

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
„ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

Коваленко Марина Вікторівна

УДК 620.9:658.26

**КОРОТКОСТРОКОВЕ ПРОГНОЗУВАННЯ ЗВ’ЯЗНОГО
СПОЖИВАННЯ ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ
В ПОБУТОВОМУ СЕКТОРІ В ПЕРІОД ОПАЛЮВАЛЬНОГО
СЕЗОНУ**

Спеціальність 05.14.01 — Енергетичні системи та комплекси

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків — 2005

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут”, МОН України та в ТОВ “Інститут системних досліджень в енергетиці”, м. Харків.

Науковий керівник

кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник
Сергеев Сергій Олександрович,
Національний технічний університет
“Харківський політехнічний інститут”,
професор кафедри „Електричні станції”

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук,
старший науковий співробітник
Денисюк Сергій Петрович,
Інститут електродинаміки НАН України,
м. Київ, провідний науковий співробітник

кандидат технічних наук, доцент
Розен Віктор Петрович,
Національний технічний університет
України „Київський політехнічний
інститут”, м. Київ, професор кафедри
„Автоматизація керування
електротехнічними комплексами”

Провідна установа

Інститут загальної енергетики НАН
України, м. Київ

Захист відбудеться “2” березня 2006 р. о 14³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 64.050.06 у Національному технічному університеті „ХПІ” за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету „ХПІ” за адресою: м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

Автореферат розісланий “ 19 ” січня 2006 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради

к.т.н., доц. Вєпрік Ю.М.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Прогнозування споживання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) займає центральне місце в задачах оперативного планування та управління режимами енергетичних комплексів та систем муніципального та регіонального рівнів. Актуальність задачі підвищення точності короткострокових прогнозів значно загострилася в останні роки у зв'язку з тим, що в період опалювального сезону енергоспоживання в побутовому секторі (ПС) набуло *зв'язного характеру*, тобто стало підпорядковуватися режимам відпуску теплової енергії (ТЕ) від джерел системи централізованого теплопостачання (СЦТ).

Зниження якості теплозабезпечення житлових масивів стало підґрунтям для різкого збільшення обсягів споживання в ПС електричної енергії (ЕЕ) та природного варильного газу (ПВГ), які стали активно спрямовуватися населенням на додатковий обігрів житла. Викликане цим неконтрольоване зростання електричного навантаження в низьковольтній розподільній мережі, посилення змінної складової в добовому профілі навантаження провокує напруженість у роботі Об'єднаної енергосистеми України, а падіння тиску в міській газорозподільній мережі ставить під загрозу можливість нормального функціонування крупних промислових споживачів природного газу, в тому числі виробників ТЕ, які отримують газ від тієї ж самої мережі, що і побутові споживачі.

Врахування зв'язного характеру споживання ПЕР в ПС при вирішенні задачі прогнозування енергоспоживання регіоном, а також розвиток та удосконалення регіональної системи обліку споживання ПЕР можна розглядати як потужні джерела економії енергоресурсів та підвищення надійності функціонування регіональних енергокомплексів. Методичні засади коротко- та середньострокового прогнозування енергоресурсів започатковані в роботах видатних вітчизняних вчених Івахненка О.Г., Праховника А.В., Кулика М.М. Задача моделювання зв'язного споживання ЕЕ та ТЕ в ПС вперше поставлена і вирішена Вороновським Г.К. Відсутність досвіду прогнозування зв'язного споживання ПВГ, ЕЕ та ТЕ в ПС є сьогодні перешкодою для удосконалення прийомів оперативного управління гілками енергопостачання. Синтез моделей зв'язного споживання усіх видів ПЕР дозволить запровадити нові підходи в управлінні енергозабезпеченням побутових споживачів, які дозволять знайти компроміс між якістю та економічністю роботи муніципальних енергопостачальних комплексів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження, проведені в дисертаційній роботі, виконувалися в НТУ “Харківський політехнічний інститут” протягом 2000-2002 років згідно з планом науково-дослідницьких робіт МОН України за держбюджетною темою “Методи нейронних мереж і генетичних алгоритмів при програмному забезпеченні удосконалення комплексного енергопостачання споживачів в умовах енергоринку” (№ ДР 0100U001657), де здобувач брала участь у розробці методики синтезу прогностичних моделей споживання ПВГ та ТЕ в побутовому секторі міського господарства, безпосередньому синтезі мо-

делей та виконанні чисельних експериментів з ними, а також у ТОВ “Інститут системних досліджень в енергетиці” (м. Харків) при виконанні науково-дослідницької роботи за темою “Методики аналізу та прогнозування побутового газоспоживання в комунально-побутовому секторі”, де здобувач була виконавцем окремих розділів.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є розроблення моделей, алгоритмів та методик для прогнозування зв’язного споживання природного варильного газу та електроенергії в побутовому секторі в умовах недовідпуску теплової енергії житловим масивам в період опалювального сезону, які забезпечують підвищення енергоефективності експлуатації енергетичного комплексу великого міста.

Відповідно до зазначеної мети дисертаційна робота містить постановку та вирішення наступних основних задач:

1. Збір даних зі споживання електричної, теплової енергії та природного газу в побутовому секторі та наступний їх системний аналіз з метою виявлення особливостей зв’язного споживання ПЕР в побутовому секторі;

2. Виявлення суттєвих причинно-наслідкових функціональних зв’язків між складовими процесу зв’язного споживання ПЕР в ПС і розробка алгоритмів (евристик) передпроцесорної обробки даних згідно з отриманими представленнями;

3. Розроблення варіантів функціонально-логічної структури та синтез моделей зв’язного споживання ПЕР в умовах невизначеності, які обумовлені недосконалістю в організації обліку по споживанню енергоресурсів в ПС;

4. Виконання експериментальних досліджень на тестовому об’єкті (багатоповерховий багатоквартирний житловий будинок) з метою емпіричного дослідження еластичності попиту на природний газ в залежності від якості теплозабезпечення його мешканців.

5. Розроблення концепції реформування системи оперативного управління міським енергопостачальним комплексом.

Об’єкт дослідження: зв’язне споживання теплової, електричної енергії та природного варильного газу в ПС.

Предмет дослідження: система енергозабезпечення комунальних та побутових споживачів муніципального енергопостачального комплексу.

Методи досліджень: при вирішенні поставлених задач використовувалися методи системного аналізу, нейромережеві інформаційні технології моделювання, еволюційні методи глобальної оптимізації, методи авторегресії та кореляційний аналіз. Оцінка розроблених моделей здійснювалася методами імітаційного моделювання та статистичного аналізу експериментальних даних.

Наукова новизна одержаних результатів. Основний науковий результат дисертаційної роботи полягає в розробці методичних засад моделювання зв’язного споживання ТЕ, ПВГ та ЕЕ в

побутовому секторі в період опалювального сезону, що дозволяє підвищити точність прогнозування енергоспоживання і завдяки цьому покращити практику планування режимів роботи та експлуатації систем електро-, тепло- та газопостачання побутових споживачів.

Наукові результати, одержані в роботі, полягають у наступному:

1. Запропоновані та розроблені методики верифікації архівів споживання ПЕР і відновлення втрачених фрагментів архівів, які базуються на евристичних процедурах передпроцесорної обробки даних, що дозволяє сформувати бази даних, придатні для подальшого використання їх в процесі синтезу математичних моделей еталонного та зв'язного енергоспоживання.

2. Висунуто та перевірено дві гіпотези – про наявність кореляційного зв'язку між абсолютними обсягами споживання ПВГ та споживанням ЕЕ в ПС, а також про скорельованість приростів в споживанні ПВГ та приростів в споживанні ЕЕ, обумовлених погіршенням якості теплозабезпечення житлових масивів. Це дозволило запропонувати оригінальну функціонально-логічну структуру прогностичної моделі, яка при прогнозуванні газоспоживання враховує динаміку змінювання обсягів споживання ЕЕ тим же самим об'єктом.

3. На базі штучних нейронних мереж вперше синтезовано групу моделей зв'язного споживання ПВГ та ЕЕ в ПС в залежності від зовнішньої температури та запланованих обсягів відпуску ТЕ житловим масивам, які дозволяють прогнозувати попит на ПЕР як векторну величину і досліджувати характерні особливості зв'язного споживання ПЕР в побутовому секторі.

4. Запропонована концепція реформування системи оперативного управління енергопостачанням великого міста, що передбачає створення спеціалізованого муніципального органу управління, призначеного для поліпшення координації в роботі гілок енергопостачання в умовах неповної інформації.

Практичне значення одержаних результатів. Практична значимість результатів роботи обумовлена тим, що:

1. Моделі, запропоновані в роботі, дозволяють удосконалити практику диспетчерського управління муніципальними енергопостачальними комплексами завдяки можливості виконувати за їх допомогою ретроспективний аналіз та ідентифікацію поточної ситуації щодо обсягів споживання ПВГ та ЕЕ в ПС, а також оптимізувати режими роботи гілок енергопостачання в умовах нестачі палива на джерелах СЦТ;

2. На базі аналізу експериментальних даних оцінена еластичність попиту на ПВГ в ПС в залежності від повноти задоволення попиту на ТЕ, що дозволяє виконувати оціночні розрахунки ефективності заходів з економії палива джерелами СЦТ підчас опалювального сезону.

Розроблені в дисертаційній роботі прогностичні моделі, а також рекомендації стосовно організації та налагодження системи обліку споживання енергоресурсів впроваджено в роботу Управління з обліку та контролю за реалізацією газу ВАТ “Харківміськгаз”, яке використовує їх при ве-

рифікації тижневих та місячних звітів з газоспоживання, а також при розробці „Проекту автоматизованої системи обліку і прогнозування обсягів добового споживання природного газу в побутовому секторі”. Пропозиції щодо удосконалення системи оперативного управління енергопостачанням великого міста передані в відділ енергетики Управління паливно-енергетичного комплексу Харківської обласної державної адміністрації для використання їх при розробці організаційно-технологічних заходів з економії енергоресурсів в комунальному та ПС муніципального господарства підчас опалювального сезону. Наукові і науково-методичні положення, одержані в дисертації, використовуються в навчальному процесі кафедри автоматизованих електромеханічних систем НТУ “ХП”.

Особистий внесок здобувача в розробку основних наукових результатів дисертації, що виносяться на захист:

- процедура відновлення втрачених та недостовірних даних та подальша чисельна процедура обробки даних, яка базується на евристичному аналізі архіву зв'язного споживання ПЕР в ПС;

- процедура формування бази прецедентів, призначеної для синтезу еталонних профілів електричного навантаження в побутовому секторі;

- двоетапна обчислювальна процедура з першочерговим прогнозуванням об'ємів добового споживання ЕЕ житловими масивами і наступним прогнозуванням обсягів добового споживання ПВГ як величини, яка має кореляційний зв'язок з об'ємами споживання електричної енергії;

- дослідження структури нейромережевої моделі, яка використовується для прогнозування зв'язного споживання газу та тепла в побутовому секторі;

- структурна схема автоматизованої системи обліку і прогнозування споживання ПВГ в побутовому секторі.

Апробація результатів дисертації. Основні наукові положення і одержані результати роботи доповідалися й обговорювалися на міжнародних науково-технічних конференціях: “Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я” (м. Харків, 2002, 2004, 2005 р.), “Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика” (м. Алушта, 2002, 2003, 2005 р.) та на щорічних семінарах НАН України “Динаміка нелінійних електромеханічних систем” (НТУ “ХП”).

Публікації. Основний зміст дисертаційної роботи відображено в 7 друкованих працях в фахових наукових виданнях, що входять до переліку ВАК України, а також у 2 патентах України на винахід.

Структура й обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з вступу, 4-х розділів, висновків та додатку. Повний обсяг дисертації становить 182 сторінки тексту, з них 31 рисунок по тексту, 15 рисунків на 14 сторінках, 14 таблиць по тексту, 7 таблиць на 6 сторінках, список використаних джерел з 99 найменувань на 11 сторінках та додаток на 8 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовується актуальність дослідження, формулюється мета роботи і перелік розв'язуваних задач, приводиться характеристика наукової новизни та практичного значення одержаних результатів, а також короткий зміст роботи.

У **першому розділі** проведено загальний огляд методів організації обліку споживання ПЕР та фактичного стану обліку споживання ЕЕ і ПВГ в ПС. Відмічено відсутність налагодженого достовірного обліку споживання ПВГ в ПС як загальний недолік міських систем газопостачання в Україні. Проведено аналіз існуючих методів прогнозування споживання ЕЕ та природного газу, розроблених як в Україні, так і за кордоном, який свідчить, що прогнозування енергоспоживання в ПС є надзвичайно складною задачею, тому що на цей процес впливає багато різноспрямованих факторів, крім того, практично в будь-якому випадку має місце нестационарність об'єкта моделювання. Відзначено, що всупереч спільності задач, які стоять перед кожною диспетчерською службою енергопостачання, на практиці існує багато підходів, відмінність яких один від одного обумовлена різницею в умовах їхнього застосування. Ця обставина змушує до необхідності значної роботи по прив'язці того чи іншого метода прогнозування до реального стану забезпеченості диспетчерського персоналу обліковими даними.

Підкреслюється відсутність до недавнього часу досліджень зв'язного характеру споживання ПЕР в ПС. Рис. 1 демонструє характер причинно-наслідкових зв'язків між середньодобовою зовнішньою температурою $T_{зов}$, паливозабезпеченістю джерела СЦТ $П$, добовими обсягами виробництва теплової енергії для потреб населення Q , обсягами споживання ПВГ в ПС G та обсягами споживання ЕЕ в ПС W , які покладені в основу модельного представлення про зв'язне споживання ПЕР в комунальному та побутовому секторах, використаних в дисертаційній роботі.

Як видно з рис. 1, згідно з цими представленнями основним чинником впливу на спектр споживання ПЕР в побутовому секторі визнається зовнішня температура. Вона не тільки обумовлює потребу житлових масивів в ТЕ, що має бути задоволена джерелом СЦТ, але й безпосередньо впливає на обсяги споживання ЕЕ та ПВГ в ПС. При цьому треба враховувати, що обсяги споживання ЕЕ та ПВГ певним чином описують колективні адаптивні реакції мешканців житлових масивів на якість мікрокліматичних умов. Тобто система, що досліджується, є не просто технічною, а антропотехнічною. Більш того, реакції споживачів не тільки мають сигнальний характер, але й впливають на режими роботи гілок енергопостачання. Збільшуючи власні обсяги споживання ПВГ, побутові споживачі втручаються в роботу міської газорозподільної мережі і тим самим погіршують умови забезпеченості джерел СЦТ паливом.

Виконано співставлення ефективності традиційних методів прогнозування енергоспоживання, які використовують регресійний аналіз, техніку градусо-днів, стандартні та нестандартні графіки навантаження. Продемонстровано переваги методів моделювання, що базуються на новітніх інформаційних технологіях, зокрема, на комбінації технології штучних нейронних мереж та мето-

дів їхнього еволюційного синтезу.

Розділ завершується обґрунтуванням і формулюванням мети і задач дисертаційної роботи.

Другий розділ присвячений попередньому дослідженню процесів зв'язного споживання газу, тепла та електрики в ПС на основі вивчення архівів первинних даних зі споживання ПЕР, наданих диспетчерськими службами ВАТ “Харківміськгаз”, АК “Харківобленерго” та КП “Харківські теплові мережі”, а також розробленню процедури передпроцесорної обробки даних, що передують етапу синтезу математичних моделей зв'язного споживання ПЕР в ПС.

Типовий фрагмент архіву енергоспоживання представлений на рис. 2. Він описує динаміку змінювання у часі середньодобової зовнішньої температури, зареєстрованої у Харкові, добових обсягів виробництва ТЕ Харківською ТЕЦ-5, добових обсягів споживання природного газу в ПС (в умовних одиницях), оцінюваних експертами диспетчерської служби ВАТ “Харківміськгаз”, а також добових обсягів споживання ЕЕ одним із крупних житлових масивів міста, зібраних автоматизованою системою контролю та управління енергоспоживанням (АСКУЕ), що знаходиться у власності АК “Харківобленерго”.

Послідовність обробки даних з енергоспоживання, яка містить етапи збору первинних даних та їх передпроцесорної обробки, а також подальший синтез моделей зв'язного та еталонного споживання ПЕР в ПС представлена на рис. 3.

До системи обліку надходить первинна інформація по споживанню ПЕР в ПС. На збір облікових даних по споживанню ПЕР впливають спотворюючі фактори. Завдяки цьому до архіву потрапляють недостовірні дані, використання яких на етапі синтезу моделей може призвести до погіршення якості запам'ятовування та відображення моделями характеру досліджуваних процесів.

Основною перешкодою при формуванні архіву зв'язного споживання ПЕР в ПС із розрізнених фрагментів первинних архівів споживання того чи іншого виду енергоресурсів є наявність пропусків, обумовлених аваріями в автоматизованих системах обліку, а також присутність недостовірних даних у разі формування первинних архівів із залученням персоналу. Виходячи з цього, *на першому етапі досліджень основну увагу було приділено ретельній перевірці первинних архівів з метою виключення з них недостовірних даних, а також пошуку евристичних прийомів для відновлення втрачених фрагментів.*

Запропоновано процедуру обробки первинних архівів, за допомогою якої можна відновлювати втрачені дані про добове електроспоживання одним із житлових масивів, використовуючи знайдені масштабні коефіцієнти, за даними, які відносяться до іншого масиву, але розташованому в тепловому районі того ж самого джерела СЦТ.

Також представлена удосконалена процедура формування бази прецедентів, призначеної для синтезу еталонних профілів електричного навантаження в ПС, яка дозволяє підвищити ефективність синтезу при наявності архіву обмеженої глибини. Процедура полягає в приведенні добових

профілів з великим електричним навантаженням до профілю електричного навантаження в вибраний базовий день за допомогою коефіцієнта приведення.

Процедура сортування передбачає вилучення із архіву недостовірних даних з наступним розподілом даних, що залишилися після вилучення, на епізоди еталонного, надлишкового енергоспоживання та епізоди перехідних процесів. Дані, які відносяться до епізодів еталонного енергоспоживання, характеризуються відсутністю “опалювальної” реакції населення при будь-якій зовнішній температурі і використовуються для синтезу моделі еталонного споживання ПВГ в ПС. Епізоди надлишкового енергоспоживання формуються за умови неякісного тепlopостачання і внаслідок цього характеризуються перевитратою ЕЕ та ПВГ на опалення житлових приміщень. Із відібраних епізодів надлишкового енергоспоживання синтезується група моделей зв’язного споживання ПЕР. Епізоди перехідних процесів формуються із періодів запізненої реакції населення, вираженої в подальшому використанні побутового обігріву приміщень у відповідь на зміну зовнішніх погодних умов.

Запропоновано процедуру вибору чисельних порогів для коефіцієнтів кореляції між складовими процесу зв’язного енергоспоживання, які використовуються при розподілі достовірних фрагментів архіву на епізоди, придатні для синтезу еталонної моделі, та епізоди, придатні для синтезу моделі зв’язного споживання ПЕР. Показано, що сортування даних за ознакою перевищення відповідним коефіцієнтом кореляції порогу, що дорівнює 0,6, забезпечує оптимальний баланс між кількістю даних, придатних для синтезу еталонної моделі, та кількістю усіх інших даних. Коефіцієнт кореляції 0,5 є порогом для відбору даних для синтезу моделі зв’язного споживання ПЕР.

Висунуто та чисельними експериментами перевірено дві гіпотези – про наявність кореляційного зв’язку між абсолютними обсягами споживання газу G та абсолютними обсягами споживання електроенергії W в ПС, а також про скорельованість приростів в споживанні газу ΔG та електричної енергії ΔW . Прирости ΔG та ΔW обчислювалися наступним чином:

$$\begin{aligned}\Delta G &= G^{\text{дàèò}} - G^{\text{àò}} , \\ \Delta W &= W^{\text{дàèò}} - W^{\text{àò}} .\end{aligned}\tag{1}$$

При синтезі еталону електроспоживання W^{em} використовувалися ряди Фур’є, а при обчисленні еталону газоспоживання G^{em} – стандартна модель, що використовується в практиці проведення розрахунків газопостачальними компаніями.

В процесі перевірки гіпотез встановлено, що коефіцієнт кореляції між абсолютними обсягами споживання ПВГ та споживання ЕЕ для святкових днів становить 0,85, а для робочих – 0,74, в той час як коефіцієнт кореляції для приростів тих самих величин сягає, відповідно, 0,78 та 0,65. Таким чином, в умовах існуючої системи обліку газоспоживання підхід, який базується на кореляції абсолютних обсягів, має більшу практичну цінність.

В третьому розділі викладено процедури, алгоритми та результати синтезу прогностичних

моделей зв'язного споживання ПЕР в ПС на базі штучних нейронних мереж. В цілому було досліджено 2 класи нейромережових прогностичних моделей, які відрізнялися один від одного функціонально-логічною структурою внутрішніх зв'язків.

У моделях першого класу (див. рис. 4) прогноз добового газоспоживання \hat{G}_{k+1} розраховується як функція очікуваного споживання ЕЕ тією ж групою побутових споживачів:

$$\hat{G}_{k+1} = r_{WG} \frac{\sigma_G}{\sigma_W} (\hat{W}_{k+1} - M_W) + M_G. \quad (2)$$

Коефіцієнт кореляції r_{WG} оцінюється в припущенні, що в чисельному вигляді він дорівнює коефіцієнту кореляції $r_{W'G'}$ між споживанням ЕЕ W'_k і споживанням ПВГ G'_k репрезентативною частиною житлового масиву, добре обладнаною вузлами обліку споживання:

$$r_{WG} = r_{W'G'} = \frac{K_{W'G'}}{\sigma_{W'} \sigma_{G'}}, \quad (3)$$

де $K_{W'G'}$ – коваріація обсягів добового споживання ЕЕ і добового споживання ПВГ репрезентативною частиною житлового масиву, $\sigma_{W'}$, $\sigma_{G'}$ – стандартні відхилення для сформованих рядів фактичного добового електроспоживання кожним житловим масивом та фактичного добового споживання ПВГ.

Прогноз споживання ЕЕ здійснюється, в свою чергу, за допомогою нейромережового предиктора електроспоживання з урахуванням передісторії споживання ЕЕ, фактичного споживання ЕЕ і ТЕ в ПС, прогнозу температури на наступну добу та фактичної температури в поточній добі, номеру дня в світловому циклі, а також запланованого відпуску ТЕ житловим масивам від джерела СЦТ:

$$\hat{W}_{k+1}^* = NN \left(\gamma_{k+1}, \underline{T}_{k+1}^*, \bar{T}_{k+1}^*, \underline{T}_k^*, \bar{T}_k^*, Q_{k+1}^*, Q_k^*, W_{k-1}^*, W_k^* \right), \quad (4)$$

де NN – функціональне перетворення „вхід \rightarrow вихід”, здійснюване штучною нейронною мережею. Нейромережовий предиктор електроспоживання містить 9 вхідних нейронів, 6 нейронів прихованого шару з радіально-базисною активаційною функцією та 1 вихідний нейрон. Синтез предиктору виконано за допомогою генетичного алгоритму. На тестовій вибірці він продемонстрував високу точність прогнозування з середньоквадратичною помилкою на рівні 2,8 %.

Перевірка прогностичних моделей виконувалася на фактичних даних споживання ПВГ та ЕЕ в м. Харкові за період з грудня 1998р. по січень 1999р. Результати тестування показано на рис. 5.

Як видно з рис. 5, модель (2)-(4) в цілому точно відтворює динаміку енергоспоживання, але на деяких періодах дає велику помилку в прогнозі газоспоживання. Причина розбіжності прогнозних та фактичних величин, ймовірно, обумовлена неповною ідентичністю, з одного боку, процесів зв'язного споживання ТЕ та ЕЕ, а з іншого боку – процесів зв'язного споживання ТЕ та ПВГ. Можна

зробити висновок, що припущення щодо лінійного характеру зв'язку між обсягами електроспоживання та газоспоживання, покладене в основу моделі (2)-(4), є декілька спрощеним, тобто процеси електроспоживання та газоспоживання, розглядувані в контексті зв'язного споживання ПЕР, мають суттєві відмінності. Втім, перевагою цієї моделі є те, що вона, спираючись на досить точний прогноз електроспоживання як на базову величину, дозволяє одержувати кількісну оцінку попиту на ПВГ в ПС в умовах неповноти облікової інформації по споживанню ПВГ в масштабах об'єкту дослідження.

Прогностичні нейромереві моделі другого класу синтезувалися в рамках функціонально-логічної структури, наведеної на рис. 6. У цьому випадку для прогнозування споживання ЕЕ та для прогнозування споживання ПВГ використовувалися дві окремі нейронні мережі, які в переліках вхідних змінних мали певну спільну частину, але й мали деякі розбіжності. Тренування нейронних мереж виконувалося незалежно одна від одної, але з використанням спільного архіву зв'язного споживання ПЕР.

Всі запропоновані нейромереві містять 10 нейронів в прихованому шарі. Для пошуку оптимальних значень налагоджувальних параметрів цих нейронів, а також оптимальних значень синаптичних зв'язків між нейронами прихованого шару та вихідним нейроном моделювалась штучна еволюція популяції з 50 особин, що кодували налагоджувальні параметри нейромереві. Тренування усіх моделей проводилося на даних за 1996-1997 рр. Архів за 1998 р. використовувався для тестування синтезованих моделей.

Перша спроба синтезу нейромереві для прогнозування зв'язного споживання ТЕ та ПВГ спиралася на досвід, накопичений при моделюванні зв'язного споживання ЕЕ та ТЕ в ПС. Для синтезу моделі використовувався той самий тип нейронної мережі, що й для синтезу предиктору електроспоживання (4).

Синтез першої нейромереві був виконаний на шаблоні типу:

$$\hat{G}_{k+1}^* = NN(\partial_{k+1}, \gamma_{k+1}, \underline{T}_{k+1}^*, \bar{T}_{k+1}^*, \underline{T}_k^*, \bar{T}_k^*, Q_k^*, Q_{k+1}^*, G_k^*), \quad (5)$$

де на відміну від (4) ∂_{k+1} – чинник дня тижня; G_k^* – нормоване споживання газу протягом поточної доби.

Для оцінки якості моделей поряд з традиційним критерієм – середньоквадратичною похибкою в перетворенні вхідних змінних в вихідні – використовувався параметр ρ , % ($\rho \in [-100; 100]$), що показує відсоток незбігу напрямків зміни прогнозних і фактичних величин із фрагментів архіву зв'язного споживання ПЕР за певний проміжок часу.

Тестування моделі (5) на архівних даних показало, що вона дає менш точний прогноз газоспоживання населенням, ніж аналогічні моделі для прогнозу електроспоживання в ПС. І до того ж, на тренувальних даних параметр ρ становить 43% (див. табл.), в той час як для прогностичних

моделей електроспоживання цей же показник на тренувальній вибірці становить 36%. Тобто, формальне використання шаблону нейромережі, визначеного як оптимальний при моделюванні зв'язного споживання ТЕ та ЕЕ, виявилось неефективним при моделюванні газоспоживання в ПС. Тобто, це ще раз доводить неповну ідентичність процесів зв'язного споживання ТЕ та ЕЕ, з одного боку, та зв'язного споживання ТЕ і ПВГ з іншого.

Відомим засобом поліпшення прогнозу є збільшення глибини передісторії змінних, що подаються на вхід моделі. Тому в другому запропонованому варіанті моделі до наявного набору вхідних параметрів шаблону було додано нормовану передісторію газоспоживання G_{k-1}^* :

$$\hat{G}_{k+1}^* = NN \mathcal{G}_{k+1}, \gamma_{k+1}, \underline{T}_{k+1}^*, \bar{T}_{k+1}^*, \underline{T}_k^*, \bar{T}_k^*, Q_k^*, Q_{k+1}^*, G_k^*, G_{k-1}^* . \quad (6)$$

Модель (6) краще запам'ятовує тренувальні дані і прогнозує газоспоживання на тестових даних (див. табл.), але не настільки, щоб зупинитися на цьому результаті. Математичне очікування M зменшилося у порівнянні з маточікуванням моделі (5), і параметр ρ для тренувальної вибірки теж зменшився, але при цьому на тестовій вибірці він збільшився до 24,5%.

Третя модель крім вище перерахованих вхідних параметрів містить $\underline{T}_{k-1}^*, \bar{T}_{k-1}^*$ – нормовані мінімальну і максимальну температури за минулу добу:

$$\hat{G}_{k+1}^* = NN \mathcal{G}_{k+1}, \gamma_{k+1}, \underline{T}_{k-1}^*, \bar{T}_{k-1}^*, \underline{T}_k^*, \bar{T}_k^*, \underline{T}_{k+1}^*, \bar{T}_{k+1}^*, Q_k^*, Q_{k+1}^*, G_k^*, G_{k-1}^* . \quad (7)$$

Математичне очікування M , стандартне відхилення y і параметр ρ погіршилися, а це говорить про те, що додані змінні не є важливими і тільки ускладнюють модель.

І, нарешті, в набір вхідних параметрів четвертої нейромережевої моделі включена нормована передісторія по відпуску тепла за минулу добу Q_{k-1}^* :

$$\hat{G}_{k+1}^* = NN \mathcal{G}_{k+1}, \gamma_{k+1}, \underline{T}_{k-1}^*, \bar{T}_{k-1}^*, \underline{T}_k^*, \bar{T}_k^*, \underline{T}_{k+1}^*, \bar{T}_{k+1}^*, Q_{k-1}^*, Q_k^*, Q_{k+1}^*, G_k^*, G_{k-1}^* . \quad (8)$$

За результатами, приведеними в таблиці, модель (8) не стала кращою, а приблизно залишилася на тому ж рівні, що й попередня модель.

Найкращий результат точності прогнозування газоспоживання в ПС показала модель (6). На рис. 7 подано графіки нормованого фактичного і прогнозного добового споживання ПВГ побутовими споживачами м. Харкова за допомогою моделі (6). Рис. 7, а демонструє точність прогнозування на тренувальних даних, а рис. 7, б – точність однокрокового прогнозування для контрольної вибірки.

**Статистичні характеристики прогностичних моделей
зв'язного споживання газу та тепла в побутовому секторі**

Модель	Розмірність простору	Функціонал якості, E	Тренувальна вибірка			Тестова вибірка		
			M, ум. од.	y, ум. од.	p, %	M, ум. од.	y, ум. од.	p, %
(5)	100	0,048	-0,001	0,048	42,4	0,076	0,067	21,5
(6)	110	0,048	0,0008	0,048	34,8	0,058	0,074	24,5
(7)	130	0,044	-0,0003	0,044	36,3	0,12	0,074	25,8
(8)	140	0,048	0,002	0,045	35,9	0,11	0,076	24,5

Таким чином, як видно на рис. 7, модель (6) демонструє задовільну точність прогнозування на всіх архівних даних, а не тільки в окремі періоди. Це свідчить про те, що структура вхідних змінних моделі (6) є найбільш значимою із всіх запропонованих комбінацій для прогнозування газоспоживання в ПС.

У четвертому розділі розглядається синтез моделі для прогнозування попиту на ПВГ, що враховує наднормативну складову в побутовому газоспоживанні, яка виникає внаслідок зниження якості теплозабезпечення житлових масивів, та концепція реформування системи оперативного управління енергопостачанням великого міста, що використовує розроблені в дисертації прогностичні моделі.

Модель, що досліджується в цьому розділі, базується на представленнях, що в будь-який момент часу фактичне газоспоживання $\hat{G}_{\hat{a}\hat{a}\hat{d}}(d)$ містить дві компоненти:

$$\hat{G}_{\hat{a}\hat{a}\hat{d}}(d) = G_{\hat{a}\hat{a}\hat{d}}^{\hat{a}\hat{d}}(d) + \Delta\hat{G}(d), \quad (9)$$

де $G_{\hat{a}\hat{a}\hat{d}}^{\hat{a}\hat{d}}(d)$ – еталонні обсяги добового споживання ПВГ в ПС, які не залежать від якості мікрокліматичних умов в опалюваних приміщеннях, а $\Delta\hat{G}(d)$ – наднормативна складова в споживанні ПВГ, яка відображає реакцію побутових споживачів на погіршення мікроклімату у зв'язку з недовиробітком тепла на СЦТ.

Еталонні обсяги газоспоживання обчислюються наступним чином:

$$G_{\hat{a}\hat{a}\hat{d}}^{\hat{a}\hat{d}}(d) = f(k_M, k_N), \quad (10)$$

де k_M, k_N – відповідно, коефіцієнт місячного споживання ПВГ в річних обсягах і коефіцієнт добового споживання природного газу в тижневому циклі. В свою чергу, надспоживання ПВГ розраховується як величина, що знаходиться у кореляційному зв'язку з величиною недовідпуску тепла від джерела СЦТ:

$$\Delta \hat{G}(d) = r_{\Delta Q \Delta G} \frac{\sigma_{\Delta G}}{\sigma_{\Delta Q}} (\Delta \hat{Q}(d) - M_{\Delta Q}) + M_{\Delta G}, \quad (11)$$

де $r_{\Delta Q \Delta G}$ – коефіцієнт кореляції між недовідпуском тепла на опалення житлових масивів і надспоживанням газу в ПС, а $\Delta \hat{Q}(d)$ – очікуваний дефіцит тепла в житлових приміщеннях.

Очікуваний дефіцит тепла оцінюється як різниця між нормативними тепловими втратами $Q^{\dot{a}o}(d)$ через зовнішні огороження будівель і запланованим відпуском тепла на опалення ПС $\hat{Q}(d)$:

$$\Delta \hat{Q}(d) = Q^{\dot{a}o}(d) - \hat{Q}(d). \quad (12)$$

Цей алгоритм покладений в основу запропонованої в дисертаційній роботі автоматизованої системи обліку і прогнозування споживання ПВГ в ПС, яка орієнтована на невеликі об'єкти – тепловий район теплорозподільної станції або навіть один багатоповерховий житловий будинок. На рис. 9 наведено рішення цієї системи. Основними джерелами інформації являються вузли 1 обліку споживання ПВГ, вузли 2 обліку споживання тепла на опалення і вузли 3 обліку споживання гарячої води, а також вимірювач зовнішньої температури повітря 4. Усі вузли об'єднані локальною інформаційно-обчислювальною мережею 5 і підключені до інформаційного серверу 6 системи. Вся облікова інформація заноситься в базу даних споживання ПЕР і базу даних метеоумов.

Для випробовування алгоритмів функціонування системи були виконані експериментальні дослідження на одному із газових стояків в 16-типоверховому житловому будинку, розташованому в Салтівському житловому масиві м. Харкова.

В квартирах, що отримують газ від цього стояка, мешкає група побутових споживачів із 48 чоловік. Підставою для вибору саме цієї групи споживачів стала наявність вузла обліку варильного газу і в той же час наявність теплолічильника, встановленого на абонентському ввіді системи опалення будинку.

Результати обробки зібраних архівів зв'язного споживання ПЕР експериментальним об'єктом показали, що недовідпуск опалювального газу джерелу теплопостачання провокує “надспоживання” варильного газу населенням в обсягах, які складають від 15 до 30 % від обсягів потенційної економії опалювального газу. Що стосується величини “надспоживання”, розрахованої в співвідношенні до прийнятої сьогодні норми споживання ПВГ одним мешканцем, то в залежності від погодних умов та режимів відпуску тепла вона сягає 250-300%.

В розділі представлені рекомендації по застосуванню синтезованих моделей в різних умовах доступності даних з енергоспоживання та забезпеченості джерел СЦТ паливом. У ході проведених досліджень встановлено, що прогностичну нейромережеву модель зв'язного споживання ТЕ і ПВГ (б) доцільно використовувати в умовах найкращого забезпечення даними з енергоспоживання.

Модель (2)-(4) для прогнозування добових обсягів споживання ПВГ та ЕЕ доцільно використовувати лише в умовах неповноти облікової інформації по споживанню газу. Модель (9) краще використовувати для прогнозу та оцінки надспоживання ПВГ при відсутності належної забезпеченості джерел СЦТ паливом, що має велике практичне значення в умовах, коли недовідпуск ТЕ від джерел СЦТ набуває перманентного характеру і навіть планується, виходячи з наявності обігових коштів у теплогенеруючих компаній, призначених для закупівлі палива.

В розділі також представлено *концепцію* реформування системи оперативного управління енергопостачанням мегаполісу, розроблену на прикладі Харкова. На рис. 10 зображені інформаційні потоки в перспективній системі управління муніципальним енергопостачальним комплексом, яка робить акцент на цілісності процесу споживання різноманітних видів енергоресурсів в побутовому секторі і розглядає при цьому режими роботи джерел СЦТ як основний чинник впливу на обсяги надспоживання ЕЕ та ПВГ в побутовому секторі.

Головною особливістю перспективної системи є наявність спеціалізованого координуючого органа (КО), який гармонізує процеси газоспоживання в побутовому та в комунальному секторах міського господарства з позицій енергозбереження шляхом видачі рекомендацій диспетчерській службі міськгазу.

КО збирає інформацію від АСКУЕ диспетчерських служб Харківміськгазу, Харківських теплових мереж та Харківобленерго про поточне споживання ПЕР і виконує сортування одержаних даних по територіальній ознаці, наприклад, за допомогою геоінформаційної системи інженерних мереж міста. В результаті сортування КО визначає об'єкти налагодженого комплексного обліку енергоспоживання. Далі, використовуючи запропоновані в дисертаційній роботі моделі, синтезовані для групи однотипних житлових масивів, КО здійснює прогнозування обсягів споживання ПВГ та ЕЕ спочатку зазначеними об'єктами, а потім, використовуючи кількісне масштабування, – усіма житловими масивами міста. Результуюча інформація передається в диспетчерську службу міськгазу та диспетчерську службу обленерго. Співставляючи результати прогнозування з лімітом електроспоживання, встановленим регіону Оптовим ринком електричної енергії на наступну добу, а також з підтвердженими заявками на споживання природного газу регіоном, диспетчери приймають спільне рішення щодо прийнятності одержаного плану. У випадку отримання негативної оцінки вони змінюють завдання джерелам СЦТ на наступну добу, і ітеративний цикл пошуку оптимального плану повторюється.

Використання координуючим органом методик, алгоритмів і програм, розроблених в дисертаційній роботі, дозволить покращити структурованість прогнозів по відношенню до очікуваної динаміки розвитку попиту на ПВГ і завдяки цьому заздалегідь розробити заходи по управлінню газоспоживанням в регіоні. Наприклад, отримана в роботі оцінка надспоживання газу в ПС, яка становить 15-30% від очікуваної економії в споживанні природного газу джерелами СЦТ, є важ-

ливим індикатором, спираючись на який, диспетчери міськгазу одержують можливість для розробки раціональної програми обмеження промислових споживачів– регуляторів.

Використання запропонованої в роботі методології управління енергопостачанням дозволить перейти від норм споживання ПЕР в ПС до прогнозних величин та зменшити вплив суб'єктивних факторів на процес прийняття рішень, що стосуються управління газоспоживанням, з урахуванням перехресного впливу різних категорій споживачів одна на одну. В кінцевому результаті це призведе до покращення практики експлуатації регіональних газопостачальних систем, підвищенню надійності газопостачання й ефективності використання органічного палива підприємствами комунальної енергетики, особливо в періоди загострення дефіциту палива під час осінньо-зимового максимуму навантаження в енергосистемі. Що стосується електроспоживання, то впровадження перспективної системи сприятиме укріпленню дисципліни електроспоживання на регіональному рівні.

Для впровадження методології прогнозування енергоспоживання, розробленої в дисертаційній роботі, потрібно знизити відомчі інформаційні бар'єри, що поки що існують між гілками енергопостачання, та скоординувати їхні зусилля в створенні комплексної АСКУЕ. Зокрема, треба створити автоматизовану систему обліку споживання природного газу підприємствами теплоенергетики, промисловими споживачами–регуляторами, електростанціями і побутовими споживачами, яка б була добре структурована по ознаці приналежності житлових масивів до теплових районів крупних джерел СЦТ. Що стосується електропостачання, то мається на увазі збір інформації АСКУЕ про обсяги споживання електроенергії в ПС. І, нарешті, відносно теплопостачання — це автоматизований збір інформації про обсяги виробництва ТЕ на великих джерелах СЦТ, а також про обсяги споживання ТЕ житловими масивами окремо на цілі опалення і окремо на цілі гарячого водопостачання.

У додатку приводяться матеріали, що підтверджують практичне використання і впровадження результатів дисертаційної роботи.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі дано рішення важливої науково-практичної задачі – створення методичної та програмно-алгоритмічної бази для прогнозування зв'язного споживання ПЕР в побутовому секторі муніципального господарства в період опалювального сезону.

Основні результати і висновки роботи полягають у наступному:

1. На базі зібраних даних по тепло-, газо- і електроспоживанню в побутовому секторі досліджені особливості зв'язного споживання ПЕР, обумовленого підпорядкованістю обсягів споживання ЕЕ та обсягів споживання ПВГ повноті задоволення попиту на ТЕ в період опалювального сезону. Досліджено нові аспекти цього процесу, а саме – передумови та особливості виникнення кореляційного зв'язку між добовими обсягами споживання ПВГ та добовими обсягами споживання

ТЕ великим житловим масивом, а також кореляційного зв'язку між добовими обсягами споживання ЕЕ його окремими частинами.

2. Розроблено процедуру передпроцесорної обробки архіву зв'язного споживання, що дозволила підвищити ефективність формування баз даних, використовуваних для синтезу моделей еталонного та зв'язного споживання ПЕР.

3. Запропоновано 3 групи прогностичних моделей, які відрізняються одна від одної складністю представлень про зв'язний характер споживання ПЕР в ПС. Перша з моделей спирається на гіпотезу щодо наявності кореляційного зв'язку між добовими обсягами споживання ПВГ та добовими об'ємами споживання ЕЕ в ПС як двома наслідками неадекватності режимів опалення житлових масивів погодним умовам. Друга модель використовує гіпотезу щодо наявності нелінійного багатомірною зв'язку між обсягами споживання ПВГ та передісторією змінювання і прогнозом зовнішньої температури, а також передісторією і запланованими обсягами відпуску ТЕ житловим масивам. Нарешті, третя модель описує динаміку змінювання наднормативної складової в побутовому газоспоживанні, що виникає внаслідок недовиробітку ТЕ джерелами тепlopостачання. Синтезовані групи моделей дозволяють прогнозувати зв'язне енергоспоживання в широкому спектрі ситуацій, пов'язаних з організацією обліку споживання ПЕР.

4. Виконано порівняння точності прогнозування газоспоживання в ПС синтезованими моделями. Практичне застосування моделей показало їх здатність прогнозувати газоспоживання з похибкою не більше 3-5 %. В ході порівняльного аналізу синтезованих моделей встановлена неповна ідентичність процесів зв'язного споживання ТЕ та ЕЕ, а також зв'язного споживання ТЕ та ПВГ.

5. На базі експериментальних досліджень, виконаних на одному з житлових будинків, оцінено еластичність попиту на ПВГ. Доведено, що недовиробіток ТЕ на джерелах СЦТ провокує надспоживання ПВГ в ПС з ціллю додаткового обігріву житла в обсягах 15-30% від обсягів палива, зекономленого джерелами СЦТ.

6. Запропонована концепція реформування системи управління енергопостачальним комплексом великого міста, яка враховує зв'язний характер споживання ПЕР в ПС. Сформульовані вимоги щодо складу її функціональних компонентів і зв'язків між ними, які забезпечують можливість успішного вирішення задачі оптимального розподілу добових лімітів природного газу між джерелами СЦТ і населенням.

7. Результати дисертаційної роботи успішно впроваджено в роботу ВАТ "Харківміськгаз", ТОВ "Інститут системних досліджень в енергетиці" та НТУ "ХПІ".

СПИСОК ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Коваленко М.В., Махотило К.В., Позигун М.П. Восстановление утерянных данных о суточном потреблении электроэнергии жилыми массивами города // Вестник Харьковского государственного университета. – 2010. – № 1. – С. 10-14.

ственного политехнического университета. - Харьков: ХГПУ. - 2000. - № 81.- С. 71 - 73.

Здобувачу належить розробка процедури відновлення втрачених та недостовірних даних з архіву зв'язного споживання ПЕР в побутовому секторі.

2. Вороновский Г.К., Клепиков В.Б., Коваленко М.В., Махотило К.В. Нейросетевая модель связанного потребления тепловой и электрической энергии крупным жилым массивом города // Вестник Харьковского государственного политехнического университета.- Харьков: ХГПУ. - 2000. - № 113.- С. 363 - 366.

Здобувачем запропонована процедура передпроцесорної обробки архівних даних з енергоспоживання .

3. Коваленко М.В., Махотило К.В., Ольшевский А.М. Развитие методики синтеза эталонных суточных профилей электропотребления крупным жилым массивом города // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. - Харків: НТУ “ХПІ”. - 2001. - № 15. - С. 184 - 191.

Здобувачем розроблено процедуру формування бази прецедентів, призначеної для синтезу еталонних профілів електричного навантаження.

4. Коваленко М.В., Сергеев С.А., Филатов В.Е. Прогнозирование связанного потребления природного варочного газа и электроэнергии в коммунально-бытовом секторе // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. - Харків: НТУ “ХПІ”. - 2002. - Т. 4, № 9. - С. 53 - 58.

Здобувачем запропоновано двоетапну обчислювальну процедуру з першочерговим прогнозуванням обсягів добового споживання ЕЕ житловими масивами і наступним прогнозуванням обсягів добового споживання ПВГ як величини, яка має кореляційний зв'язок з обсягами споживання електричної енергії.

5. Коваленко М.В., Махотило К.В. Нейросетевая модель прогнозирования потребления газа в жилищно-бытовом секторе // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. - Харків: НТУ “ХПІ”. - 2002. - Т. 1, № 12. - С. 299 - 301.

Здобувачем досліджено різні структури нейромережевих моделей та синтезовано моделі, які використовуються для прогнозування зв'язного споживання газу та тепла в побутовому секторі.

6. Коваленко М.В. Моделирование и прогнозирование связанного потребления тепловой энергии и природного газа в быту // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. - Харків: НТУ “ХПІ”. - 2003. - Т. 1, № 10.- С. 276-278.

7. Коваленко М.В., Сергеев С.А. Предпроцессорная обработка данных для прогнозирования газопотребления в быту // Коммунальное хозяйство городов (Харківська державна академія міського господарства). - К.: Техніка. - 2004. - № 58. - С. 104 - 108.

Здобувачем запропоновано принципи сортування архівних даних, а також процедура чисе-

льного аналізу, яка реалізує ці принципи.

8. Пат. 69482 Україна, МПК F24D 19/10, G06F 15/16. Система обліку і прогнозування обсягів добового споживання природного газу житловим масивом: Пат. 69482 Україна, МПК F24D 19/10, G06F 15/16 М.В. Коваленко, К.В. Махотіло, С.О. Сергєєв, В.Є. Філатов. - № 2002031803; Заявл. 05.03.02 ; Опубл. 15.09.04; Промислова власність. - 2004. - № 9.- 8 с.

Здобувачу належить структурна схема системи обліку і прогнозування добових обсягів споживання природного варильного газу.

9. Пат. 72958 Україна, МПК F24D 19/10, G06F 15/00. Автоматизована система обліку і прогнозування об'ємів добового споживання газу в побутовому секторі: Пат. 72958 Україна, МПК F24D 19/10, G06F 15/00 Г.К. Вороновський, М.В. Коваленко, К.В. Махотіло, С.О. Сергєєв, В.Є. Філатов. - № 2002097157; Заявл. 03.09.02 ; Опубл. 16.05.05; Промислова власність. - 2005. - № 5.- 14 с.

Здобувачу належить розробка автоматизованої системи обліку і прогнозування споживання природного газу в побутовому секторі.

АНОТАЦІЇ

Коваленко М.В. Короткострокове прогнозування зв'язного споживання паливно-енергетичних ресурсів в побутовому секторі в період опалювального сезону. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.01 – енергетичні системи та комплекси. Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, 2005.

В дисертації розроблені моделі, алгоритми та методики для прогнозування зв'язного споживання природного варильного газу та електроенергії в побутовому секторі в умовах недовідпуску тепла житловим масивам в період опалювального сезону, які забезпечують підвищення ефективності експлуатації енергопостачального комплексу мегаполісу.

Запропоновано методики верифікації архівів споживання ПЕР, які базуються на евристичних процедурах передпроцесорної обробки архівних даних. Це дозволяє сформувати достовірні архіви, придатні для подальшої математичної обробки.

Досліджені характерні особливості зв'язного споживання варильного газу, електричної енергії та теплової енергії в ПС. Синтезовано три групи моделей для прогнозування зв'язного споживання ПЕР в ПС, які дозволяють прогнозувати зв'язне енергоспоживання в широкому спектрі ситуацій, пов'язаних з організацією обліку споживання ПЕР.

Виконана структурна та параметрична оптимізація зазначених прогностичних моделей та показано, що найбільшу точність прогнозування забезпечують моделі динамічного типу, синтезовані на базі штучних нейронних мереж. Вперше оцінена еластичність попиту на варильний газ в ПС

в залежності від якості теплозабезпечення житлових масивів.

Запропонована концепція реформування системи управління енергопостачанням мегаполісу, що передбачає створення спеціалізованого координуючого органу для успішного вирішення задачі оптимального розподілу добових лімітів природного газу між комунальними та побутовими споживачами.

Ключові слова: паливно-енергетичні ресурси, прогнозування зв'язного енергоспоживання, енергопостачання великого міста.

Коваленко М.В. Краткосрочное прогнозирование связного потребления топливно-энергетических ресурсов в бытовом секторе в период отопительного сезона. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.01 – энергетические системы и комплексы. Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”, Харьков, 2005.

Диссертация посвящена разработке моделей, алгоритмов и методик для прогнозирования связного потребления природного варочного газа и электроэнергии в быту в условиях недоотпуска тепла жилым массивам в период отопительного сезона, которые обеспечивают усовершенствование практики эксплуатации энергетического комплекса мегаполиса.

Предложена методика верификации и восстановления архивов потребления ТЭР, которая базируется на эвристических процедурах предпроцессорной обработки данных. Это позволяет сформировать базы данных, пригодные для дальнейшего использования в процессе синтеза математических моделей эталонного и связного энергопотребления.

Получили дальнейшее развитие вопросы исследования особенностей связного потребления электрической энергии и варочного газа в быту под влиянием недоотпуска тепла на отопление жилых массивов. Синтезировано три группы моделей для прогнозирования связного потребления ТЭР в быту, отличающихся друг от друга структурой описываемых ими причинно-следственных связей.

Первая предложенная в работе модель основана на гипотезе о наличии корреляционной связи между суточными объемами потребления природного варочного газа и суточными объемами потребления электрической энергии в быту как двумя следствиями неадекватности режимов отопления жилых массивов погодным условиям.

На базе искусственных нейронных сетей впервые синтезирована группа моделей связного потребления природного варочного газа и электрической энергии в быту в зависимости от наружной температуры и запланированных объемов отпуска тепла жилым массивам, которые позволяют прогнозировать спрос на ТЭР как векторную величину, а также исследовать характерные особенности связного потребления ТЭР в бытовом секторе.

На основании выдвинутой в работе гипотезы о скоррелированности сверхпотребления газа в быту и недоотпуска тепла от СЦТ разработана третья прогностическая модель, предназначенная для прогнозирования объемов потребления варочного газа. Модель апробирована на экспериментальных данных о газо- и теплоснабжении группой бытовых потребителей из 48 человек. Впервые оценена эластичность спроса на варочный газ в бытовом секторе в зависимости от качества теплоснабжения жилых массивов.

Сопоставительный анализ эффективности этих моделей показал, что наилучшую точность предсказания обеспечивают модели динамического типа, синтезированные на базе искусственных нейронных сетей. Им несколько уступают модели статического типа, построенные в рамках методов корреляционного анализа. Практическое использование моделей показало их способность прогнозировать суточные объемы газопотребления в быту с погрешностью не больше 3-5%.

Предложена концепция реформирования системы управления энергоснабжением мегаполиса, которая предусматривает создание специализированного координирующего органа для успешного решения задачи оптимального распределения суточных лимитов природного газа между бытовыми и коммунальными потребителями.

Ключевые слова: топливно-энергетические ресурсы, прогнозирование связанного энергопотребления, энергоснабжение большого города.

Kovalenko M.V. Short-term prediction of residential fuel-and-energy resources consumption during heating season. - Manuscript.

Thesis for a candidate's degree by specialty 05.14.01 – power systems and complexes. – National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv, 2005.

The thesis is devoted to development of techniques, algorithms, and models for predicting stranded residential natural gas and electric energy consumption in conditions of thermal energy undersupply to residential area, the developed tools providing advanced operation of a large city's energy supply system.

A technique for verification and restoration of fuel-and-energy resource consumption archives is developed based on heuristic procedures of preliminary archival data processing. It allows creating reliable archives applicable for further mathematical treatment.

Distinguished features of residential stranded natural gas, electric energy, and thermal energy consumption are studied. Three groups of prediction models are synthesized. Criteria for priority application of the synthesized models are established for different conditions of fuel supply to heating sources and various weather change scenarios.

Structural and parametric optimization of the prediction models is performed. The fact that dynamic-type artificial-neural-network-based models provide the highest prediction accuracy is proved. Elasticity of demand for natural gas in residential sector is first estimated as function of residential areas heating

quality.

A concept of reforming a large city's energy supply control system is introduced suggesting establishing a specialized control panel to solve the problem of daily natural gas partitioning among residential and industrial consumers.

Key words: fuel-and-energy resources, stranded energy consumption prediction, city energy supply.

Відповідальний за випуск к.т.н. Кутовий Ю.М.

Підписано до друку 06.10.2005 р. Формат видання 145×215.
Формат паперу 60×90/16. Папір офсетний. Друк — ризографія.
Умовн. друк. арк. 0,9. Наклад 100 прим. Замовлення № 569219

Надруковано у СПДФО Ізрайлев Є.М.

Свідоцтво № 04058841Ф0050331 від 21.03.2001 р.
61024, м. Харків, вул. Гуданова, 4/10, тел. (057) 70-41-241
