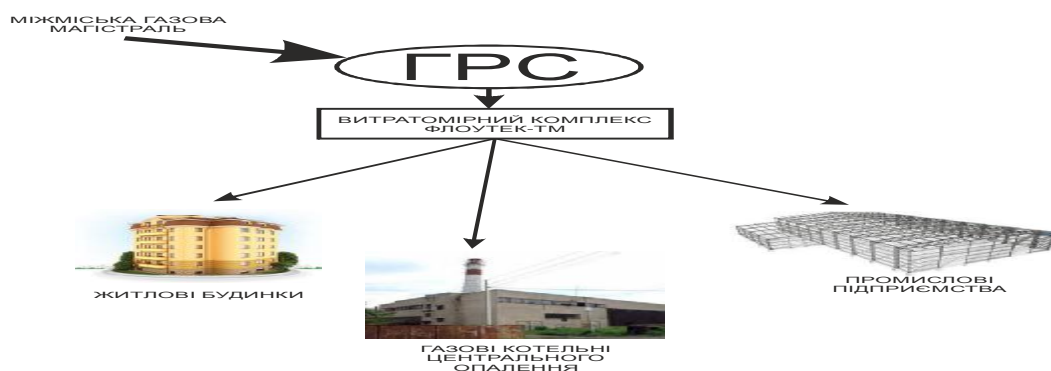


Рис. 1.1. Схема основних об'єктів газоспоживання міста

Об'єм газоспоживання залежить від використання побутових газових приладів та індивідуального опалення, а в зимовий період – це додатково газоспоживання котелень центрального опалення міста. Постачання газу від газорозподільних станцій (ГРС) міста до кінцевого споживача проходить через трирівневу мережу постачання газу: високого (до 1,2 МПа), середнього (до 0,6 МПа) та низького (3-5 кПа) тисків.

Підключення промислових та комунальних підприємств здійснюють через газорегуляторні пункти мережі середнього тиску, а підключення житлових та

громадських будинків на третьому рівні, мережі низького тиску. Кожен рівень мережі з'єднаний через редукційне обладнання, що зменшує тиск і підтримує його на належному рівні автоматично.

Результати аналізу впливу ціни на процес газоспоживання зазначено в додатку Г.

Розглянемо вплив низки інших факторів на динаміку газоспоживання міста. Аналізуючи вплив факторів газоспоживання, використовують два підходи. Перший полягає в тому, що необхідно розглянути вплив кожного із факторів на динаміку процесу газоспоживання, проте на практиці його не застосовують, надаючи перевагу другому підходові – інтегральному, тобто під час дослідження динаміки процесу газоспоживання враховують сумарну дію всіх факторів. Останній застосовуватимемо в цій роботі, де зосередимося на основних факторах динаміки досліджуваного процесу.

Суттєвим фактором збільшення газоспоживання міста є такі споживачі газу, як комунальні газові котельні центрального опалення (ЦО) міста, які працюють лише в опалювальний період, від осені до весни.

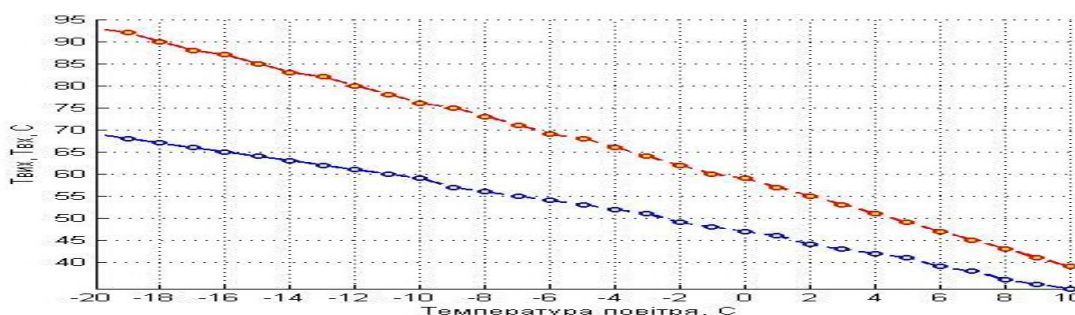


Рис. 1.2 – Графік температури води на вході та виході з газових котелень центрального опалення міста від температури зовнішнього середовища

Режими роботи котелень в опалювальний період зображено на Рис. 1.2., газові котельні згідно з даним графіком зобов'язані підтримувати температуру на вході та виході опалювальної системи, що циркулює в будинках мешканців залежно від температури зовнішнього середовища даного мікрорайону. Такий режим роботи газових котелень характерний в опалювальний сезон. Як правило,

введення в дію усіх газових котелень міста відбувається упродовж 3-5 днів залежно від кількості мікрорайонів, тобто кількості населення в місті.

З метою ілюстрації інтегральної дії всіх факторів, які впливають на динаміку газоспоживання, аналізуємо графік споживання газу за 2009 рік для міста Тернополя із кроком дискретизації даних одна доба (рис. 1.3).

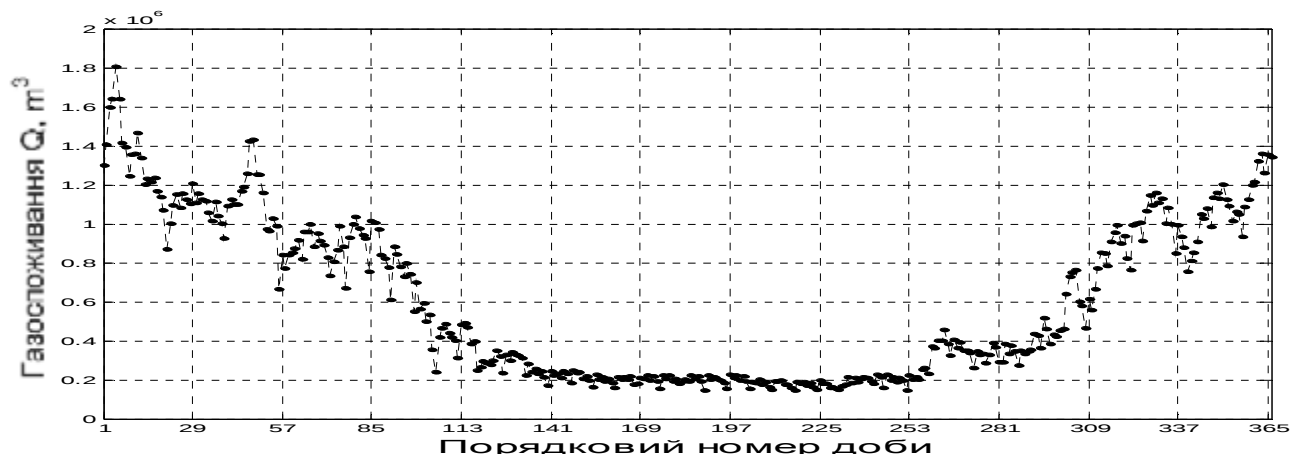


Рис. 1.3 – Графік газоспоживання міста Тернополя за 2009 рік із кроком дискретизації одна доба

Характерною ілюстрацією дії циклічного обертання Землі є наступні два графіки (рис. 1.4, 1.5) тижневого газоспоживання міста із кроком дискретизації одна година в зимовий (опалювальний) та літній періоди, що ілюструє режими роботи газотранспортної системи міста та її динаміку.

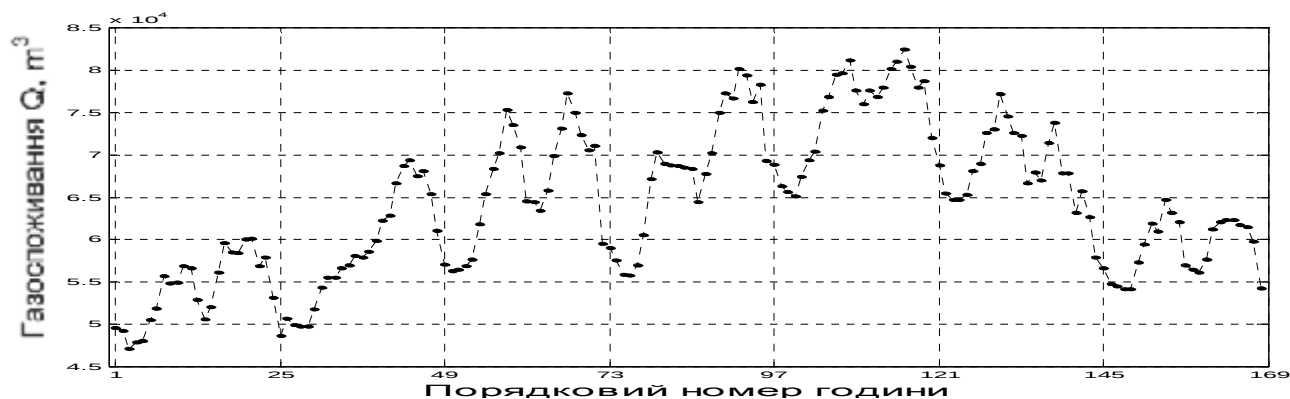


Рис. 1.4 – Графік газоспоживання міста за січень 2009 року із кроком дискретизації одна година на інтервалі один тиждень

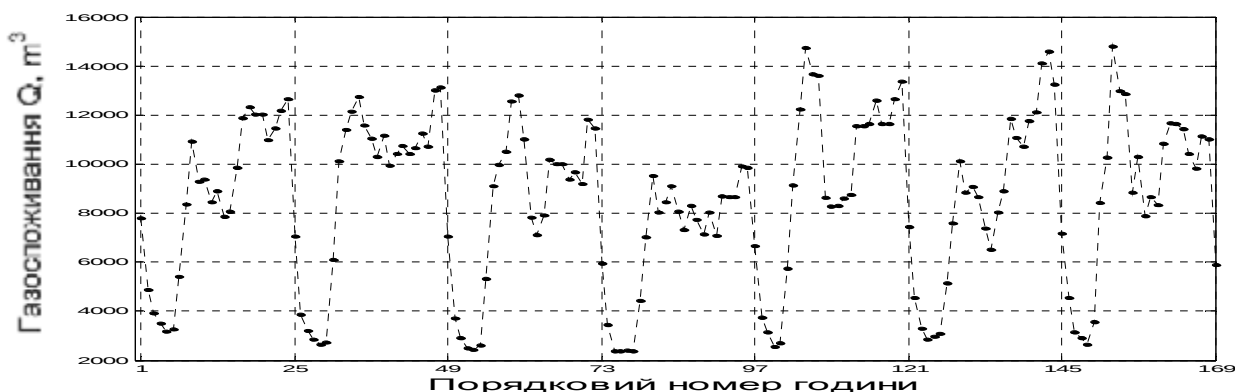


Рис. 1.5 – Графік газоспоживання міста за червень 2009 року із кроком дискретизації одна година на інтервалі один тиждень

Серед інших факторів слід виокремити динаміку зміни температури зовнішнього середовища, який суттєво впливає на динаміку газоспоживання міста. Для підтвердження впливу цього фактора розглянемо два графіки, а саме: графік річного газоспоживання, та графік середньодобової температури міста за рік (Рис. 1.6). На основі порівняльного аналізу ми зауважили певну залежність інтенсивності газоспоживання від динаміки зміни температури. Найбільш наочно таку динаміку простежуємо у нормованому виді:

1) для газоспоживання

$$q_{\epsilon}(t) = \frac{Q(t)}{Q_{\max}}, \quad (1.1)$$

де $q_{\epsilon}(t)$ – нормоване значення газоспоживання, верхня границя; відповідно нижня границя прямує до нуля, при відсутності газоспоживання. $Q_{\max}$ – максимальне газоспоживання, $Q(t)$ – поточне значення газоспоживання.

2) для середньодобової температури

$$T^{+}(t) = \frac{T(t)}{T_{\max}^{+}}, \quad (1.2)$$

де $T^{+}(t)$ – нормоване значення середньодобової температури міста; $T_{\max}^{+}$ – максимальне значення середньодобової температури міста; $T(t)$ – поточне значення середньодобової температури міста.

$$T^{-}(t) = \frac{T(t)}{T_{\min}^{-}}, \quad (1.3)$$

де $\hat{T}^+(t)$ – нормоване значення середньодобової температури міста; $T_{\max}^+$ – мінімальне значення середньодобової температури міста;

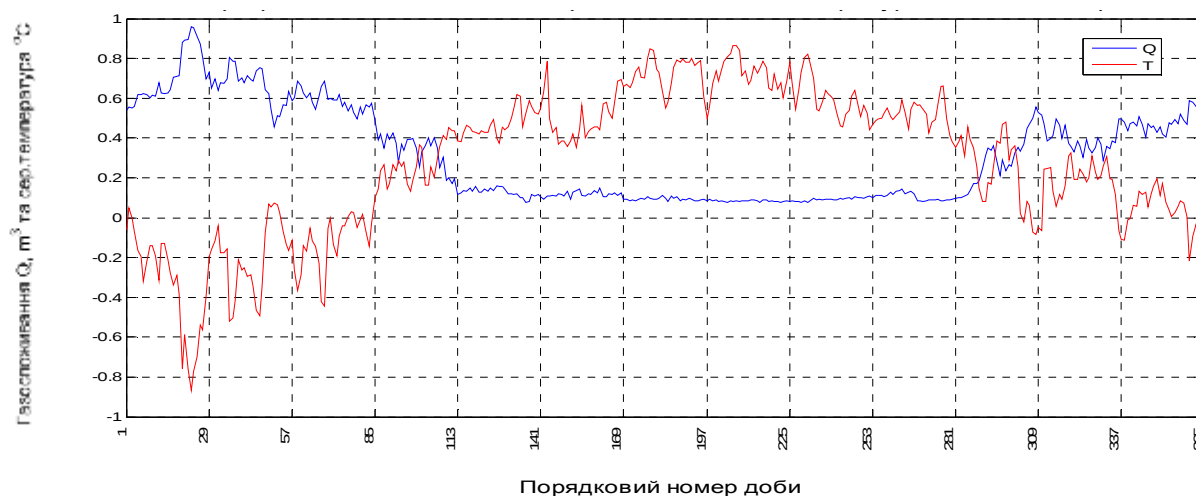


Рис. 1.6 – Графіки добового газоспоживання (синій) та середньодобової температури (червоний) міста за 2006 р.

На графіку зображені дані для Q (газоспоживання за добу, м^3) і T (середньодобова температура, $^{\circ}\text{C}$) приведені в нормованому вигляді в інтервалі $[-1,1]$. Наочно видно підтвердження апріорної інформації про функціонування різних видів споживачів газу міста та їх сумарний вплив у неопалювальний та опалювальний період. Зокрема, можемо побачити незначну кореляцію газоспоживання в літній період та сильну кореляційну залежність від середньодобової температури по місту (екзогенний фактор).

У наступних розділах дисертації реальні дані газоспоживання міста, у яких інтегрально враховано дію всіх факторів, будуть покладені в основу обґрунтування математичної моделі а статистичних методів динаміки газоспоживання міста. В наступному параграфі розглянемо топологію споживачів, що впливають на динаміку газоспоживання міста.

1.4. Топологія споживачів газу міста

На Рис. 1.7 зображено ілюстративну схему основних споживачів газу міста, яку в низці наукових праць називають топологією споживачів.



Рис. 1.7 – Ілюстративна схема основних споживачів газу міста

Коротко зупинимось на характерних особливостях споживання газу такими видами споживачів.

Індивідуальне опалення житлових будинків та побутове споживання газу. Більшість житлових будинків обладнанні побутовими газовими приладами, що сумарно формує окремий вид споживачів – житлові будинки, побутове споживання газу. На сьогодні велику частину житлових приміщень обладнано системою індивідуального опалення: газовими котлами та конвекторами. Для такого виду споживачів математичну модель ґрунтовно описано у вигляді лінійного та лінійного періодичного випадкових процесів у роботах [98, 137]. Кожен споживач незалежно один від одного вмикає та вимикає газ у певний час, що є послідовністю незалежно розподілених величин, які вказують рівень інтенсивності споживання газу кожним споживачем.

Промислове споживання газу. У місті розташовані підприємства, які за своєю специфікою використовують газ для виробничих потреб, наприклад, обладнання сушильних агрегатів столярень, пекарські печі, обладнання промислових підприємств міста. Зауважимо, що в місті немає великих промислових підприємств, які б створювали сумарно значно більшу амплітуду в газоспоживанні міста.

Газові заправочні станції. У Тернополі розташовано більше десяти газових заправних станцій, з кожним роком у зв'язку з постійним зростання цін на

бензин та дизельне паливо, все більше водіїв встановлює на транспортні засоби газові установки, що дозволяє зекономити кошти. Більшість держаних і приватних таксомоторних парків переведено на природний газ. Це безумовно створює окремий вид споживачів газоспоживання із своїм характерним режимом використання газу.

Індивідуальне опалення муніципальних будівель та організацій. Слід враховувати індивідуальне опалення промислових та муніципальних підприємств, навчальних закладів, які обладнані власними котельнями для постачання гарячої води та опалення в зимовий період.

Гаряче водопостачання та центральне опалення міста. Суттєву амплітуду газоспоживання формують газові котельні міста: гаряче водопостачання, центральне опалення (ЦО) у зимовий період. Характерна особливість роботи газових котелень (що складає центральне опалення міста) – залежність від температури навколишнього середовища і робота в зимовий (опалювальний) період. Детальніше зупинимось на центральному опаленні міста та специфіці функціонування типових газових котелень міста (додаток Е). Режимом нагрівання води задається управляючим сигналом при роботі газової котельні згідно з графіком (додаток Е), що задає залежність температури виходу і входу з труби центрального опалення до кожного із будинків від температури зовнішнього середовища (середня температура по місту). Ще одна особливість прокладених трубопроводів накладає певні обмеження на управляючий сигнал, що визначає температуру нагрівання в центральній опалювальній системі. У зв'язку з економією труб до кожного із будинків прокладено не дві пари труб (вхід-вихід), а лише одну. Вони виконують роль постачання гарячої води та центрального опалення будинків у зимовий період.

Ця пара прокладених труб (вхід-вихід) забезпечує постачання гарячої води в будинки, створюючи обмеження. Згідно з вимогами температура на вході в систему для постачання гарячої води повинна бути не нижчою, ніж 65 °С. Друга функція тієї ж пари труб в опалювальний (зимовий) період – забезпечувати центральне опалення і температуру на виході з котелень згідно з графіком (див.

додаток Е). Варто вказати про періоди запуску центрального опалення, що відбувається не постійно, а в імпульсному режимі упродовж доби. Тобто подача гарячої води в батареї та їх циркуляція відбувається 3-4 рази на добу в певний час (короткі проміжки часу – 1-2 год). Загалом всі ці особливості режиму роботи споживачів газу зумовлюють загальну картину та характер газоспоживання міста. Таку особливість в опалювальний (зимовий) період, слід враховувати при обґрунтуванні математичної моделі газоспоживання.

На наступному графіку розглянуто середню оцінку часток річного об'єму у відсотках газоспоживання кожним видом споживачів.



Рис. 1.8 – Кругова діаграма середньої оцінки часток річного об'єму газоспоживання у зимовий період кожним видом споживачів міста

Діаграма відображає відсоткову частку впливу кожного виду споживачів, що у свою чергу, буде впливати на сумарний характер газоспоживання міста.

Можемо зробити виновок, що наявні математичні моделі не в повній мірі враховують топологію споживачів на річному інтервалі спостереження. Тому в побудові математичної моделі потрібно зважати на: вплив центрального опалення в опалювальний період (розбиття на сезони), коливання газоспоживання упродовж доби, що обумовлене добовим обертанням Землі та режимом роботи споживачів газу.

Далі розглянемо одне із найважливіших питань формування статистичних даних вимірювань динаміки газоспоживання міста, а саме характеристику інформаційно-вимірювальних комплексів газоспоживання.

1.5. Використання засобів ІВС для формування і накопичення даних вимірювань газоспоживання міста

Формування БД результатів вимірювань газоспоживання міста напряму залежить від особливостей конкретної інформаційно-вимірювальної системи (ІВС), що забезпечує вимірювання, перетворення в інформацію, та подальшу передачу та збереження накопичених даних вимірювань у єдину БД газоспоживання міста.

Аналіз літератури свідчить про перспективи підвищення точності вимірювальних пристроїв за методом перепаду тиску. Зокрема, вагомий внесок в удосконалення методики розрахунку витрат природного газу здійснили: Пістун Є.П., Гудріт Є.Р., Химко О.М., Лесовой Л.В., Марковський Д.І. [177, 131, 93, 125, 126, 154]. На сьогоднішній день вимоги до вимірювання витрат газу відповідають міжнародним стандартам якості ISO 4006-91 та 9951-93.

На сучасному етапі становлення існує низка систем обліку та білінгу газу: «Атлас СИБІЛ», «ATdata Smart», облікова система «Gasolina», «Elster SODEK». Усі ці системи містять інформаційні вимірювальні системи у вигляді витратомірного комплексу або лічильники побутового обліку газу, найуживаніший витратомірний комплекс, що використовується для обліку газоспоживання міста Тернопіль «Флоутек» [66, 67].

Отже, нова (удосконалена) інформаційна технологія моніторингу газоспоживання міста буде використовувати вже наявну інформаційно-вимірювальну систему міста із збереженням усіх характеристик точності. Приорітетним буде удосконалення на етапі зберігання та опрацювання даних вимірювання газоспоживання міста та побудова сховища даних.

Математична модель процесу газоспоживання – один із основних об’єктів, який є предметом дослідження, в наукових працях з газоспоживання. Зупинимося більш детально на відомих моделях газоспоживання.

1.6. Основні види математичних моделей газоспоживання

Розглянемо результати відомих моделей, в яких описано процес газоспоживання з урахуванням їх основних характеристик та проведемо порівняльний аналіз щодо застосування таких моделей до реального фізичного процесу газоспоживання міста.

Насамперед подамо сучасне визначення математичної моделі, яку використовують під час досліджень різних фізичних явищ, включаючи процес газоспоживання міста.

Означення 1.1. Математична модель досліджуваного процесу – це сукупність знань, припущень та гіпотез, побудованих у вигляді цілісної, логічно витриманої несуперечливої структури, яка гомоморфно відображає основні властивості досліджуваного процесу, сформульована з використанням математичних об’єктів, термінів та символів і призначена для розв’язання певного класу задач.

Із цього визначення випливає таке: обґрунтування або розробка математичної моделі базується на результатах розв’язку широкого кола задач у процесі дослідження конкретного процесу або явища.

Математична модель газоспоживання як система знань має такі чотири етапи розвитку.

1. Формалізація системи знань за результатами виконаних теоретичних, моделюючих та експериментальних досліджень процесу газоспоживання і запис аналітичного виразу математичної моделі, визначення її основних характеристик.

2. Постановка і розв’язання широкого кола завдань процесу газоспоживання для різних видів споживачів газоспоживання.

3. Аналіз отриманих результатів теоретичних, моделюючих та експериментальних досліджень, порівняльний аналіз результатів теоретичних і

реальних даних процесу газоспоживання, перевірка ефективності використання даної моделі при вирішенні актуальних задач газоспоживання.

4. Прийняття рішень за результатами використання даної математичної моделі з такими варіантами: а) модель може бути використана для подальших досліджень; б) у моделі необхідно змінити низку параметрів і характеристик, запропонувати для подальшого використання; в) необхідно розробити нову математичну модель.

Математична модель газоспоживання є елементом множини загального виду математичних моделей, які застосовуються у різних предметних сферах. Варто зауважити, що математична модель із одного боку є об'єктом досліджень математики, а з іншого – інструментом дослідження конкретного фізичного процесу. Така різноманітність підходу до математичної моделі газоспоживання вимагає ретельного обґрунтування до використання.

Серед відомих моделей газоспоживання можна виокремити три групи: статистичні або ймовірнісні; детерміновані; комбіновані. Компонентами останніх є детерміновані і статистичні компоненти. Якщо використовувати загальний підхід до структури таких моделей, то детерміновані можна розглядати як частинний випадок статистичних.

Відомими математичними моделями процесу газоспоживання є: [51, 52, 80-89, 95, 164, 165, 167]:

Найпростіша *адитивна модель* такого типу:

$$x_1(w, t) = Q_1(t) + x_1(w, t), \quad w \in W, \quad t \in R, \quad (1.4)$$

де $Q_1(t)$ – детермінована гармонічна функція, а $x_1(w, t)$ – центрований стохастичний білий шум. Як гармонічну функцію використовують функції косинуса, синуса та їхніх комбінацій з різними значеннями частоти [129].

У такому записі, формула (1.4) не дозволяє описати тренд та сезонні складові (також циклічні чи квазігармонічні коливання), тобто врахувати динаміку газоспоживання.

Наступна модель є адитивною сумою детермінованої періодичної функції $Q_2(t)$ як періодичного тренду, і випадкового стаціонарного процесу $z_2(w, t)$, яка виглядає так:

$$x_2(w, t) = Q_2(t) + z_2(w, t), w \in W, t \in T; \quad (1.5)$$

Мультиплікативну модель газоспоживання записують у вигляді добутку детермінованої функції $Q_3(t)$ і стаціонарного випадкового процесу $z_3(w, t)$, тобто:

$$x_3(w, t) = Q_3(t) \cdot z_3(w, t) \quad (1.6)$$

У багатьох наукових працях використовують також *комбіновану адитивно-мультиплікативну модель* газоспоживання виду:

$$x_4(w, t) = Q_4(t) + Q_5(t) \cdot z_4(w, t), \quad (1.7)$$

де компоненти $Q_4(t)$ і $Q_5(t)$ є детермінованими функціями, а $z_4(w, t)$ – випадковий стаціонарний процес.

Недоліком адитивних та мультиплікативних моделей є те, що вони відображають періодичність лише першого початкового моменту процесу газоспоживання – його математичного сподівання.

Розглянемо найбільш відомі математичні моделі газоспоживання випадкових процесів [51, 52, 80, 85, 87, 89, 95, 98]:

- *періодично-корельований випадковий процес* [95] – процес $x_5(t)$ з періодичним математичним сподіванням та періодичною кореляційною функцією

$$M\{x_5(t)\} = m(t) = m(t + T_0), R(t_1, t_2) = R(t_1 + T_0, t_2 + T_0), \quad (1.8)$$

де T_0 – період процесу;

- *кусково-однорідний періодичний випадковий процес*

$$x_6(t) = \sum_{k=1}^l z_k(t) I(t, T_k), \quad t \in [0, T_c], \quad (1.9)$$

де $\{z_k(t), k = \overline{1, l}\}$ – сукупність однорідних компонент, кожна з яких є

періодичним (з періодом $T_0 = 24$ години) випадковим процесом.

$$I(t, T_k) = \begin{cases} 1, & t \in T_k \\ 0, & \text{в інших випадках} \end{cases}, \quad k = \overline{1, m} \text{ – індикаторна функція.}$$

- *лінійний періодичний випадковий процес* (ЛПВП) [87] $x_7(w, t)$ як відгук лінійного формуючого фільтра з періодичною імпульсною перехідною функцією $f_7(t, t) = f_7(t, t + T_0)$ при дії періодичного білого шуму $z_7(w, t)$ з періодом T_0 , в загальному випадку, процесу з незалежними значеннями виду:

$$x_7(w, t) = \int_t^{t+T_0} \dot{f}_7(t, t) z_7(w, t) dt \quad (1.10)$$

- *умовний лінійний випадковий процес* (УЛВП) у вигляді:

$$x_8(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \dot{f}(t - \tau; \tilde{l}_{p(t)}, \tilde{b}_{p(t)}) dp(\tau), \quad t \in (-\infty, \infty), \quad (1.11)$$

де $j(t - \tau; \tilde{l}_{p(t)}, \tilde{b}_{p(t)})$ – функція (ядро УЛВП) з випадковими параметрами $\tilde{l}_k$ та $\tilde{b}_k$; $p(t)$ – породжувальний процес з незалежними приростами, який в даному випадку, є неоднорідним узагальненим Пуассонівським процесом. Наголосимо, що ядро УЛВП є випадковим та стохастично незалежним від породжувального процесу.

Крім вищенаведених математичних моделей процесів газоспоживання використовуються й інші моделі.

Так, наприклад, у роботах [167, 185, 186] вказано більш складні математичні моделі газоспоживання, які використовуються у задачах моделювання та прогнозування процесів газоспоживання. До них належать моделі авторегресії – проінтегрованого ковзного середнього, моделі отримані з використанням методів «Гусениця-SSA» та «Бокса-Дженкінса». У вказаних роботах також зроблено

висновки з ефективності використання таких моделей. Детального аналізу результатів, які ми отримали в процесі написання дисертації, не буде зроблено, оскільки така проблематика заслуговує окремого наукового дослідження.

Коротко зупинимося на аспектах порівняльного аналізу використання вищеописаних математичних моделей. Так, наприклад, у роботі [98] на невеликих проміжках часу застосовують модель стаціонарного випадкового процесу. В роботі [83] процес газоспоживання описано кусково-стаціонарним випадковим процесом.

Аналізуючи графіки газоспоживання на значних інтервалах із погодинною дискретизацією, можна зауважити їхню стохастичну періодичність із фіксованим періодом $T=24$ год, хоча вплив температури в опалювальний період вносить у часовий ряд річний та сезонні тренди. У математичних термінах випадковий процес, що описує реальний сигнал з характерною циклічністю зареєстрованих реалізацій, ймовірнісні характеристики їхніх періодичних функцій в часі, називають стохастично-періодичними і відносять до класу нестаціонарних процесів. Поняття стохастичної періодичності поєднує в собі такі суперечливі властивості, як повторюваність, здебільшого через певний фіксований проміжок часу і випадковість у межах кожного періоду.

Дослідники [52, 95] пропонують використовувати моделі періодично-корельованого випадкового процесу (ПКВП) та стохастично-періодичного випадкового процесу за Слуцьким. Дані моделі мають багато переваг у порівнянні з розглянутими вище. Використання ПКВП дозволило розв'язати низку науково-прикладних задач, що пов'язані з статистичним аналізом ритмічних процесів, оцінкою їх математичного сподівання, дисперсії, кореляційної функції та спектральним аналізом.

У наступному параграфі розглянемо відомі статистичні методи обробки даних вимірювання процесів газоспоживання.

1.7. Статистичні методи обробки даних вимірювань процесів газоспоживання

Математичні моделі породжують цілу низку математичних методів обробки даних вимірювання процесів газоспоживання. У цьому параграфі коротко розглянемо відомі статистичні методи аналізу часових рядів як реалізації випадкового процесу газоспоживання міста.

Статистичні методи обробки реалізацій на основі періодичних випадкових процесів.

В основі методів аналізу періодичних випадкових процесів лежить метод виділення із цих процесів стаціонарних вкладених послідовностей, тобто j - серій, що був уперше запропонований в роботах Марченко Б.Г. і Приймака М.В. [89].

Нехай j – число (фаза), що належить проміжку $[0, T)$, то j - серією називається вкладений відносно до періодичного процесу $x(t)$ процес $x(j + lT)$, $l = 0, \pm 1, \dots$, який по суті є послідовністю відліків процесу $x(t)$, взятих через період T . Надалі будемо розглядати j - серії, для яких фаза приймає фіксовані значення: $j = j_i = ih$, $h = T/L$, L – ціле, $L \geq 2$. Для таких значень фази $j_i = ih$ вкладений процес будемо позначати через:

$$x(ih + lT) \stackrel{df}{=} x_i(l), l = 0, \pm 1, \dots \quad (1.12)$$

Зазначимо, що j_i - серії є стаціонарними у вузькому (широкому для періодично корельованих процесів) розумінні і є стаціонарно зв'язаними послідовностями, окрім того для кожної j_i - серії можна провести гістограмний аналіз, для того щоб оцінити функції щільності розподілу та закону розподілу випадкової величини.

Нехай $\{x_i, i = \overline{1, L}\}$ стаціонарна послідовність, $x_1, \dots, x_n$ – результати спостережень за випадковими величинами $x_1, \dots, x_n$. Розбиваємо інтервал можливих значень $x_1, \dots, x_n$ на k інтервалів $[s_{i-1}, s)$, $i = \overline{1, k}$ і визначаємо кількість n_i

елементів вибірки, що попала в кожен з цих інтервалів. Частота попадання

$$n_i = \frac{n_i}{n}, i = \overline{1, k}.$$

Гістограмою вибірки називається функція

$$P_n(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k \frac{n_i(x)}{D_i}, \quad (1.13)$$

де $D_i = s_i - s_{i-1}$ – довжина i -го інтервалу, $i = \overline{1, k}$

$$n_i(x) = \begin{cases} n_i, & x_i \leq x < x_{i+1} \\ 0, & x < x_i, \quad x \geq x_{i+1} \end{cases}. \quad (1.14)$$

Якщо інтервали розбиття вибираємо рівними $D_1 = D_2 = \dots = D_k = D$, то формулу (2) записуємо так:

$$P_n(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k \frac{n_i(x)}{D_i} = \frac{1}{nD} \sum_{i=1}^k n_i(x) \quad (1.15)$$

Гістограма та її ймовірнісні характеристики суттєво залежать від інтервалу побудови гістограми і від кількості інтервалів розбиття (додаток Ж).

Комбіновані методи

На сьогодні відомо багато методів, що є комбінацією певних математичних моделей та методів, перелічимо найвідоміші. А саме, дослідники Тевяшев А.Д., Щелкалин В.Н. кафедри прикладної математики з Харківського національного університету радіоелектроніки, використовують для аналізу та прогнозування моделі та методи авторегресії-інтегрованого ковзного середнього з екзогенними змінними (з урахуванням хронологічних і метеорологічних факторів) [167, 185, 186]. Математичну модель взаємозв'язаних процесів, що залежать від метеорологічних і хронологічних факторів, у операторній формі відображають так:

$$Z_t^Y = \sum_{i=1}^N \frac{b_{n_{b_i}}^i(q)}{a_{n_{a_i}}^i(q)} \times Z_{t-m_i}^{X^i} + \frac{g_{n_g}^{\bar{0}}(q)}{h_{n_h}^D(q)} \times e_t, \quad (1.16)$$

де N – кількість екзогенних перемінних; m_i – затримка i -го екзогенного часового фактора по часу відносно часового ряду, що прогнозується; $a_{n_{a_i}}^i(q)$, $b_{n_{b_i}}^i(q)$ –

поліноми q степенів n_{a_i} і n_{b_i} відповідно; $h_{n_h}^D(q)$ і $g_{n_g}^{\bar{0}}(q)$ – поліноми q степенів n_{h_v} і

n_{g^a} відповідно; e_t – залишкові помилки моделі; $Z_{t-m_i}^{x^i}$ – пронормовані від 0 до 1 екзогенні часові ряди x^i , $i = \overline{1, N}$.

Загалом, такого типу моделі можна віднести до мультиплікативного типу. Таким чином за допомогою методу авторегресії–проінтегрованого ковзного середнього (АРПКС) можна робити прогнози температури повітря, які в подальшому можуть бути використанні під час побудови прогнозів газоспоживання методом авторегресії–проінтегрованого ковзного середнього з екзогенними змінними (АРПКСзЕЗ) [167, с. 11].

Також відомо метод групового урахування аргументів, який розробив професор Івахненко А.Г. [58]. Він є типовим методом індуктивного моделювання і одним із найбільш відомих для структурно-параметричної ідентифікації складних об'єктів та процесів в умовах неповної інформації.

Зауважимо, що вказані методи обробки процесу газоспоживання не дають можливості у повні мірі побачити використання всіх можливих підходів та методів. Вказані у цій науковій роботі методи статистичної обробки процесу газоспоживання та прогнозування розглянуті більш детально в наступних розділах.

Такі методи та підходи, як наприклад, використання нейронних мереж, вейвлет аналіз, методи спектральних аналізів із різними ортогональними базисами та ін. заслуговують на окремі дослідження і виходять за межі даної роботи.

1.8. Статистичні методи обробки даних вимірювань у задачах прогнозу

У результаті проаналізованих наукових праць щодо експлуатації ГТС розрізняють наступні підходи до прогнозування газоспоживання: 1) перспективне планування роботи газотранспортної системи (на кілька років вперед); 2) довготерміновий прогноз – охоплює тривалі проміжки часу (місяць, квартал, рік); 3) короткотерміновий (оперативний) прогноз – розв'язують задачі, здебільшого пов'язані з підготовкою режиму роботи ГТС на найближчі години чи добу.

У роботі побудована ІТ буде опрацьовувати дані газоспоживання міста для вирішення завдання оперативного прогнозу, що дозволить надалі проводити короткотерміновий прогноз, необхідний у цілях диспетчерського управління для раціонального перерозподілу потоків газу між споживачами упродовж доби.

Вирішення задач прогнозування для різних країн світу великою мірою залежить від топології та стану розвитку ГТС. В більшості країн популярним є підхід до прогнозу газоспоживання для різних категорій споживачів [7], що є можливим завдяки загальному використанню пристроїв обліку газу.

У нашій державі специфікою обліку витрат газу є недостатній рівень застосування широкого спектру ІВС для обліку споживання газу, що призначений кінцевому споживачу та автоматизованого накопичення даних вимірювань. Дослідники [53] визнають, що точний розрахунок витрат на комунально-побутові потреби нашої держави виконати дуже складно, оскільки об'єм газу, який витрачають ці споживачі, залежить від низки випадкових факторів [170], які неможливо класифікувати, а тим паче прогнозувати.

Відомо декілька методик прогнозування витрат природного газу для організацій та населення. Непрактичним виявився метод прямого розрахунку газоспоживання за кількістю населення, що користується газом, і опалювальної площі будинків. Відсутність необхідної повної статистичної звітності й коректних норм газоспоживання по суті унеможлиблює застосування цього методу.

У роботі [25] дослідники запропонували метод "градусо-днів", в основу якого покладено пряму залежність витрат газу на опалення будинків від різниці зовнішньої і внутрішньої температур. Важливим недоліком цих методик є те, що воно побудовано на детермінованому підході і не враховують випадкового характеру процесу газоспоживання.

Широко застосовуються методики прогнозу часових рядів газоспоживання на основі ретроспективного аналізу добових графіків газоспоживання [37, 38]. Розв'язання задач прогнозу динаміки споживання природного газу по годинах доби зазвичай зводиться до екстраполяції відповідного часового ряду, тобто

деякої формальної процедури перенесення тенденцій минулого в майбутнє. Використання цих методів базується на стаціонарних моделях газоспоживання, отже, не дозволяє врахувати вплив різноманітних випадкових чинників, що визначають режим газоспоживання. У роботі [78] встановлено, що суттєвими факторами, які визначають режим газоспоживання, є кліматичні: температура зовнішнього повітря, відносна вологість повітря, сила вітру, атмосферний тиск та ін. У праці [96] розглянуто методику та зроблено оцінку взаємної кореляційної функції двох періодичних випадкових процесів, один з яких описує температуру навколишнього середовища, інший – газоспоживання. Як зазначають автори [7], дані про температуру для кожної години доби здебільшого відомі вже апостеріорно і, водночас, важко отримати таку інформацію апріорно. В цій же роботі доведено, що погодинні дані температури тісно пов'язані з середньодобовою температурою, що уможливлює прогноз газоспоживання на основі метеорологічних даних прогнозу температури на наступний день.

У статті [129] запропоновано здійснювати прогноз так: середньодобові значення газоспоживання прогнозувати за середньодобовою температурою навколишнього середовища, а відхилення від цих значень витрат газу для кожної години. Такий підхід ґрунтується на використанні адитивної моделі.

Автори [122] для прогнозу добових об'ємів газоспоживання пропонують кусково-лінійну модель, в основі якої лежить метод параболічної регресії. У роботі наголошено, що основну увагу при добовому прогнозуванні слід приділяти впливу на газоспоживання температури навколишнього середовища і хронологічних факторів, до яких зараховують день тижня і сезон. Дослідники детально зупиняються на вирішенні проблеми нерівномірності розподілу температури на місцевості та питанні вибору інтервалів лінійності параболічної регресії, проте не досліджують точність розробленого методу прогнозу.

У зв'язку із стрімким зростанням обчислювальних ресурсів багато дослідників перспективним підходом вважають використання нейронних мереж [5, 63]. Є багато переваг нейронних мереж, зокрема, можливість дослідження залежності прогнозованої величини від багатьох незалежних змінних. При цьому

досвідчений експерт може із самого початку скористатися яким-небудь алгоритмом визначення важливості й одразу визначити значущість вхідних змінних, щоб потім виключити з розгляду незначні параметри. Побудова нейромережевої моделі відбувається адаптивно під час навчання, без участі експерта. Поряд із цим нейронна мережа – це „чорний ящик“, який чином певною мірою працює, але логіка ухвалення рішень нейромережею абсолютно прихована від експерта. Для побудови нейронної мережі, як правило, необхідно велику кількість даних вимірювань.

На основі зробленого аналізу можна зробити такі висновки: 1) серед кліматичних факторів, які впливають на споживання газу, основний вплив має температура навколишнього середовища; 2) необхідно враховувати хронологічну послідовність часової серії, а також специфіку окремих днів тижня (робочих та вихідних днів); 3) слід враховувати зміну топології споживача в опалювальний період.

Існує два види оперативного (короткотермінового) прогнозу: визначення прогнозних погодинних витрат природного газу та добовий прогноз газоспоживання. Особливо складно проводити прогнозування витрат газу в періоди різкого похолодання в опалювальний період, а також в умовах обмеженого використання газу, що призводять до планових (у порядку пріоритетності) відключень окремих об'єктів газоспоживання.

Результати використання регресійних методів прогнозу газоспоживання міста розглянемо в другому розділі дисертації.

1.9. Порівняльний аналіз наявних ІТ

Серед відомих інформаційних технологій та систем моніторингу газоспоживання найбільш поширені: «GASOLINA», «АТЛАС СИБІЛ», «ASK 1.0».

Система «Gasolina» розроблена ІТ компанією «Liana» і була впроваджена в 2013 році у деяких містах сходу України, зокрема, у Кривому Розі, Запоріжжі, Харкові. Білінгова система «Атлас Сибіл» забезпечує облік послуг розрахунку з

контр агентами – юридичними і фізичними особами. Система містить не лише білінгові функції, а й бухгалтерські, технічного обліку і пропонує широкі послуги аналізу діяльності організації: контроль витрат газу, води, електроенергії та тепла. Перевагами даних системи є комплексний підхід до обліку газоспоживання кінцевими споживачами газу на основі показів лічильників, а також, ведення повного спектру аналітики та бухгалтерських функцій і для окремих підприємств, і для фізичних осіб. Технологічні переваги системи «Атлас Сибіл»: масштабованість системи; відкритість системи для удосконалення та адаптування; трирівнева технологія клієнт-сервер дозволяє підтримувати багатокористувацький доступ у реальному часі; єдина система розподіленого доступу на основі встановлення відповідних ролей; авторизація доступу в систему, аудит користувачів; можливість побудови розподілених систем, що враховують специфіку повільних каналів зв'язків. До недоліків даних систем можна віднести не можливість аналізу добових погодинних даних та прогнозування добового споживання газу для підприємства чи міста.

Таблиця 1.1 Порівняльний аналіз ІТ моніторингу газоспоживання

ЕТАПИ / НАЗВА		GASOLINA	ELSTER SODEK	PSIControl	ASK 1.0 (існуюча)	АСКметео плюс (нова)
ДЖЕРЕЛА ДАНИХ	ВИТРАТОМІРНІ КОМПЛЕКСИ ТА ЛІЧИЛЬНИКИ	+	+	+	+	+
	МЕТЕОДАНИ	–	–	–	–	+
ПЕРЕДАВАН- НЯ ДАНИХ	ПРОВІДНЕ	-	+	+	+	+
	БЕЗПРОВІДНЕ	+	+	+	+	+
ЗБЕРІГАННЯ ДАНИХ	ЛОКАЛЬНЕ	–	+	–	+	+
	СЕРВЕРНЕ	+	+	+	–	+
ОПРАЦЮВАН- НЯ ДАНИХ	ВИВІД ГРАФІКІВ, ЗВІТІВ	+	+	+	+	+
	ПРОГНОЗУВАННЯ	–	–	+	–	+
	ДІАГНОСТИКА АВАРІЙ	–	+	+	+	+

Система «ASK 1.0» – програмний комплекс опитування автоматичних обчислювачів розроблена НДПІАСУтрансгаз. Програмний комплекс має такі можливості: зчитування даних з автоматичних обчислювачів витрати газу; формування бази даних визначеної структури (так званого Hostlib-формату); віддаленого введення в обчислювачі параметрів газу, атмосферного тиску, а також коригування часу; перегляд та аналіз отриманої інформації; формування, перегляду і друку (чи збереження у файлі) добових і місячних звітів установленної форми. До недоліків даної інформаційної системи можна зарахувати неможливість автоматичного інтегрування у комплексні системи ведення розрахунків з контрагентами та обліку споживання газу для фізичних осіб. Дана система потребує допрацювання на етапі статистичного опрацювання даних та прогнозування витрат на наступну добу.

Результати порівняльного аналізу основних операцій чинних автоматизованих систем контролю, обліку, а саме: «GASOLINA», «ELSTER SODEK», «PSIControl», «ASK 1.0» та запропонованої в дисертації (умовна назва «АСК-метео плюс») вказано в таблиці 1.3.

У процесі порівняльного аналізу сучасних інформаційних технологій газоспоживання, автор врахувати врахував застосування використання методів, моделей, алгоритмічного і програмного забезпечення таких технологій в інших країнах ЄС та США. Варто зазначити, що в доступних публікаціях та матеріалах були розглянуті лише загальні рекламні можливості даних технологій без розкриття їх суті.

1.10. Обґрунтування актуальності побудови нової ІТ

На основі аналізу наявних інформаційних технологій моніторингу та обліку газоспоживання можемо визначити актуальну науково-технічну задачу створення інформаційної технології моніторингу газоспоживання міста, базуючись на таких аспектах:

- нова ІТ повинна опрацьовувати дані, отримані з обчислювачів газу (витратомірних комплексів);

- накопичувати дані з усіх обчислювачів в єдине сховище даних, створити крок з огляду на це, накопичення даних вимірювання на річному інтервалі спостереження: година, доба, тиждень, місяць;
- паралельно в єдине сховище даних повинна накопичуватися метеоінформація про середньодобову температуру в місті, а також, прогностичні значення на наступну добу;
- нова ІТ має розбивати на сезони річний інтервал спостереження і базуватися на результатах вимірювання, враховуючи зміну топології споживача і середньодобову температуру;
- для автоматизації завдань керування постачанням газу необхідно прогнозувати витрати газу для міста на наступну добу, враховуючи прогностичні дані метеофакторів.

Для побудови нової інформаційної технології газоспоживання міста має сенс удосконалити готову систему «ASK 1.0», що згодом буде запропоновано в роботі.

1.11. Висновки

З огляду на аналіз наукових публікацій та первинних даних, можемо констатувати: на процес газоспоживання міста впливає зміна топології споживачів упродовж року, а саме: ввімкнення центрального опалення, яке залежить від метеофакторів, у першу чергу, від середньодобової температури в місті. Це потребує розробки методу розбиття часового ряду на сезони на річному інтервалі спостереження, так як зміна динаміки газоспоживання не співпадає з календарними датами ввімкнення і вимкнення центрального опалення.

З огляду на сучасні математичні моделі, перспективною є комбінована модель, де сезонність найкраще описувати як детерміновану складову; гармонійні коливання та стохастичний залишок як випадковий процес. Щоб побудувати математичну модель необхідно застосувати метод для поділу сумарного погодинного часового ряду газоспоживання на річному інтервалі спостереження та на вищеописані компоненти, що мають чітке фізичне обґрунтування. Дослідники логічно довели: основний період гармонійних коливань становить

24 години, а це пов'язано із добовим обертанням Землі та робочим графіком підприємств.

Також для автоматизації процесу зберігання отриманих даних необхідно розробити нову структуру бази даних, яка давала б можливість аналізувати періодичну стохастичність та зберігати дані не лише газоспоживання в їх первинному вигляді, й метеофактори і дозволяла здійснювати гнучкі запити до бази даних з кроком накопичення: година, доба, тиждень, місяць, робочі - неробочі дні, сезони на річному інтервалі та в подальшому і декількох років.

РОЗДІЛ 2. ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ГАЗОСПОЖИВАННЯ МІСТА ТА МЕТОДІВ ОПРАЦЮВАННЯ ДАНИХ ВІМІРЮВАННЯ НА РІЧНОМУ ІНТЕРВАЛІ СПОСТЕРЕЖЕННЯ

2.1. Формування часових рядів на основі даних вимірювань газоспоживання міста

При формуванні бази даних (БД) вимірювань газоспоживання міста була використана наступна мережа інформаційно-вимірювальних засобів, структурна схема якого наведена на наступному рисунку.

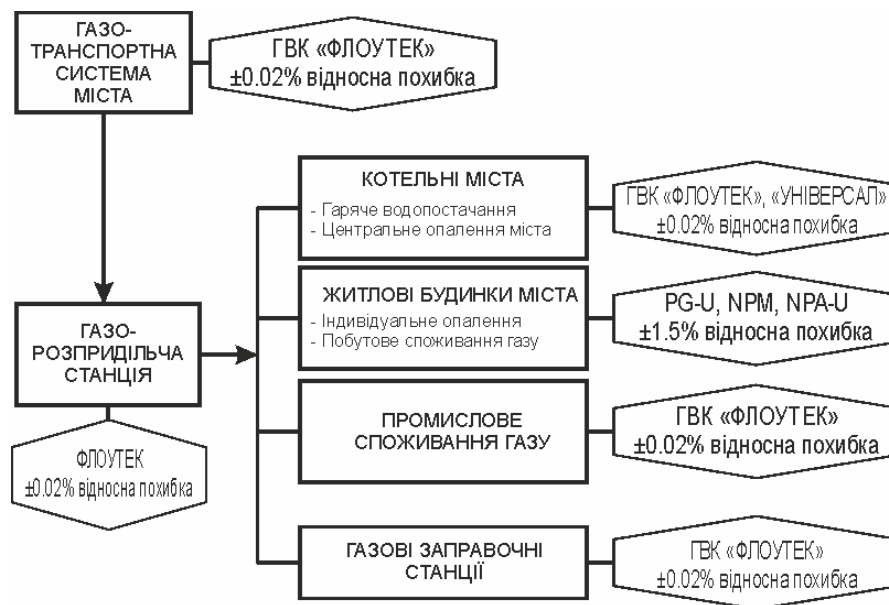


Рис. 2.1 – Структурна схема мережі інформаційно-вимірювальних засобів обліку газоспоживання газовитратних комплексів (ГВК) типу «Флоутек», «Універсал»

Використання мережі інформаційно-вимірювальних засобів обліку газоспоживання міста (ГВК) дає можливість сформувати відповідні бази даних статистичних вимірювань і отримання результатів вказаних вище завдань.

В подальших матеріалах дисертації будемо використовувати такі позначення:

- $x(w, t)$, $w \in W$, $t \in T$ – загальне позначення процесу газоспоживання як неперервного випадкового процесу;

- $x_i(w, t)$, $w \in W$, $t \in [1, 8760]$ – позначення неперервного процесу газоспоживання на річному інтервалі спостереження, де індекс i вказує конкретний рік спостереження;
- $x_i(t)$, $t \in [1, 8760]$ – реалізація неперервного випадкового процесу $x_i(w, t)$ при фіксованому w , на i -му річному інтервалі спостереження.

Результати вимірювання реалізацій процесу газоспоживання на відповідних часових інтервалах, які реєструють відповідними ГВК (лічильниками) газоспоживання, мають такі позначення:

$$1) h_i(t_j) = h_{ij} = \int_{(j-1)Dt_h}^{Dt_h} x_i(t) dt \quad \text{де } Dt_h = 1 \text{ година} - \text{крок рівномірної дискретної}$$

часової градки $\{jDt_h, j = \overline{1, 8760}\}$ i -го року спостереження.

$$2) d_i(t_k) = d_{ik} = \int_{(k-1)Dt_d}^{Dt_d} x_i(t) dt \quad \text{де } Dt_d = 1 \text{ доба} - \text{крок рівномірної дискретної}$$

часової градки $\{kDt_d, k = \overline{1, 365}\}$ i -го року спостереження.

$$3) w_i(t_m) = w_{im} = \int_{(m-1)Dt_w}^{Dt_w} x_i(t) dt \quad \text{де } Dt_w = 1 \text{ тиждень} - \text{крок рівномірної}$$

дискретної часової градки $\{mDt_w, m = \overline{1, 52}\}$ i -го року спостереження.

$$4) y_i(t_m) = y_i = \int_{(i-1)Dt_y}^{Dt_y} x_i(t) dt \quad \text{де } Dt_y = 1 \text{ рік} - \text{крок рівномірної дискретної}$$

часової градки $\{iDt_y, i = \overline{1, 5}\}$ i -го року спостереження.

У ході обґрунтування математичної моделі процесу газоспоживання міста буде використано результати попередньої статистичної обробки даних вимірювань обліку газоспоживання міста Тернополя в період за 2006 – 2010 рр. включно.

Первинна матриця даних вимірювань обліку газоспоживання, як відповідна база даних (БД) має такий масив даних:

$$Q_{Y_i}^{год} = \|a_{ij}\|, i=\overline{1,5}, j=\overline{1,8760}, \quad (2.1)$$

де i дані газоспоживання відповідно для 2008-2009 рр.; кожна стрічка матриці (2.1) – це річний часовий ряд з рівномірним кроком накопичення $Vt_1 = 1$ година, а одиниця вимірювань газоспоживання має розмірність $м^3$.

У подальших операціях статистичної обробки даних газоспоживання та побудови добового прогнозу будуть використані такі матриці статистик газоспоживання:

$$Q_{Y_i}^{доб} = \|b_{ij}\|, i=\overline{1,5}, k=\overline{1,365}, \quad (2.2)$$

де елементи $d_{ij} = \bigcirc_{j=24(k-1)+1}^{24k} a_{ij}$, $i=\overline{1,5}$, $k=\overline{1,365}$, тобто кожна стрічка матриці (2.2) – це річний часовий ряд газоспоживання з рівномірним кроком накопичення $Vt_d = 24$ год = 1 доба, а одиниця вимірювання має розмірність $м^3$.

$$Q_{Y_i}^{тижн} = \|c_{im}\|, i=\overline{1,5}, m=\overline{1,52}, \quad (2.3)$$

де елементи $w_{im} = \bigcirc_{m=7(m-1)+1}^{7m} a_{im}$, $i=\overline{1,5}$, $m=\overline{1,52}$, тобто кожна стрічка матриці (2.3) – це річний часовий ряд газоспоживання з рівномірним кроком накопичення $Vt_w = 168$ год = 7 діб = 1 тиждень, а одиниця вимірювання має розмірність $м^3$.

Науково-технічний прогрес та швидкі темпи розвитку обчислювальної техніки призвели до можливості формування достатньо точної бази даних (БД) вимірювань у тому числі в сфері газоспоживання в електронному вигляді. Інформаційно-вимірювальні газовитратні комплекси типу «Флоутек» та «Універсал» широко використовуються на трубопроводах газопостачання міст, а також окремих великих промислових об'єктах народного господарства. Це дає змогу накопичувати БД результатів вимірювання в цифровому форматі, що дає змогу автоматизувати процес збору, обробки та аналізу даних вимірювання. В результаті можемо отримати величезні масиви даних вимірювання газоспоживання з різним часом дискретизації даних. Сучасна інформаційна система «ASK 1.0» не передбачає збереження даних метеофакторів тому

потребує суттєвого доопрацювання шляхом розробки нової структури сховища даних, на основі інтеграції даних із різних джерел баз даних: метеофактори, витратомірні комплекси споживання газу і т.п.

2.2. Методи виділення адитивних компонент річного часового ряду газоспоживання міста

Розглянемо сучасні методи виділення трендових компонент та їх оцінки із сумарного часового ряду газоспоживання.

2.2.1. Метод емпіричних модових декомпозицій (EMD)

Оригінальна назва цього методу «емпірична модова декомпозиція» (Empirical mode decomposition, EMD) і «Гільбертовий спектральний аналіз» (HSA), побудований на перетворенні Гільберта-Хуанга (Hilbert-Huang Transformation, HHT).

У 1995 р. Норден Хуанг розробив цей метод спеціально для вивчення поверхневих хвиль тайфунів, назвавши його “Empirical mode decomposition and Hilbert spectral analysis” («Емпірична модова декомпозиція і Гільбертовий спектральний аналіз»), а трохи згодом із ініціативи NASA був перейменований на Hilbert-Huang Transformation (HHT). На сучасному етапі цей метод широко використовують для аналізу біомедичних, фінансових, інженерних та геофізичних даних [11, 12, 13].

Метод складається з двох частин: емпіричної модової декомпозиції (EMD) та спектрального Гільбертового аналізу (HSA). Перевіривши дослідним шляхом, його застосовують для аналізу різних видів часових рядів. Так само, як аналіз Фур'є був відкритий у 1807 році, а теоретично доведений лише у 1933 році, необхідно затратити доволі багато часу для чіткого математичного доведення HHT методу. На сьогодні цей метод використовують під час попередньої статистичної обробки часових рядів. У нашій дисертації буде використано першу частину методу: метод емпіричних модових декомпозицій з подальшим використанням отриманих результатів для обґрунтування

математичної моделі процесу газоспоживання. Після цього коротко зупинимося на його висвітленні.

“Empirical mode decomposition” (EMD) – метод розкладання сигналу на функції або “емпіричні моди”. Він є ітераційною обчислювальною процедурою розкладання вхідних даних часового ряду на внутрішні модові функції (або внутрішні коливання) – “Intrinsic mode function” (IMF). Декомпозиція, побудована на припущенні: будь-який часовий ряд складається з різних “внутрішніх” коливань, що накладаються одне на одне. Кожне таке коливання є модовою функцією, що має екстремуми та перетини з нулем і є в певною мірою симетричним відносно локального середнього значення. “Емпірична мода” (IMF) – це функція, що має такі властивості:

- 1) кількість екстремумів функції та перетинів із нулем не повинно відрізнятися більше, ніж на одиницю;
- 2) середнє значення огинаючих, що визначене локальними максимумами та мінімумами, повинно бути нульовим у будь-якій точці функції.

Для наочності коротко опишемо реальний приклад розбиття часового ряду [11, с.5-12]. Нехай реалізація випадкового процесу запропонована дискретно у вигляді часового ряду $X(t)$. Завдання EMD у послідовному обчисленні емпіричних мод $c_j(t)$ та залишку $r_j(t) = r_{j-1}(t) - c_j(t)$, де $j = \overline{1, n}$, при $r_0 = X(t)$. Результатом такого розкладу буде сума модових функцій та залишку:

$$X(t) = \sum_{j=1}^n c_j(t) + r_n(t), \quad (2.4)$$

де n – кількість емпіричних модових функцій, що встановлюють у процесі ітераційної обчислювальної процедури.

Використаємо наступний приклад реалізації вже згаданого методу [11].

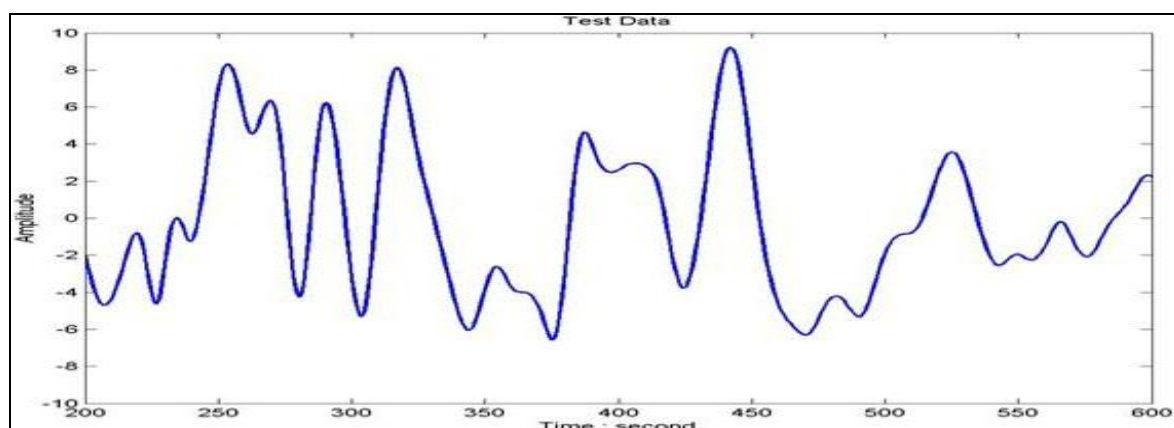


Рис. 2.2 – Вихідний часовий ряд

Операція 1. Знаходимо в $X(t)$ усі локальні екстремуми, точки t_i екстремумів за зміною знака похідної $X(t)$ та значення $X(t_i)$ у цих точках.

Операція 2. Кубічним (або будь-яким іншим) сплайном будуємо по точках t_i верхню та нижню огинаючі криві. Визначаємо функцію m_i як середнє між верхньою та нижньою огинаючими. Різницю між сигналом $X(t)$ та $m_i(t)$ приймаємо за перше наближення першої модової функції (IMF), а компоненту операції відсіювання – як функцію $h_i(t) = X(t) - m_i(t)$.

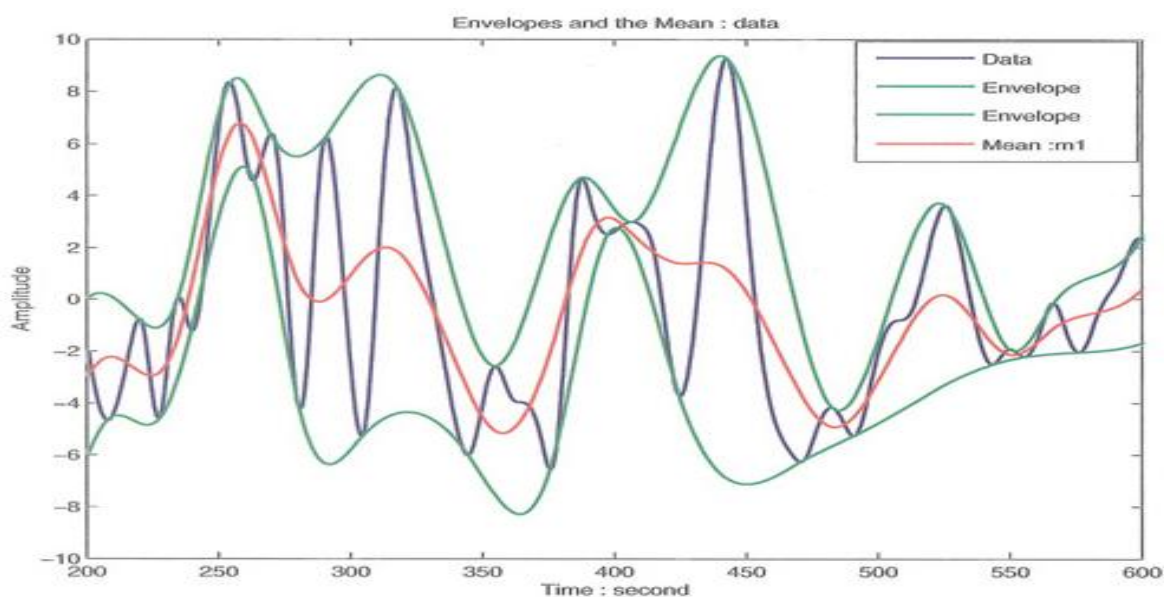


Рис. 2.3 – Огинаючі функції середніх значень $m_1(t)$

Операція 3. Виконуємо дію 1 та 2, але тепер беремо замість $X(t)$ функцію $h_1(t)$ і знаходимо друге наближення для IMF – компоненту відсіювання $h_2(t) = h_1(t) - m_2(t)$.

Наступні дії виконуємо аналогічно до попередніх, тобто реалізовуємо алгоритм ітерації як для першої IMF:

$$h_k(t) = h_{k-1}(t) - m_k(t) \quad (2.5)$$

Слід вказати умови виходу з ітерації для процесу декомпозиції за такими критеріями:

1) коли компоненти $c_n(t)$ і залишок $r_n(t)$ стають досить не суттєвими за значенням чи потужністю порівняно з вихідним сигналом;

2) коли залишок $r_n(t)$ стає монотонною функцією, то з нього неможливо виділити наступні IMF.

Здебільшого, якщо дані мають тренд, то останньою IMF компонентою, буде лінія тренду, що монотонно зростає або є постійною. Компоненти EMD розкладу, як правило, фізично значущі, оскільки параметри, що характеризують IMF, визначають реальні дані. Тому даний метод є адаптивним відносно даних, що аналізуються.

На сучасному етапі енергетичного розвитку нема чіткого математичного обґрунтування розкладу за таким адаптивним базисом, але він задовольняє всі традиційні вимоги для базису: є завершеним, збіжним, ортогональним і єдиним. Особлива відмінність цього методу полягає в тому, що він адаптивний, оскільки отриманий емпірично із часового ряду. Зауважимо, що, наприклад, ортогональність базису можна перевірити шляхом добутку будь-яких пар компонентів IMF.

Залежно від міри збільшення ітерацій функція $m_i(t)$ та $h_i(t)$ наближається до незмінної форми. Розроблено два критерії зупинки ітерації: S та SD.

У 1998 році було розроблено критерій SD зупинки ітерації як нормалізовану квадратичну різницю між двома операціями відсіювання, яка визначається так:

$$SD_k = \frac{\int_{t=0}^T |h_{k-1}(t) - h_k(t)|^2 dt}{\int_{t=0}^T h_{k-1}^2 dt} \quad (2.6)$$

Інший критерій S визначають як номер максимальної ітерації, при якому число екстремумів і нульових перетинів функції $h_s(t)$ не змінюється порівняно з попередніми ітераціями. Дослідним шляхом було встановлено оптимальний діапазон S -відсіювань у межах 4-8 ітерацій.

Останнє значення $h_k(t)$ ітерації приймаємо за найбільш високочастотну функцію $c_1(t) = h_k(t)$ усіх компонент IMF, що безпосередньо входить у склад вихідного часового ряду $X(t)$. Таким чином можна послідовно віднімати від вихідного часового ряду найбільш високочастотні адитивні складові, залишаючи більш низькочастотні. На наступному рисунку вказано виділення першої складової IMF функції $r_1(t)$ як найбільш високочастотної.

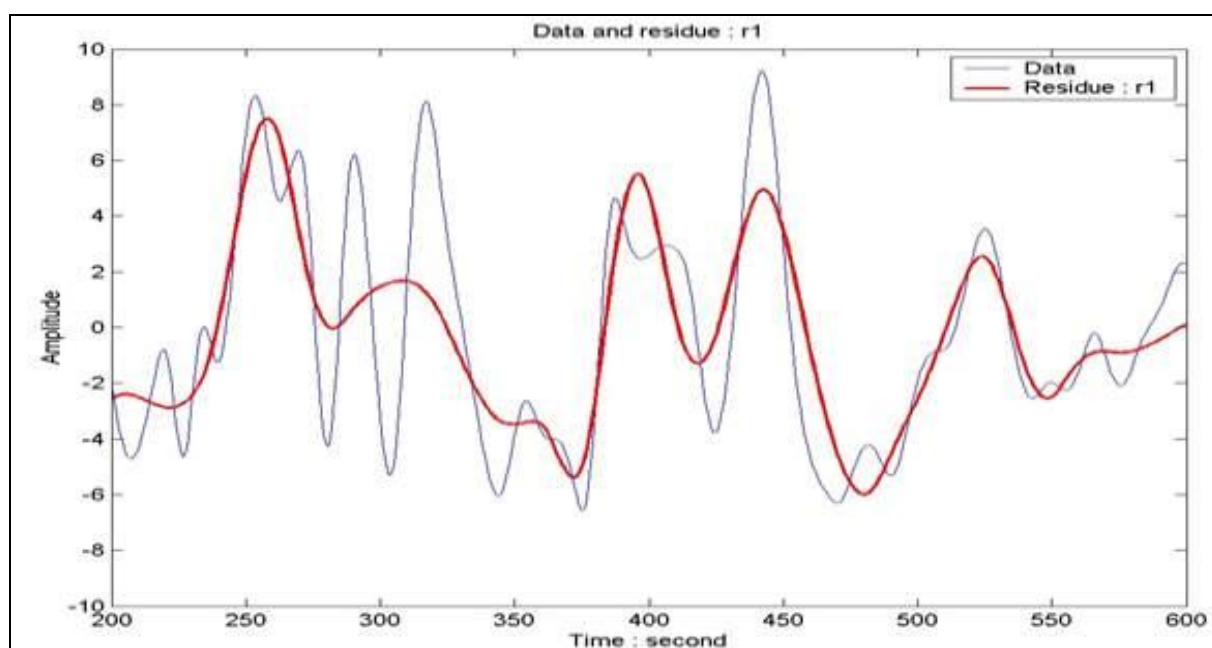


Рис. 2.4 – Вхідні дані та перша найбільш високочастотна складова IMF

Таким чином можна досягнути декомпозиції даних часового ряду в n – емпіричних наближеннях:

$$X(t) = \sum_{j=1}^n c_j(t) + r_n(t) \quad (2.7)$$

Перевагою методу EMD є можливість виділення періодичних складових що відображають коливання газоспоживання *унпродовж доби*. А суттєвим недоліком цього методу щодо аналізу часових рядів газоспоживання є *неможливість правильного виділення річного тренду газоспоживання*, що відображає сезонність процесу на річному інтервалі спостереження. Тому застосувати вказаний метод можемо для виявлення і опису характеристик динаміки лише добових коливань процесу газоспоживання, що вирішує поставлену задачу лише частково.

У наступному параграфі зупинимося на методі «Гусениця-SSA», який буде використаний у подальших розділах дисертацій, дозволяє оскільки дає можливість виділяти не лише компоненти добових коливань процесу газоспоживання, а й річний (сезонний) тренд на річному інтервалі спостереження.

2.2.2. Метод «Гусениця-SSA»

Розробка цього методу стала результатом стажування з математичної біології в МГУ в 1961 р. під керівництвом А.Н. Колмогорова випускника математико-механічного факультету ЛГУ О.М. Калініна. В цей час А.Н. Колмогоров проявляв активний інтерес до задачі виділення періодичностей у природних процесах.

Виходячи з аналізу факторів, що впливають на процес газоспоживання проведемо структурну ідентифікацію компонент процесу газоспоживання міста методом «Гусениця-SSA», який також відомий в іноземній літературі як сингулярно-спектральний аналіз (SSA) [9] (надалі будемо вживати назву методу «Гусениця-SSA»). Це – сучасний метод аналізу та прогнозу часових рядів, що швидко розвивається, і дає змогу працювати з широким спектром нестационарних випадкових процесів, аналізувати та прогнозувати як трендові (сезонні), і циклічні (добові) компоненти. Можливе використання цього методу в задачах інтерполювання (“відновлення”) частини втрачених даних статистики.

Також зауважимо, що метод «Гусениця»-SSA є адаптивним до характеру реалізації процесу газоспоживання і не потребує апріорної інформації про його

структуру, а регулюється лише одним параметром L – довжиною “гусениці”, яка підбирається експериментально, опираючись на досвід дослідника.

У багатьох природничих науках склалось уявлення про можливість опису природних процесів за допомогою функції, що складається з декількох доданків (загальна адитивна модель):

$$f(x) = f_T(t) + f_n(t) + f_r(t) + e(t), \quad t \in [0, T], \quad (2.8)$$

де $f_T(t)$ – повільна нерегулярна складова, здебільшого називають трендом, $f_n(t)$ – періодична або сума періодичних складових (сезонні, добові і т.п.), $f_r(t)$ – швидкі нерегулярні малі варіації, в котрі, як правило, включають все, що не вкладається у формальну модель, інколи включають і випадкові шуми, $e(t)$ – випадкова складова, що описується випадковим процесом певного типу.

У результаті використання методу відбувається розкладання часового ряду на адитивні складові: річний тренд, гармонічні коливання з основним періодом 24 години (загалом 8, 12, 24, 168 год) та стохастичний залишок. До недоліків можна віднести інтерактивність методу його застосування, що потребує втручання фахівця з досвідом роботи даним методом на етапі групування окремих адитивних складових, а також неоднозначність вибору параметра L (довжини «гусениці»).

Базовий метод «Гусениця-SSA» полягає в перетворенні часового ряду в багатовимірний шляхом побудови траєкторної матриці за допомогою векторів вкладення. Його часто називають процедурою «нарізки» часового ряду довжиною L (довжина гусениці), групуванням членів сингулярного розкладу нової матриці, що утворилася за наступним відновленням [9]. Інтерактивність методу, а відповідно і його складність, полягає в правильному виділенні (групуванні) адитивних складових вихідного часового ряду газоспоживання, таких як тренд, періодичні та квазіперіодичні компоненти, а також стохастичний залишок (зміст якого часто розглядають як шум). Відповідно якісь і точність альтернативних прогнозів залежить від досвіду дослідника (вибору параметра L довжини «гусениці»). Завдяки цьому методу можна отримувати прогнозні

значення за рекурентним та векторним алгоритмом (як модифікація рекурентного).

Коротко опишемо процедуру використання базового методу «Гусениця-SSA» для аналізу часового ряду газоспоживання міста на річному інтервалі спостереження.

Етап I. Розкладання.

Крок 1. Вкладення.

Процедура вкладення переводить вихідний одновимірний часовий ряд газоспоживання в послідовність багатомірних векторів. Нехай L – деяке число в інтервалі від 2 до $N/2$, де N – довжина часового ряду газоспоживання ($N=8760$ год на річному інтервалі спостереження). Процедура вкладення утворює $K=N-L+1$ векторів вкладення $X_i = (f_{i-1}, \dots, f_{i+L-2})$, $1 \leq i \leq K$, що мають розмірність L . Надалі, щоб підкреслити розмірність X_i будемо називати їх векторами L -вкладення.

L -траекторна матриця (далі просто *траекторна матриця*) часового ряду газоспоживання $F - X = [X_1 : \dots : X_K]$ складається з векторів вкладення у вигляді стовпчиків наступної матриці:

$$X = (x_{ij})_{i,j=1}^{L,K} = \begin{pmatrix} f_0 & f_1 & f_2 & \dots & f_{K-1} \\ f_1 & f_2 & f_3 & \dots & f_K \\ f_2 & f_3 & f_4 & \dots & f_{K+1} \\ \mathbb{M} & \mathbb{M} & \mathbb{M} & \mathbf{O} & \mathbb{M} \\ f_{L-1} & f_L & f_{L+1} & \dots & f_{N-1} \end{pmatrix} \quad (2.9)$$

Зауважимо, що $x_{ij} = f_{i+j-2}$ і матриця X має однакові елементи по діагоналях $i+j=\text{const}$. Таким чином, траекторна матриця є *ганкелевою* (матриця в якій по всіх діагоналях перпендикулярних головні розміщені однакові елементи).

Крок 2. Сингулярний розклад.

Результатом цього кроку є сингулярний розклад (SVD - Singular Value Decomposition) траекторної матриці X часового ряду газоспоживання.

Нехай $S = XX^T$. Позначимо $\lambda_1, \dots, \lambda_L$ власні числа матриці S ранговані в порядку $\lambda_1 \geq \dots \geq \lambda_L \geq 0$, а також $U_1, \dots, U_L$ – ортонормовану систему власних векторів матриці S , що відповідають власним числам. Нехай $d = \max\{i : \lambda_i > 0\}$. Позначимо $V_i = X^T U_i / \sqrt{\lambda_i}$, $i=1, \dots, d$, тоді сингулярний розклад матриці може бути записаний

$$X = X_1 + \dots + X_d, \quad (2.10)$$

де $X_i = \sqrt{\lambda_i} U_i V_i^T$.

Кожна з матриць X_i має ранг 1, тому їх можна назвати *елементарними матрицями*. Набір $(\sqrt{\lambda_i}, U_i, V_i)$ будемо називати *i-тою власною трійкою* сингулярного розкладу (2.10).

Етап II. Відновлення.

Крок 3. Групування.

На основі розкладу (2.10) процедура групування ділить всю множину індексів $\{1, \dots, d\}$ на m підмножин $I_1, \dots, I_m$, що не перетинаються. Нехай $I = \{i_1, \dots, i_p\}$. Тоді *результуюча матриця* X_I , що відповідає групі I , визначається так: $X_I = X_{i_1} + \dots + X_{i_p}$.

Такі матриці обчислюються для $I_1, \dots, I_m$, тим самим розклад (2.10) може бути записаний в погрупованому вигляді:

$$X = X_{I_1} + \dots + X_{I_m} \quad (2.11)$$

Процедура вибору множин $I_1, \dots, I_m$ називається *групуванням власних трійок*.

Крок 4. Діагональне усереднення.

На останньому кроці базового алгоритму кожна матриця згрупованого розкладу (2.11) переходить у новий ряд довжиною N .

Нехай Y – деяка матриця розмірністю $L \times K$ з елементами y_{ij} , де $1 \leq i \leq L$, $1 \leq j \leq K$. Покладемо $L^* = \min(L, K)$, $K^* = \max(L, K)$ і $N = L + K - 1$. Нехай $y_{ij}^* = y_{ij}$,

якщо $L < K$, і $y_{ij}^* = y_{ji}$ в іншому випадку діагональне усереднення переводить матрицю Y в ряд $g_0, \dots, g_{N-1}$ за такою формулою:

$$g_k = \begin{cases} \frac{1}{k+1} \mathring{a}_{m=1}^{k+1} y_{m,k-m+2}^* & \text{для } 0 \leq k < L^* - 1, \\ \frac{1}{L^*} \mathring{a}_{m=1}^{L^*} y_{m,k-m+2}^* & \text{для } L^* - 1 \leq k < K^*, \\ \frac{1}{N-k} \mathring{a}_{m=k-K^*+2}^{N-K^*+1} y_{m,k-m+2}^* & \text{для } K^* \leq k < N, \end{cases} \quad (2.12)$$

Рівняння (2.12) відповідає усередненню елементів матриці вздовж діагоналей $i+j=k+2$. Для $k=0$ отримуємо $g_0 = y_{11}$, для $k=1$ $g_1 = (y_{12} + y_{21})/2$ і т.д.

Зауважимо, якщо матриця Y є траєкторною матрицею деякого ряду $(h_0, \dots, h_{N-1})$ (тобто є ганкелевою), тоді $g_i = h_i$ для всіх i .

Застосовуючи діагональне усереднення (2.12) до результуючих матриць X_{ik} , отримуємо ряди $\mathring{f}_0^{(k)} = (\mathring{f}_0^{(k)}, \dots, \mathring{f}_{N-1}^{(k)})$ і, відповідно, вихідний ряд $(f_0, \dots, f_{N-1})$ можна розкласти на суму рядів:

$$f_n = \mathring{a}_{k=1}^m \mathring{f}_n^{(k)} \quad (2.13)$$

Підсумуємо, сингулярний розклад є основною математичною частиною даного методу. Його застосовують до ганкелевих матриць, що дає низку особливих властивостей, а саме: за умови правильного підбору параметра L і подальшого крупування власних чисел з'являється можливість успішно розділяти адитивні складові ряду, тобто виділяти із складного часового ряду газоспоживання корисний сигнал(и), що має чітке фізичне обґрунтування [9].

2.3. Етапи побудови математичної моделі та результати аналізу на річному інтервалі спостереження

Для проведення структурної ідентифікації математичної моделі, яка буде запропонована далі, використовуватимемо загальний дедуктивний підхід (з низу до верху), він з одного боку адаптується до реальних даних вимірювання процесу

газоспоживання міста (як сумарний часовий ряд дії всіх факторів), а також, дає можливість побудувати таку математичну модель, яка б враховувала всі проаналізовані фактори і запропонувати такі методи оцінки її компонент, що враховують стохастичну періодичність процесу газоспоживання та його сезонність упродовж року.

На відміну від класичних адитивних моделей (1.4) і (1.5), наша адитивна сума, повинна виділяти: річний (сезонний) тренд, добові періодично-випадкові і випадкові стаціонарні компоненти. Наявність таких компонент впливає з аналізу факторів впливу на процес газоспоживання, зміни топології споживачів, добове обертання землі і т.п.

2.3.1. Математична модель кусково стохастично-періодичний процесу

На основі порівняльного аналізу існуючих моделей газоспоживання запропоновано нову математичну модель, яка дозволяє враховувати не лише добову циклічність реалізацій, а й особливості роботи газотранспортної системи (ГТС) міста, що визначаються змінами її роботи в межах року. В загальному вигляді математична модель газоспоживання міста побудована у вигляді суми детермінованого тренду і кусково стохастично-періодичного процесу:

$$x(w, t) = a(t) + z(w, t), \quad t \in T, \quad w \in W \quad (2.14)$$

де $a(t)$ – деяка детермінована функція (тренд, що враховує сезонність), $z(w, t)$ – кусково стохастично-періодичний процес, що відображає добову циклічність споживання газу.

Кусково стохастично-періодичний процес – це випадковий процес виду

$$z(w, t) = \sum_{k=1}^m z_k(w, t) I(t, T_k), \quad (2.15)$$

$$k = \overline{1, m}, \quad t \in T, \quad T_k \in T, \quad T_k \cap T_j = \emptyset, \quad k \neq j, \quad \bigcup_{k=1}^m T_k = T, \quad w \in W$$

де $z_k(w, t), k = \overline{1, m}, t \in T, w \in W$ – стохастично-періодичний процес;

$I(t, T_k)$ – індикаторна функція задається у вигляді: $I(t, T_k) = \begin{cases} 1, & t \in T_k \\ 0, & t \notin T_k \end{cases}$. Тобто

кусково стохастично періодичний процес поділений на декілька інтервалів, на

кожному з яких вважаємо його випадковим процесом з певними періодичними ймовірнісними характеристиками.

Коротко зупинимось на етапах оцінювання компонент такої математичної моделі. Для дослідження використано погодинні дані газоспоживання міста Тернопіль за період 2008-2009 рр. Точність вимірювання даних визначається відповідними характеристиками витратомірного комплексу «Флоутек».

На першому етапі проведено попередню обробку статистичних даних. Отриману статистику погодинних даних обсягів газоспоживання міста Тернополя проаналізовано на предмет наявності аномальних відхилень та відсутності даних в силу певних технічних причин. На рис. 1 наведено графік реалізації процесу газоспоживання міста Тернополя з кроком накопичення одна доба на річному інтервалі за 2009 рік.

2.3.2. Розбиття адитивних компонент методом «Гусениця-SSA»

На другому етапі обґрунтовано вибір методу «Гусениця-SSA» для оцінювання компонент математичної моделі (2.14). Наявні дані погодинних обсягів споживання газу вважаємо реалізацією нестационарного випадкового процесу, динаміка якого залежить від значної кількості випадкових факторів, в тому числі: включення/виключення споживачів у випадкові моменти часу, випадкових значень рівня інтенсивності споживання газу кожним споживачем та низки метеофакторів, зокрема температури навколишнього середовища та ін.

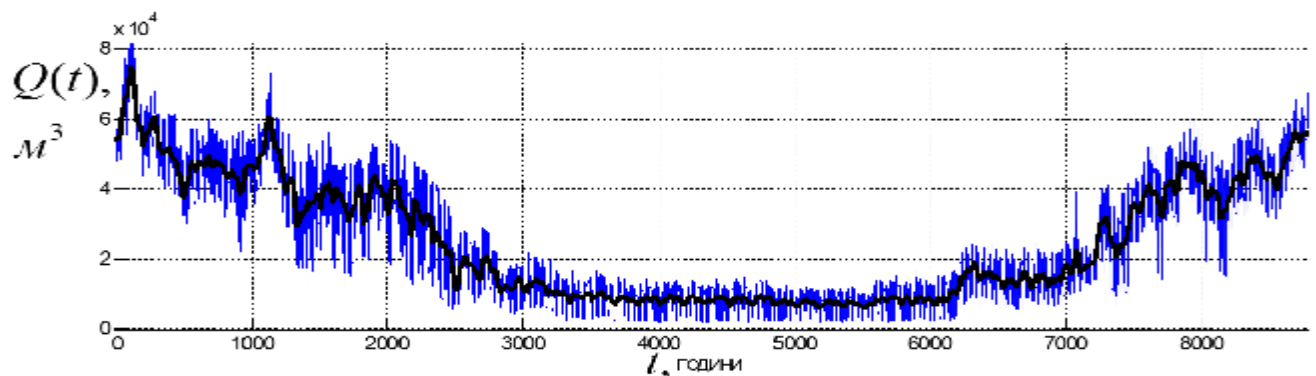


Рис. 2.5 – Графік реалізації процесу газоспоживання з кроком накопичення одна година на річному інтервалі за 2008 рік

Відомо, що для виділення тренду (за звичай детермінована функція) нестационарних процесів використовується ряд методів: метод групового урахування аргументів (МГУА); методи, що ґрунтуються на авторегресії з інтегрованим ковзним середнім (ARIMA); емпірична модова декомпозиція (EMD); метод аналізу головних компонент; метод аналізу сингулярного спектру («Гусениця-SSA») та інші.

В колективній праці Н.Е. Голяндіної, В.В. Некруткіна і А.А. Жиглявського [9] обґрунтовано переваги використання методу «Гусениця-SSA» в порівнянні з іншими методами опрацювання часових рядів:

- Розклад досліджуваного сигналу за базисом власних сингулярних векторів траєкторної матриці. Метод полягає у перетворенні одновимірного часового ряду в багатовимірний з подальшим застосуванням до отриманого багатовимірного часового ряду методу головних компонент.

- Можливість адаптації до задач дослідження. Даний метод можна адаптувати до кожної конкретної моделі сигналу, зокрема у випадку моделі газоспоживання (1) застосування Гусениці-SSA дозволяє оцінити основні компоненти моделі – тренд та кусково стохастично-періодичний процес, які мають фізичну інтерпретацію.

- Інтерактивність методу. По суті «Гусениця-SSA» є потужним методом, що дає можливість опрацювання часових рядів в режимі діалогу «машина-дослідник» з можливістю вибору довжини ковзного вікна («Гусениці-SSA»).

- Інформаційне забезпечення методу. Існує низка сертифікованих програмних продуктів (розроблених в середовищах Matlab, Octave, R-Project), що реалізують алгоритм методу «Гусениця-SSA».

На третьому етапі часовий ряд газоспоживання $Q(t)$, заданий на річному інтервалі розбивається на дві основні компоненти з використанням методу «Гусениця-SSA»:

$$Q(t) = A(t) + Z(t), \quad t \in [1, T], \quad T = 8760 \text{ год}, \quad (2.16)$$

де $A(t)$ – оцінка річного тренду, що характеризує споживання газу протягом року, частка якого становить близько 95% (2009 рік); $Z(t)$ – дискретний кусково

стохастично-періодичний процес, який визначається вилученням із досліджуваного часового ряду $Q(t)$ тренду $A(t)$. Вважаємо, що

$$Z(t) = \bigoplus_{k=1}^m Z_k(t) \times I(t, T_k), \quad k=\overline{1, m}, \quad T_k \in [T, t] \cap T, \quad T_k \cap T_j = \emptyset, \quad k \neq j, \quad \bigcup_{k=1}^m T_k = T \quad (2.17)$$

де $Z_k(t), t \in T_k, k=\overline{1, m}$ – реалізація стохастично-періодичного процесу $Z_k(w, t)$. Структура і характеристики компонент $Z(t)$ визначаються на наступних етапах.

На четвертому етапі на основі аналізу результатів застосування методу «Гусениця-SSA», запропоновано представити компоненту $Z(t)$ у вигляді:

$$Z(t) = B(t) + X(t), \quad (2.18)$$

де $B(t)$ – кусково періодична функція:

$$B(t) = \bigoplus_{k=1}^m B_k(t) \times I(t, T_k), \quad k=\overline{1, m}, \quad t \in T, \quad T_k \cap T_j = \emptyset, \quad k \neq j, \quad \bigcup_{k=1}^m T_k = T,$$

$B_k(t)$ – детермінована періодична функція;

$X(t)$ – стохастичний залишок, який можна представити у вигляді кусково стаціонарного процесу:

$$X(t) = \bigoplus_{k=1}^m X_k(t) \times I(t, T_k), \quad k=\overline{1, m}, \quad t \in T, \quad T_k \cap T_j = \emptyset, \quad k \neq j, \quad \bigcup_{k=1}^m T_k = T,$$

де $X_k(t)$ – стаціонарний випадковий процес.

Для використання моделі на практиці необхідно запропонувати метод визначення меж інтервалів $T_k, k=\overline{1, m}$.

2.3.3. Метод розбиття на інтервали річного часового ряду

На п'ятому етапі проведено розбиття річного інтервалу спостереження на підінтервали $T_k, k=\overline{1, m}$. Межі інтервалів можна визначити як моменти розладки кусково стаціонарного процесу.

Для визначення точок «розладки» використаємо метод Бродського-Дарховського [30, 31, 32, 33, 47, 48], детально алгоритм описаний в [3, с.333-388].

Пошук моментів розладки проводився на основі стохастичного залишку $X(t)$ з використанням методу Бродського-Дарховського, що використовує модифіковану статистику Колмогорова-Смірнова:

$$Y(t) = \frac{1}{N} \sum_{l=1}^N X(l) - \frac{1}{N-t} \sum_{l=t+1}^N X(l), \quad t = \overline{1, N} \text{ год}, \quad t \in T, \quad (2.19)$$

де $X(l) = X^2(l)$ – квадрат стохастичного залишку $X(l)$ для l -ої точки, виділеного на етапі статистичного опрацювання погодинного часового ряду газоспоживання методом «Гусениця-SSA»; $N=8760$ год – довжина погодинного часового ряду газоспоживання на річному інтервалі спостереження; $0 < V < 1$ – параметр налаштування статистики (2.19) на реальні дані, що визначає чутливість хибного спрацювання при пошуку моменту різкої зміни дисперсії стохастичного залишку $X(t)$. Для визначення параметра V для досліджуваного часового ряду процесу газоспоживання, було розроблене програмне забезпечення (в середовищі C), яке описано в дисертації. В нашому випадку доцільно вибирати значення параметра V в межах наступного інтервалу $V=0.3-0.4$. Модифікована статистика $Y(t)$ реагує на моменти зміни дисперсії стохастичного залишку $X(t)$.

Коротко опишемо результат застосування. Значення $X(t)$ погодинного залишку підносимо до квадрату $X(t)^2$ це дозволить статистиці реагувати на зміну дисперсії. Результат застосування статистики Бродського-Дарховського наглядно представлено на Рис. 2.6.

Далі продемонструємо розбиття на реальному річному часовому ряді газоспоживання міста Тернополя за 2009 рік.

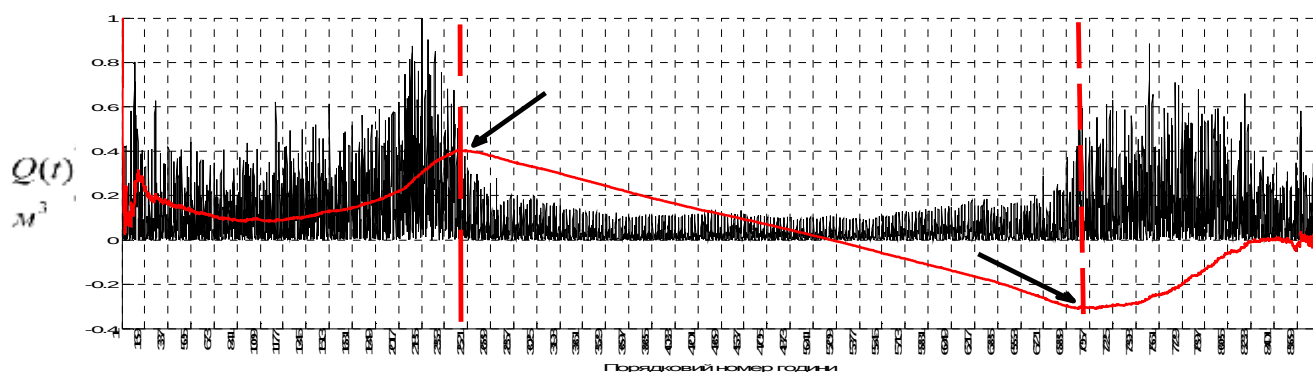


Рис. 2.6 – Результат застосування статистики Бродського-Дарховського для погодинного залишку X^2

Отримані точки «розладки» в годинах округлюємо до найжчого цілого числа кратного 24 год – $\text{ceil}(x/24)*24$ (тобто на початок доби).

В результаті такого поділу отримуємо три ділянки: 1) [1:2520], 2) [2520:7008], 3) [7008:8760].

В результаті ми отримуємо п'ять окремих інтервали розбиття погодинного залишку газоспоживання міста на річному інтервалі: ділянка 1 [1:2064], ділянка 2 [2064:2520], ділянка 3 [2520:7008], ділянка 3 [7008:8232], ділянка 5 [7008:8760].

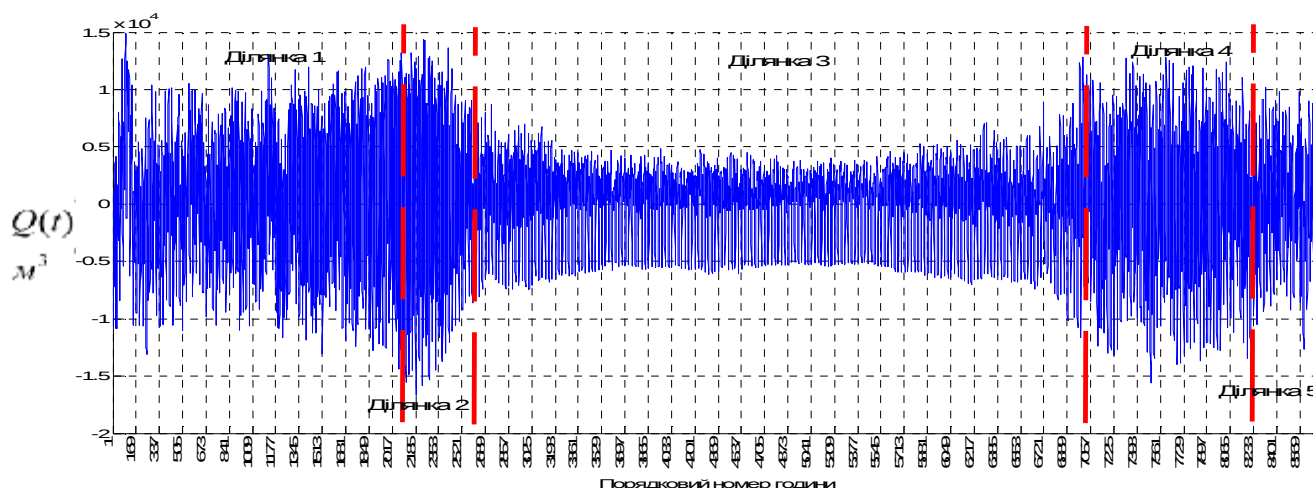


Рис. 2.7 – Результат поділу погодинного залишку $X(t)$ часового ряду газоспоживання на стаціонарні ділянки $X_k(t)$.

Як бачимо з Рис. 2.7, розбиття на 5 ділянок є природнім поділом на річні сезони: зима, весна, літо, осінь та знову зима і відповідно режими роботи газотранспортної мережі міста (опалюваний, неопалювальний, перехідні).

Як показую аналіз реальних даних таке розбиття на п'ять ділянок вказує на неспівпадіння календарної дати включення-виключення центального опалення, а має дві додаткові перехідні ділянки: зима-весна та осінь-зима.

В результаті обробки даних газоспоживання міста Тернополя за 2009 рік, часовий ряд був розбитий на п'ять інтервалів, що відповідають різним режимам роботи газотранспортної системи міста:

- 1) перший – опалювальний режим 1, де $t \in \overline{1, 2064}$ год (86 діб);
- 2) другий – перехідний режим зима-весна, де $t \in \overline{2064, 2520}$ год (19 доба);
- 3) третій – неопалювальний режим, де $t \in \overline{2520, 7008}$ год (187 доби);
- 4) четвертий – перехідний режим осінь-зима, де $t \in \overline{7008, 8232}$ год (51 доба);
- 5) п'ятий – опалювальний режим 2, де $t \in \overline{8185, 8760}$ год (22 доби).

В дисертації наведені результати перевірки стаціонарності стохастичних компонент $X_k(t)$ на вказаних інтервалах з використанням статистичних критеріїв Стьюдента і Фішера. Знайдені інтервали стаціонарності стохастичного залишку будуть використані також для виділення решти компонент математичної моделі: $Q_k(t)$, $A_k(t)$, та $Z_k(t)$. Приклад реалізації $Z_2(t)$ процесу $Z_2(w, t)$, що відповідає перехідному режиму «зима-весна» представлено на рисунку 2.8.

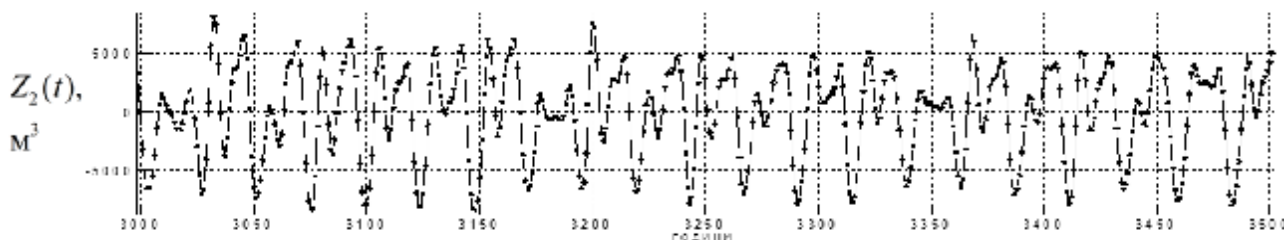


Рис. 2.8 – Графіки реалізації $Z_2(t)$ стохастично-періодичного процесу $Z_2(w, t)$ з періодом 24 год на інтервалі спостереження з 6 по 27 травня 2009 року.

В роботі проведено гістограмний аналіз кожної з п'яти реалізацій стаціонарної послідовності $X_k(t)$, виділеної з стохастичного залишку $X(t)$ та здійснено перевірку статистичної гіпотези H_0 про гауссівський закон розподілу стаціонарних компонент з різними значеннями його параметрів для кожного інтервалу. В результаті було підтверджено статистичну гіпотезу про нормальний закон розподілу за критеріями χ^2 -Пірсона та Колмогорова-Смірнова.

Проведено гістограмний аналіз п'яти ділянок стохастичного залишку $X(t)$ та перевірено закон розподілу випадкової величини на кожній ділянці. В результаті була висунута статистична гіпотеза H_0 – про нормальний закон розподілу, що підтверджено за критеріями χ^2 Пірсона та Колмогорова-Смірнова. Наведені результати перевірки стаціонарності стохастичного залишку $X(t)$ на вказаних інтервалах з використанням статистичних критеріїв Стюдента і Фішера.

2.3.4. Лінійна апроксимація річного тренду на виділених ділянках

На шостому етапі було проведено апроксимацію компонент $A_k(t)$ детерміновано тренду $A(t)$ лінійними функціями на кожному з виділених інтервалів. Так для кожної ділянки $A_k(t)$ тренда $A(t)$ на основі використання методу найменших квадратів побудована лінійна залежність значень газоспоживання у вигляді:

$$A_k(t) = C_k + D_k t, \quad k = \overline{1, 5}, \quad t \in T_k \quad (2.20)$$

де C_k і D_k – відповідні коефіцієнти лінійної залежності були обчислені на основі реальних даних вимірювання газоспоживання.

Розбиття часового інтервалу на підінтервали дозволило також проводити статистичний аналіз реалізацій компонент $Z_k(t)$ кусково стохастично періодичного послідовності $Z(t)$ як стохастично періодичних процесів на кожному з виділених інтервалів.

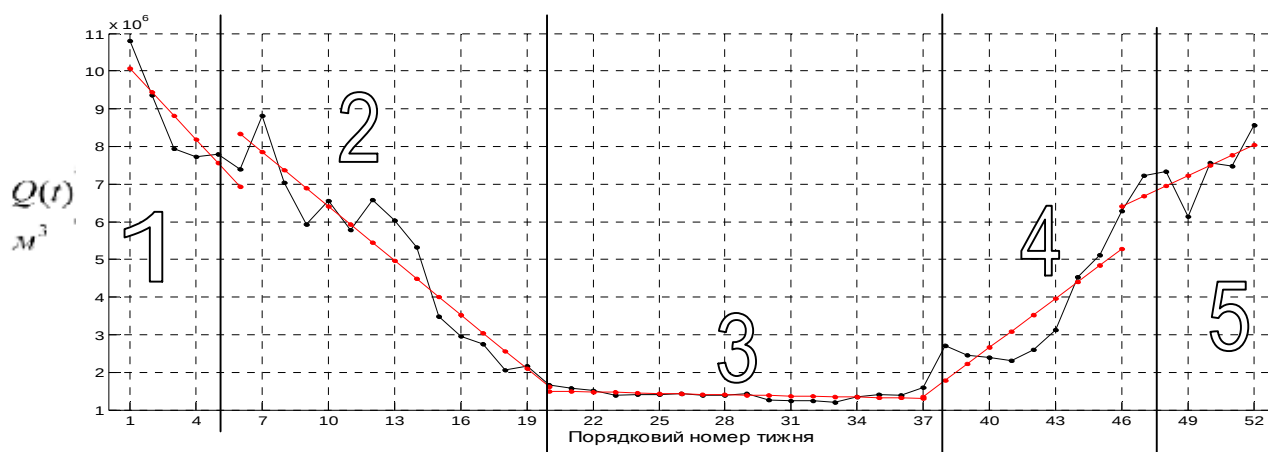


Рис. 2.9 – Графік апроксимації тренду $A(t)$ лінійними функціями

Отримані результати попередніх досліджень дають можливість записати загальну модель газоспоживання міста на річному інтервалі.

2.3.5. Загальна модель газоспоживання міста

На сьомому етапі з врахуванням вище наведеного загальна модель газоспоживання міста на річному інтервалі часу T має вигляд:

$$x(w, t) = \sum_{k=1}^m (a_k(t) + z_k(w, t)) \cdot I(t, T_k), \quad k = \overline{1, m}, \quad t \in T, T_k \in T_j = \Delta, \quad k \neq j, \quad \bigcup_{k=1}^m T_k = T \quad (2.21)$$

де $a_k(t) = c_k + d_k t$ – компоненти кусково лінійного детермінованого тренду $a(t)$;

$z_k(w, t) = b_k(t) + x(w, t)$ – періодично-корельований випадковий процес з періодом 24 год, k -та компонента кусково стохастично періодичного процесу $z(w, t)$; $b_k(t)$ – деяка детермінована функція; $x_k(w, t)$ – стаціонарний випадковий процес.

m – кількість інтервалів розбиття; $I(t, T_k)$ – індикаторна функція задається

$$\text{у вигляді: } I(t, T_k) = \begin{cases} 1, & t \in T_k \\ 0, & t \notin T_k \end{cases}.$$

Для досліджуваного часового ряду газоспоживання міста Тернопіль за 2009 рік $m=5$ – кількість ділянок розбиття на річному інтервалі спостереження.

2.3.6. Метод побудови добового прогнозу на виділених ділянках річного ряду газоспоживання

На основі побудованої математичної моделі в дисертації розв'язано практичну задачу добового прогнозу споживання газу з врахуванням середньодобової температури міста. Розбиття річного часового ряду на підінтервали, що відповідають опалювальному, неопалювальному та перехідним режимам роботи газотранспортної системи міста, дало можливість побудувати метод прогнозу добового газоспоживання для кожного окремого інтервалу.

Для добового прогнозу витрат газу в залежності від середньодобової температури запропоновано використати метод регресії. Проведено перевірку гіпотези про наявність регресії першого порядку, яка підтвердила лінійність зв'язку між газоспоживанням та температурою навколишнього повітря.

Позначимо $x(T^o)$ – добове газоспоживання, що в загальному випадку залежить від середньодобової температури міста T^o , m^3 ; T^o – середньодобова температура міста, oC . Тоді справедливим є наступне співвідношення

$$x(T^o) = a - b \cdot T^o, \quad (2.22)$$

де a , b – невідомі коефіцієнти лінійної регресії (вимірюються в m^3 та $\frac{m^3}{^oC}$ відповідно), оцінки $\hat{a}$ та $\hat{b}$ яких знаходять на основі спостережень добового газоспоживання та середньодобової температури, використовуючи метод найменших квадратів. b коефіцієнт, що фактично відображає величину кореляційного зв'язку.

Для реального погодинного часового ряду газоспоживання міста Тернополя за 2009 рік було визначено коефіцієнти регресії. При заданій довірчій ймовірності 0.95 обраховано довірчі інтервали відповідних коефіцієнтів a та b .

$$\begin{aligned} \text{(ділянка 1)} \quad \hat{a} &= 1088200 \pm 54400, \quad \hat{b} = 34181 \pm 1705, \\ \text{(ділянка 2)} \quad \hat{a} &= 1079800 \pm 63583, \quad \hat{b} = 61731 \pm 8184, \\ \text{(ділянка 3)} \quad \hat{a} &= 279460 \pm 22592, \quad \hat{b} = 4523 \pm 1272, \\ \text{(ділянка 4)} \quad \hat{a} &= 554030 \pm 124790, \quad \hat{b} = 73231 \pm 13020, \end{aligned} \quad (2.23)$$

(ділянка 5) $\hat{a} = 1052600 \pm 20349$, $\hat{b} = 28991 \pm 5467$.

Також було з'ясовано, що величини відхилень добового газоспоживання від лінії регресії ($x(T^\circ) - a + b \cdot T^\circ$) є нормально розподіленими. Перевірку цієї гіпотези було здійснено за критерієм χ^2 Пірсона, що обґрунтовує визначені довірчі інтервали для коефіцієнтів регресії.

Результат застосування регресійного методу добового прогнозу газоспоживання міста Тернополя для кожного з п'яти інтервалів виділених на річному інтервалі спостереження (2009 рік) наведено на рис. 2.12.

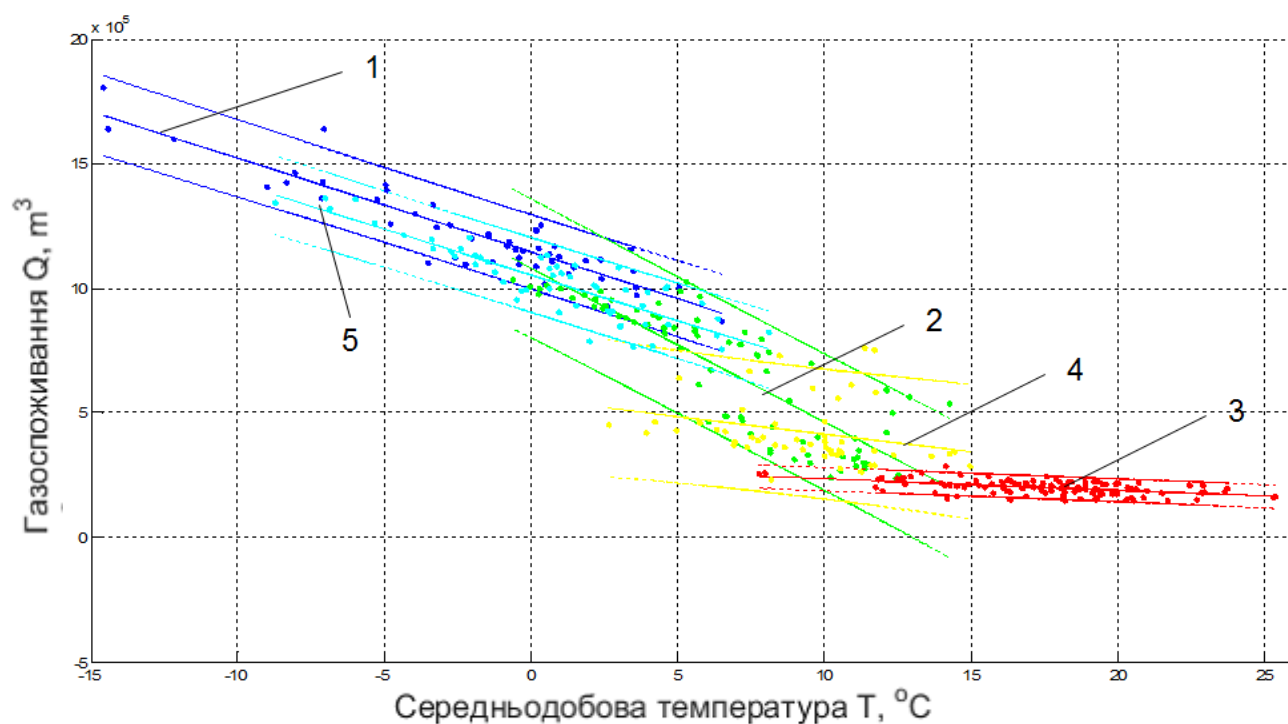


Рис. 2.10 – Графіки добового прогнозу для п'яти виділених ділянок на основі лінійного регресійного аналізу за 2009 рік: 1 – опалювальний 1, 2 – зимово-весняний, 3 – неопалювальний, 4 – осінньо-зимовий та 5 – опалювальний 2.

Метод прогнозу газоспоживання реалізований для часового ряду інтегральних даних споживання газу за добу $Q(t)$ з врахуванням розбиття ряду на інтервали.

Лінія регресії на кожному з виділених інтервалів характеризується власним значенням кута нахилу, що обґрунтовано відмінностями впливу середньодобової температури на динаміку газоспоживання в опалювальний, неопалювальний та перехідні сезони. Особливостями перехідних періодів: зимово-весняного та осінньо-зимового (ділянки 2, 4) є велика дисперсія відхилень значень добового газоспоживання від лінії регресії, оскільки тут мають місце перехідні процеси, що відображають зміну топології споживачів (ввімкнення чи вимкнення центрального опалення міста протягом певного періоду часу). У літній період кореляційний зв'язок між газоспоживанням і температурою практично відсутній, а дисперсія відхилень найменша. Опалювальні періоди характеризуються сильним від'ємним кореляційним зв'язком між добовим газоспоживанням та температурою навколишнього середовища.

В дисертації на основі отриманих результатів обчислень запропонована, як загальна математична модель процесу газоспоживання міста на річному інтервалі, так і конкретизована для міста Тернополя за 2009 рік.

Виділені ділянки характеризують вплив топології споживачів та метеофакторів на зміну характеристик динаміки процесу газоспоживання на річному інтервалі спостереження.

2.4. Верифікація прогнозної моделі

Щоб оцінити практичне значення запропонованої лінійної регресійної моделі прогнозу важливим є заключний етап - верифікація прогнозу. Верифікацію моделі (2.22) та обрахованих коефіцієнтів регресії та довірчих інтервалів для 2009 року (2.23) будемо проводити шляхом співставлення реальних даних добового газоспоживання та середньодобової температури міста на наступний 2010 рік.

Звичайно, навіть якщо прогноз не буде збігатися 100 % ми маємо право стверджувати, що такий прогноз є корисний з практичної точки зору. Так як часково дає можливість оператору диспетчерської служби прогнозувати, а значить і контролювати технологічний процес подачі газу для міста.

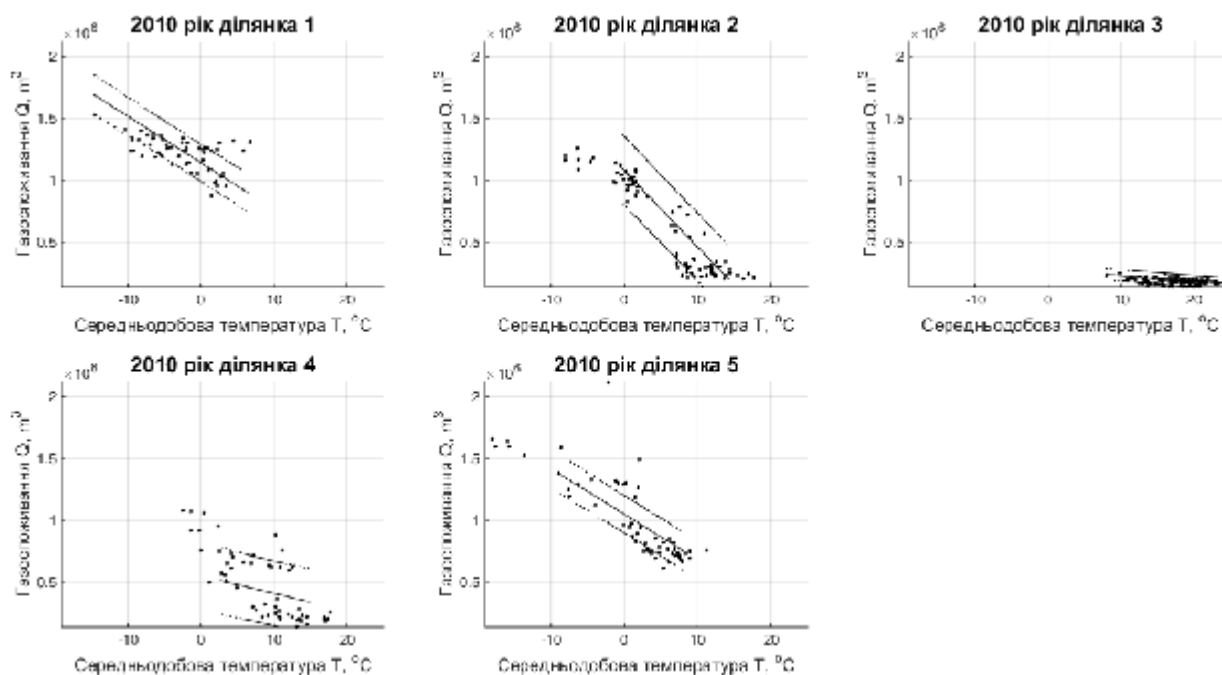


Рис. 2.11 – Графіки перевірки прогнозної моделі для наступного 2009 року

Згідно із зображеними вище графіками (рис. 2.11) обрахована лінійна регресійна модель для 2009 року відповідає і практично може бути використана для прогнозування середньодобового споживання газу в місті Тернополі на наступний 2010 рік. Прогнозування більше ніж на один рік потребує перерахунку коефіцієнтів лінійної регресії та їх довірчих інтервалів.

2.5. Оцінка компонент моделі на річному інтервалі спостереження

2.5.1. Оцінка періоду компоненти моделі

Розглянемо для наглядності інтервал 2 тижні для першої ділянки, що відповідає зимовому (опалювальному режимові 1) періоду газоспоживання (Рис. 2.12).

Аналіз графіка вказує на повторюваний характеру часового ряду залишку газоспоживання міста з фіксований періодом $T=24$ години, що обумовлене добовим обертанням Землі.

Після виділення трендової складової (річного тренда) ми отримуємо $z_k(w, t) = b_k(t) + x(w, t)$ періодичний випадковий спрощення з періодом 24 год, k -та

компонента кусково стохастично періодичного процесу $z(w,t)$; $b_k(t)$ – деяка детермінована функція; $x_k(w,t)$ – стаціонарний випадковий процес.

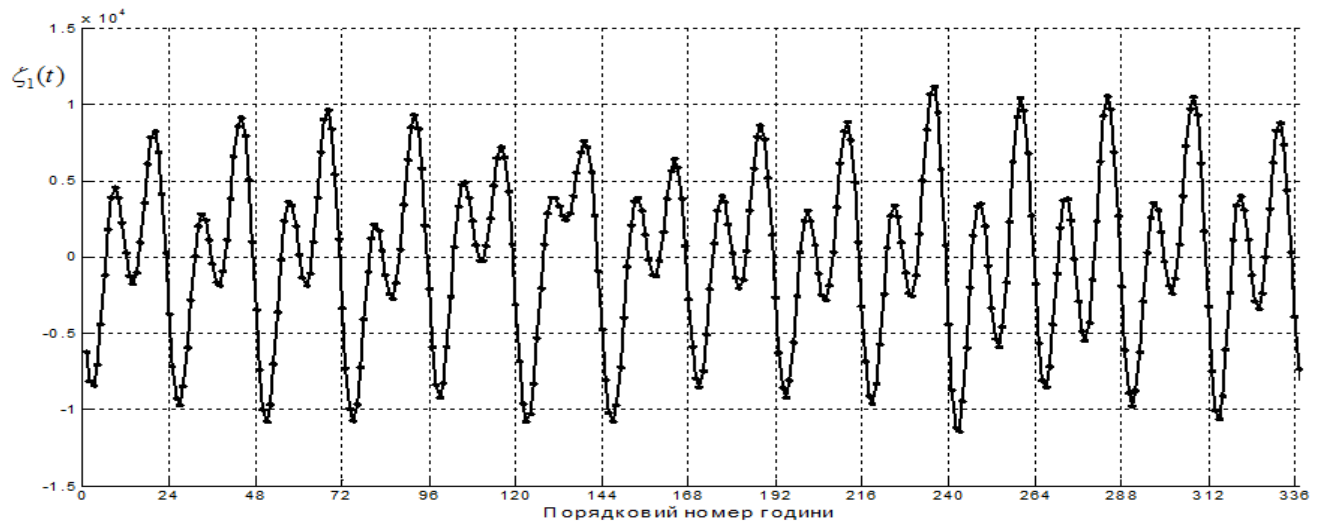


Рис. 2.12 – Виділений погодинний залишок $z_1(t)$ на інтервалі (перші 2 тижні)

Аналогічний характер повторюваності спостерігаємо на наступних чотирьох ділянках часового ряду виділеного погодинного залишку.

Оцінювання періоду. Загалом, період періодично випадкової послідовності газоспоживання є невідомим. Оцінюємо період компонент $z_k(t)$ методом, описаним в працях [143, 144].

Нехай $x(t), t \in (-\infty, \infty)$ – дійсний випадковий процес, що є періодичний з періодом T . Розглянемо вибірку $(x_0, \dots, x_k, \dots, x_{n-1})$, де n – об'єм вибірки випадкової послідовності газоспоживання з кроком Dt (1 год), а саме: $x_k = x(kDt), k = \overline{0, n-1}$.

Оцінку періоду процесу $x(t)$ будуємо на основі статистики:

$$h_s = \max_{j=0, s-1} g_{sj} - \min_{j=0, s-1} g_{sj} \quad (2.24)$$

де $s \in \overline{(s_1, s_2)}$, $0 < s_1 Dt \leq T \leq s_2 Dt < 2T$;

$$g_{sj} = \frac{1}{k} \sum_{l=1}^{k_s} x_{(l-1)s+j}, \quad j = \overline{0, s-1} \quad (2.25)$$

де $k_s = \frac{en}{es}$.

Оскільки очікуване значення періоду $T = 24$ год, то інтервал варіювання періоду вибираємо 16-28 год. Результати оцінювання періоду газоспоживання подано на Рис. 2.13.

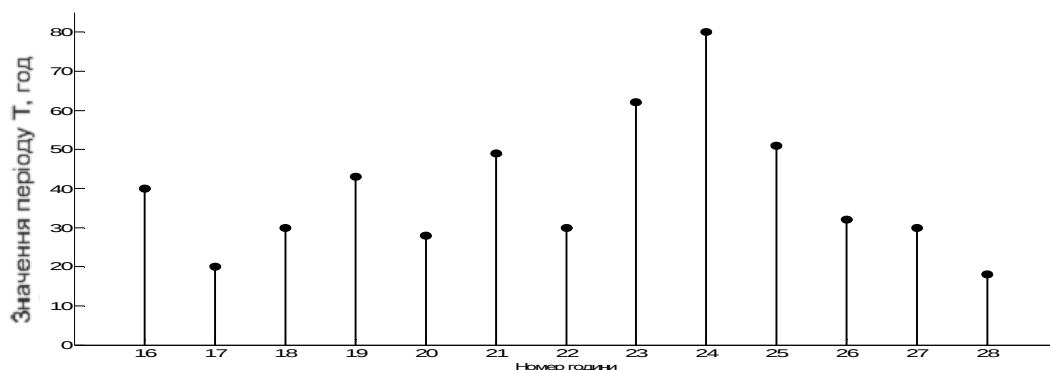


Рис. 2.13 – Результат оцінки періоду газоспоживання

Відповідно, результати оцінювання періоду повторюваності на основі реальних статистичних даних підтвердили основний період $T = 24$ год.

2.5.2. Перевірка статистичних характеристик методом гістограмного аналізу

Відомо, що досліджуване явище і його математична модель є об'єктами фізичної природи, тому про відповідність таких об'єктів є сенс говорити. Як правило, таку відповідність необхідно встановити між характеристиками, здебільшого вони мають стохастичний характер. Це повною мірою належить і до процесу газоспоживання міста.

Згідно з запропонованою моделлю (2.14) було виділено тренд $a_k(t)$ на річному інтервалі спостереження методом «Гусениця-SSA». Подальше дослідження $z_k(t)$ компоненти (як періодично-корельованого випадкового процесу) було проведено завдяки методу гістограмного аналізу [102, 103] для кожної з п'яти виділених ділянок, що відповідають різним режимам роботи газотранспортної системи міста.

В основі методів аналізу періодичних випадкових процесів лежить метод виділення із цих процесів стаціонарних вкладених послідовностей, тобто j - серій [136, 142].

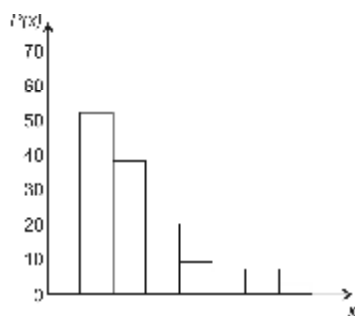
Нехай j – число (фаза), що належить проміжку $[0, T)$. j - серією називаємо вкладений відносно до періодичного процесу $x(t)$ процес $x(j + lT)$, $l = 0, \pm 1, \dots$, який є послідовністю відліків процесу $x(t)$, що взяті через період T . Надалі будемо розглядати j - серії, для яких фаза приймає фіксовані значення: $j = j_i = ih$, $h = T/L$, L – ціле, $L \geq 2$. Для таких значень фази $j_i = ih$ вкладений процес будемо позначати через (1.12).

Зазначимо, що j_i - серії є стаціонарними у вузькому (широкому для періодично корельованих процесів) розумінні і є стаціонарно зв'язаними послідовностями. Окрім того для кожної j_i - серії можна провести гістограмний аналіз.

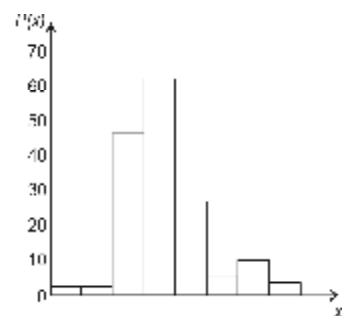
На періоді $T = 24$ години зафіксуємо 24 початкові фази $j = j_i = ih$, $i = \overline{0, 23}$ з кроком дискретизації $h = 1$ година. Для кожної з цих початкових фаз виділяємо 24 стаціонарні послідовні j_i - серії і будуємо для них гістограми.

Для побудови гістограм використовуємо дані газоспоживання за лютий 2009 року (опалювальний режим 1) (м. Тернопіль).

Результати гістограмного аналізу газоспоживання розглянуто на Рис. 2.14.



Гістограма для 0 годин



Гістограма для 3 годин

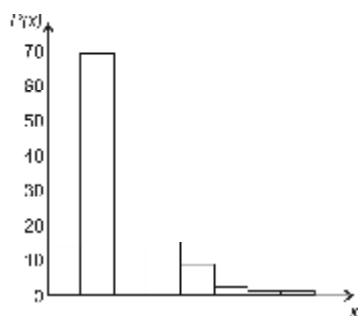


Рис. 8 Гістограма для 12 годин

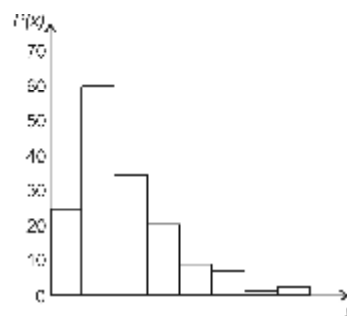


Рис. 9 Гістограма для 15 годин

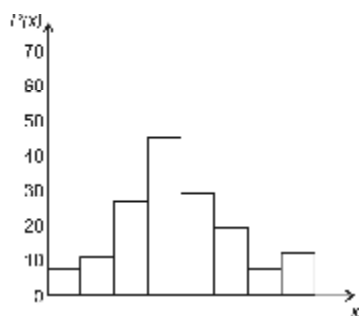


Рис. 9 Гістограма для 18 годин

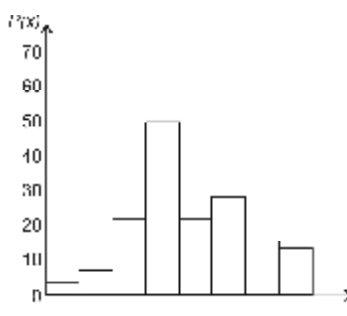


Рис. 10 Гістограма для 21 годин

Рис. 2.14 – Гістограми газоспоживання для окремих годин

Проведено гістограмний аналіз п'яти ділянок стохастичного залишку $X(t)$ та перевірено закон розподілу випадкової величини на кожній ділянці. З огляду на це, було висунуто статистичну гіпотезу H_0 – про нормальний закон розподілу, яка підтвердилась за критерієм χ^2 Пірсона та Колмогорова-Смірнова.

2.6. Висновки

В результаті опрацювання реальних даних газоспоживання вперше розроблено математичну модель газоспоживання міста на річному інтервалі спостереження у вигляді суми детермінованого тренду і кусково стохастично-періодичного процесу з періодом 24 год, яка на відміну від наявних враховує не лише добову циклічність та випадковий характер газоспоживання, а й річний тренд, особливості режимів роботи газотранспортної системи міста упродовж року, які обумовлені дією значної кількості факторів, зокрема, зміною топології споживачів, впливом метеофакторів та ін.

Отримало подальший розвиток застосування методу «Гусениця-SSA» для оцінки компонент розробленої математичної моделі, яка на відміну від наявних методів, дає можливість виділити компоненти моделі: детермінований тренд та кусково стохастично-періодичний процес.

На основі модифікованої статистики Колмогорова-Смірнова розроблено метод розбиття річного інтервалу спостереження на підінтервали, який на відміну від традиційних проводився для залишкового стохастичного процесу, отриманого в результаті застосування методу «Гусениця-SSA», що дало можливість врахувати сезонні режими роботи газотранспортної системи міста.

Удосконалено метод лінійного регресійного аналізу для прогнозу добового газоспоживання міста, що залежить від середньодобової температури навколишнього середовища, який на відміну від наявних враховує сезонні режими роботи газотранспортної системи міста, що дало змогу провести оцінити точності та достовірності прогнозу на кожному із режимів.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОНІТОРИНГУ ГАЗОСПОЖИВАННЯ

3.1. Інформаційне забезпечення формування даних вимірювань газоспоживання та метеоданих для міста

При побудові інформаційної системи моніторингу газоспоживання міста важливе місце посідає інформаційне забезпечення, система збору інформації. На сьогодні диспетчерська служба міста використовує програмний комплекс «ASK 1.0», розроблений НДПІАСУТРАНСГАЗ (м. Харків), що призначений для:

- зчитування даних із автоматичних обчислювачів витрати газу (АО);
- формування бази даних визначеної структури (так званого Hostlib-формату);
- віддаленого введення в обчислювачі параметрів газу, атмосферного тиску, а також коригування часу;
- перегляду та аналізу отриманої інформації;
- формування, перегляду і друку (чи збереження у файлі) добових і місячних звітів визначеної форми.

Вигляд основного вікна ПК «ASK 1.0» зображено на Рис. 3.1, де відображено графік добового споживання газу за місяць. Фактично даний програмний комплекс реалізовує геоінформаційну систему (ГІС) опитування автоматичних обчислювачів витрат газу для міста.

Найбільшим недоліком цієї системи є відсутність аналізу даних вимірювання у поєднанні із метеофакторами. Тому процес аналізу та прийняття управлінського рішення щодо параметрів газопостачання є доволі рутинним та неавтоматизованим.

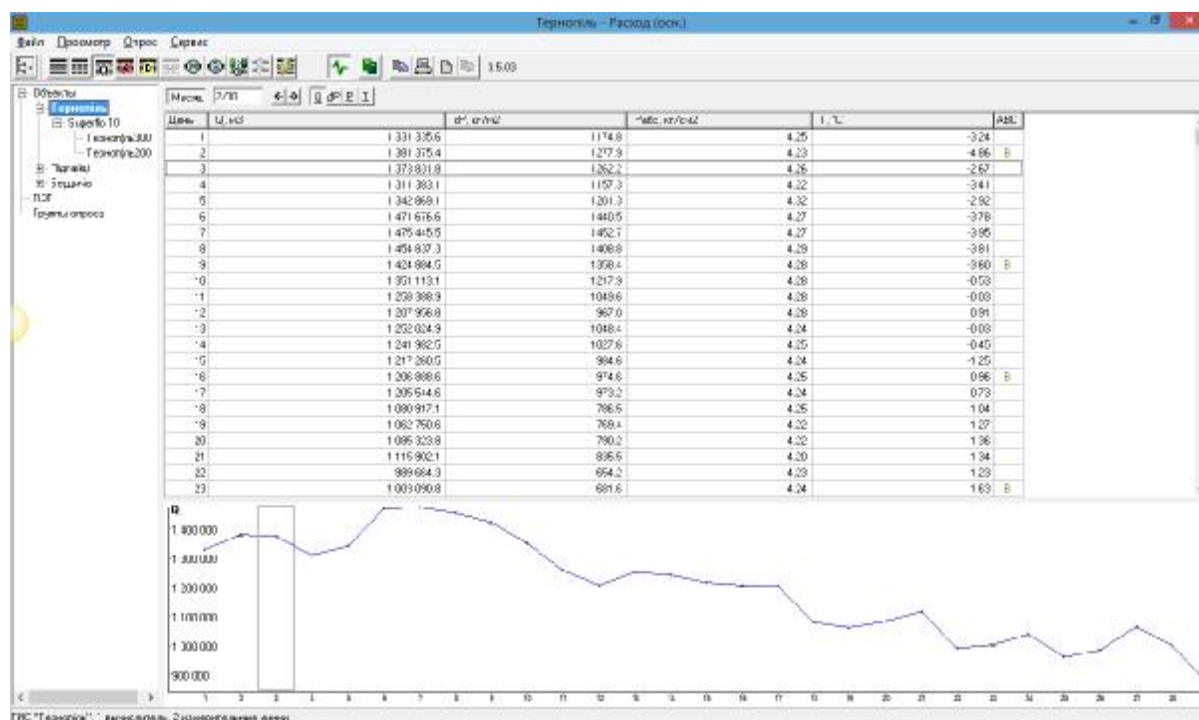


Рис. 3.1 – Вигляд основного вікна програмного комплексу «ASK 1.0».

Головним робочим параметром технологічного процесу газопостачання на газорозподільній станції є правильне встановлення робочого тиску в системі газопостачання міста. Вказана величина напряму залежить від добового споживання газу, яке фактично потрібно передбачити залежно від метеофакторів міста, керуючись прогнозом погоди на наступну добу. Як було зазначено вище, найбільш суттєвим фактором, що впливає на процес газоспоживання є температура повітря, вологість та сила вітру в місті.

У роботі запропоновано об'єднати інформацію з геоінформаційних системи (ГІС) обліку газоспоживання та метеоінформацію для міста. Саме таке інформаційне забезпечення є основою розробленої і сформованої БД накопичення результатів вимірювань газоспоживання та метеоданих для міста. Функціональну схему формування БД метеоданих та даних вимірювання газоспоживання міста зображено на Рис. 3.2.

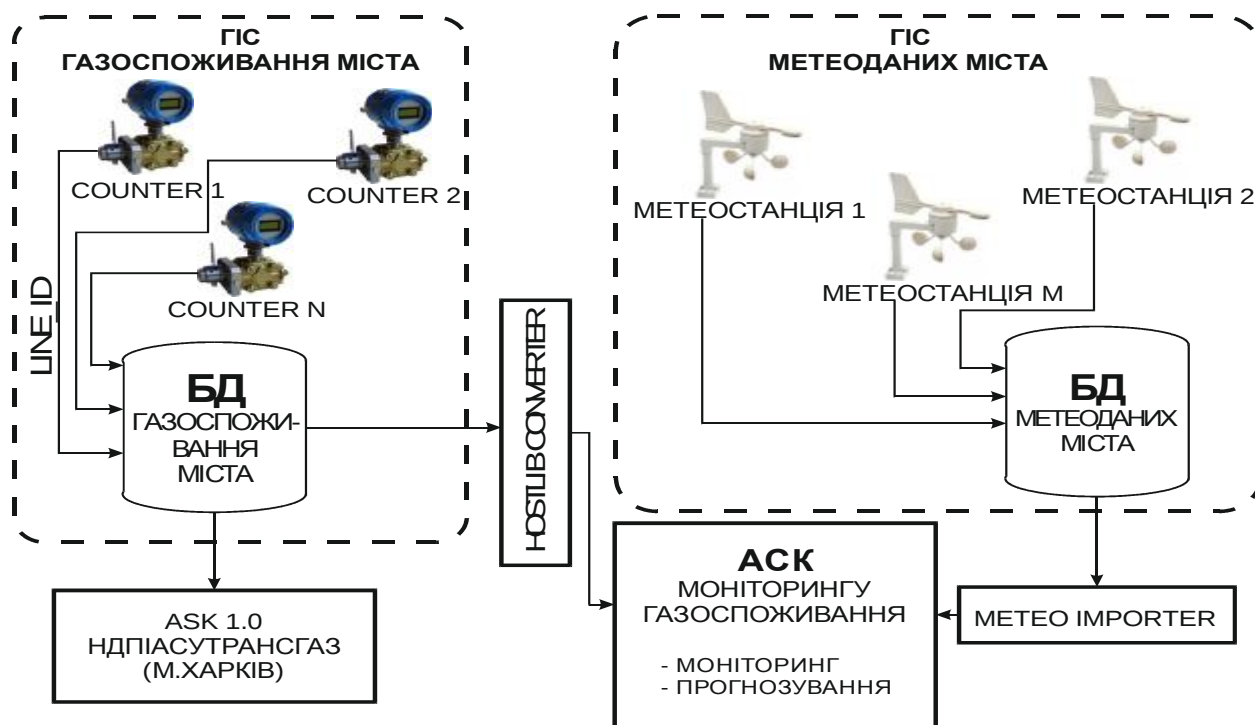


Рис. 3.2 – Функціональна схема формування БД метеоданих та даних вимірювання газоспоживання міста

Таке поєднання інформації з двох ГІС для міста надалі забезпечить комплексний моніторинг та прогнозування газоспоживання щодо автоматизації виробничих потреб диспетчерської служби газопостачання. Це дасть змогу точніше встановлювати параметри робочого тиску в системі газопроводу для забезпечення нормального режиму функціонування технологічного процесу газопостачання на наступну добу.

Передача інформації з автоматичних опитувачів, що входять до витратомірного комплексу «Флоутек» здійснюється за допомогою різних каналів передачі інформації: дротових і бездротових телеметричних каналів зв'язку. Для обміну інформацією є низка розроблених промислових протоколів між автоматичними обчислювачами витратомірних комплексів і програмним комплексом «ASK 1.0». У робочій АСК база даних формується у вигляді окремих двійкових файлів формату HostLib. Така організація та структура збереження даних не дає можливості формувати гнучкі запити до накопичених даних і реалізовує лише базові функції аналізу даних газоспоживання. А саме:

побудова графіків добових, погодинних та похвилинних даних газоспоживання, формування місячних звітів для комерційного розрахунку та багато інших «інтегральних» оцінок і миттєвих значень процесу газоспоживання. З іншого погляду ця система не дає змоги формувати аналітику з урахуванням метеофакторів та прогнозувати добові та погодинні дані.

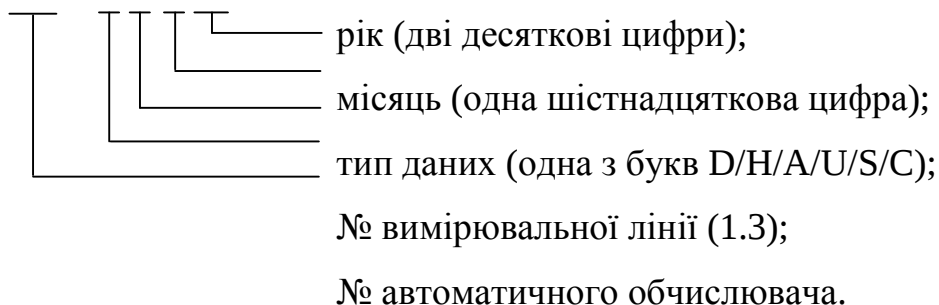
У роботі запропоновано створити повноцінну реляційну БД (з перспективою розширення до сховища даних) на основі СКБД MySQL [15]. Детальніше структуру розробленої БД, її функціонування розглянемо в наступних параграфах.

3.1.1. Формування вхідних даних газоспоживання

Вхідними даними для читання є двійкові файли з лічильника у промисловому форматі Hostlib для витратомірних комплексів «Флоутек» [66].

Назви файлів даних містять інформацію про тип даних і формуються таким чином:

S xxx R x x. x xx



Тип даних:

- D – добові дані за місяць;
- H – щогодинні дані за місяць;
- A – дані про аварії за місяць;
- U – дані про втручання за місяць;
- S – файл статичних параметрів (один запис за місяць);
- C – файл миттєвих значень (один запис за місяць).

Дані двійкові файли формату HostLib, що отримані із автоматичних обчислювачів, надалі використовуємо як вхідну інформацію для формування БД

вимірювання газоспоживання АС «АСК-метео плюс». Для наповнення БД розроблено програмне забезпечення конвертації двійкових даних лічильника газовитратних комплексів «Флоутек» – “HostLibConverter 1.0”, детальніше цю інформацію висвітлено в наступних параграфах.

3.1.2. Імпорт даних газоспоживання із автоматичних обчислювачів

Для формування інформаційного забезпечення обліку та аналізу газоспоживання було запропоновано програмне забезпечення, що проводить зчитування двійкової інформації з пам'яті обчислювача витратомірного комплексу «Флоутек» [66] і подальше збереження даних у відповідних таблицях бази даних. Програмне забезпечення «HostLib конвертер» підтверджено свідоцтвом про реєстрацію авторського права на твір № 40120 «Комп'ютерна програма HostLibConverter 1.0» [Додаток Б]. Програму написано з використанням бібліотеки Qt в середовищі C++.

Усі файли є впорядкованою сукупністю записів певної структури. Усі записи відсортовано, враховуючи зростання дати і часу, яку вони відтворюють (дата і час отримання даних з лічильника, дата і час помилки чи втручання). Структуру записів для кожного виду файлів розглянуто на наступному лістингу.

Лістинг 3.1 Структура записів зчитування формату HostLib

```
#pragma pack (push, 1)
/*Структура даних (об'єднання), яка легко дає змогу без перешкод звертатись до байтів дійсного числа. Використовують для визначення того чи дане число було отримано з лічильника, чи введено власноруч (так звана робота з констант). Якщо молодший байт парний, то значення введені власноруч, інакше отримані з лічильника*/
union FloatData
{
float Value;
unsigned char ByteData[4];
};

/*Структура, яка показує дані в файлі з деною інформацією*/
```

```

struct FileDataDayRecord
{
    /*Дата, опис дати нижче.*/
    unsigned char DateTime[3];
    FloatData Q;
    /*Дата наступного запису. Не використовують у програмі*/
    unsigned char NextDateTime[4];
    FloatData DP;
    FloatData RBS;
    FloatData T;
    /*Поле постійно із нулями*/
    unsigned char ZeroField[4];
};

/*Структура, яка представляє дані в файлі з хвилинною і годинною інформацією. Поля аналогічні до описаних вище */
struct FileDataMinuteRecord
{
    unsigned char DateTime[5];
    FloatData Q;
    unsigned char NextDateTime[4];
    FloatData DP;
    FloatData RBS;
    FloatData T;
    unsigned char ZeroField[4];
};

/* Структура, яка показує дані в файлі з помилками*/
struct FileErrorRecord
{
    /*Дата і час помилки*/
    unsigned char DateTime[6];
    /*Код помилки*/
    unsigned char ErrorCode;
    /*Поле постійно забите нулями*/
    unsigned char Unknown[6];
};

```

```

/* Структура, яка розглядає дані в файлі з втручаннями*/
struct FileInterventionRecord
{
/*Дата і час втручання*/
unsigned char DateTime[6];
/*Код втручання*/
unsigned char ErrorCode;
unsigned char Unknown;
/*Попереднє значення параметра, який був змінений*/
float OldValue;
/*Нове значення параметра, який був змінений*/
float NewValue;
};
#pragma pack (pop)

```

Залежно від того з якою точністю потрібно зберігати дату і час у всіх файлах зазначено масивом з 3, 5 або 6-ти байт (наприклад, якщо потрібно зберігати тільки дату використовується масив з 3-х байт, якщо ще треба годину і хвилини – 5, якщо секунди – 6). Значення масиву дати за байтами:

- перший байт – номер місяця (від 1 до 12);
- другий байт – число дня (від 1 до 31);
- третій – номер року (від 00 до 99);
- четвертий – година;
- п'ятий (якщо є) – хвилини;
- шостий (якщо є) – секунди.

Алгоритм читання конкретного файлу з хвилинними, годинними чи добовими даними такий: завантажуються всі дані з файлу в масив. Завантажуються також дані з відповідних йому файлів, що містять інформацію про помилки і втручання. Після цього програма в циклі проходить по комірках масиву з даними і рахує скільки є записів про помилки і втручання за проміжок від попереднього прочитаного запису з даними до наступного, при цьому на кожній ітерації циклу додає SQL – запис вже прочитаних даних у вихідний файл.

Результатом роботи програми є файл “SQLData.sql”, що імпортує отримані дані лічильника у БД на сервер АС «АСК-метео плюс».

Поновлення похвилинних та погодинних даних відбувається раз на добу: вночі, а оновлення добових даних з автоматичних лічильників одразу після завершення комерційної години розрахунку за газ (9 год ранку).

Таблиця 3.1 Опис полів таблиць бази даних

Назва поля таблиці	Тип поля	Опис
ID	int(10)	Унікальний номер запису показників
LINE_ID	smallint(5)	Номер лінії вимірювача (інформаційного каналу)
COUNTER	smallint(5)	Номер лічильника для заданої лінії вимірювача
TS	datetime	Дата збереження часу
Q	double	Об'єм газу, м ³
DP	double	Різниця тиску в газопроводі до і після звуження
RBS	double	Робочий тиск в газопроводі
T	double	Температура газу в трубопроводі
COUNT_A	int(1)	Індикатор аварії
COUNT_B	int(1)	Індикатор втручання
C_DP	int(1)	Робота з константою різниці тиску
C_RBS	int(1)	Робота з константою абсолютний тиск
C_T	int(1)	Робота з константою температура газу

Програма, написана на Qt в середовищі C++ є кросплатформеною, запускається для ОС Windows і Linux. Мінімальні вимоги до ПК, 256 Мб ОЗП, 50 Мб вільного дискового простору. Програма працює з командного рядка, шляхом запуску програми HostlibConverter. Конфігурація програми відбувається прописуванням у файлі Config.txt шляхів, де розміщені вихідні двійкові файли з лічильників газових витратомірних комплексів типу «Флоутек». Наприклад: “с:\ASK\data”, без вказування самих файлів, а лише папки, в якій вони розміщені.

Прочитані дані з двійкових файлів зберігаються в відповідних таблицях бази даних. Коротко опишемо, які типи даних є. Інформація з обчислювачів зберігається з певним інтервалом накопичення: подобово, погодинно, та похвилинно (у нашому випадку встановлено інтервал 20 хв). Дані є в таблицях: `t_gaz_days`, `t_gaz_hours`, `t_gaz_minutes`.

Результат роботи – це збережені дані у файлі “SQLData.sql”, що є дампом даних, який починається з команди SQL – `REPLACE INTO`. Наприклад: *“REPLACE INTO `t\_gaz\_days` (`LINE\_ID`, `COUNTER`, `TS`, `Q`, `DP`, `RBS`, `T`, `COUNT\_A`, `COUNT\_B`, `C\_DP`, `C\_RBS`, `C\_T`) VALUES (6, 1, '2004-01-01', 34852.6, 466.084, 45.816, 21.4552, 0, 0, false, false, false);”*

Щоб розмістити інформацію власноруч, у відповідних таблицях БД, необхідно виконати команду для MySQL, яка виглядає так: `mysql -u <user name> -p ask < SQLData.sql` на сервері. Робота програми можлива і в ручному режимі, коли оператор диспетчерської служби самостійно завантажує нові дані з минулої доби чи за будь-який інший інтервал, і в автоматизованому режимі, коли дані автоматично завантажуються на сервер сховища даних (команда `cron`).

3.1.3. Формування вхідних даних архіву метеорологічної станції

Для подальшого моніторингу та прогнозу в АС «АСК-метео плюс», необхідно мати метеодані середньої температури повітря міста. На основі аналізу апріорної інформації температура повітря в місті – один із найголовніших факторів, що впливає на газоспоживання міста в опалювальний період. Для цього було використано доступні в інтернеті метеодані із сайту погодних умов <http://meteo.infospace.ru> та розроблено ПЗ «MeteoInfoSpaceRu Temperature Importer» для імпорту даних в БД автоматизованої системи.

На наступному лістингу перелічено структуру зберігання метеоданих метеорологічної служби (Лістинг 4.2., подано мовою оригіналу – російською).

Для імпорту даних в розроблене сховище було створено програмне забезпечення «MeteoInfoSpaceRu Temperature Importer» (мовою C++).

Лістинг 3.2 Формат вхідних даних метеорологічної служби (російською мовою)

```
# Weather archive data (Russian header encoding: Windows, CP1251)
# Данные из архива погодных условий (см. http://meteo.infospace.ru)
# Метеостанция
# Индекс WMO : 33415
# Имя (EN/RU) : Ternopil' (Ternopol) / Тернополь
# Выборка данных
# Формат даты : YYYY-MM-DD
# Формат времени: HH:MM
# Формат файла : CSV (значения, разделенные запятыми)
# БД-источник(и): 1,2,3
# Поля данных
# date - Дата UTC
# time - Время UTC
# db_id - Код БД-источника
# C - Облачность (соотв. НГО), тип
# Ch - Облачность верхняя, тип
# Cl - Облачность нижняя, тип
# Cm - Облачность средняя, тип
# dd - Направление ветра
# E - Состояние почвы
# ff - Скорость ветра
# G - Порывы ветра
#
# Порядок полей запису:
date,time,db_id,C,Ch,Cl,Cm,dd,E,ff,G,h,N,P,P0,R24,Rd,RH,Rn,SD,SS,T,Td,Tg,Tgn,Tln,Tn,Tw,Tx,
VV,ww
```

У вхідних метеоданих інформація, як правило, зберігається для декількох метеостанцій міста (*db_id* – код метеостанції). Для Тернополя доступними є три метеостанції з кодами 1, 2, 3 відповідно.

Методика попереднього опрацювання даних метеостанції така:

– під час формування часового ряду середньої температури міста проводимо усереднення даних температури у місті на основі показів трьох метеостанцій (максимальна різниця між показами не перевищує 1.5 °C);

– дані температури зберігаються з кроком дискретизації 3 години, для формування погодинної вибірки проводимо лінійну апроксимацію даних температури (редискритизацію на 1 годину).

Розроблене ПЗ «MeteoInfoSpaceRu Temperature Importer» дає змогу отримувати архівні метеодані із сайту метеослужби <http://meteo.infospace.ru/> і конвертувати у відповідний SQL-дамп для збереження у БД на сервері. Основні функції ПЗ «MeteoInfoSpaceRu Temperature Importer»:

– імпорт даних, отриманих із сайту <http://meteo.infospace.ru/> для вибраного міста;

– попередня обробка отриманих даних: фільтрація неприпустимих значень, усереднення даних температури за наявності декількох показів (з різних метеостанцій міста, *db_id*) для заданої дати та години;

– редискритизація (лінійна апроксимація) даних для кроку 1 година;

– формування SQL-дампу для імпорту в БД на сервер АСК газоспоживанням міста.

Метеодані слід записувати у таблицю «METEO_HOURS» БД, SQL-скрипт генерації якої розглянуто в наступному лістингу.

Лістинг 3.3 Таблиця `METEO\_HOURS` для усереднених значень температури міста з кроком дискретизації 1 година

```
CREATE TABLE `METEO_HOURS` (
`Timestamp` datetime NOT NULL,
`ff` double NOT NULL,
`C` double NOT NULL,
`G` double NOT NULL,
`Ch` double NOT NULL,
`h` double NOT NULL,
`Cl` double NOT NULL,
`N` double NOT NULL,
`Cm` double NOT NULL,
`P` double NOT NULL,
`dd` double NOT NULL,
`P0` double NOT NULL,
`E` double NOT NULL,
`R24` double NOT NULL,
```

```

`Rd` double NOT NULL,
`RH` double NOT NULL,
`Rn` double NOT NULL,
`SD` double NOT NULL,
`SS` double NOT NULL,
`T` double NOT NULL,
`Td` double NOT NULL,
`Tg` double NOT NULL,
`Tgn` double NOT NULL,
`Tln` double NOT NULL,
`Tn` double NOT NULL,
`Tw` double NOT NULL,
`Tx` double NOT NULL,
`VV` double NOT NULL,
`ww` double NOT NULL,
PRIMARY KEY (`Timestamp`)
) ENGINE=InnoDB DEFAULT CHARSET=utf8;

```

Надалі дані із таблиці ``meteo_hours`` будуть використані для формування часового ряду температури синхронно із даними газоспоживання міста, для побудови прогнозу на основі регресійного аналізу. Період поновлення даних на сервері – одна доба.

3.1.4. Формування вибірок часових рядів для подальшого моніторингу, статистичного аналізу та прогнозування

Слід зауважити, що отримані дані з ПЗ «HostLib конвертер», які потрапляють у БД на сервер АС «АСК-метео плюс», проходять попередню перевірку на достовірність. Тобто всі значення полів відповідних таблиць проходять попередню перевірку належності прийнятному діапазону значень. Наприклад, для погодинних значень, видалення нульових значень газоспоживання міста, а для метеорологічних даних – перевірка прийнятних значень діапазонів температур. Це в майбутньому забезпечить формування коректних статистичних вибірок з БД для формування часових рядів газоспоживання з певним кроком дискретизації та коректне їх опрацювання згідно з алгоритмами, розробленими на основі математичних моделей та методів.

Наступний етап – формування часових рядів для заданих інтервалів спостереження та кроків дискретизації (погодинних, тижневих, місячних, річних). Для цього використовуємо SQL-запити до БД АС «АСК-метео плюс».

Наприклад, розглянемо лістинги деякі з таких SQL-запитів. На наступному лістингу (Лістинг 3.4) можна побачити SQL-запит, результатом роботи якого є погодинний часовий ряд за 2010 рік.

Лістинг 3.4 Приклад SQL-запит, що формує часовий ряд газоспоживання з дискретизацією 1 година для 2010 року

```
select date AS TS, sum(Q) AS Q
from date_hour left outer join t_gaz_hours
on date_hour.date = t_gaz_hours.TS and t_gaz_hours.LINE_ID = 10
where (LINE_ID = 10 OR LINE_ID is null) and date
BETWEEN '2010-01-01 00:00:00' AND '2010-12-31 23:59:59'
GROUP BY date
ORDER BY date;
```

Дані вибирають із таблиці *t_gaz_hours*, що містить погодинні значення газоспоживання для вказаної інформаційної лінії лічильника *t_gaz_hours.LINE_ID*. За допомогою інструкції *left outer join* значення розміщують з урахуванням неперервної часової серії з таблиці *date_hour*, щоби забезпечити коректний результат. Це зумовлює правильне формування часового ряду з дискретизацією одна година без пропусків за відсутності окремих значень.

3.2. Структура сховища даних «АСК-метео плюс»

У результаті аналізу програмного комплексу «ASK 1.0» та врахування усіх недоліків було запропоновано власну структуру сховища даних для побудови інформаційної технології моніторингу газоспоживання, а також її реалізацію, що виглядає так: АС «АСК-метео плюс».

Розглянемо запропоновану БД для цієї інформаційної технології, структура таблиць якої дозволяє зберігати та формувати часові ряди для моніторингу, подальшого статистичного аналізу і прогнозування газоспоживання міста із врахуванням метеофакторів. Перелік основних таблиць та зв'язків БД для

розробленої АС «АСК-метео плюс» розглянуто на наступному рисунку (Рис. 3.3).

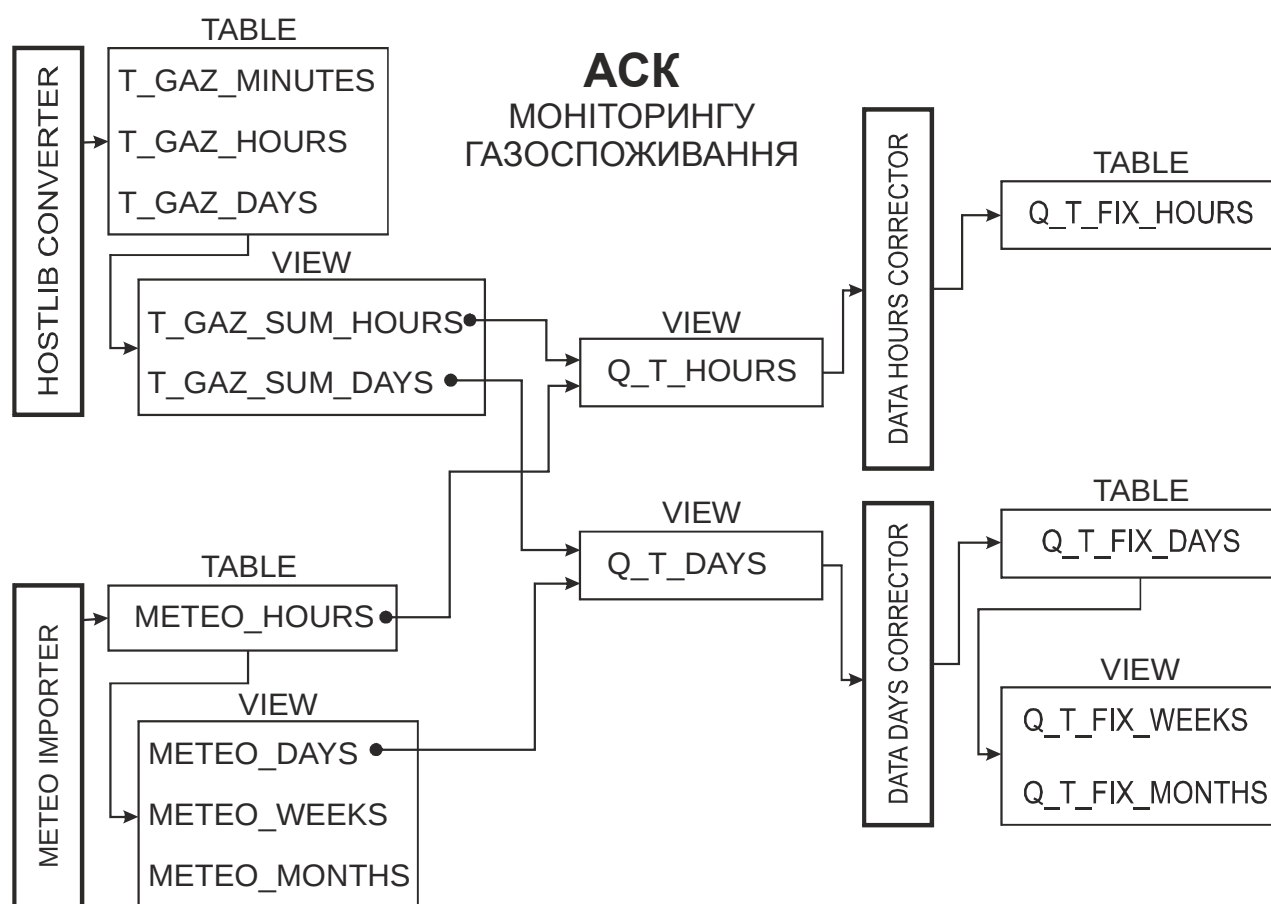


Рис. 3.3 – Структурна схема БД та зв'язків між таблицями АС «АСК-метео ПЛЮС»

Спроектоване та реалізоване сховище даних містить початкову (вхідну) інформацію про газоспоживання та метеофактори для міста, що розміщена в таблицях: **T_GAZ_MINUTES**, **T_GAZ_HOURS**, **T_GAZ_DAYS**, **METEO_HOURS**. Таблиці **T_GAZ_SUM_HOURS** та **T_GAZ_SUM_DAYS** є віртуальними, вони розроблені на основі попередніх і відображають сумарну інформацію із усіх лічильників (COUNTER) для вказаної інформаційної лінії (LINE_ID). Результат побудови VIEW **T_GAZ_SUM_DAYS** можна отримати за допомогою наступного SQL-запиту.

Лістинг 3.5 SQL-запит побудови віртуальної таблиці T_GAZ_SUM_DAYS

```
CREATE VIEW `t_gaz_sum_days` AS select `t_gaz_days`.`TS`
AS `TS`,sum(`t_gaz_days`.`Q`) AS `Q`,`t_gaz_days`.`LINE_ID` AS `LINE_ID`
from `t_gaz_days` group by `t_gaz_days`.`TS`,`t_gaz_days`.`LINE_ID`
order by `t_gaz_days`.`TS`;
```

Аналогічно створено таблицю для суми погодинних значень газоспоживання міста VIEW T_GAZ_SUM_HOURS.

Наступний етап побудови БД – усереднення температури в місті з погодинних (METEO_HOURS) до середньодобових та середньотижневих даних. Цей алгоритм реалізовано SQL-запитом, що розглянуто на наступному лістингу.

Лістинг 3.6 SQL-запит створення віртуальної таблиці середньодобової температури міста

```
CREATE VIEW `meteo_days` AS select cast(`meteo_hours`.`Timestamp` as date)
AS `Date`,count(`meteo_hours`.`T`) AS `Count`,avg(`meteo_hours`.`T`) AS `Tcep`
from `meteo_hours` group by cast(`meteo_hours`.`Timestamp` as date)
order by cast(`meteo_hours`.`Timestamp` as date);
```

Таким чином сформовано таблиці усередненої температури за добу, тиждень та місяць: METEO_DAYS, METEO_WEEKS, METEO_MONTHS.

Для проведення регресійного аналізу та короткострокового прогнозування газоспоживання було сформовано об'єднанні віртуальні таблиці Q_T_HOURS та Q_T_DAYS газоспоживання і температури з інтервалами накопичення 1 година та 1 доба.

Важливим етапом статистичної обробки є попередній аналіз та коригування даних, отриманих з таблиць Q_T_HOURS та Q_T_DAYS. Програмна реалізація коригування неправильних даних реалізована в модулях «DATA HOURS CORRECTORS» і «DATA DAYS CORRECTORS». Після опрацювання ці модулі записують інформацію у відповідні таблиці Q_T_FIX_HOURS та Q_T_FIX_DAYS для погодинних і подобових даних

відповідно. Зауважимо, що коригування даних потребує додаткового введення пропущених чи неправильних даних на основі інформації про аварійні ситуації на ділянці газопроводу, зокрема, *неполадки аналогових датчиків, параметри газоспоживання за межами встановлених значень, відсутність живлення на лінії автоматичних обчислювачів, збій в системі передачі інформації із автоматичних обчислювачів.*

Діагностичні ознаки таких аварійних ситуацій програма аналізу отримує із відповідних полів COUNT_A, COUNT_B, C_DP, C_RBS, C_T таблиць T_GAZ_MINUTES, T_GAZ_HOURS, T_GAZ_MINUTES_DAYS.

Лістинг 3.7 Приклад SQL-запиту формування часового ряду газоспоживання та середньої температури міста з кроком 1 доба за 2010 рік

```
SELECT Date, Q, T FROM `Q_T_days`
WHERE Date
BETWEEN '2010-01-01 00:00:00' AND '2010-12-31 23:59:59'
```

Дані газоспоживання та середньої температури зафіксовані у таблицях *t_gaz_hours_te* та *weatherte*. Синхронне формування часового ряду реалізовано з допомогою інструкції *left outer join*. Інтервал спостереження вибірки вказують за допомогою інструкції *BETWEEN*.

Часові ряди з інтервалом дискретизації тиждень, місяць та рік формуються шляхом сумування первинної погодинної інформації. Наприклад, щоб отримати добові дані газоспоживання підсумовуємо 24 години для кожної доби, а для формування тижневих даних, підсумовуємо 7 діб для кожного тижня із інтервалу спостереження.

3.3. Високопродуктивні реалізації алгоритму «Гусениця-SSA» на базі обчислювального кластера та в українському національному грід

Метод «Гусениця-SSA» вимагає значних обчислювальних ресурсів. У процесі вибору програмної реалізації було проведено обчислювальний експеримент на трьох програмних платформах: на базі супер-комп'ютерного

центру НТУУ «КПІ» з використанням ресурсів українського національного грід (УНГ) та із застосування бібліотеки R+Rssa [14]. Згодом розглянемо ґрунтовніше результати трьох обчислювальних експериментів. Зауважимо, що заміри здійснювалися за параметрами: час виконання та об'єм використаної пам'яті SVD-розкладу (сингулярний розклад) матриці розмірності $\sim 4000 \times 8000$ елементів.

У результаті обчислювального експерименту на базі супер-комп'ютерного центру НТУУ «КПІ» у програмному середовищі Matlab 2009b на базі Intel Xeon 2xCPU 2 cores, 8Gb RAM було виміряно час виконання розкладу на прикладі реального часового ряду для довжини гусениці $L=N/2=4392$, змінний параметр K – кількість рангованих власних векторів, що змінювався в інтервалі 100-4300 з кроком 100.

На Рис. 3.4 зображено програмне середовище MatLAB 2009b на базі супер-комп'ютерного центру НТУУ «КПІ» під час виконання обчислювального експерименту. Обчислення відбувалися у віддаленому режимі доступу через захищений канал зв'язку.

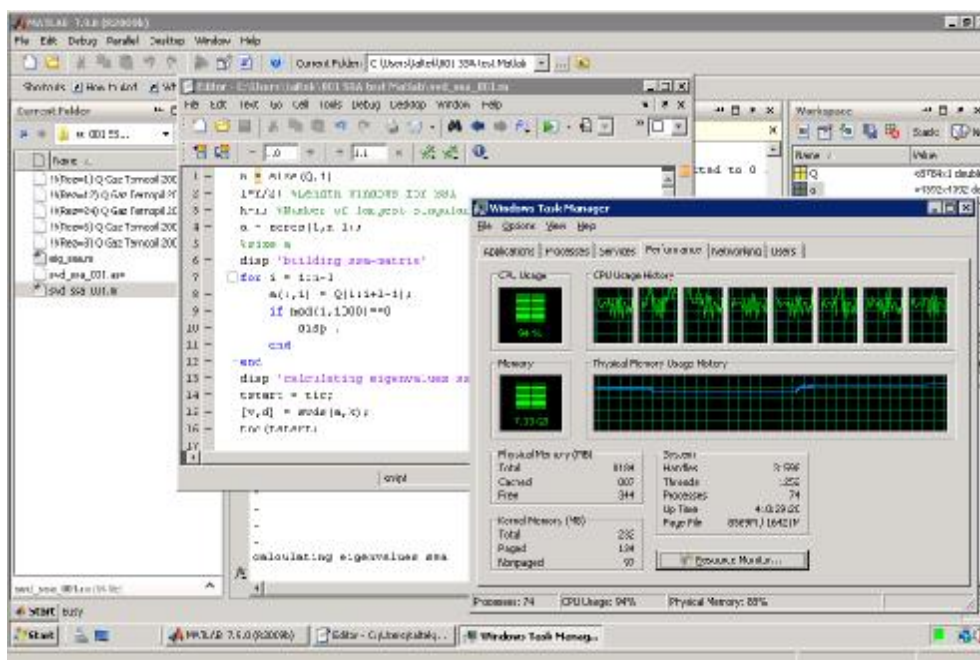


Рис. 3.4 – Програмне середовище MatLAB у процесі здійснення SVD-розкладу на восьми ядрах обчислювального кластеру

Вважаємо, що перспективним є використання швидких алгоритмів SVD-розкладу. Такий обчислювальний експеримент був реалізований у середовищі математичного пакету R+RSSA. У результаті обчислювального експерименту на прикладі довжини «Гусениці» $L = N/2 = 4392$ можемо побачити переваги застосування бібліотеки Rssa [14] (методів: “nutrlan”, “propack”), що значно зменшує обчислювальну складність з $O(N^3)$ до $O(kN \log N)$, де k – кількість власних чисел сингулярного розкладу. Результати обчислювального експерименту зображено на наступних рисунках (Рис. 3.6, 3.7).

Як бачимо, останній метод R+RSSA (nutran, propack) дає суттєве прискорення в часі й об’ємі використаної пам’яті за рахунок зменшення алгоритмічної складності з $O(N^3)$ до $O(kN \log N)$. Це дає змогу використовувати розклад матриці $\sim 4000 \times 8000$ (погодинні дані за рік) на базі одного обчислювального ядра навіть на звичайному ПК.

Загальна тривалість обчислювального експерименту з використанням восьми обчислювальних ядер близько 90 годин. На осі абсцис зазначено параметр K , на осі ординат у логарифмічній шкалі час виконання розкладу, позначено в секундах (Рис. 3.5).

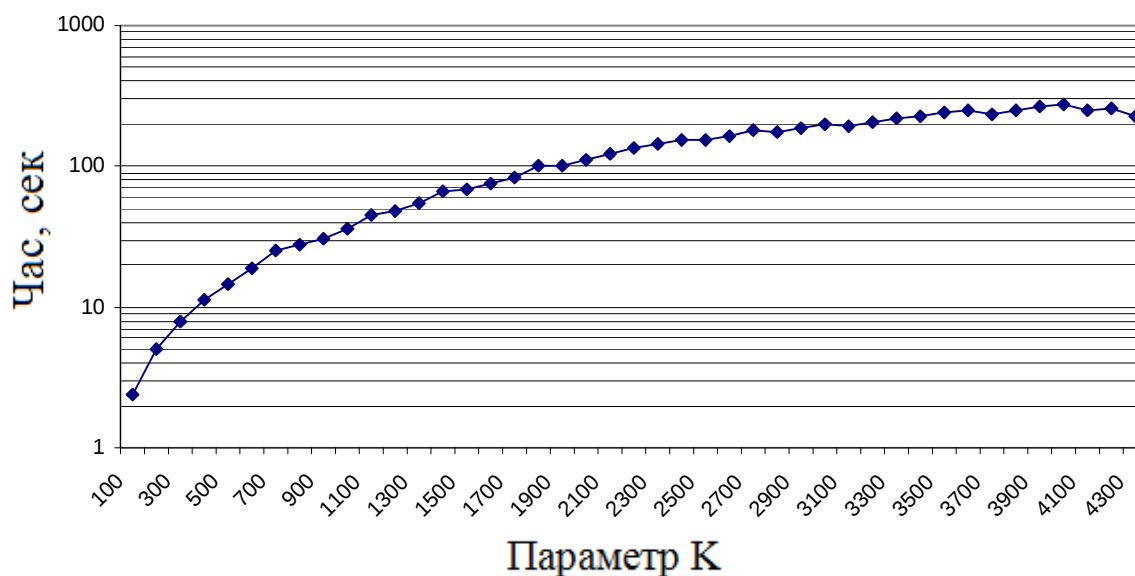


Рис. 3.5 – Результат тестування SVDS(X, K) на базі кластеру НТУУ «КПІ»

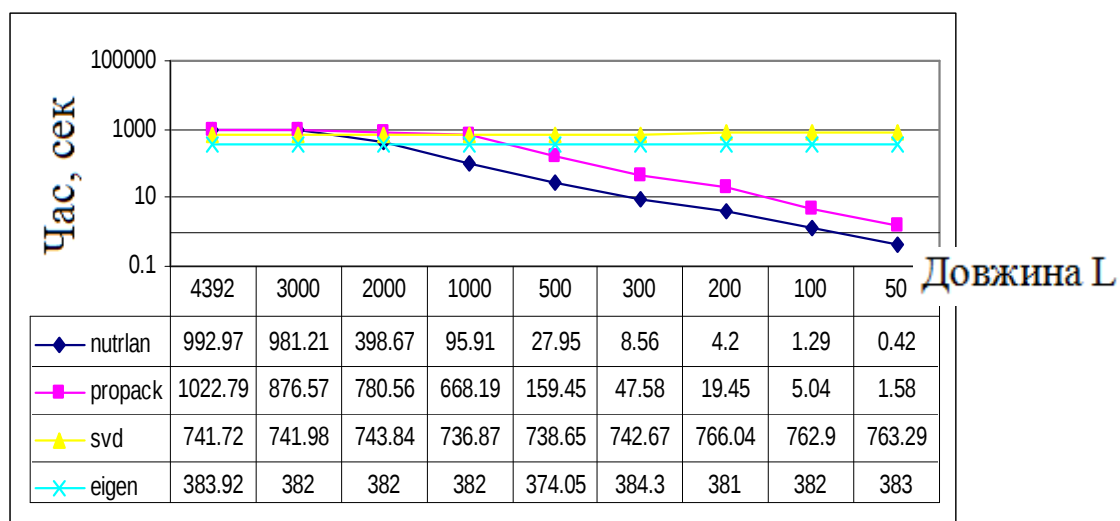


Рис. 3.6 – Порівняння витраченого обчислювального часу для R+RSSA

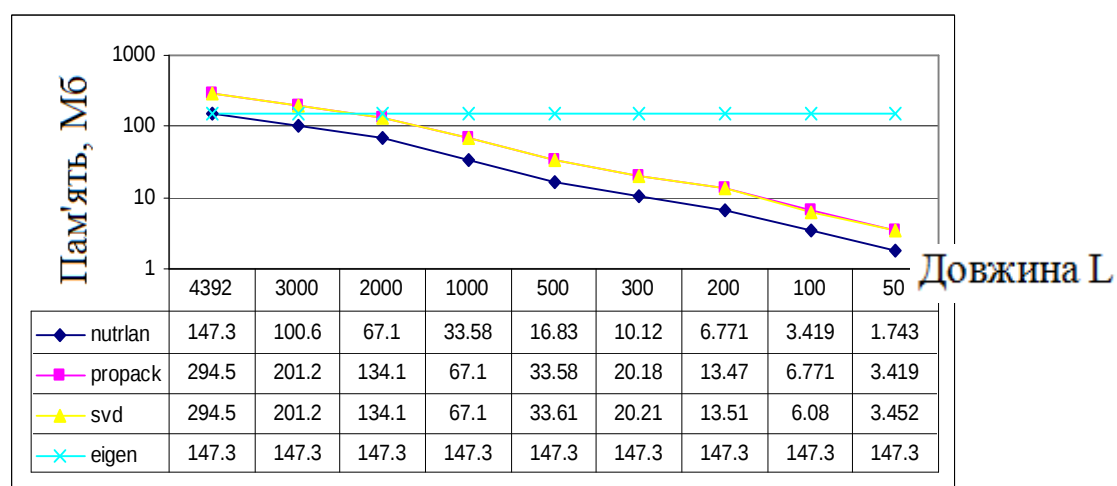


Рис. 3.7 – Порівняння використаної пам'яті для R+RSSA

Зважаючи на потребу оперативного аналізу, а також у процесі розгляду періоду спостереження часового ряду за декілька років, за умови розкладу матриці таких розмірів, різко зростають вимоги до процесорного часу та необхідної оперативної пам'яті для реалізації SVD-розкладу. У такому випадку використання ресурсів українського національного грід (УНГ) є перспективним. До структури українського національного грід (УНГ) входять кластери НТУУ «КПІ», а також нещодавно приєднаний грід-сайт ТНТУ (ng.tntu.edu.ua, станом на 2011 рік). На Рис. 3.8 висвітлено результат ініціалізації та виконання грід-задачі з комунікаційного вузла грід-сайту ТНТУ.

3.4. Алгоритм пошуку точок розладки і поділу на інтервали річного часового ряду газоспоживання

На основі запропонованого методу пошуку часових моментів зміни динаміки – точок розладки динаміки процесу газоспоживання міста було запропоновано алгоритм роботи програми, блок-схему якої розглянуто на Рис. 3.9.

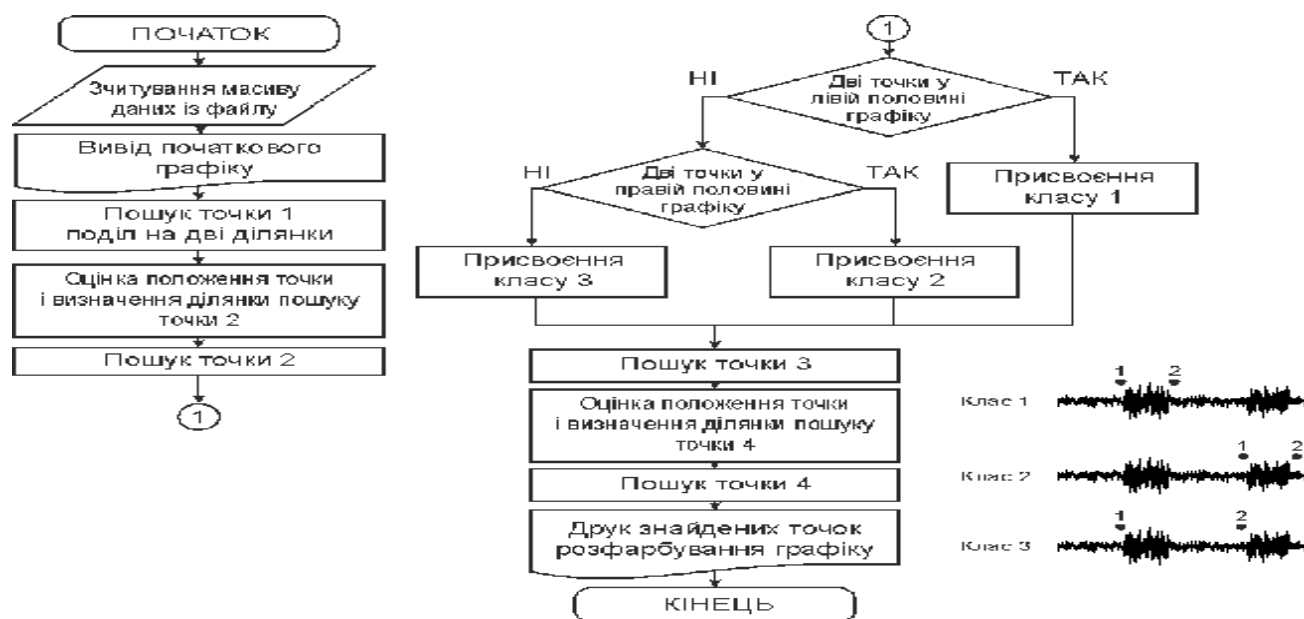


Рис. 3.9 – Блок-схема алгоритму пошуку точок розладки для поділу на відповідне число ділянок річного часового ряду газоспоживання міста

Коротко опишемо окремі операції виконання алгоритму.

На *першому кроці* зчитуються дані часового ряду газоспоживання на рік. Попередньо, за допомогою методу «Гусениця-SSA», відбувається розклад на адитивні компоненти часового ряду газоспоживання. Для роботи алгоритму використовують $X(t)$ – стохастичний залишок.

Другий крок запускає на виконання й обчислює статистику (2.19) в результаті чого отримуємо першу точку поділу річного часового ряду.

Третій крок алгоритму оцінює положення точки поділу часового ряду для визначення напрямку наступного поділу. Після визначення ділянки алгоритм обчислює статистику (2.19) для наступної ділянки.

Четвертий крок виконує повтор *кроку три* для окремо поділених лівої і правої ділянки. Таким чином можна знайти точку 3 поділу.

На *п'ятому кроці* алгоритму оцінюємо положення і визначення точки 4.

Шостий крок – вивід чотирьох точок поділу річного часового ряду газоспоживання міста.

Внаслідок цього отримуємо п'ять ділянок стабільності часового ряду газоспоживання, що відповідає зміні топології споживачів та річним сезонам.

Точність спрацювання методу було перевірено шляхом імітаційного моделювання в межах однієї доби.

3.5. Алгоритм добового прогнозування газоспоживання міста

Для автоматизації низки функцій і завдань виробничого характеру й організаційного управління в системах контролю обліку, управління та прийняття рішень процесу газоспоживання міста актуальним завданням є прогнозування витрат газу на наступну добу залежно від метеорологічної ситуації в місті. Як було зазначено вище, основним фактором впливу на процес газоспоживання є середньодобова температура в місті. Тому для реалізації прогнозування методом лінійного регресійного аналізу було запропоновано наступний алгоритм прогнозування, який можемо побачити на Рис. 3.10.

Згідно з блок-схемою (Рис. 3.10) з БД отримуємо числові дані $Q(t)$ ($\times \mathbb{T}^0$) – добовий часовий ряд газоспоживання, $T(t)$ – середньодобова температура повітря в місті для заданого річного інтервалу; попередньо визначені t_1, t_2, t_3, t_4 – точки поділу на п'ять ділянок річного часового ряду; оператором вводиться T'' – прогнозне значення температури, і подальше прогнозування $Q'(T)$ ($\times \mathbb{T}^0$) – добового газоспоживання для міста на наступну добу.

Щоби побудувати лінійну регресійну модель, використовують накопичені дані газоспоживання на одному із режимів роботи газотранспортної системи міста, що відповідають річному сезону газоспоживання. Далі обчислюють коефіцієнти a і b . Наступний крок – отримання прогнозованого значення

середньодобової температури міста на наступний добу, яка зчитується із БД метеосайту в побудоване сховище даних.

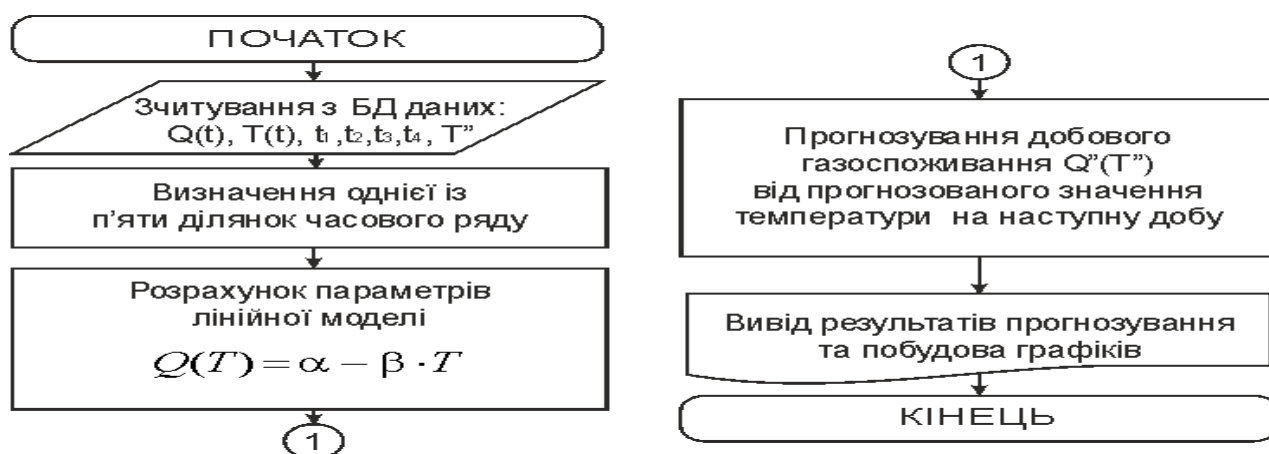


Рис. 3.10 – Блок-схема алгоритму добового прогнозу газоспоживання міста

Підставляючи значення аргумента (середньодобової температури) у лінійну регресійну модель (2.22) із визначеними коефіцієнтами α і β , отримуємо прогнозоване значення добового газоспоживання міста.

3.6. Діаграма потоків даних нової ІТ «АСК-метео плюс»

Передумовою створення ІТ моніторингу газоспоживання міста є аналіз інформаційних потоків даних на етапі попиту автоматичних опитувачів витратомірних комплексів, накопичення даних, оплачування та поступлення в диспетчерську службу міста в системах підтримки та прийняття рішень.

У межах запропонованої інформаційної технології «АСК-метео плюс» розроблено загальну діаграму потоків даних інформації (DFD-діаграму) на етапах вимірювання та передачі, зберігання та опрацювання даних вимірювання газоспоживання та метеофакторів міста на річному інтервалі спостереження із кроками накопичення даних: година, доба і тиждень (рис. 3.11).

На діаграмі є два об'єкти для накопичення інформації: витратомірний комплекс «Флоутек» і метеодані сайту метеостанції для даного міста. На цьому етапі відбувається процес відстеження інформації, а саме: погодинне зчитування інтенсивності газоспоживання та відстеження середньодобової температури в

місті. Після попереднього опрацювання, дані зберігаються на сервері БД відповідно до запропонованої раніше структури зберігання даних. Наступний етап – на основі зібраних даних будується лінійна регресійна модель газоспоживання для заданої ділянки на річному інтервалі спостереження. На основі прогнозу температури повітря на наступну добу передають прогнозоване значення добового споживання в диспетчерську службу міста. Виходячи з рекомендованого значення, газоспоживання, визначають відповідний тиск шляхом керування регуляторами тиску на газопроводі середнього тиску, що постачає газ у місто.

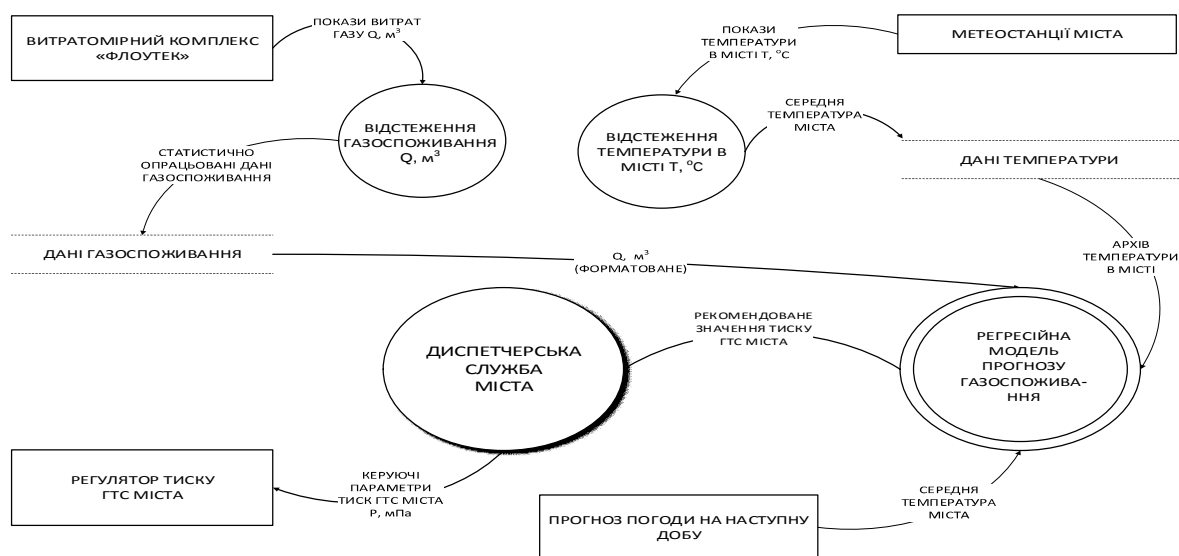


Рис. 3.11 – Діаграма потоків даних ІТ «АСК-метео плюс»

Така діаграма потоків даних створює передумову для побудови нової удосконаленої ІТ (на базі наявної АС «ASK 1.0») моніторингу газоспоживання міста з урахуванням метеофакторів.

3.7. Висновки

У процесі розробки інформаційної технології було спроектовано та реалізовано в середовищі СКБД MySQL реляційну базу даних для накопичення та зберігання даних вимірювання процесу газоспоживання міста. У цьому розділі було детально розглянуто структуру та взаємозв'язки між таблицями БД.

Створено авторське програмне забезпечення мовою С «HostLibConverter 1.0» для завантаження даних газоспоживання витратомірних комплексів «Флоутек» (формату HostLib) у розроблену БД.

Оскільки статистичне опрацювання методом «Гусениця-SSA» пов'язане зі значними обчислювальними ресурсами, та було проведено обчислювальний експеримент на основі реальних даних вимірювання матриці розмірності $\sim 4000 \times 8000$ та її SVD-розкладу з використанням високопродуктивних алгоритмів на наступних обчислювальних платформах: на базі центру суперкомп'ютерних обчислень НТУУ «КПІ»; з використанням ресурсів українського національного грід (УНГ); із застосуванням математичного пакету R та бібліотеки RSSA. На основі обчислювального експерименту на прикладі довжини «гусениці» $L = N/2 = 4392$ можемо зрозуміти переваги застосування бібліотеки R+RSSA (методів: “nutrlan”, “propack”), що суттєво зменшує обчислювальну складність з $O(N^3)$ до $O(kN \log N)$, де N – довжина часового ряду, k – кількість власних чисел сингулярного розкладу. Зазначено перспективність використання для нової ІТ алгоритмів на основі математичного пакету R+RSSA.

Детально описано алгоритм пошуку точок розладки та полі на ділянки стаціонарності річного часового ряду газоспоживання міста.

Описано блок-схему алгоритму добового прогнозу газоспоживання міста залежно від прогнозованого значення середньодобової температури на наступну добу.

У межах запропонованої інформаційної технології "АСК-метео плюс» розроблено загальну функціональну схему потоків інформації на етапах вимірювання та передачі, зберігання та опрацювання даних вимірювання газоспоживання та метеофакторів міста на річному інтервалі спостереження із кроками накопичення даних: година, доба і тиждень.

РОЗДІЛ 4. РЕАЛІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ МОНІТОРИНГУ ПРОЦЕСУ ГАЗОСПОЖИВАННЯ МІСТА

Під *моніторингом процесу газоспоживання* розуміємо комплекс завдань вимірювання даних газоспоживання, формування БД, визначення статистичних характеристик. Це перш за все, визначення трендових компонент та залишкових компонент часових рядів газоспоживання, завдань поточного та довгострокового моніторингу та прогнозування. Проведення порівняльного аналізу реальних і прогнозованих значень процесу газоспоживання, здебільшого, проаналізованих на річному інтервалі з кроками накопичення даних: тиждень, доба, година.

Під завданнями моніторингу газоспоживання міста розуміємо таке:

1) поточний моніторинг (оперативний та короткостроковий):

- вимірювання поточних характеристик газоспоживання з інтервалом накопичення: 1 година, доба, тиждень;

- вивід даних вимірювання газоспоживання та метеофакторів у вигляді наочних графіків. Наприклад, графіків газоспоживання, робочого тиску та середньої температури з кроком одна година та доба;

- обчислення та наочне представлення у формі графіків чи цифрових значень різного роду статистичних характеристик процесу газоспоживання міста. Наприклад, оцінки математичного сподівання, дисперсії, кореляційної функції та ін.;

- відображення погодинних та добових графіків у вигляді суми адитивних компонент: тренду, квазігармонійних компонент і стохастичного залишку.

2) довгостроковий моніторинг:

- вимірювання поточних характеристик газоспоживання з інтервалом накопичення: тиждень, місяць, квартал, рік;

- вивід даних вимірювання газоспоживання та метеофакторів у вигляді наочних графіків. Наприклад графіків, добового газоспоживання та середньодобової температури в місті;

– на основі запропонованих математичних моделей здійснити обрахунок та прогнозування витрат газу, врахувавши прогнозовані значення температури повітря на наступну добу.

В інших параграфах описано інформаційну технологію моніторингу газоспоживання міста, запропоновано структуру БД для централізованого збереження й аналізу накопиченої інформації, також висвітлено алгоритмічне забезпечення моніторингу газоспоживання міста. Це слугує передумовою для розробки технічного завдання проекту автоматизованої системи (АС) моніторингу газоспоживання міста, про що йтиме мова в параграфі 4.1.

4.1. Реалізація задачі моніторингу газоспоживання як основа створення технічного завдання

Розробка автоматизованої системи керування процесом газоспоживання міста є актуальною для забезпечення підвищення продуктивності праці диспетчерської служби. Це допоможе уникнути помилок під час аналізу даних газоспоживання оператором та зменшить час на опрацювання великого потоку інформації, що надходить до диспетчерської служби.

Прикладом такої автоматизованої системи є запропонована «АСК-метео плюс» для диспетчерської служби газоспоживання. Під час створення інформаційної технології керуються низкою нормативних документів, зокрема ГОСТ-34.602-89 «Інформаційна технологія» та іншими пов'язаними документами [57, 155].

Метою створення АС «АСК-метео плюс» є наступне:

- погодинне та добове планування газоспоживання з урахуванням метеофакторів міста;
- підвищення ефективності управління технологічним процесом постачання газу для міста;
- забезпечення точності та достовірності вимірювань параметрів процесу газоспоживання міста;

– можливість апостеріального аналізу даних газоспоживання для задач стратегічного планування газоспоживання.

Основою побудови АС є написання технічного завдання (ТЗ). Перелічимо основні розділи ТЗ на АС «АСК-метео плюс»:

1. Загальні відомості

Релізація автоматизованої системи як сервісу за принципом SaaS («Software as a service»), тобто користувачу достатньо мати будь-який комп'ютер, інтернет та браузер. Сама програма та БД зберігається на віддаленому сервері. Доступ здійснюється за допомогою шифрованих протоколів з'єднання HTTPS, вхід у систему контролюють за допомогою паролю.

“АСК-метео плюс” – це програмний продукт, що реалізовує автоматизовану систему моніторингу газоспоживання для міста. Запропоновано реалізовувати його за принципом *«програмне забезпечення як послуга (англ. Software as a service, SaaS)»* – це модель пропозиції програмного забезпечення споживачеві, при якій постачальник розробляє веб-застосунок, розміщує його і управляє ним (самостійно або через третіх осіб) з метою і можливістю використання замовниками через інтернет. Замовники платять не за володіння програмним забезпеченням, а за його використання (через API, що доступний через веб і часто використовує веб-служби).

2. Призначення і цілі створення системи

Основне призначення програми – здійснення моніторингу газоспоживання міста шляхом показу графічної інформації значень робочих параметрів технологічного процесу постачання газу, проведення статистичних обрахунків результатів вимірювання даних процесу газоспоживання та здійснення прогнозу витрат газу для покращення роботи диспетчерської служби, що керує технологічним процесом газопостачання міста.

Основні можливості АС “АСК-метео плюс”:

– автоматизоване фіксування в БД вимірюваних значень процесу газоспоживання витратомірними комплексами типу «Флоутек»;

- автоматизований запис інформації з архіву метеослужби для конкретного міста у БД;
- вивід графіків газоспоживання похвилинних, погодинних та добових значень за вказаний період, з можливістю експорту даних;
- вивід графіків метеослужби (температури в місті) годинних та добових значень за вказаний період з можливістю експорту даних;
- можливість коригування даних та введення відсутніх значень;
- попередній аналіз даних для виявлення заздалегідь недійсних значень та їх коригування;
- вивід прогнозованих значень газоспоживання: оперативний та довгостроковий прогноз;
- виявлення різних роду нештатних та аварійних ситуацій під час газоспоживання міста.

3. Характеристика об'єктів автоматизації

У цьому розділі висвітлено найважливіші відомості про об'єкт автоматизації (або посилання на документи, де такі відомості можна знайти). Наприклад, у ньому поінформовано про наявність обчислювальної техніки, розміщення підрозділів, основні їх функції тощо. У цьому випадку необхідно забезпечити такі об'єкти автоматизації:

- наявність автоматичних вимірювачів та телекомунікаційних засобів передачі інформації про газоспоживання міста;
- наявність серверного обладнання для збереження БД та виконання програмного забезпечення на стороні сервера;
- наявність на робочому місці оператора в диспетчерському пункті та персонального комп'ютера, з'єданого з мережею інтернет (інтранет) і можливість використання програмного забезпечення на стороні сервера, де виконується АС (концепція SaaS – програмне забезпечення як сервіс).

Характеристики перелічених вище об'єктів автоматизації описано у відповідних розділах дисертації (Розділи: 1 і 4).

4. Вимоги до структури та функціонування системи

У цьому розділі вказано вимоги до структури інформаційної системи, чисельності та кваліфікації персоналу, режиму його роботи. Серед вимог можуть бути й додаткові чинники, зокрема до технічного обслуговування системи та захисту інформації від несанкціонованого доступу, до зберігання інформації та сумісності з іншими системами (також визначено засоби обміну інформацією), до перспектив розвитку системи тощо. Тут подано вимоги до системи в цілому, до функцій системи, а також до видів забезпечення.

Детально структуру АС розглянуто на Рис. 4.3 і описано в наступному параграфі.

5. Склад і зміст роботи по створенню системи

У цьому розділі міститься перелік стадій та етапів її створення, зазначається термін початку та закінчення кожного етапу або стадії, перелічуються виконавці робіт. Цей розділ містить також перелік документів, які мають завершувати кожен етап проектних робіт.

У вимогах до складу та змісту робіт із підготовки об'єкта автоматизації до запровадження системи в дію перелічено заходи, які передують упровадженню системи. Серед них найважливішими є такі:

- 1) сформувати отриману інформацію у вигляді придатному для обробки на ЕОМ;
- 2) створення необхідних підрозділів для функціонування інформаційної системи;
- 3) термін і порядок комплектування штатів та навчання персоналу.

Детально зміст робіт щодо створення АС описано в наступних параграфах розділу 4.

6. Вимоги до надійності

Надійність функціонування АС «АСК-метео плюс» забезпечується таким чином:

- розробкою оптимальної функціональної структури;

- вибором програмних та технічних засобів для АС, що відповідають сучасному рівню технологій систем обліку газоспоживання;
- використанням пристроїв безперебійного живлення для забезпечення функціонування витратомірних комплексів, серверного обладнання та персональних комп'ютерів диспетчерської служби;
- використання апаратного та програмного резерву і можливостей використання додатково (не менше 30% від розрахункових значень);
- використання надійних та безпечних засобів телекомунікаційного обладнання для отримання інформації про газоспоживання безпосередньо із небезпечної зони на газопроводі.

7. Вимоги до захисту інформації від несанкціонованого доступу

Для забезпечення захисту інформації від несанкціонованого доступу необхідно передбачити багаторівневі заходи безпеки на апаратно-програмному рівні.

Заходи апаратного рівня:

- автоматичні обчислювачі, що входять до витратомірних комплексів, повинні бути оснащені системою контролю втручання у сферу даних показників витрат (така можливість передбачена у витратомірних комплексах «Флуотек»);
- територія, на якій розташовані вимірювачі та прокладені засоби телекомунікаційного зв'язку передачі інформації результатів вимірів, має бути під охороною.

Заходи програмного рівня:

- доступ до програмного забезпечення АС має бути обмежений паролем входу та різним рівнем доступу з веденням в БД журналу, де фіксуються сеанси роботи кожного користувача;
- доступ до БД, розміщений на сервері також мусить бути закритим за допомогою паролів доступу з різними рівнями доступу (тільки читання, читання-запис).

8. Вимоги щодо збереження інформації

АС потребує постійного джерела живлення для витратомірних комплексів і для серверного обладнання. Щоби запобігти втратам інформації потрібно передбачити джерела безперебійного живлення відповідної потужності. Регламентні роботи мають містити в собі регулярне збереження даних вимірювань в первинному вигляді (двійковий формат HostLib) і резервне копіювання БД, розміщене на сервері на магніто-оптичних носіях інформації. Інтервал резервного копіювання має бути не менше ніж раз на тиждень, місяць, квартал та рік. Також в автоматичному режимі на сервері має проводитися резервне збереження БД за останні 10 діб.

4.2. Синтез ІТ на рівні компонент та протоколів обміну

Проведемо синтез запропонованої інформаційної технології на рівні окремих програмних компонент, фізичних протоколів та програмних інтерфейсів.

У наявній інформаційній системі, що реалізована як ASK 1.0, автоматично відбувається періодичне опитування витратомірних комплексів типу «Флоутек». Як правило, опитування на погодинних даних відбувається раз на добу. Після чого дані газоспоживання міста потрапляють у файлову БД формату зберігання HostLib на робочій станції оператора. Безпосередньо на лінійній магістралі автоматизована система контролю ASK 1.0 може проводити періодичне опитування витратомірних комплектів із інтервалом 10-30 хв, це необхідно для оператора, що забезпечує встановлений диспетчером тиск у газопроводі упродовж доби, а також для контролю і оперативного виявлення аварійних ситуацій.

Запропонована нова АСКметео плюс для її функціонування потребує реалізації більшої кількості компонент. А саме: необхідно отримувати та зберігати на сервері додатково метеоінформацію з сервера метрологічної станції; конвертації даних газоспоживання з двійкового файлового представлення і подальшого запису на сервер у БД; побудову поточних та прогнозних графіків із

врахуванням методів розбиття на річний тренд, гармонічних компонент та поділу річного часового ряду на окремі сезони. Синтез запропонованої інформаційної системи, що реалізовує інформаційну технологію газоспоживання міста, розглянуто на UML-діаграмі розгортання з компонентами та інтерфейсами (Рис. 4.1). Коротко опишемо зображені на діаграмі розгортання компоненти та інтерфейси, що їх поєднують.

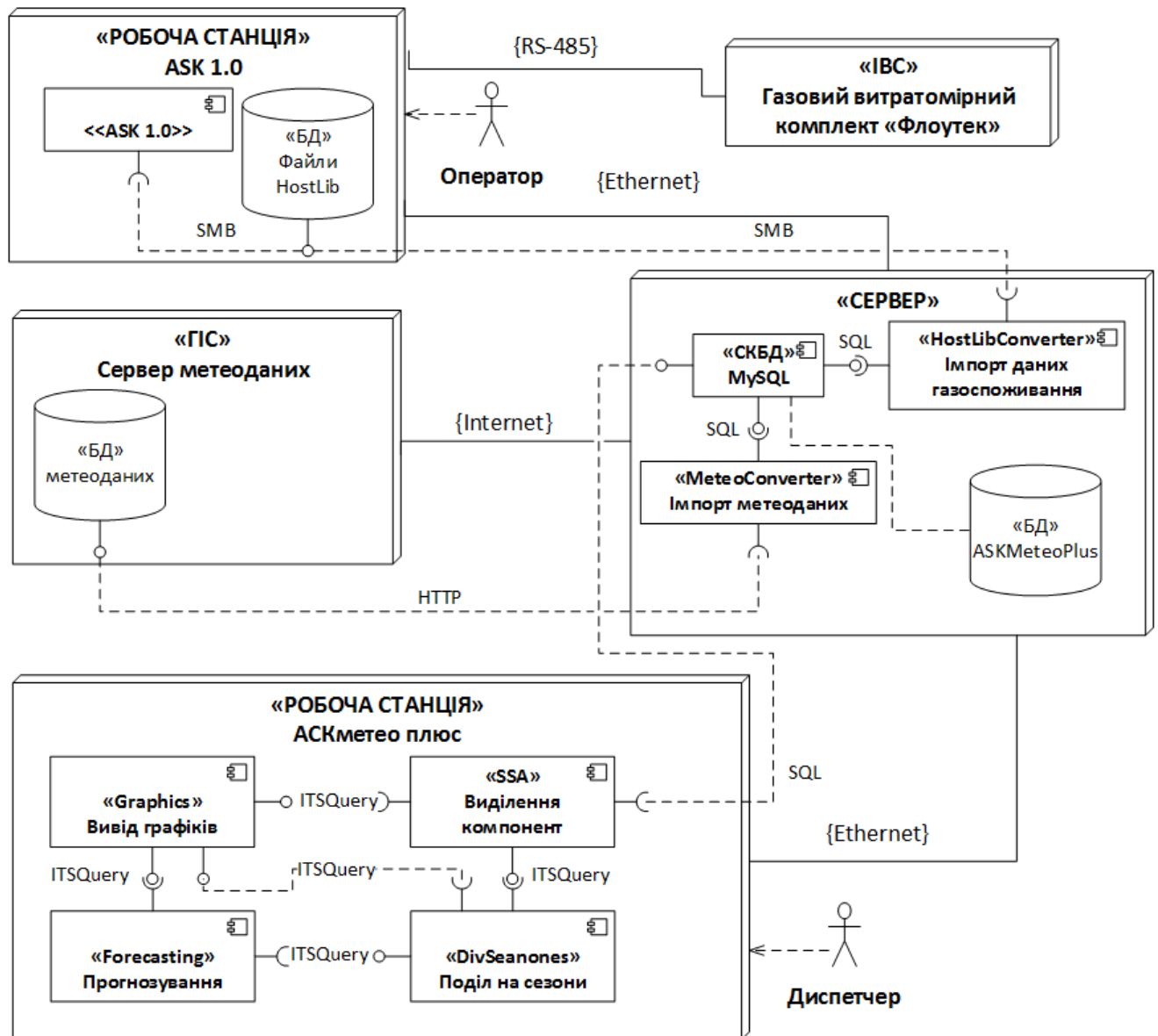


Рис. 4.1 – Діаграма розгортання з компонентами та інтерфейсами

Для забезпечення зберігання метеоданих на сервері БД необхідна реалізація фізичного інтерфейсу на базі інтернет-протоколу HTTP, це реалізовано програмною компонентою «MeteoConverter». Зберігання інформації

про газоспоживання міста на сервер БД реалізовано компонентою «HostLibConverter» на базі стандартного мережевого протоколу SMB. Робоча станція диспетчера забезпечує функціонування програмних компонент: «Graphics» – вивід графічної інформації на монітор диспетчера; «SSA» – реалізація методу «Гусениця-SSA» і розбиття на компоненти: річний тренд, гармонічні добові коливання та стохастичний залишок; «DivSeasones» – реалізація методу Бродського-Дарховського і поділ річного часового ряду газоспоживання на сезони; «Forecasting» – реалізація методу лінійного регресійного аналізу для побудови середньодобового прогнозу газоспоживання міста на наступну добу. Для обміну даними програмними компонентами був запропонований інтерфейс обміну даними ITSQuery, який передає кожному із компонент відповідний часовий ряд у вигляді масиву даних та додаткових параметрів.

Таке поєднання програмних нових компонент, зберігання даних газоспоживання і метеоданих на окремому сервері дає можливість реалізувати формування гнучких SQL-запитів до накопиченої БД результатів вимірювання та проводити ефективний моніторинг газоспоживання міста в інтервалі спостереження від доби до року з різними кроками накопичення від однієї години до тижня та місяця.

4.3. Реалізація програмного забезпечення «АСК-метео плюс», як основа реалізації ІТ моніторингу газоспоживання міста

У цьому параграфі зупинимося на описі програмного забезпечення, що реалізовує інформаційну технологію моніторингу як програмне забезпечення «АСК-метео плюс». Логічним завершенням створення інформаційної технології є три таких етапи (концепція Самарського «модель-алгоритм-програма») [149]:

- побудова математичних моделей та методів;
- створення алгоритмів обробки статистичних даних вимірювань;
- реалізація програмного забезпечення на основі моделей та алгоритмів.

Опишемо детальніше структуру та окремі елементи програмного забезпечення реалізації інформаційної технології моніторингу газоспоживання міста.

4.4. Загальна структура «АСК-метео плюс»

Наступним етапом після написання технічного завдання (ТЗ), опису вимог та побудови алгоритмів є розробка програмного забезпечення (ПЗ), що реалізовує інформаційну технологію моніторингу у вигляді АС.

На Рис. 4.3 розглянуто структурну схему ПЗ, що містить такі розділи:

- 1) моніторинг (вивід графіків та запланованих і поточних характеристик);
- 2) попередня обробка та коригування даних вимірювань;
- 3) статистична обробка даних вимірювань (поділ на компоненти і на сезони);
- 4) прогнозування газоспоживання (обчислення прогнозних значень на наступну добу);
- 5) діагностика аварійних станів (відслідковування відхилення технологічних параметрів від заданих диспетчером).

Моніторинг передбачає побудову графіків робочих параметрів процесу газоспоживання, а саме: Q – об'єму спожитого газу (м^3), RBS – робочого тиску в системі трубопроводу (кгс/см^2), T – температуру повітря в місті і т.п. Моніторинг будемо поділяти на поточний та довгостроковий, що в свою чергу поділяється на оперативний, короткостроковий, тижневий, місячний та річний.

Попередня обробка та коригування даних вимірювань передбачає два основних завдання. По-перше, це видалення заздалегідь неправильних значень результатів вимірювання в напівавтоматичному режимі, тобто система виводить «підозрілі» значення газоспоживання, а оператор приймає рішення щодо збереження чи видалення такої інформації. По-друге, трапляються випадки, коли окремі вимірювачі виходять із ладу й передають неправильні заміри даних газоспоживання чи інших робочих параметрів газопроводу. Враховуючи це, важливо власноруч коригувати дані та вводити правильні показники. Для цього

передбачено відповідні таблиці БД із внесеними корективами даних *Q_T_FIX_HOURS* та *Q_T_FIX_DAYS* для погодинних і добових значень, що відображені на структурній схемі БД (Рис. 3.3).

Статистична обробка даних вимірювань є основним розділом, що містить реалізацію математичних моделей та методів у вигляді конкретних алгоритмів інформаційної технології моніторингу газоспоживання міста. Цей розділ реалізовує такі можливості: а) виділення трендів (методами EMD і «Гусениця-SSA»): квазігармонійних компонент та стохастичний залишок; оцінка математичного сподівання і дисперсії розсіювання для річних та квазігармонійних компонент; б) поділ часового ряду газоспоживання на сезонні ділянки методом Бродського-Дарховського (аналіз стохастичного залишку за зміною дисперсії [3] та аналіз температури, тобто знаходження дати ввімкнення і вимкнення центрального опалення міста); в) кореляційний аналіз (перевірка кореляційної залежності Q-T на кожній виділений сезонній ділянці); г) регресійний аналіз (побудова лінії регресії для кожної сезонної ділянки).

Прогнозування газоспоживання є важливим етапом реалізації моніторингу газоспоживання міста. Це дає додаткову інформацію у системах контролю, обліку та підтримки рішень для диспетчерської служби, що забезпечує контроль за технологічних процесом постачання газу у місто.

Газоспоживання міста за попередню добу та прогнозоване значення очікуваної середньодобової температури в місті визначає об'єм газоспоживання на наступну добу. Для забезпечення добового об'єму газу необхідно встановити відповідний робочий тиск в газопроводі, який безпосередньо впливає на швидкість подачі природного газу в місто. Неправильне встановлення технологічних параметрів подачі газу (зокрема, робочого тиску в газопроводі) зумовлює передаварійні та аварійні ситуації, а також незаплановане вимкнення газу для окремих категорій споживачів (так званих буферних споживачів). Розділ Прогнозування газоспоживання містить реалізацію таких алгоритмів на основі методу лінійного регресійного аналізу для виділених сезонів часового ряду на річному інтервалі спостереження. Такі види прогнозу дають аналітичний

матеріал диспетчерській службі та керівництву газопроводу для проведення оперативного, коротко- та довготривалого управління і стратегічного планування у продовж наступних років.

Діагностика аварійних станів дає можливість переглянути показники даних за певне число та годину, отримані з деякими порушеннями, а саме: втручанням в автоматичні вимірювачі, несправністю вимірювачів, введенням значень від руки (робота з константами).



Рис. 4.2 – Приклад діагностики аварійної ситуації на газопроводі

У форматі даних, що передаються з автоматичних лічильників передбачено три види аварій: А, В, С. Параметр "А" сигналізують про виникнення аварійних ситуацій (несправність аналогового датчика, dP – нижче мінімального значення, напруга живлення менше допустимої, збій живлення, несправність в передачі даних). Параметр "В" – несанкціоноване втручання в пам'ять обчислювача. "С" – робота з константами (введення витрат газу від руки, тиску та інших характеристик, що впливають на покази газоспоживання).

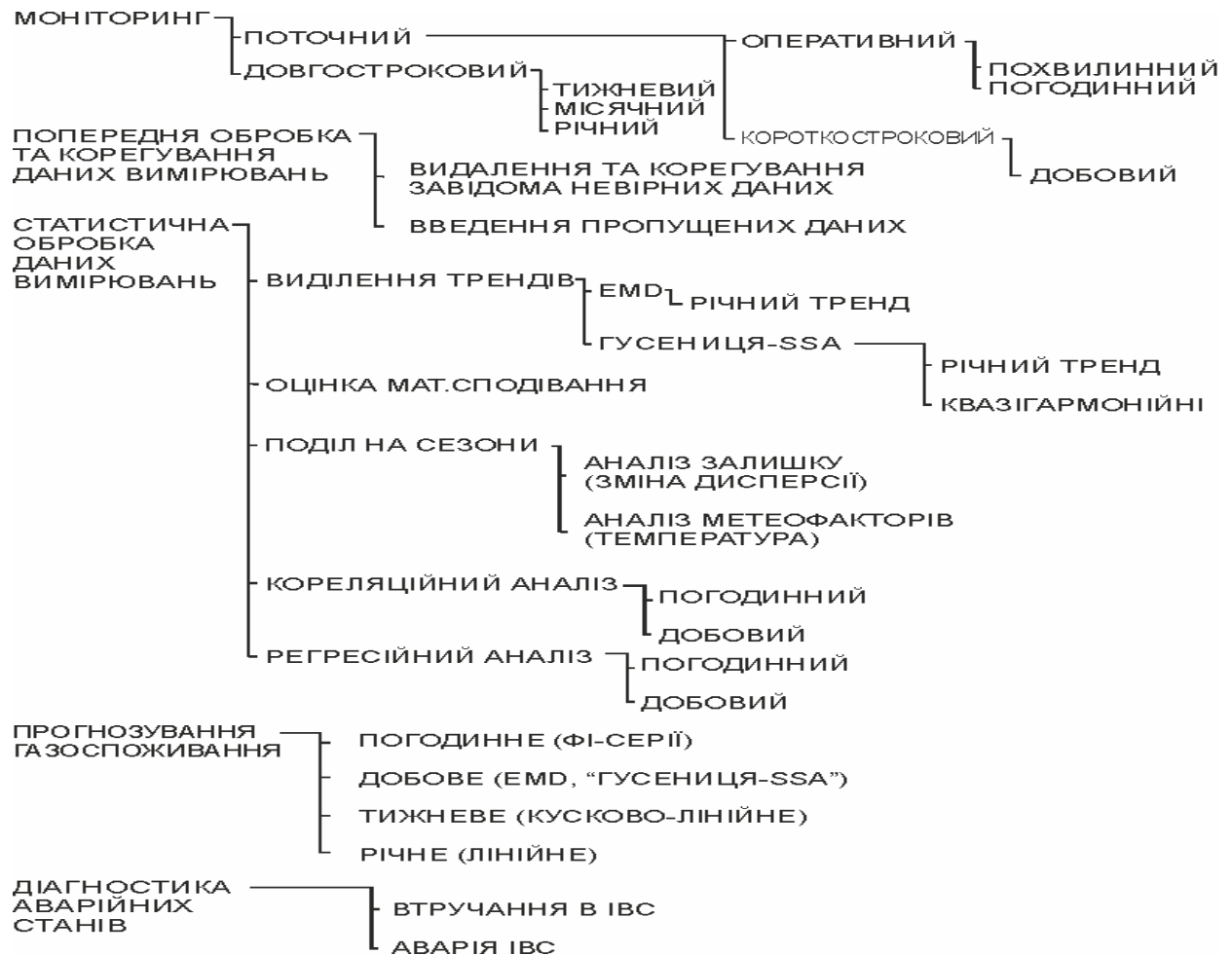


Рис. 4.3 – Структурна схема АС «АСК-метео плюс»

4.4.1. Побудова графіків добового та погодинного газоспоживання

Побудова графіків добового та погодинного газоспоживання реалізовує наочний спосіб показу різних видів моніторингу робочих параметрів технологічного процесу газоспоживання міста.

Оперативний моніторинг. До завдань оперативного моніторингу належить щохвилинний та погодинний моніторинг. *Похвилинний моніторинг* використовують безпосередньо на об'єкті газопроводу, який здійснює оператор, що встановлює робочий тиск в трубопроводі. Процес керування тиском у газопроводі відбувається наступним чином:

- диспетчер повідомляє оператору, який робочий тиск потрібно встановити в газопроводі на наступну добу;

- оператор, керуючись показниками манометра, проводить регулювання тиску за допомогою регулятора тиску у встановленому діапазоні значень ($\pm 5\%$);
- оператор спостерігає за показами манометра (10-20 хв), переконуючись у правильно встановленому робочому тиску в трубопроводі;
- якщо встановлений робочий тиск вийшов за діапазон $\pm 5\%$ від встановленого значення, то оператор проводить додаткове налаштування регулятора тиску та спостерігає за показами манометра (10-20 хв).

Завдання оператора на газопроводі підтримувати заданий диспетчером робочий тиск в газопроводі в межах допуску $\pm 5\%$ від заданого значення.

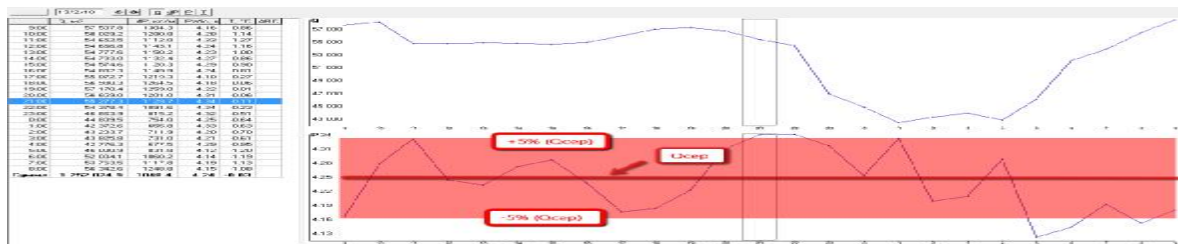


Рис. 4.4 – Графік погодинного моніторингу Q і P упродовж доби

Погодинний моніторинг відображається на екрані оператора диспетчерської служби (Рис. 4.4). Оскільки диспетчерську службу відслідковує чи дотримується оператор на газопроводі заданого нею значення робочого тиску в газопроводі на наступну добу.

Короткостроковий моніторинг. Під короткостроковим моніторингом розуміємо спостереження за технологічними параметрами газоспоживання від однієї доби до місяця, з кроком накопичення даних 1 доба. Приклад моніторингу газоспоживання за лютий 2010 року відображено на Рис. 4.5.

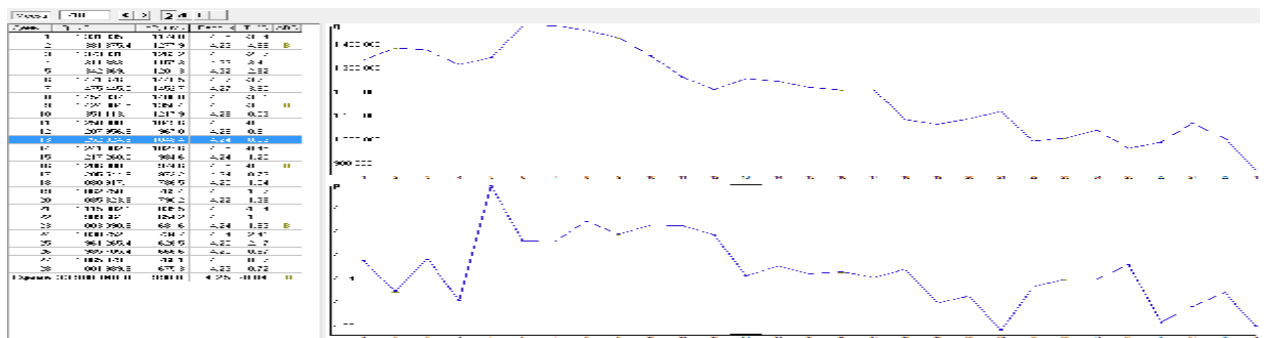


Рис. 4.5 – Графік добового моніторингу Q і P упродовж лютого 2010 року

Такий моніторинг дає аналітичну інформацію для диспетчерської служби про динаміку зміни газоспоживання упродовж місяця і дає можливість робити прогноз на наступний місяць із врахуванням зміни сезонів (зима-літо).

Довгостроковий моніторинг. Завдання довгострокового моніторингу оцінити динаміку газоспоживання упродовж року з кроком накопичення даних – один тиждень.

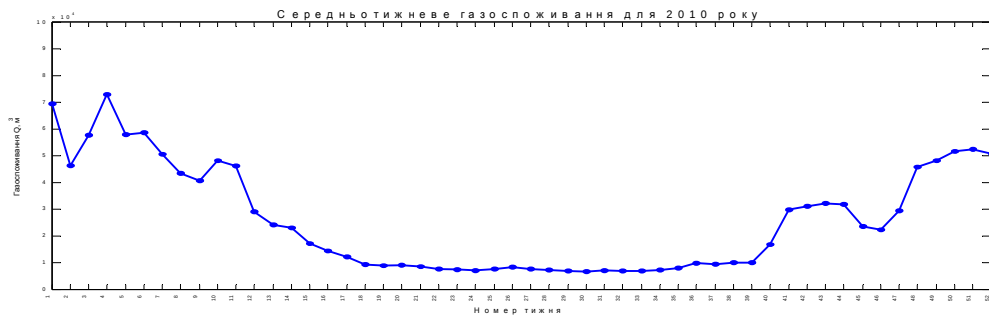


Рис. 4.6 – Графік середньо тижневого газоспоживання за 2010 рік

Аналогічно для диспетчерської служби виводиться графік середньотижневої температури повітря в місті (Рис. 4.7).

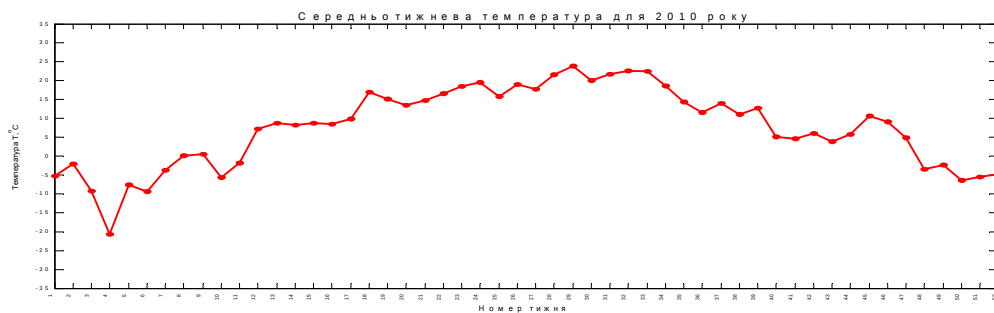


Рис. 4.7 – Графік середньо тижневої температури в місті за 2010 рік

Як бачимо, така графічна передача інформації моніторингу технологічного процесу газоспоживання дасть додатковий аналітичний матеріал диспетчеру для прийняття правильного рішення про управління процесом постачання природного газу для міста.

4.4.2. Діагностування аварійних ситуацій на газопроводі

Реалізація алгоритму діагностики аварійних ситуацій програмного комплексу «АСК-метео плюс» здійснюється на основі аналізу полів аварійних ситуацій та втручань, що зберігаються автоматичними обчислювачами витратомірного комплексу Флоутек. Відповідно корекція неправильно отриманих даних здійснюється на основі роботи блоку «DATA HOURS CORRECTOR» і «DATA DAYS CORRECTOR» (див. Рис. 3.3).

Приклад реалізації методики пошуку та відображення аварійного стану та результатів аварії на газопроводі, в результаті якого були неправильно отримані результати даних вимірювання за період від 3 до 6 лютого 2010 року подано в наступній таблиці (Таблиця 4.1) та відображено на Рис. 4.8.

Таблиця 4.1 Фрагмент неправильних даних за аварійний період від 3-6 лютого 2011 року на газопроводі міста

Date	Q, м ³	Тсер, °C	Примітка
2010-02-01	1,785,743	-22.78	
2010-02-02	1,857,446	-24.69	
2010-02-03	2,667,363	-24.04	Невірні покази лічильника
2010-02-04	2,558,581	-15.55	Невірні покази лічильника
2010-02-05	2,477,759	-15.33	Невірні покази лічильника
2010-02-06	2,388,732	-13.15	Невірні покази лічильника
2010-02-07	1,863,569	-14.61	
2010-02-08	1,731,460	-18.92	

Неправильно отримані дані, відображено графічно на наступному рисунку.

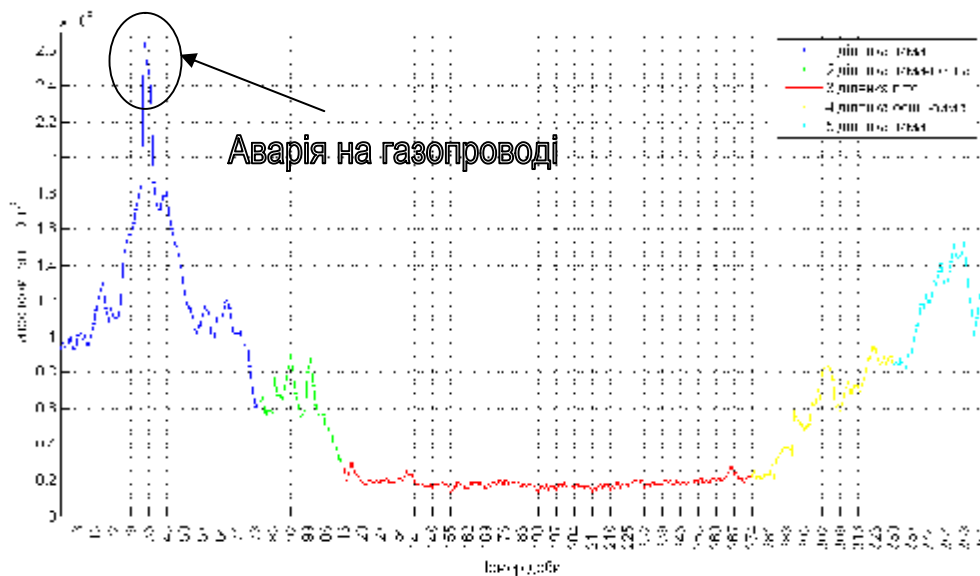


Рис. 4.8 – Графік добового споживання газу із визначеною датою аварії на газопроводі 3-6 лютого 2010 р.

Підсумовуючи, можна вважати діагностичними ознаками аварійної ситуації на газопроводі інформацію про аварію їх автоматичних обчислювачів, а також різку зміну та вихід за встановлене значення P робочого тиску в газопроводі. Тому прогнозування та запобігання таким ситуаціям є актуальним завданням моніторингу газоспоживання міста.

4.5. Функціональна схема накопичення даних вимірювання в АС «АСК метео плюс»

Для забезпечення характеристик точності та накопичення даних вимірювання важливими є і характеристики ІВС, і безперебійне зберігання отриманих даних у відповідній БД.

Основні технічні засоби вимірювання та передачі даних вимірювань газоспоживання та метеофакторів і накопичення в БД «АСК-метео плюс» розглянуто на функціональній схемі (рис. 4.8).

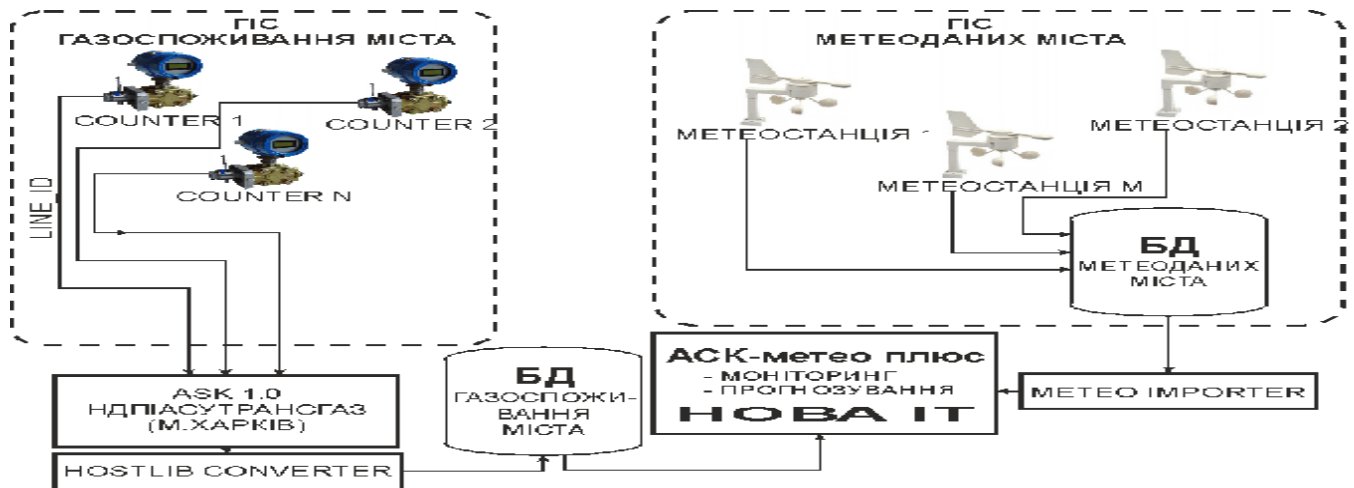


Рис. 4.9 – Функціональна схема накопичення та зберігання метеоданих і даних газоспоживання міста та передачі інформації в базу даних «АСК-метео плюс»

В основу отримання даних газоспоживання міста покладено використання витратомірного комплексу «Флоутек» (детально описано у розділі 1). Дані з автоматичних опитувачів знімаються АС «ASK 1.0» і зберігаються у промисловий двійковий формат даних hostlib. На сервері розроблене програмне забезпечення «HostLib Converter 1.0» проводить зчитування нових даних і запис їх у розроблену БД. Паралельно працює розроблена програма «Meteo Converter», що зчитує дані із сайту метеостанції, проводить попередню обробку та запис і розроблену БД, що є частиною нової ІТ моніторингу газоспоживання міста. Процент запису накопичених даних у БД відбувається кожної доби і містить накопичені дані вимірювання з кроком одна година та доба.

4.6. Структурна схема ІТ моніторингу

Запропонована інформаційна технологія моніторингу дає можливість проводити вимірювання, передачу інформації метеоданих та газоспоживання міста в БД «АСК-метео плюс», здійснювати моніторинг і статистичний аналіз й прогнозування процесу добового газоспоживання міста з урахуванням метеофакторів.

Загалом, нову інформаційну систему можна розділити на окремі етапи її функціонування (Рис. 4.9):

– вимірювання та накопичення інформації. Реалізовано на основі наявних АС «ASK 1.0» та ІС збору метеорологічних даних для міста;



Рис. 4.10 – Структурна схема інформаційної технології «АСК-метео плюс»

– зберігання інформації. Для цього була розроблена БД, що уможливило накопичення даних вимірювання газоспоживання та метеофакторів з кроком накопичення година, доба, тиждень, місяць, рік;

– опрацювання даних. Реалізовує розроблене програмне забезпечення: моніторингу і опрацювання даних, розбиття на ділянки (сезони), добове прогнозування газоспоживання в системі контролю обліку, управління та прийняття рішень;

– етап управління. Реалізований через диспетчерську службу, для якої формуються опрацьовані дані з даної АС «АСК-метео плюс», що безпосередньо встановлює робочий тиск на ГТС міста на наступну добу.

Розроблена інформаційна технологія моніторингу «АСК-метео плюс» дає можливість операторам в диспетчерській службі контролювати нормальний режим роботи ГТС міста з врахуванням добового прогнозу на основі запропонованого методу прогнозування і прогнозованих даних середньодобової температури на наступну добу. Впровадження розробленої інформаційної технології моніторингу газоспоживання міста в робочу систему контролю обліку, управління і прийняття рішень процесу газоспоживання міста дає можливість накопичувати дані для стратегічного планування здійснювати добовий прогноз.

4.7. Перспективи розвитку досліджень інформаційного забезпечення моніторингу газоспоживання

На основі отриманих результатів у дисертації роботі слід виокремити конкретні рекомендації щодо перспективних напрямів подальших досліджень процесу газоспоживання.

Перелічимо основні задачі, що потребують ґрунтовнішого вивчення наступними дослідниками і недостатньо висвітлені в цій роботі:

- накопичення й аналіз даних вимірювання більше, ніж за 5 років, отримання більш потужної статистичної БД вимірювання газоспоживання, яка надалі зможе визначити динаміку процесу газоспоживання міста, що дасть можливість проводити більш ефективний довгостроковий моніторинг та стратегічне планування процесу газоспоживання міста;

- наступні кроки щодо проведення процесу вимірювання даних газоспоживання спрямовані на отримання значень вимірювань із меншими похибками, що дає можливість проводити перелічені завдання моніторингу з більш точними характеристиками;

- розвиток засобів обчислювальної техніки, накопичення БД дає можливість проводити моніторинг у реальному часі та дозволяє створити автоматизовану систему моніторингу з відповідними протоколами збереження даних обчислень;

- накопичення даних вимірювань процесу газоспоживання з різних об'єктів: міст, сіл, областей, регіонів створить передумови побудови геоінформаційного моніторингу регіонів чи країни загалом. Для цього є перспективним застосування обчислювальних потужностей Українського національного грид;

- необхідність створення комплексної автоматизованої системи управління технологічним процесом газоспоживання регіону та країни. А саме виділення трьох рівнів автоматизації: верхній (контроль і управління на рівні диспетчерського управління), середній (рівень управління технологічним процесом) та нижній (рівень давачів та регулюючих механізмів, що забезпечують встановлений робочий тиск подачі природного газу до кінцевих споживачів).

4.8. Висновки

Реалізація інформаційної технології моніторингу газоспоживання міста знайшла своє відображення в запропонованій АС «АКС моніторингу газоспоживання міста».

Основою для адаптації результатів дисертації Інформаційні технології моніторингу газоспоживання міста є аналіз та статистична обробка результатів вимірювання технологічних параметрів процесу газоспоживання. Зокрема, об'єму спожитого газу, робочий тиск у систему газопостачання та метеорологічні фактори для даного міста з різним інтервалом накопичення даних (похвилинний, погодинний, добовий, тижневий, місячний). Такий адаптивний підхід дав можливість:

- розробити структуру сховища даних та наповнити її реальними статистичними даними вимірювання процесу газоспоживання та метеофакторів міста;

- запропонувати конкретну АС «АСК-метео плюс», де програмно реалізовано запропоновані алгоритми на основі математичних моделей та методів, що описують процес газоспоживання міста;

- запропонувати ефективну систему моніторингу газоспоживання та діагностики аварійних ситуацій на газопроводі. А також можливість короткострокового та довгострокового прогнозування витрат газу для міста.

Загалом запропонована інформаційна технологія може стати прототипом для створення сучасних автоматизованих системи моніторингу газоспоживання міст, областей та регіонів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертації розв'язано важливу науково-практичну задачу розробки інформаційної технології моніторингу газоспоживання та її впровадження в систему обліку та контролю з метою підвищення ефективності аналізу даних вимірювань, планування та прогнозування витрат газу з урахуванням режимів роботи газотранспортної системи міста упродовж року.

1. На основі аналізу наукових праць у дослідженні обґрунтовано актуальність і важливість науково-практичного завдання створення

інформаційної технології моніторингу газоспоживання міста, що дозволило сформулювати основні вимоги до неї: врахування циклічної та випадкової природи газоспоживання, можливість ефективного аналізу та прогнозу з врахуванням сезонних режимів роботи газотранспортної системи міста.

2. Розроблено адитивну математичну модель процесу газоспоживання міста, що є сумою детермінованого річного тренду (частка потужності вкладу 90-96 %) та кусково стохастично-періодичного процесу (4-10 %), яка дала можливість врахувати, циклічний характер газоспоживання та режими роботи газотранспортної системи міста упродовж року.

3. Запропоновано метод аналізу газоспоживання з використанням методу «Гусениця-SSA», що дало можливість виділити компоненти запропонованої математичної моделі та провести їх оцінку.

4. Застосувавши модифіковану статистику Колмогорова-Смірнова адаптовано метод розбиття річного інтервалу газоспоживання на підінтервали, що уможливило виділення п'яти основних ділянок, які відображають особливості роботи газотранспортної системи міста в опалювальний, неопалювальний та перехідні періоди.

5. Удосконалено метод лінійного регресійного аналізу для добового прогнозу газоспоживання, що дає можливість розраховувати прогнозні значення витрат газу протягом року залежно від того, який режим роботи газотранспортної системи міста. Проведено оцінку точності методу шляхом обчислення довірчих інтервалів для відповідних режимів роботи.

6. Запропоновано інформаційну технологію у вигляді відповідних UML-діаграм для проектування структури та реалізації сховища даних, що дає змогу накопичувати, зберігати та ефективно опрацьовувати дані вимірювань газоспоживання та метеофакторів шляхом статистичного аналізу та прогнозу.

7. Розроблено інформаційну технологію моніторингу газоспоживання шляхом впровадження запропонованих методів та їхньої реалізації в програмному пакеті «АСКметео плюс», що може бути використано для удосконалення наявної інформаційної системи обліку і контролю газоспоживання міста та підвищення ефективності її роботи та рівня автоматизації у декілька разів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Alexandrov Th. Automatic extraction and forecast of time series cyclic components within the framework of SSA. / Th.Alexandrov, N.Golyandina // In: Proceedings of the 5th St.Petersburg Workshop on Simulation, June 26-July 2. – St.Petersburg, 2005. – P. 45-50
2. Bendat J. S. Random data: analysis and measurement procedures / J. S. Bendat, A. G. Piersol. – New York: Wiley, 2000. – 594p.
3. Brodsky B.E. Non-Parametric Statistical Diagnosis: Problems and Methods (Mathematics and Its Applications) / B.E. Brodsky, B.S. Darkhovsky. – Kluwer Academic Publishers, Dordrecht (the Netherlands), 2000. – 515p.
4. Brodsky B.E. A nonparametric method for the segmentation of the EEG / B.E. Brodsky, B.S. Darkhovsky, A.Ya. Kaplan, S.L. Shishkin // Computer Method and Programs in Biomedicine №60. – 1999. – P.93-106.
5. Brown R.H. Development of Artificial Neural-network Models to Predict Daily Gas Consupcion [Електронний ресурс] / Brown R.H. Matin L., Kharout P. and Piessens L.P // Industrial Electronics, Control, and Instrumentation, 1995., Proceedings of the 1995 IEEE IECON 21st International Conference on Issue Date: 6-10 Nov 1995. - 1995. - Volume: 2. - P. 1389-1394/ - Режим доступу до журн.: <http://dx.doi.org/10.1109/IECON.1995.484153>
6. Fedoryshyn F. Audit of natural gas accounting units in order to improve measurement accuracy / R. Fedoryshyn, F. Matiko, Ye. Pistun // Intern. youth conf. on energetics : progr. and abstr., 31 May – 2 June 2007, Budapest (Hungary). – Budapest, 2007. – P. 181–182.
7. Gil S. Generalized Model of Prediction of Natural Gas Consupcion [електронний ресурс] / Gil S., Deferrari J. // Transaction of the ASME. – 2004. – Vol. 126. – P. 90-97 Режим доступу до журн.: http://www.fisicarecreativa.com/papers_sg/papers_sgil/Gas/JER_2k4a.pdf
8. Golyandina N. SSA-based approaches to analysis and forecast of multidimensional time series. / D.Stepanov, N.Golyandina // In: Proceedings of

- the 5th St.Petersburg Workshop on Simulation, June 26-July 2. – 2005. – P. 293-298
9. Golyandina N.E. Analysis of Time Series Structure: SSA and Related Techniques / Golyandina N.E., Nekrutkin V.V., and Zhigljavsky A.A. – Boca Raton: Chapman&Hall/CRC, 2000. – 305 p.
 10. Harvey A.C. The formulation of structural time series models in discrete and continuous time / A.C. Harvey – Universitat Politècnica de Barcelona. – 1983. – pp. 563-573. – Mode of access: <http://hdl.handle.net/2099/4515>. - Last access: 2013. – Title from the screen.
 11. Hilbert-Huang Transform: Theory and Applications [Electronic resource] // The 3rd International Conference, June 20 - 24, 2011: Proceedings. – Mode of access: <http://ldaa.fio.org.cn>. - Last access: 2011. – Title from the screen.
 12. Huang N. Hilbert-Huang transformation and its application // Norden Huang, Samuel Shen. – Singapore: B&JO Enterprise, 2005. – 311p.
 13. Huang N. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis / Norden E. Huang, Zheng Shen, Steven R. Long, Manli C. Wu, Hsing H. Shih, Quanan Zheng, Nai-Chyuan Yen, Chi Chao Tung and Henry H. Liu // The royal Society. – 1996. – P. 903-995.
 14. Korobeynikov A. Computation - and space-efficient implementation of SSA / Statistics and Its Interface. – Volume 3, Number 3 . – p.357-368.
 15. MySQL website / [Електронний ресурс] // Електронні дані. – Режим доступу: <http://www.mysql.com/> . – назва з екрану.
 16. Shekel J. "Instantaneous frequency" / J. Shekel. – Proc. IRE. – 1953. – vol. 41. – p.548.
 17. Soldo Bozidar Forecasting natural gas consumption / Bozidar Soldo // Applied Energy. – 2012. – P. 26-37.
 18. Агаев Н.Б. Краткосрочное прогнозирование объема газопотребления с использованием искусственных нейронных сетей [Електронний ресурс] / Н.Б. Агаев. – Уфа: УГНТУ, электронный научный журнал "Нефтегазовое

- дело", 2007 – Режим доступа до журн. : http://www.ogbus.ru/authors/Agayev/Agayev_1.pdf
19. Айвазян С. А. Прикладная статистика: Основы моделирования и первичная обработка данных / С. А. Айвазян, И. С. Енюков, Л. Д. Мешалкин. – М. : Финансы и статистика, 1983. – 472 с.
 20. Александров Ф. Выбор параметров при автоматическом выделении трендовых и периодических составляющих временного ряда в рамках подхода "Гусеница"-SSA. / Ф. Александров, Н. Голяндина. // Труды IV Международной конференции "Идентификация систем и задачи управления" SICPRO'05. – Москва, 2005. – С. 1849-1864.
 21. Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов / Т. Андерсон; пер. с англ. И. Г. Журбенко, В. П. Носко. – М. : Мир, 1967. – 759 с.
 22. Андрійшин М.П. Вимірювання витрати та кількості газу : довідник. / Канєвський С.О., Карпаш О.М. та ін. – Івано-Франківськ : ПП "Сімик". – 2004. – 160 с.
 23. Баранов Г.Л. Модель стохастически периодических электроэнергетических нагрузок и анализ графиков энергосистем / Г.Л. Баранова, Б.Г. Марченко, Н.В. Приймак // Проблемы энергосбережения. – 1990. – №3. – с. 60-65.
 24. Баранов Г.Л. Построение модели и анализ стохастически периодических нагрузок энергосистем / Г.Л. Баранов, Б.Г. Марченко, Н.В. Приймак // Известия АН СССР. Энергетика и транспорт. – 1991. – Т.37. – №2. – с. 12-21.
 25. Бицадзе Д.Г. Прогнозирование расхода природного газа / Д.Г. Бицадзе, Р.И. Долмазашвили, Т.Ш. Хазашвили // Тезисы докладов республиканского семинара на тему: "Математическое и техническое моделирование процессов газового хозяйства". – Тбилиси. – 1988. – С. 6-7.
 26. Белова І.В. Реалізація алгоритмів виділення трендових складових часових рядів газоспоживання в Українському національному гріді / І.В. Белова, О.Б. Назаревич, І.В. Стьопчкіна // Theoretical and Applied Aspects of

- Cybernetics. Proceeding of the International Scientific Conference of Students and Young Scientists (21-25 January) — Kyiv:Bukrek, 2011. — pp. 63-64.
- 27.Белова І.В. Реалізація «Гусениця»-SSA для паралельних систем зі спільною пам'яттю / І.В. Белова, О.Б. Назаревич // Теоретичні і прикладні проблеми фізики, математики та інформатики: матеріали ІХ Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених ч.1 (22 квітня). - К.:КПІ:Фізтех, 2011 – С.66-67
 - 28.Бендат Дж. Прикладной анализ случайных данных. / Дж. Бендат, А. Пирсол. – М. : Мир, 1989. – 540 с.
 - 29.Бокс Дж. Анализ временных рядов. Прогноз и управление, вып.І / Дж. Бокс, Г. Дженкинс. – М., "Мир", 1974.
 - 30.Бродский Б.Е., Дарховский Б.С. Асимптотический анализ некоторых оценок в апостериорной задаче о разладке // Теория вероятностей и ее применения. – 1990. – т.35, №3. – с. 551-557.
 - 31.Бродский Б.Е., Дарховский Б.С. Алгоритм апостериорного обнаружения многократных разладок случайной последовательности // Автоматика и телемеханика. – 1993. – №1. – с. 62-67.
 - 32.Бродский Б.Е., Дарховский Б.С. Проблемы и методы вероятностной диагностики // Автоматика и телемеханика. – 1999. – №8. – с. 3-50.
 - 33.Бродский Б.Е., Дарховский Б.С. Непараметрический метод обнаружения моментов переключения двух случайных последовательностей // Автоматика и телемеханика. – 1989. – №10. – с. 66-74.
 - 34.Ван-дер-Зил А. Флуктуации в радиотехнике и физике / Ван-дер-Зил А. – М. –Л. : Госэнергоиздат, 1958. – 229 с.
 - 35.Венгльовський В.І. Аналіз графіків добового споживання і подачі теплоти на гаряче водопостачання / В.І. Венгльовський // Вісник Національного університету "Львівська політехніка" (Теорія і практика будівництва). – Львів, 2008. – № 627. – С. 18-22.
 - 36.Газ природний горючий. Визначення обсягів витрат природного газу на виробничо-технологічні потреби під час його транспортування

- газотранспортною системою та експлуатації підземних сховищ газу. Порядок розрахунку: СОУ 60.3-30019801-100:2012. – [Чинний від 2012-01-11]. – К.: ДК "Укртрансгаз", 2
37. Гарляускас А.И. Теоретическое моделирование оперативного и перспективного планирования систем транспорта газа / А.И. Гарляускас. – М.: Недра, 1975. – 160с.
 38. Гарляускас А.И. Теоретические и прикладные исследования оптимизации газоснабжающих систем: автореф. дис. на соиск. научн. ст. докт. техн. наук: спец. 05.13.03 / А.И. Гарляускас. - Новосибирск: АН СССР. Сибирское отделение. Секция кибернетики, 1975. - 46с.
 39. Гихман И. И. Введение в теорию случайных процессов. / И. И. Гихман, А. В. Скороход. – М. : Наука, 1965. – 656 с.
 40. Гладышев Е. Г. О периодически коррелированных случайных последовательностях / Е. Г. Гладышев: Докл. АН СССР. - 1961. - 137, № 5.- С. 2236-2239.
 41. Гнеденко Б. В. Введение в теорию массового обслуживания / Б. В. Гнеденко, И. Н. Коваленко. – М. : Наука, 1983. – 398 с.
 42. Грабовський М. Довготерміновий прогноз попиту на нафту та газ в Україні / М. Грабовський // Нафта і газ. Енергетичний бюллетень. – 2005. - №7. – С. 12-15.
 43. Гречка О.М. Перспективний аналіз продажу природного газу споживачами України. / О.М. Гречка // Нафтова і газова промисловість. – 2005. - №5. – С.37-39.
 44. Гудзенко Л. И. О периодически нестационарных процессах / Л. И. Гудзенко // Радиотехника и электроника. – 1959. – Т. 4, Вып. 6. – С. 1026-1034.
 45. Гудріт Є.Р. Стан впровадження в Україні комплексу міждержавних стандартів "Государственная система обеспечения единства измерений. Измерение расхода и количества гидкостей и газов с помощью стандартных сужающих устройств" ГОСТ 8.586.1-2005 – ГОСТ 8.586.5-2005 / Є.Р. Гудріт, Є.П. Пістун // Вимірювання витрати та кількості газу :

- П'ята всеукр. наук.-техн. конф., 23–25 жовт. 2007 р., Івано-Франківськ : зб. тез доп. – Івано-Франківськ, 2007. – С. 51.
46. Данилова Д.Л. Главные компоненты временных рядов: метод "Гусеница" / Д.Л. Данилова, А.А. Жиглявский. – Санкт-Петербург, 1997. – 325 с.
47. Дарховский Б.С. Непараметрический метод для апостериорного обнаружения момента "разладки" последовательности независимых случайных величин // Теория вероятностей и ее применения. – 1976. – т.21, №1. – с. 180-184.
48. Дарховский Б.С. Общий метод оценивания момента изменения вероятностных характеристик случайной последовательности // Статистические проблемы управления. – 1984. – вып.65. – с. 76-82.
49. Дженкинс Г. Спектральный анализ и его приложение / Г. Дженкинс, Д. Ваттс. Вып. 1. – М. : Мир, 1971. – 316 с.
50. Дороговцев А. Я. Периодические стационарные режимы бесконечномерных детерминированных и стохастических динамических систем / А. Я. Дороговцев. – К. : Вища школа, 1992. – 319 с.
51. Драган Я. П. Линейные периодически коррелированные случайные процессы / Я. П. Драган, Н. В. Приймак. – Львов, 1986. – 30 с. – (Препринт / АН УССР, Физико-механический ин.-т, № 120).
52. Драган Я. П. Структура и представление моделей стохастических сигналов / Я. П. Драган. – К. : Наукова думка, 1980. – 384 с.
53. Єнін П.М. Газопостачання населених пунктів і об'єктів природним газом: / П.М. Єнін, Г.Г. Шишко, К.М. Предун // Навч. посіб. для студ. сан.-техн. ф-ту і слухачів ф-ту підвищ. кваліфікації та перепідготов. спец. / Київський національний ун-т будівництва і архітектури. — К. : Логос, 2002. — 198с. : рис. — Бібліогр.: с. 161-164.
54. Єріна А.М. Статистичне моделювання та прогнозування: Навч. Посібник. / А.М. Єріна – К.: КНЕУ, 2001. – 170с.
55. Загородна Н.В. Розробка методу короткотермінового прогнозу добового газоспоживання в опалювальний період на основі регресійного аналізу /

- Н.В. Загородна, Я.В. Литвиненко, М.Є. Фриз // Вісник Тернопільського державного технічного університету ім. І.Пулюя. – Тернопіль, 2010. – Том 15. – №4. – С. 130 – 139.
- 56.Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир. – 1976. – 168 с.
- 57.Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Техническое задание на создание автоматизированной системы / ГОСТ 34.602-89.
- 58.Івахненко А.Г. Метод групового урахування аргументів - конкурент методу стохастичної апроксимації // Автоматика. - 1968. - № 3. - С. 58-72
- 59.Кашьяп Р.Л. Построение динамических стохастических моделей по экспериментальным данным / Р.Л. Кашьяп, А.Р. Рао. – М. : Наука, 1983. – 384 с.
- 60.Кендалл М. Многомерный статистический анализ / М. Кендалл, А. Стюарт. – М. : Наука, 1976. – 736 с.
- 61.Кендалл М. Статистические выводы и связь / М. Кендалл, А. Стюарт. – М. : Наука, 1973. – 900 с.
- 62.Коваленко И. Н. Случайные процессы. Справочник / И. Н. Коваленко, Н. Ю. Кузнецов, В. М. Шуренков – К. : Наукова думка, 1983. – 367 с.
- 63.Коваленко М.В. Нейросетевая модель прогнозирования потребления газа в жилищно-бытовом секторе / М.В. Коваленко, К.В. Махотило // Вестник Нац. техн. ун-та "ХПИ". - 2002. - №12. - Т1. С.299-301.
- 64.Коваленко М.В. Короткострокове прогнозування зв'язного споживання паливно-енергетичних ресурсів в побутовому секторі в період опалювального сезону: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.14.01 "Енергетичні системи та комплекси" / М.В. Коваленко. – Харків, 2005 – 20 с.
- 65.Колмогоров А.Н. Вероятностно-статистические методы обнаружения спонтанно возникающих эффектов / А.Н. Колмогоров, Ю.В. Прохоров,

- А.Н. Ширяев // Труды Математического института АН СССР. – Том 182. – М.: 1988. – С. 4-23.
66. Комплекс вимірювально-керуючий "Флоутек-3-4" [Електронний ресурс]
Режим доступу до ресурсу : http://www.dgt.com.ua/flo-tm-3-4_u.html
67. Комплекс вимірювально-керуючий "ФЛОУТЭК-ТМ". // Керівництво з експлуатації АЧСА. 421443.001 РЭ. – Київ. – 2008. – 102с.
- 68.Королюк В. С. Статистические модели систем / В. С. Королюк. – Киев: Наукова думка, 1989. – 208 с.
- 69.Коронкевич О. І. Лінійні динамічні системи під дією випадкових сил / О. І. Коронкевич // Наукові записки Львів. ун-ту. – 1957. – 44, № 8. – С. 175-183.
- 70.Крамер Г. Стационарные случайные процессы / Г. Крамер, М. Литбеттер. – М. : Мир, 1969. – 399 с.
- 71.Красильников А. И. Модели гидроакустических помех. Методические указания к дисциплине "Основы научных исследований" / А. И. Красильников, Н. В. Приймак, Л. Н. Щербак. – К. : КПИ, 1984. – 51 с.
- 72.Красильников О. І. Процеси з незалежними періодичними приростами і періодичні білі шуми / О. І. Красильников, Б. Г. Марченко, М. В. Приймак // Відбір і обробка інформації. – 1996. – Вип. 10(86). – С. 22-27.
73. Кузь М.В. Методи та пристрої зменшення впливу кліматичних факторів на облік газу в комунально-побутовій сфері : дис. ... канд. техн. наук : 05.11.01 "Прилади та методи вимірювання механічних величин" / Микола Васильович Кузь. — Івано-Франківськ, 2005. — 157с.
- 74.Левин Б. Р. Вероятностные модели и методы в системах связи и управления / Б. Р. Левин, В. Шварц. – М. : Радио и связь, 1985. – 312 с.
- 75.Левин Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники / Б. Р. Левин. – М. : Радио и связь, 1989. – 656 с.

76. Линник Ю. В. Метод наименьших квадратов основы математико-статистической теории обработки наблюдений. / Ю. В. Линник. – М. : Физматгиз, 1962. – 352 с.
77. Лоэв М. Теория вероятностей / М. Лоэв. – М. : ИЛ, 1962. – 719 с.
78. Мамедов Н.Я-Оглы. Влияние климатических факторов на процесс газопотребления (на примере Азербайджанской ССР): автореф. дис. на соиск. научн. ст. канд. техн. наук: спец. 05.23.03 / Н.Я.- Оглы Мамедов. - Баку: Азербайджанский инженерно-строительный институт, 1985. - 22с.
79. Мак-Дональд Д. Введение в физику шумов и флуктуаций / Д. Мак-Дональд. – М. : Мир, 1964. – 158 с.
80. Марченко Б.Г. Обґрунтування математичної моделі газонавантажень / Б.Г. Марченко, Н.В. Мулик, М.Є. Фриз // Вісник Тернопільського державного технічного університету ім. І.Пулюя. – Тернопіль, 2005. – №2. – С. 138 - 143
81. Марченко Б. Г. Автокорреляционные и характеристические функции виброакустического шума подшипников качения электрических машин и возможности корреляционного анализа для диагностики / Б. Г. Марченко, М. В. Мыслович, Л. Д. Проценко // Техн. электродинамика. – 1982. – № 1. – с. 76-83.
82. Марченко Б. Г. Вероятностные модели случайных сигналов и полей в прикладной статистической радиофизике / Б. Г. Марченко, В. А. Омельченко. – Киев: УМК ВО, 1988. – 176 с.
83. Марченко Б.Г. Визначення основних ймовірнісних характеристик газоспоживання / Б.Г. Марченко, Н.В. Мулик, М.Є. Фриз // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2005. – №2.
84. Марченко Б. Г. Вибродиагностика подшипниковых узлов электрических машин / Б. Г. Марченко, М. В. Мыслович. – Киев: Наукова думка, 1992. – 196 с.
85. Марченко Б. Г. Линейная периодически коррелированная модель виброакустических шумов подшипников качения электрических машин /

- Б. Г. Марченко, Е. П. Осадчий, Н. В. Приймак. // Надежность и диагностика электрических машин. – К. : Наукова думка, 1981. – С. 77-81.
- 86.Марченко Б. Г. Линейные случайные процессы и их приложения / Б. Г. Марченко, Л. Н. Щербак. – К. : Наукова думка, 1972. – 191 с.
- 87.Марченко Б. Г. Лінійні періодичні процеси / Б. Г. Марченко // Праці Ін-ту електродинаміки НАНУ. – К. : ІЕД НАНУ, 1999. – С. 172-185; 1999. – С. 172-185.
- 88.Марченко Б. Г. Метод стохастических интегральных представлений и его приложение в радиотехнике / Б. Г. Марченко. – К. : Наукова думка, 1973. – 191 с.
- 89.Марченко Б. Г. Побудова моделі та аналіз стохастично періодичних навантажень енергосистем / Б. Г. Марченко, М. В. Приймак // Праці ін-ту електродинаміки. – К. : ІЕД НАН України, 1999. – Вип. 1. – С. 129-153.
- 90.Марчук Я.С. Автоматизированный контроль дисбаланса прихода и распределения газа магистрального газопровода / Я.С. Марчук, Е.А. Игуменцев, Е.А. Прокопенко // Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету : Тематичний випуск "Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика". – Дніпродзержинськ : Вид-во ДТУ. – 2007. – С. 487-492
- 91.Марчук Я.С. Диагностика газотранспортной системы с использованием факторного анализа / Я.С. Марчук, М.П. Андришин, Е.А. Игуменцев, Прокопенко Е.А. // Вестник НТУ "ХПИ": Проблемы автоматизованого електропривода. Теория и практика. – Харьков, 2008. – С. 538-543.
- 92.Материалы Международного молодежного научного форума "ЛОМОНОСОВ-2011" / Отв. ред. А.И. Андреев, А.В. Андриянов, Е.А. Антипов, М.В. Чистякова. [Электронный ресурс] — М. : МАКС Пресс, 2011. — 1 электрон. опт. диск (DVD-ROM); 12 см. - Систем. требования: ПК с процессором 486+; Windows 95; дисковод DVD-ROM; Adobe Acrobat Reader.

- 93.Матіко Ф.Д. Аналіз похибок витратомірів змінного перепаду тиску в умовах нестационарного потоку / Ф.Д. Матіко, Я.В. Грень, М.Б. Гутник // Вісн. Нац. ун-ту "Львів. політехніка". – 2007. – № 581 : Теплоенергетика. Інженерія довкілля. Автоматизація. – С. 94–104.
- 94.Мацюк О.В. Дослідження особливостей енергоспоживання в умовах ритміки методом гістограмного аналізу / О.В. Мацюк, М.В. Приймак, О.Б. Назаревич, Г.В. Шимчук // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2009. - №2. – С. 182-185.
- 95.Мацюк О.В. Моделі газонавантаження з урахуванням стохастичної періодичності та можливості їх статистичного аналізу / О.В. Мацюк, М.В. Приймак // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2003. - №2(7). – С. 64-68.
- 96.Мацюк О.В. Оцінка кореляційного взаємозв'язку періодичних випадкових процесів та її використання в задачах енергетики /О.В. Мацюк, М.В. Приймак // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. - 2005. - №2(15).- С.39-42.
- 97.Мещеряков В.В. Задачи по статистике и регрессионному анализу с Matlab / В.В. Мещеряков. – М.: Диалог – МИФИ, 2009. – 448 с.
- 98.Мулик Н.В. Математична модель та метод прогнозу газоспоживання з урахуванням циклічності : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 01.05.02 "Математичне моделювання" / Н.В. Мулик. — Тернопіль, 2006. — 19 с.
- 99.Мыслович М. В. Периодически коррелированные случайные процессы в задачах обработки акустической информации / М. В. Мыслович, Н. В. Приймак, Л. Н. Щербак. – К. : Об-во "Знание" УССР, 1980. – 28 с.
- 100.Мюллер П. Таблицы по математической статистике: Пер.с нем. / П. Мюллер, П. Нойман, Р. Шторм. – М. : Финансы и статистика, 1982. – 278 с.
- 101.Назаревич О.Б. Алгоритм аналізу даних газоспоживання міста. / Назаревич О.Б // Матеріали щорічної науково-технічної конференції

- молодих вчених та спеціалістів, Київ, 9-10 січня 2013 р. / Інститут проблем моделювання в енергетиці імені Г.Є. Пухова – К.:2012 – С.33.
102. Назаревич О.Б. Аналіз динаміки газоспоживання регіону методом «Гусениця»-SSA та використання українського національного ґриду // Актуальні задачі сучасних технологій: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів (21-22 грудня). - Тернопіль:ТНТУ. - 2010. - С.27.
 103. Назаревич О.Б. Аналіз часових рядів газоспоживання міста методом емпіричної модової декомпозиції (EMD) / О. Назаревич, Г. Шимчук // Матеріали II науково-технічної конференції "Інформаційні моделі, системи та технології", Тернопіль, 25 квітня 2012 р. / Терноп. нац. техн. Ун-т. – Т., 2012. – С. 8.
 104. Назаревич О.Б. Виділення сезонного тренду як адитивної складової часового ряду газоспоживання / О.Назаревич // Матеріали XIV наукової конференції "Інформаційні моделі, системи та технології", Тернопіль, 27-28 жовтня 2010 р. / Терноп. нац. техн. Ун-т. – Т., 2010. – С. 26-27.
 105. Назаревич О.Б. Виділення річного тренду як адитивної складової часового ряду газоспоживання / О.Б. Назаревич // Вісник ТНТУ (Математичне моделювання. Математика. Фізика). — 2011. — Т. 16, № 4. — С. 201-209.
 106. Назаревич О.Б. Виділення трендових складових часового ряду газоспоживання методом «Гусениця-SSA» в українському національному ґриді / О.Б. Назаревич // Збірник наукових праць інституту проблем моделювання в енергетиці НАН України ім. Г.Є. Пухова. – № 60. – Київ. – 2011. – С. 45-50.
 107. Назаревич О.Б. Виділення трендових складових часового ряду газоспоживання методом гусениця-SSA в українському національному ґриді / О.Б. Назаревич // Щорічна науково-технічна конференція молодих вчених та спеціалістів (12-13 січня). - К.:ІПМЕ. - 2011. - С.113.

108. Назаревич О.Б. Реалізація регресійного аналізу газоспоживання з використанням пакету Matlab / О. Назаревич, Н. Загородна, М. Фриз // Матеріали III науково-технічної конференції "Інформаційні моделі, системи та технології", Тернопіль, 24 квітня 2013 р. / Терноп. нац. техн. Ун-т. – Т., 2012. – С. 6.
109. Назаревич О.Б. Створення математичної моделі газоспоживання по даним вимірювань / О. Назаревич, Н. Загородна, М. Фриз, Л. Щербак // Матеріали шостої міжнародної науково-практичної конференції "Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси ІРТЕ-2013", Київ, 27-29 травня 2013 р. / Національний авіаційний університет. – К.: НАУ, 2013. – С. 144-145.
110. Назаревич О.Б. Інформаційна технологія моніторингу газоспоживання міста на основі адитивної моделі та з врахуванням метеофакторів / О.Б. Назаревич // Вісник НТУУ "КПІ". Інформатика, управління та обчислювальна техніка: Зб. наук. пр. – К.: "Век+". – 2012. – №. 57. – С. 110-119 с.
111. Назаревич О.Б. Інформаційне забезпечення статистичного аналізу та обробки часових рядів газоспоживання / Назаревич О.Б., Мацюк О.В., Шимчук Г.В., Пйонтко Н.В. // Матеріали щорічної науково-технічної конференції молодих вчених та спеціалістів, Київ, 11-12 січня 2012 р. / Інститут проблем моделювання в енергетиці імені Г.Є. Пухова – К.: 2012 – С. 30.
112. Назаревич О.Б. Програмна реалізація задачі апроксимації законів розподілу кривими Пірсона / О.Мацюк, О.Назаревич, Г.Шимчук // Матеріали XIV наукової конференції "Інформаційні моделі, системи та технології", Тернопіль, 27-28 жовтня 2010 р. / Терноп. нац. техн. Ун-т. – Т., 2010. – С. 24.
113. Назаревич О. Комп'ютерна програма HostLibConverter 1.0 / О.В. Мацюк, Р.М. Лукавий, О.Б. Назаревич, Н.В. Пйонтко, Г.В. Шимчук // А.с. про

- реєстрацію авторського права на твір №40120 "Комп'ютерна програма HostLibConverter 1.0" [Текст]. – 2011.
114. Назаревич О.Б. Реалізація Гусениця-SSA для паралельних систем з розподіленою пам'яттю / О.Б. Назаревич, І.В. Белова // Сучасні комп'ютерні інформаційні технології АСІТ-2011: матеріали Всеукраїнської школи семінару молодих вчених і студентів (20-21 травня). - Тернопіль:ТНЕУ. - 2011. - С.174
 115. Назаревич О.Б. Статистичний аналіз динаміки газоспоживання міста / О.В. Мацюк, О.Б. Назаревич, Л.М. Щербак // Моделювання та інформаційні технології збірник наукових праць (інститут проблем моделювання в енергетиці НАН України ім. Г.Є. Пухова). – Київ, 2011. – № 61. – С. 37-45.
 116. Назаревич О.Б. Особливості застосування регресійного аналізу в задачах прогнозу газоспоживання / О. Назаревич, Н. Загородна, М. Фриз // Матеріали IV науково-технічної конференції "Інформаційні моделі, системи та технології", Тернопіль, 15-16 квітня 2014 р. / Терноп. нац. техн. Ун-т. – Т., 2014. – С. 8.
 117. Назаревич О.Б. Оцінка продуктивності реалізації методу Гусениця-SSA для паралельних систем з розподіленою пам'яттю / О.Б. Назаревич, І.В. Белова // Інформаційні моделі, системи та технології: матеріали I науково-технічної конференції факультету комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії ТНТУ (20 травня). – Тернопіль:ТНТУ. – 2011. – С.134
 118. Норми та вказівки по нормуванню витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд, а також на господарсько-побутові потреби в Україні; КТМ 204 України 244-94. – К.:1998. – 376с.
 119. Унанян Л. А. Нечеткое управление территориальными системами газоснабжения [Електронний ресурс] / Л. А. Унанян // Proceedings of the NAS RA: Technical Sciences. – 1988. – с.18-22. – Режим доступу до журн.: <http://tech.asj-oa.am/3006/1/18.pdf>.

120. Орнатский П. П. Теоретические основы информационно-измерительной техники. / П. П. Орнатський. – К. : Вища школа, 1976. – 432 с.
121. Основные вопросы тарифообразования в нефтегазовом комплексе Украины. [Электронный ресурс] / В. Семенец. – 2011 – Режим доступа до ресурсу : http://www.narucpartnerships.org/Documents/Wed%209%20Jun%2016_00_Mikhailovskaya_rus.pdf
122. Панкратов В.С. Информационно-вычислительные системы в диспетчерском управлении газопроводами / В.С. Панкратов, А.В. Дубинский, Б.И. Сипенштейн. – Л.: Недра, 1988. – 246 с.
123. Петришин І. Метрологія. Еталони об'єму та об'ємної витрати газу дзвонового типу. Методика звірень: РМУ-024-2008. / І.Петришин, О.Середюк, Я.Безгачнюк, Д.Середюк. – Івано-Франківськ: ДП "Івано-Франківськстандартметрологія", 2008. – II, 11 с.
124. Пістун Є.П. Визначення похибки розрахунку кількості вимірюваного середовища мікропроцесорними обчислювачами за методом змінного перепаду тиску / Є.П. Пістун, Л.В. Лесовой, О.М. Химко // Транспортування, контроль якості та облік енергоносіїв. – Львів: ДУ "ЛП". – 1998. – С.273-280.
125. Пістун Є.П. Особливості нового комплексу міждержавних стандартів ГОСТ 8.586.1,2,3,4,5-2005 / Є.П. Пістун, Л.В. Лесовой, Є.Р. Гудріт // Вимірювання витрати та кількості газу : П'ята всеукр. наук.-техн. конф., 23–25 жовт. 2007 р., Івано-Франківськ : зб. тез доп. – Івано-Франківськ, 2007. – С. 6-7.
126. Пістун Є.П. Система автоматизованого розрахунку та проектування витратомірів змінного перепаду тиску – САПР "Расход-РУ"/ Є.П. Пістун, Л.В. Лесовой, Д.І. Марковський // Вимірювання витрати та кількості газу : П'ята всеукр. наук.-техн. конф., 23–25 жовт. 2007 р., Івано-Франківськ : зб. тез доп. – Івано-Франківськ, 2007. – С. 13–15.
127. Пістун Є.П. Стан і перспективи розвитку обліку природного газу / Є.П. Пістун // Вимірювання витрати та кількості газу : П'ята всеукр. наук.-

- техн. конф., 23–25 жовт. 2007 р., Івано-Франківськ : зб. тез доп. – Івано-Франківськ, 2007. – С. 3–5.
128. Полищук С. В. Исследование корреляционной взаимосвязи нагрузок энергосистем и стохастически периодических метеофакторов / С. В. Полищук, Н. В. Приймак // Техническая электродинамика. – 1991. – № 1. – С. 98-103.
 129. Попадько В.Е. Некоторые вопросы оперативного прогнозирования газопотребления методами теории случайных процессов : автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.12.01 "Теоретические основы радиотехники" / В. Е. Попадько. – М. : МИНХиГП им. И.М. Губкина, 1972. – 24 с.
 130. Попов Ю. П. Вычислительный эксперимент / Ю. П. Попов, А. А. Самарский. – М. : Знание, 1985. – 64 с.
 131. Правила измерения расхода газов и жидкостей стандартными сужающими устройствами: РД 50-213-80. – М. : Изд-во стандартов, 1982. – 319 с.
 132. Програмний комплекс ASK 1.0. Опитування автоматичних обчислювачів витрати газу та потокових приладів для виміру фізико-хімічних параметрів газу. Настанова користувачеві: ААПН.00025.002-01 90 01. – К.: НАК "Нафтогаз України", ДП "Науканафтогаз", філія НДПАСУтрансгаз, 2006. – 58 с
 133. Приймак М. В. Апроксимація ймовірнісних характеристик лінійних нестационарних процесів з використанням ортогональних многочленів / М. В. Приймак, Л. В. Мацюк, О. В. Мацюк // Наук. записки Ніжинського держ. педагог. ун-ту. – 1998. – С. 170-174.
 134. Приймак М. В. Дискретні періодичні білі шуми з неперервними розподілами / М. В. Приймак // Праці Ін-ту електродинаміки. Електроенергетика. – Київ: ІЕД НАН України, 1999. – С. 15-19.

135. Приймак М. В. Дискретні періодичні шуми з дискретними розподілами / М. В. Приймак // Вимірювальна техніка та метрологія. – Львівська політехніка. – 1999. – № 55. – С. 167-169.
136. Приймак М. Дослідження особливостей енергоспоживання в умовах ритміки методом гістограмного аналізу / М.В. Приймак, О.В. Мацюк, О.Б. Назаревич, Г.В. Шимчук // Міжнародна науково-технічна конференція "Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій" (присвячена 50-річчю заснування ТНТУ та 165- річчю з дня народження Івана Пулюя, 19-21 травня). – Тернопіль. – ТНТУ. –2010. – С.301
137. Приймак М. В. Лінійні періодичні процеси і їх моделювання на ЕОМ / М. В. Приймак // Вісник Терноп. держ. техн. ун-ту. – 1998. – Т. 3. – С. 111-114.
138. Приймак М. В. Математичне моделювання та застосування критеріїв Неймана-Пірсона в задачах діагностики / М. В. Приймак, О. В. Мацюк, М. Є. Фриз // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 1999. – № 1(7). – С. 12-16.
139. Приймак М. В. Метод моделювання дискретних періодичних білих шумів з неперервними розподілами / М. В. Приймак, М. С. Бедний // Праці Ін-ту електродин. НАН України. – К. : ІЕД НАНУ, 1999. – С. 186-190.
140. Приймак М. В. Моделювання дискретних періодичних білих шумів з дискретними розподілами / М. В. Приймак, Б. І. Яворський // Вимірювальна техніка та метрологія, Львівська політехніка. – 1999. – № 56. – С. 78-80.
141. Приймак М. В. Послідовності ковзного середнього при дії періодичного білого шуму / М. В. Приймак // Вісник Тернопільського держ. техн. ун-ту. – 1999. – Том 4, № 2. – С. 11-15.
142. Приймак М. В. Процеси з незалежними приростами і їх характеристичні функції / М. В. Приймак // Вісник Терноп. Приладобуд. ін-ту. – 1996. – № 2. – С. 138-141.

143. Приймак М.В. Основи теорії моделювання, аналізу і прогнозу в автоматизованих системах управління ритмічними процесами: автореф. дис. на докт. техн. наук. : спец. 05.13.06 "Автоматизація і управління технологічними процесами" / М.В. Приймак. – К.: НАУ. – 2001. – 34 с.
144. Приймак Н. В. Оценка периода корреляции и ее использование при исследовании стохастически периодических радиотехнических сигналов: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук : спец. 05.12.01 "Теоретические основы радиотехники" / Н. В. Приймак. – М. : МЭИ, 1987. – 18 с.
145. Приймак Н. В. Предварительная цифровая обработка случайных процессов, обладающих периодичностью / Н. В. Приймак // Метериалы восьмого семин. секц. теории информ. ЦП НТО РЭС им. А.С. Попова "Статистические методы оценивания теории и практике обработки сигналов и полей": тезисы докл. – Воронеж: ВГУ, 1985. – С. 128-130.
146. Притула Н. М. Математичне моделювання та чисельний аналіз режимів роботи газотранспортної системи [Текст] : автореф. дис... канд. техн. наук: 01.05.02 / Притула Назар Мирославович ; Національний ун-т "Львівська політехніка". - Л., 2009. - 20 с.
147. Рытов С. М. Введение в статистическую радиофизику. Ч.1. Случайные процессы / С. М. Рытов – М. : Наука, 1976. – 496 с.
148. Рытов С. М. Введение в статистическую радиофизику. Ч.2. Случайные поля / С. М. Рытов, Ю. А. Кравцов, В. И. Татарский. – М. : Наука, 1978. – 420 с.
149. Самарский А. А., Михайлов А. П. Математическое моделирование. Идеи. Методы. Примеры. — 2-е изд., испр.. — М. : Физматлит, 2001.
150. Сархан А. Введение в теорию порядковых статистик / А. Сархан, Б. Гринберг / под ред. А. Я. Боярского. – М. : Статистика, 1970. – 416 с.
151. Свешников А. А. Прикладные методы теории случайных функций. 2-е изд / А. А. Свешников. – М. : Наука, 1968. – 464 с.

152. Семенцов Г.Н. Ієрархія і особливості автоматизованого управління газотранспортною системою / Г.Н. Семенцов, Ю.Є. Бляут // Матеріали ІІ науково-практичної конференції 27-28 липня 2007 "Динаміка наукових досліджень" (Дніпропетровськ). – "Nauka I studia" (Przemysl, Польща) – 2007. – С. 123-131.
153. Серебренников М. Г. Выделение скрытых периодичностей / М. Г. Серебренников, А. А. Первозванский. – М. : Наука, 1965. – 244 с.
154. Система автоматизованого розрахунку та проектування витратомірів змінного перепаду тиску – САПР "Расход-РУ" / Є.П. Пістун, Л.В. Лесовой // Proc. of the Intern. conf. on computer science and inform. technologies CSIT-2007, Sept. 27–29, 2007, Lviv, Ukraine. – Lviv, 2007. – P. 193–195.
155. Ситник В. Основи інформаційних систем: Навч. посібник / За ред. В.Ф. Ситника // Ситник В.Ф., Писаревська Т.А., Єрьоміна Н.В., Краєва О.С.. — К.: КНЕУ, 1997. — 252 с.
156. Слущкий Е. Е. Избранные труды / Е. Е. Слущкий. – М. : Наука, 1960. – 292 с.
157. Смирнов А. В. Курс теории вероятностей и математической статистики / А. В. Смирнов, И. В. Дунин-Барковский. – М. : Наука, 1969. – 512 с.
158. Соболев И. М. Метод Монте-Карло / И. М. Соболев. – М. : Наука, 1985. – 80 с.
159. Справочник по теории вероятностей и математической статистике / В. С. Королюк, Н. И. Портенко, А. В. Скороход, А. Ф. Турбин. – М. : Наука, 1985. – 640 с.
160. Стогний Б.С. Досвід створення комплексних систем моніторингу та керування електроенергетичних об'єктів. Перспективи їх розвитку / Б.С. Стогній, М.Ф. Сопель, Г.М. Варський // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України . – 2012. – Вип. 32. – С. 39-48.
161. Стогній Б.С. Організація моніторингу режимів енергооб'єднання України та нові можливості розв'язання задач диспетчерського керування / Б.С.

- Стогній, О.В. Кириленко, О.Ф. Буткевич, М.Ф. Сопель, В.М. Авраменко, В.Л. Прихно, П.О. Черненко // Наука та інновації. – 2009. – Т. 5, № 6. – С. 25-35.
162. Стогній Б.С. Система глобального моніторингу, синхронізація і реєстрація системних параметрів ОЕС України – основа нового качества автоматизированного и оперативного управления / Б.С. Стогній, К.В. Ущатовський, А.Н. Мольков, М.Ф. Сопель В.В. Павловський, Ю.В. Пилипенко // Енергетика та електрифікація. – 2006. – № 4. – С. 8-11.
163. Стогній Б.С. Система збору та обробки інформації, що реєструється комплексами "Регіна-Ч" / Б. С. Стогній, О. В. Кириленко, О. Ф. Буткевич, М. Ф. Сопель, О. Б. Рибіна, В. Л. Тутик // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України . - 2011. - Вип. 29. - С. 35-46.
164. Тараєвський О.С. Прогнозування нерівномірності газоспоживання / О.С. Тараєвський. // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2007. – № 1. – С. 82–88.
165. Тараєвський О.С. Вплив параметрів режиму роботи газопроводу на його безаварійну експлуатацію постачань : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.15.13 "Нафтогазопроводи, бази та сховища" / О.С. Тараєвський. – Івано-Франк. нац. техн. ун-т нафти і газу. — Івано-Франківськ, 2007. — 19 с.
166. Тарасенко Ф. П. Непараметрическая статистика / Ф. П. Тарасенко. – Томск: Изд. Томского университета, 1976. – 294 с.
167. Тевяшев А.Д. Сравнительный анализ методов прогнозирования процессов потребления природного газа / А.Д. Тевяшев, В.Н. Щелкалин // Восточно-европейский журнал передовых технологий. — 2009. — №6/7(42). — С. 8—16.
168. Тевяшева О.А. Оперативне планування режимів роботи автоматизованої газотранспортної системи в умовах невизначеності газоспоживання [Текст] : автореф. дис... канд. техн. наук: 05.13.07 / Тевяшева Ольга

- Андріївна ; Національний технічний ун-т "Харківський політехнічний ін-т". - Х., 2004. - 20 с.
169. Теплюх З.М. Автоматизація плівкового витратоміра / З.М. Теплюх, І.В. Ділай, О.З. Парнета // Вимірювання витрати та кількості газу : П'ята всеукр. наук.-техн. конф., 23–25 жовт. 2007 р., Івано-Франківськ : зб. тез доп. – Івано-Франківськ, 2007. – С. 60–61.
 170. Тижук С. Витрати газу – загальногалузева проблема / С. Тижук // Нафта і газ. Енергетичний бюллетень. – 2005. - №5. – С. 24-25.
 171. Титчмарш Е. Введение в теорию интегралов Фурье / Е. Титчмарш . – М. : Полиграфкнига, 1948. – 418 с.
 172. Тихонов В. И. Статистическая радиотехника / В. И. Тихонов. – М. : Советское радио, 1982. – 624 с.
 173. Тищик С.М. Підвищення ефективності розподілу природного газу в умовах обмежених поставань : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.23.03 "Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання" / С.М. Тищик. – Донб. держ. акад. буд-ва і архіт. — Макіївка, 2003. — 17 с.
 174. Уилкс С. Математическая статистика / С. Уилкс. – М. : Наука, 1967. – 632 с.
 175. Українська ГТС: національне багатство і "яблуко розбрату" [Електронний ресурс] – 2009. – Режим доступу до ресурсу : <http://news.liga.net/ukr/info/NUS09005.html>
 176. Хнигічева А.М. Моделювання задачі безпеки газоспоживання з використанням часових рядів. / А.М. Хнигічева, І.В. Белова, О.Б. Назаревич // Системний аналіз та інформаційні технології: матеріали Міжнародної науково-технічної конференції SAIT-2011 (23–28 травня) ННК “ІПСА” НТУУ “КПІ”. – К.: ННК “ІПСА” НТУУ “КПІ”, 2011. - С.170
 177. Химко О.М. Підвищення точності автоматизованого вимірювання витрати та кількості (об'єму) природного газу : автореф. дис. на здобуття

- наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.11.01 "Прилади та методи вимірювання механічних величин" / О.М. Химко. – Нац. ун-т "Львів. політехніка". — Львів, 2002. — 19 с.
178. Хинчин А. Я. Теория корреляции стационарных случайных процессов / А. Я. Хинчин // УМН. – 1938. – № 5. – С. 42-51.
 179. Ціни на природний газ [Електронний ресурс] / Міністерство економічного розвитку і торгівлі України. – Режим доступу: http://www.me.gov.ua/control/uk/publish/category/hide?cat_id=144497
 180. Черкасский В.Н. Разработка и внедрение интегрированной автоматизированной системы управления технологическими процессами газотранспортного предприятия : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.13.01 / В.Н. Черкасский. – Сургут, 2002. – 24 с.
 181. Шидловський А.А. Паливно-енергетичний комплекс України на порозі третього тисячоліття / Шидловський А.А., Ковалко М.П., Вишневський І.М.. та інш.; Під ред. Шидловського А.А., Ковалко М.П. – К. : УЕЗ, 2001. – 400 с.
 182. Ширяев А. Н. Вероятность / А. Н. Ширяев – М. : Наука, 1980. - 576 с.
 183. Ширяев А. Н. Некоторые точные формулы в задаче о „разладке” / А. Н. Ширяев // Теория вероятностей и ее применение. – 1965. – Вып. 2. – С. 380-385.
 184. Шишко Г.Г. Учет газа / Г.Г. Шишко, М.П. Енин. – К.: Урожай, 1993. – 310с.
 185. Щелкалин В.Н. От идей методов "Гусеница"-SSA и Бокса-Дженкинса до декомпозиционного метода прогнозирования и декомпозиционной ИНС / В.Н. Щелкалин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. Математика и кибернетика – фундаментальные и прикладные аспекты. – 2011 - №4/4(52). – С. 59-69.
 186. Щелкалин В.Н. Трендовый и деконпозиционный подходы прогнозирования процессов потребления электроэнергии / В.Н. Щелкалин, А.Д. Тевяшев // Восточно-Европейский журнал

передовых технологий. Математика и кибернетика – фундаментальные и прикладные аспекты. – 2011 - №5/4(53). – С. 30-37.

187. Яворський Б.І. Метод визначення точки розладки ритмокардіосигналу / Б.І. Яворський, Ю. Лещишин // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – Львів, 2011. – №694. – С. 107 – 112.
188. Яглом А. М. Корреляционная теория стационарных случайных процессов / А. М. Яглом. – Л. : Гидрометеиздат, 1981. – 280 с.
189. Ядренко М. И. Спектральная теория случайных полей / М. И. Ядренко. – Киев: Вища школа, 1980. – 207 с.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Акт впровадження результатів дисертаційної роботи в ТОВ "Тернопільське конструкторське бюро радіозв'язку «Стріла»"



**НАЦІОНАЛЬНА АКЦІОНЕРНА КОМПАНІЯ «НАФТОГАЗ УКРАЇНИ»
ОБ'ЄДНАННЯ ГАЗОВИХ ГОСПОДАРСТВ «ТЕРНОПІЛЬГАЗ»
ПУБЛІЧНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО
ПО ГАЗОПОСТАЧАННЮ ТА ГАЗИФІКАЦІЇ «ТЕРНОПІЛЬГАЗ»**

46006, м. Тернопіль, вул. Чернівецька, 54, р/р 26004414032 в ТОВ АТ "Райффайзен Банк Аваль", МФО 380805, ЄДРПОУ 03353503
тел. +380 (352) 52-51-24, 52-81-11, факс 25-36-55, E-mail: disp@tgaz.te.ua WEB: www.tgaz.te.ua

№ 24.09.14 № 02/1816
На № _____ від _____

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Голова правління
ПАТ «Тернопільгаз»
Караванський О. І.
«24» 09 2014р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

1. **Об'єкт впровадження:** пакет комп'ютерних програм для статистичної обробки, моніторингу та прогнозування газоспоживання міста Чортків на річному інтервалі спостереження.

2. **Ким запропоновано, виконавці, адреса:** Назаревич Олег Богданович, Тернопільський Національний технічний університет імені Івана Пулюя, кафедра комп'ютерних наук, м. Тернопіль, вул. Руська, 56, 46001, Україна.

3. **Джерело інформації:** матеріали дисертації Назаревича Олега Богдановича, "Інформаційна технологія моніторингу газоспоживання міста" поданої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (Спеціальність: 05.13.06 – інформаційні технології).

4. **Де впроваджено:** ПАТ «Тернопільгаз», м. Тернопіль, вул. Чернівецька, 54-А, диспетчерсько-інформаційний відділ, (Чортківське управління з експлуатації газового господарства).

5. **Термін впровадження:** червень – грудень 2013р.

6. **Загальний час проведення спостережень:** 1 рік.

7. **Висновок по впровадженню:** Використання запропонованого пакету комп'ютерних програм, підвищило ефективність управління газоспоживанням міста Чортків, за рахунок прогнозування величини споживаного добового об'єму газу на основі метеорологічних даних середньодобової температури повітря в місті.

Даний акт не є підставою для фінансових розрахунків.

Заступник голови правління
головний інженер
ПАТ «Тернопільгаз»

 **Караванський В.О.**



Акт впровадження результатів дисертаційної роботи в
Інформаційно-диспетчерському відділі м. Чортків ПАТ з газопостачання та
газифікації «Тернопільгаз»

**ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ
«ТЕРНОПІЛЬСЬКЕ КОНСТРУКТОРСЬКЕ БЮРО РАДІОЗВ'ЯЗКУ «СТРІЛА»**

46023, м. Тернопіль, вул 15 Квітня, 6, тел/факс – 28-75-00, 28-72-00, tkbr_strila@ukr.net, tkbr_strila@mail.ru
р/р 260070106806 в Тернопільському відділенні №3 ПАТ КБ "Фінансова ініціатива",
МФО 380054, код 14042350
№ 128 від 06.05.2014 р.

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Директор ТОВ
«Тернопільське
КБ радіозв'язку «Стріла»
Рафалюк О.О.
_____ 2014 р.



АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

1. **Об'єкт впровадження:** методика пошуку нештатних режимів роботи обладнання дистанційного керування трансформаторними підстанціями та іншими об'єктами електроенергетики, що базується на використанні методів та алгоритмів виявлення часових моментів розладки динаміки процесу електроспоживання.
2. **Ким запропоновано, виконавці, адреса:** Назаревич Олег Богданович, Тернопільський Національний технічний університет імені Івана Пулюя, кафедра комп'ютерних наук, м. Тернопіль, вул. Руська, 56, 46001, Україна.
3. **Джерело інформації:** матеріали дисертації Назаревича Олега Богдановича, "Інформаційні технологія моніторингу газоспоживання міста поданої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (Спеціальність: 05.13.06 – інформаційні технології)
4. **Де впроваджено:** ТОВ "Тернопільське КБ радіозв'язку "Стріла". 46023, м. Тернопіль, вул. 15 квітня, 6.
5. **Термін впровадження:** червень – вересень 2013 р.
6. **Висновок по впровадженню:** використання запропонованого пакету комп'ютерних програм уможливило пошук нештатних режимів обладнання дистанційного керування трансформаторними підстанціями, що зменшує кількість аварійних відключень споживачів та підвищує надійність енергосистем електропостачання.

Даний акт не є підставою для фінансових розрахунків.

Головний інженер
ТОВ ТКБР «Стріла»



Піскун С.О.

ДОДАТОК Б

СВІДОЦТВО ПРО РЕЄСТРАЦІЮ АВТОРСЬКОГО ПРАВА НА ТВІР №40120

"КОМП'ЮТЕРНА ПРОГРАМА HOSTLIBCONVERTER 1.0"

	
УКРАЇНА	
Міністерство освіти і науки України	
Державний департамент інтелектуальної власності	
СВІДОЦТВО	
про реєстрацію авторського права на твір	
№ 40120	
Комп'ютерна програма "HostLibConverter 1.0"	
(назва, назва службового твору)	
Автор(и) Назаренко Олег Богданович, Пішонко Михайло Володимирович, Шинелюк Григорій Валерійович, Манюк Олександр Васильович, Луканюк Роман Михайлович	
(прізвище, ім'я, по батькові (за наявності))	
Авторські майнові права належать Тернопільський національний технічний університет ім.єні Івана Пулюя, вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46001	
(назва юридичної та/або фізичної особи, офіційна назва юридичної особи, адреси)	
Дата реєстрації	13.09.2011
Заступник Голови Державного департаменту інтелектуальної власності	 О.В.Янов
	

ДОДАТОК В

Витратомірний комплекс (IBC) типу "Флоутек" вимірювання газоспоживання міста Тернопіль.

Для вимірювання об'ємів спожитого газу використовують лічильники та витратомірні комплекси. Відомо, що лічильники газу можна поділити на такі типи: турбінні, роторні, мембранні, вихрові, ультразвукові та інші [22]. У діючій системі використовуються витратоміри в яких принцип здійснення заміру об'єму газу, що протікає в трубопроводі, побудований на застосуванні звужуючих пристроїв (діафрагма, сопло або шайба) та заміру перепаду тиску до і після звуження. Різниця перепаду тиску на звуженні залежить від кількості речовини, що протікає в газопроводі і є мірою витрати газу в ньому. На практиці для більш точного вимірювання використовують комплекти діафрагм для різних діапазонів витрат, тобто різний діаметр звуження для зимового і літнього періодів.

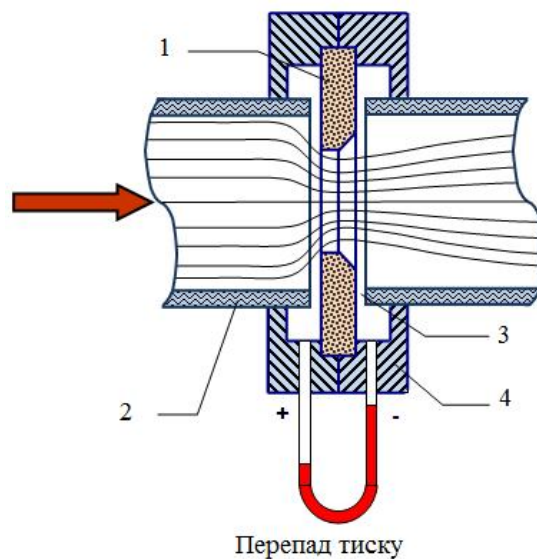


Рис. Б.1 Принципова схема вимірювання об'єму газу за допомогою звужуючого пристрою. 1 – діафрагма, 2 – труба газопровода, 3 – кільцева щілина, 4 – запобіжне кільце.

На Рис. Б.1 зображено схему вимірювання об'єму газу за допомогою звужуючого пристрою (діафрагми). За таким принципом працюють витратомірні комплекси газоспоживання більшості міст України.

На газорозподільній станції, що постачає газ для міста на сьогоднішній день використовують електронні автоматизовані витратомірні комплекси типу "Флоутек" [66]. Даний комплекс належить до виробів експлуатаційної завершеності третього порядку за ГОСТ 12997, відповідає вимогам безпеки експлуатації за ГОСТ 22782.0. За способом обробки інформації належить до групи інтелектуальних мікропроцесорних польових пристроїв. Весь вимірювально-керуючий комплекс складається з двадцяти окремих видів пристроїв, основними є: обчислювач об'ємних і масових витрат – визначення розходу і об'єму (маси) середовища; перетворювач коректор – вимірювання параметрів і обчислення об'єму (маси) середовища; перетворювач вимірювальний багато параметричний, перетворювач диференціального тиску, перетворювач температури, термоперетворювач опору, перетворювач густини середовища, лічильник витрат та інші додаткові пристрої [67].

Важливим питанням є точність вимірювальних пристроїв, застосованих для газоспоживання. Межі відносної похибки комплексів "ФЛОУТЕК", під час вимірювання об'ємної (масової) витрати і об'єму (маси) спожитого газу становлять від $\pm 0,3$ до $\pm 2,0$ % (залежно від похибки вимірювальних перетворювачів температури, тиску, диференціального тиску і густини, діапазонів зміни тиску і перепаду тиску середовища на вказаних пристроях).

Комплекси "ФЛОУТЕК" забезпечують установку верхніх меж вимірювань у діапазонах:

- для абсолютного (надмірного) тиску – від 160 кПа до 16 МПа;
- для диференціального тиску – від 1,0 до 250 кПа;
- для густини газів за стандартних умов – від 0,7 до 1,1 кг/м³.

Живлення витратомірного комплексу відбувається від мережі змінного струму 220 В і частотою 50 Гц. Дані комплекси обладнані резервним джерелом живлення постійного струму (акумулятором), який забезпечує збереження

вимірювальною інформації і нормальну роботу комплексів до 100 годин. Це забезпечує надійний процес накопичення інформації даних вимірювань газоспоживання і створює умови для формування централізованої інформаційної системи обліку газоспоживання міста та його окремих об'єктів. Для газових розподільчих станцій основною величиною для комерційного розрахунку з окремими підприємствами та нарахувань витрат газу є приведені до нормальних умов витрати газу за місяць. Також для звітності фіксують покази витрат газу за добу, вважаючи "комерційною" добою інтервал часу з 9 до 9 години ранку наступної доби. Для виявлення технічних неполадок чи несанкціонованого відбору газу засобами витратомірних комплексів типу "Флоутек" [66, 67].

Наприклад, у процесі зберігання погодинних даних з одного трубопроводу, пам'ять зберігаючого пристрою може накопичувати інформації за 45 діб. Відповідно необхідно своєчасно зберігати дані витратоміра із внутрішньої пам'яті в центр збереження інформації. На практиці використовують три інтервали збереження (агрегації) даних: 20 хв, 1 година та одна доба.

ДОДАТОК Г

Для забезпечення техніко-економічних показників і підтримання в робочому стані на кожному із рівнів ГТС реалізовано ієрархічна модель автоматизованої системи управління технологічним процесом (АСУТП) газопостачання.

ГТС України має величезну протяжність та певні особливості технологічного процесу постачання газу: ієрархічно-розподілений характер технологічних об'єктів, жорсткий технологічний взаємозв'язок від режиму роботи газовидобувних підприємств, особливостей природо-кліматичних умов транспортування та зберігання газу, характеру та топології споживачів, а також, від режимів функціонування магістральних та інших трубопроводів, наявності аварійних ділянок, інерційність надходження газу по МГ до кінцевих споживачів і т.п. Тому сучасна ГТС для забезпечення ефективної роботи організована за ієрархічним принципом.

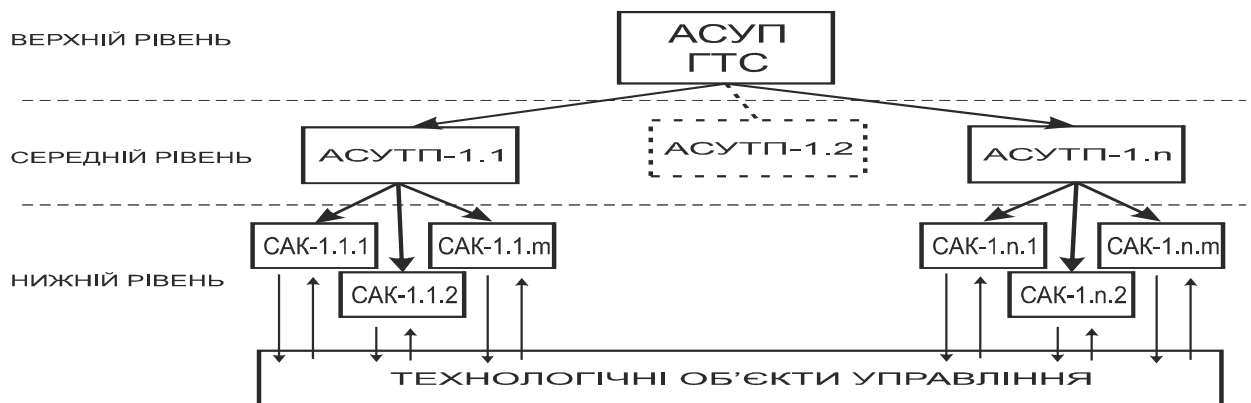


Рис. Г.2. Ієрархічна структура управління ГТС

Як бачимо з Рис. Г.2 автоматизована система управління подачею газу в ГТС розділена на 3 рівня: верхній, середній і нижній. Як відомо [152], об'єктом автоматизованого управління на верхньому рівні є весь технологічний процес з технологічним обладнанням. До верхнього рівня відноситься задачі організації, координації взаємозв'язку, синхронізації технологічних операцій і обладнання. До середнього рівня відноситься вирішення задач оптимізації технологічних режимів окремих ділянок і процесів. Об'єктами управління на середньому рівні є технологічні процеси разом з обладнанням. До функцій управління на цьому

рівні входить виявлення та ліквідація аварійних режимів, перемикання обладнання в технологічних схемах та інше. Управління здійснюється локальними системами автоматизованого керування (САК). На даному рівні застосовують керуючі обчислювальні машини (КОМ), але окрім автоматизованих систем в процесах управління бере участь людина-оператор КОМ. До нижнього ієрархічного рівня відносяться задачі контролю і стабілізації окремих режимних параметрів. Вони вирішуються локальними автоматичними системами і пристроями без участі людини.

ДОДАТОК Д

Важливим фактором, що впливає на інтегральну оцінку газоспоживання за рік є ціна на газ, що формується згідно певної моделі тарифікації. Слід зауважити, що постійне зростання ціни на газ призводить до зменшення його використання та переходу на альтернативні джерела енергії по всій Україні. Наприклад, використання електроенергії, особливо в нічний час, де тарифна ставка становить 25% від вартості в день. Це створює міжрічну тенденцію (монотонний спадний тренд) зменшення споживання газу. Тому суттєвим фактором формування газоспоживання можна вважати ціну на газ (його тарифікацію).

Перелічимо сучасні методики формування тарифікації газоспоживання в Україні та країнах ЄС: “поштова”, “дистанційна”, “від пункту до пункту”, “на вході-виході” [121]. В Україні застосовують “поштову” тарифікацію газоспоживання, яка передбачає використання єдиної фіксованої оплати за транспортування будь-якого об’єму газу в межах області чи району. Традиційно така тарифікація діє на ГРС низького тиску для постачання газу населенню та різним промисловим підприємствам міста.

Таблиця Г.1. Зростання вартості природного газу для промислових споживачів

Рік	Ціна на початку року, грн/1000м ³	Ціна вкінці року, грн/ 1000м ³	Зростання, %
2007	480	720	50%
2008	720	934.7	29.8%
2009	934.7	2020.25	понад 200%
2010	2020.25	2187.2	8%
2011	2282	2553 (на червень)	12% (за півроку)

Проаналізувавши дані з таблиці, можемо зробити висновок, що ціна на газ різко зросла в 2009 році, на даний момент динаміка росту ціни на газ значно

зменшена, хоча й спостерігаємо постійне збільшення ціни на природний газ [179].

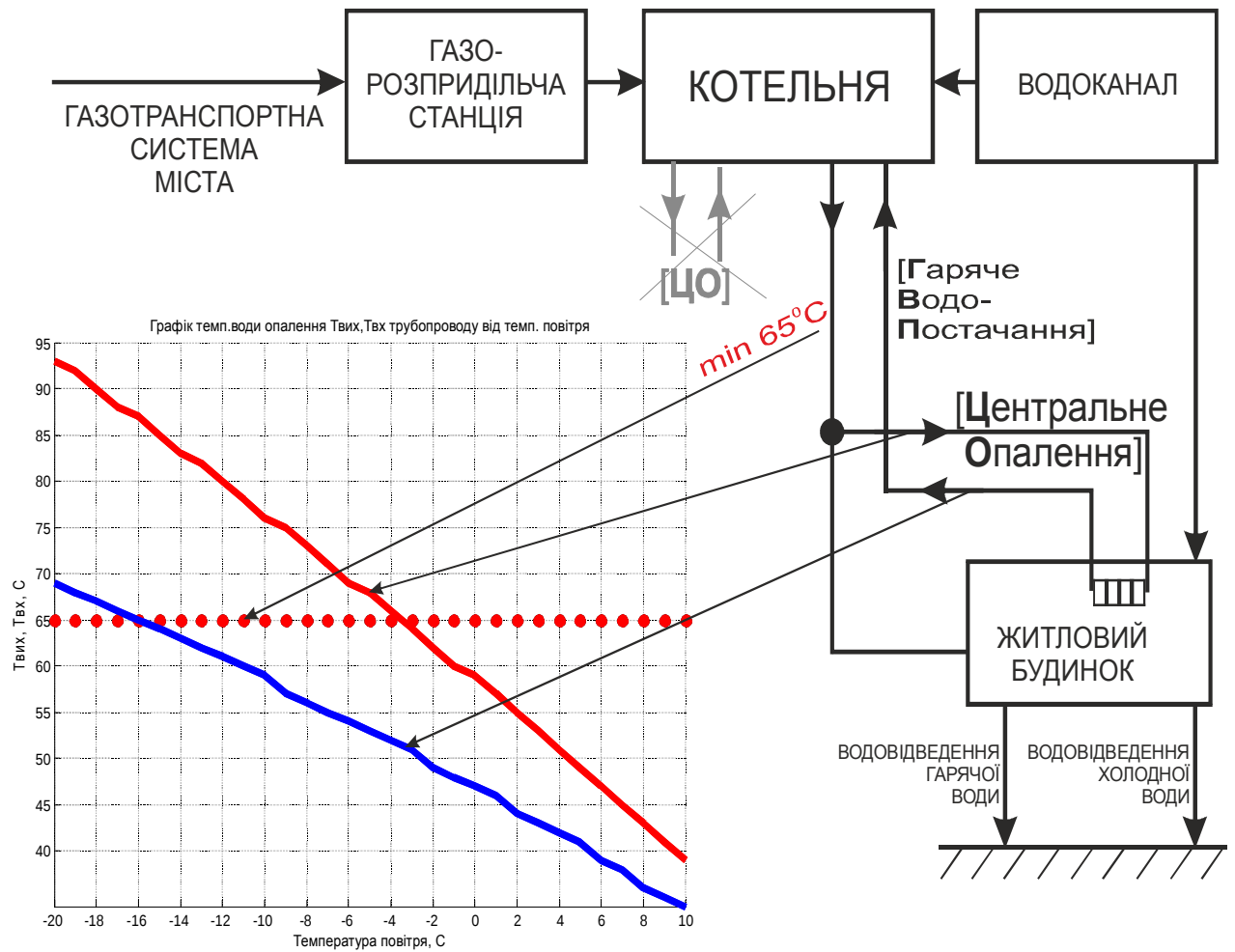
Таблиця Г.2. Роздрібні ціни на природний газ, що використовується для потреб населення станом на 01.08.2011 р.

N з/п	Диференціація цін	Ціна за 1 м ³ з ПДВ,
		коп.
1	обсяг споживання природного газу не перевищує 2500 м ³ у рік:	
	за наявності газових лічильників	72,54
	за відсутності газових лічильників	79,80
2	обсяг споживання природного газу не перевищує 6000 м ³ у рік:	
	за наявності газових лічильників	109,80
	за відсутності газових лічильників	120,78
3	обсяг споживання природного газу не перевищує 12000 м ³ у рік:	
	за наявності газових лічильників	224,82
	за відсутності газових лічильників	247,32

Варто зазначити й таке: ціна на газ для населення значно нижча, це пов'язано з постачанням природного газу, який видобувають на території України. Проаналізувавши дані на ціну для населення, які зазначені в таблиці 1.2, можемо зробити висновок, що якщо відсутні великі промислові підприємства на території міста, ціновий фактор можна не враховувати для аналізу та побудови математичної моделі газоспоживання міста. В дисертації в процесі дослідження різнопланових задач процесу газоспоживання фактор ціни на газ не будемо враховувати у зв'язку з тим, що його прогнозування, збільшення або зменшення, неможливо передбачити.

ДОДАТОК Е

Функціональна схема центрального опалення міста



Наглядна діаграма, що відображає схему подачі гарячої води та принцип роботи центрального (ЦО) опалення міста.

ДОДАТОК Ж

Визначення кількості інтервалів гістограми

Гістограми – слушні і асимптотичні незміщені оцінки щільності ймовірності. Зазначимо, що використовувати гістограми на практиці незручно, оскільки вони не дозволяють отримати аналітичний вираз і необхідно проводити апроксимацію отриманих гістограм теоретичними законами розподілу тобто згладжування гістограм.

Існує низка альтернативних формул для визначення кількості інтервалів: формули Стерджеса (Sturges, 1926 р.), Скотта (Scott, 1979), Фрідмана і Діаконіса (Freedman and Diaconis, 1981), теорема Гливленко та інші. Вибір формули кожен дослідник проводить самостійно.

Для визначення кількості інтервалів використаємо формулу Стерджеса (Рис. 0.3)

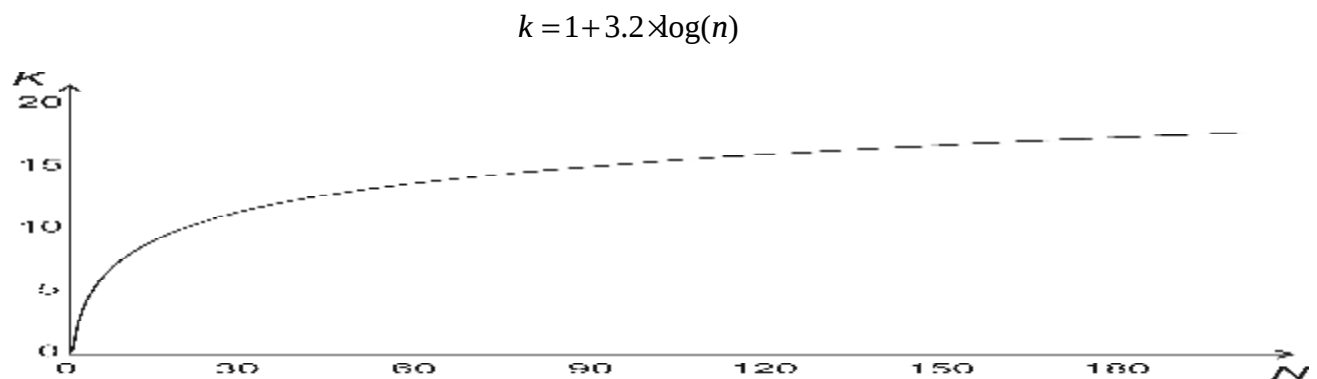


Рис. 0.3 Емпірична формула Стерджеса

Значення інтервалу розбиття знаходимо із співвідношення

$$D = \frac{(x_{\max} - x_{\min})}{k},$$

де $x_{\max}, x_{\min}$ – максимальний і мінімальний елементи вибірки відповідно.

На періоді $T=24$ години зафіксуємо 24 початкових фази $j = j_i = ih, i = \overline{0,23}$ з кроком дискретизації $h=1$ година. Для кожної з цих початкових фаз виділяємо 24 стаціонарні послідовні j_i - *серії* і будуємо для цих послідовностей гістограми.

Додаток 3

Лістинг програми статистичної обробки даних вимірювань "ДОБОВИЙ Регресійний аналіз та верифікація для 2010 року"

Приклад вхідних даних за 2010 рік:

Q_T_(2010).csv			
	A	B	C
	VarName1	VarName2	VarName3
	TEXT	NUMBER	NUMBER
1	2010-01-01	1698992	-1.05208333333333
2	2010-01-02	1850074	-4.64583333333333
3	2010-01-03	1942699	-6.97083333333333
4	2010-01-04	2126509	-10.5708333333333
5	2010-01-05	1567607	-10.3916666666667
6	2010-01-06	1177100	-1.2125
7	2010-01-07	1105230	-1.91875
8	2010-01-08	1121200	-2.72708333333333
9	2010-01-09	1093160	0.675
10	2010-01-10	1056960	0.929166666666667
11	2010-01-11	1035090	0.0604166666666666
12	2010-01-12	1114750	-2.25
13	2010-01-13	1192410	-4.79166666666667
14	2010-01-14	1208700	-6.52708333333333
15	2010-01-15	1259370	-6.47083333333333
16	2010-01-16	1403470	-10.275
17	2010-01-17	1331080	-6.8625
18	2010-01-18	1369050	-8.31875
19	2010-01-19	1424200	-10.6958333333333
20	2010-01-20	1502630	-11.0729166666667
21	2010-01-21	1512180	-11.25625

Лістинг програми:

```
%Поділ на 5 ділянок для 2009 року
```

```
n1_2009=53;
```

```
n2_2009=133;
```

```
n3_2009=259;
```

```
n4_2009=312;
```

```
n5_2009=366
```

```
A_2009=importdata('Q_T_(2009)FIX.csv');
```

```
minQ_2009=ceil(min(A_2009.data(:,1)))-1;
```

```

maxQ_2009=ceil(max(A_2009.data(:,1)));
minT_2009=ceil(min(A_2009.data(:,2)))-1;
maxT_2009=ceil(max(A_2009.data(:,2)));

figure(1);clf(1);
grid on
hold on

%Dілянка 1
Q1_2009=A_2009.data(1:n1_2009,1);
T1_2009=A_2009.data(1:n1_2009,2);
[p1_2009 S1_2009]=polyfit(T1_2009,Q1_2009,1);
f1_2009=p1_2009(1)*T1_2009+ p1_2009(2);
[y1_2009 delta1_2009]=polyconf(p1_2009,T1_2009,S1_2009,0.05);
y_max1_2009=y1_2009+delta1_2009;
y_min1_2009=y1_2009-delta1_2009;
plot
(T1_2009,Q1_2009,'bo','MarkerEdgeColor','b','MarkerFaceColor','b','MarkerSize',2)
;
plot(T1_2009,y1_2009,'b-',T1_2009,y_max1_2009,'b:',T1_2009,y_min1_2009,'b:');

%Dілянка 2
Q2_2009=A_2009.data(n1_2009:n2_2009,1);
T2_2009=A_2009.data(n1_2009:n2_2009,2);
[p2_2009 S2_2009]=polyfit(T2_2009,Q2_2009,1);
f2_2009=p2_2009(1)*T2_2009+ p2_2009(2);
[y2_2009 delta2_2009]=polyconf(p2_2009,T2_2009,S2_2009,0.05);
y_max2_2009=y2_2009+delta2_2009;
y_min2_2009=y2_2009-delta2_2009;
plot
(T2_2009,Q2_2009,'go','MarkerEdgeColor','g','MarkerFaceColor','g','MarkerSize',2)
;
plot(T2_2009,y2_2009,'g-',T2_2009,y_max2_2009,'g:',T2_2009,y_min2_2009,'g:');

%Dілянка 3
Q3_2009=A_2009.data(n2_2009:n3_2009,1);
T3_2009=A_2009.data(n2_2009:n3_2009,2);
[p3_2009 S3_2009]=polyfit(T3_2009,Q3_2009,1);
f3_2009=p3_2009(1)*T3_2009+ p3_2009(2);
[y3_2009 delta3_2009]=polyconf(p3_2009,T3_2009,S3_2009,0.05);
y_max3_2009=y3_2009+delta3_2009;
y_min3_2009=y3_2009-delta3_2009;

```

```

plot
(T3_2009,Q3_2009,'ro','MarkerEdgeColor','r','MarkerFaceColor','r','MarkerSize',2)
;
plot(T3_2009,y3_2009,'r-',T3_2009,y_max3_2009,'r:',T3_2009,y_min3_2009,'r:');

```

%Ділянка 4

```

Q4_2009=A_2009.data(n3_2009:n4_2009,1);
T4_2009=A_2009.data(n3_2009:n4_2009,2);
[p4_2009 S_2009]=polyfit(T4_2009,Q4_2009,1);
f4_2009=p4_2009(1)*T4_2009+ p4_2009(2);
[y4_2009 delta4_2009]=polyconf(p4_2009,T4_2009,S_2009,0.05);
y_max4_2009=y4_2009+delta4_2009;
y_min4_2009=y4_2009-delta4_2009;
plot
(T4_2009,Q4_2009,'yo','MarkerEdgeColor','y','MarkerFaceColor','y','MarkerSize',2)
;
plot(T4_2009,y4_2009,'y-',T4_2009,y_max4_2009,'y:',T4_2009,y_min4_2009,'y:');

```

%Ділянка 5

```

Q5_2009=A_2009.data(n4_2009:n5_2009,1);
T5_2009=A_2009.data(n4_2009:n5_2009,2);
[p5_2009 S5_2009]=polyfit(T5_2009,Q5_2009,1);
f5_2009=p5_2009(1)*T5_2009+ p5_2009(2);
[y5_2009 delta5_2009]=polyconf(p5_2009,T5_2009,S5_2009,0.05);
y_max5_2009=y5_2009+delta5_2009;
y_min5_2009=y5_2009-delta5_2009;
plot
(T5_2009,Q5_2009,'co','MarkerEdgeColor','c','MarkerFaceColor','c','MarkerSize',2)
;
plot(T5_2009,y5_2009,'c-',T5_2009,y_max5_2009,'c:',T5_2009,y_min5_2009,'c:');

```

```

xlim ([minT_2009 maxT_2009]);
ylabel(['Газоспоживання Q, м^3'],'FontSize',14,'FontName','Arial');
xlabel(['Середньодобова температура Т, ^oC'],'FontSize',14,'FontName','Arial');

```

%%%%%%%%%

n1_2010=53;n2_2010=133;n3_2010=259;n4_2010=312;n5_2010=365;%Поділ на 5 ділянок
для 2009 року

```

A_2010=importdata('Q_T_(2010)FIX.csv');
minQ_2010=ceil(min(A_2010.data(:,1)))-1;maxQ_2010=ceil(max(A_2010.data(:,1)));
minT_2010=ceil(min(A_2010.data(:,2)))-1;maxT_2010=ceil(max(A_2010.data(:,2)));

```

```

figure(2);clf(2);
grid on
hold on
%Dілянка 1
Q1_2010=A_2010.data(1:n1_2010,1);
T1_2010=A_2010.data(1:n1_2010,2);
[p1_2010 S1_2010]=polyfit(T1_2010,Q1_2010,1);
f_2010=p1_2010(1)*T1_2010+ p1_2010(2);
[y1_2010 delta1_2010]=polyconf(p1_2010,T1_2010,S1_2010,0.05);
y_max1_2010=y1_2010+delta1_2010;
y_min1_2010=y1_2010-delta1_2010;
plot
(T1_2010,Q1_2010,'bo','MarkerEdgeColor','b','MarkerFaceColor','b','MarkerSize',2)
;
plot(T1_2010,y1_2010,'b-',T1_2010,y_max1_2010,'b:',T1_2010,y_min1_2010,'b:');

%Dілянка 2
Q2_2010=A_2010.data(n1_2010:n2_2010,1);
T2_2010=A_2010.data(n1_2010:n2_2010,2);
[p2_2010 S_2010]=polyfit(T2_2010,Q2_2010,1);
f2_2010=p2_2010(1)*T2_2010+ p2_2010(2);
[y2_2010 delta2_2010]=polyconf(p2_2010,T2_2010,S_2010,0.05);
y_max2_2010=y2_2010+delta2_2010;
y_min2_2010=y2_2010-delta2_2010;
plot
(T2_2010,Q2_2010,'go','MarkerEdgeColor','g','MarkerFaceColor','g','MarkerSize',2)
;
plot(T2_2010,y2_2010,'g-',T2_2010,y_max2_2010,'g:',T2_2010,y_min2_2010,'g:');

%Dілянка 3
Q3_2010=A_2010.data(n2_2010:n3_2010,1);
T3_2010=A_2010.data(n2_2010:n3_2010,2);
[p3_2010 S3_2010]=polyfit(T3_2010,Q3_2010,1);
f_2010=p3_2010(1)*T3_2010+ p3_2010(2);
[y3_2010 delta_2010]=polyconf(p3_2010,T3_2010,S3_2010,0.05);
y_max3_2010=y3_2010+delta_2010;
y_min3_2010=y3_2010-delta_2010;
plot
(T3_2010,Q3_2010,'ro','MarkerEdgeColor','r','MarkerFaceColor','r','MarkerSize',2)
;
plot(T3_2010,y3_2010,'r-',T3_2010,y_max3_2010,'r:',T3_2010,y_min3_2010,'r:');

%Dілянка 4

```

```

Q4_2010=A_2010.data(n3_2010:n4_2010,1);
T4_2010=A_2010.data(n3_2010:n4_2010,2);
[p_2010 S_2010]=polyfit(T4_2010,Q4_2010,1);
f_2010=p_2010(1)*T4_2010+ p_2010(2);
[y4_2010 delta_2010]=polyconf(p_2010,T4_2010,S_2010,0.05);
y_max4_2010=y4_2010+delta_2010;
y_min4_2010=y4_2010-delta_2010;
plot
(T4_2010,Q4_2010,'yo','MarkerEdgeColor','y','MarkerFaceColor','y','MarkerSize',2)
;
plot(T4_2010,y4_2010,'y-',T4_2010,y_max4_2010,'y:',T4_2010,y_min4_2010,'y:');

%Dілянка 5
Q5_2010=A_2010.data(n4_2010:n5_2010,1);
T5_2010=A_2010.data(n4_2010:n5_2010,2);
[p_2010 S_2010]=polyfit(T5_2010,Q5_2010,1);
f_2010=p_2010(1)*T5_2010+ p_2010(2);
[y5_2010 delta_2010]=polyconf(p_2010,T5_2010,S_2010,0.05);
y_max5_2010=y5_2010+delta_2010;
y_min5_2010=y5_2010-delta_2010;
plot
(T5_2010,Q5_2010,'co','MarkerEdgeColor','c','MarkerFaceColor','c','MarkerSize',2)
;
plot(T5_2010,y5_2010,'c-',T5_2010,y_max5_2010,'c:',T5_2010,y_min5_2010,'c:');

xlim ([minT_2010 maxT_2010]);
ylabel(['Газоспоживання Q, м^3'],'FontSize',14,'FontName','Arial');
xlabel(['Середньодобова температура T, ^oC'],'FontSize',14,'FontName','Arial');

%%%%%%%%%%%%
figure(3);clf(3);
grid on
hold on

%Dілянка 1
subplot(2,3,1); hold on; grid on
title('2010 рік ділянка 1','FontSize',14,'FontName','Arial');
xlim ([minT_2010 maxT_2010]);
ylim ([minQ_2010 maxQ_2010]);
%plot
(T1_2009,Q1_2009,'bo','MarkerEdgeColor','b','MarkerFaceColor','b','MarkerSize',2)
;

```

```

plot(T1_2009,y1_2009,'k-',T1_2009,y_max1_2009,'k:',T1_2009,y_min1_2009,'k:');
plot
(T1_2010,Q1_2010,'ko','MarkerEdgeColor','k','MarkerFaceColor','k','MarkerSize',2)
;
%plot(T1_2010,y1_2010,'b-',T1_2010,y_max1_2010,'b:',T1_2010,y_min1_2010,'b:');
ylabel(['Газоспоживання Q, м^3'],'FontSize',12,'FontName','Arial');
xlabel(['Середньодобова температура T, ^oC'],'FontSize',12,'FontName','Arial');

%Dілянка 2
subplot(2,3,2); hold on; grid on
title('2010 рік ділянка 2','FontSize',14,'FontName','Arial');
xlim ([minT_2010 maxT_2010]);
ylim ([minQ_2010 maxQ_2010]);
%plot
(T2_2009,Q2_2009,'ko','MarkerEdgeColor','g','MarkerFaceColor','g','MarkerSize',2)
;
plot(T2_2009,y2_2009,'k-',T2_2009,y_max2_2009,'k:',T2_2009,y_min2_2009,'k:');
plot
(T2_2010,Q2_2010,'ko','MarkerEdgeColor','k','MarkerFaceColor','k','MarkerSize',2)
;
%plot(T2_2010,y2_2010,'g-',T2_2010,y_max2_2010,'g:',T2_2010,y_min2_2010,'g:');
ylabel(['Газоспоживання Q, м^3'],'FontSize',12,'FontName','Arial');
xlabel(['Середньодобова температура T, ^oC'],'FontSize',12,'FontName','Arial');

%Dілянка 3
subplot(2,3,3); hold on; grid on
title('2010 рік ділянка 3','FontSize',14,'FontName','Arial');
xlim ([minT_2010 maxT_2010]);
ylim ([minQ_2010 maxQ_2010]);
%plot
(T3_2009,Q3_2009,'ro','MarkerEdgeColor','r','MarkerFaceColor','r','MarkerSize',2)
;
plot(T3_2009,y3_2009,'k-',T3_2009,y_max3_2009,'k:',T3_2009,y_min3_2009,'k:');
plot
(T3_2010,Q3_2010,'ko','MarkerEdgeColor','k','MarkerFaceColor','k','MarkerSize',2)
;
%plot(T3_2010,y3_2010,'r-',T3_2010,y_max3_2010,'r:',T3_2010,y_min3_2010,'r:');
ylabel(['Газоспоживання Q, м^3'],'FontSize',12,'FontName','Arial');
xlabel(['Середньодобова температура T, ^oC'],'FontSize',12,'FontName','Arial');

%Dілянка 4
subplot(2,3,4); hold on; grid on

```

```

title('2010 рік ділянка 4','FontSize',14,'FontName','Arial');
xlim ([minT_2010 maxT_2010]);
ylim ([minQ_2010 maxQ_2010]);
%plot
(T4_2009,Q4_2009,'yo','MarkerEdgeColor','y','MarkerFaceColor','y','MarkerSize',2)
;
plot(T4_2009,y4_2009,'k-',T4_2009,y_max4_2009,'k:',T4_2009,y_min4_2009,'k:');
plot
(T4_2010,Q4_2010,'ko','MarkerEdgeColor','k','MarkerFaceColor','k','MarkerSize',2)
;
%plot(T4_2010,y4_2010,'y-',T4_2010,y_max4_2010,'y:',T4_2010,y_min4_2010,'y:');
ylabel(['Газоспоживання Q, м^3'],'FontSize',12,'FontName','Arial');
xlabel(['Середньодобова температура T, ^oC'],'FontSize',12,'FontName','Arial');

%Dілянка 5
subplot(2,3,5); hold on; grid on
title('2010 рік ділянка 5','FontSize',14,'FontName','Arial');
xlim ([minT_2010 maxT_2010]);
ylim ([minQ_2010 maxQ_2010]);
%plot
(T5_2009,Q5_2009,'co','MarkerEdgeColor','c','MarkerFaceColor','c','MarkerSize',2)
;
plot(T5_2009,y5_2009,'k-',T5_2009,y_max5_2009,'k:',T5_2009,y_min5_2009,'k:');
plot(T5_2010,Q5_2010,'ko','MarkerEdgeColor','k','MarkerFaceColor','k','MarkerSize',2);
%plot(T5_2010,y5_2010,'c-',T5_2010,y_max5_2010,'c:',T5_2010,y_min5_2010,'c:');
ylabel(['Газоспоживання Q, м^3'],'FontSize',12,'FontName','Arial');
xlabel(['Середньодобова температура T, ^oC'],'FontSize',12,'FontName','Arial');

```