

О. Г. ГРИБ, І. Т. КРАПАЛЮК, С. В. ШВЕЦЬ, О. В. ЛУКА, Є. О. КАУРКІН

ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ЯК ФУНКЦІЯ ЗВ'ЯЗАНОГО ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ МІСЬКИХ ЕНЕРГОМЕРЕЖ

Розглядається питання погіршення якості електричної енергії внаслідок наднормативного її споживання. Таке споживання спонукається недостатньою кількістю постачання теплової енергії. Запропоновано концепцію загальноенергетичного споживання суб'єктами господарювання. В рамках концепції ураховуються всі типи енергії, які споживає споживач, і виводиться кореляційна залежність заміщення одного типу енергії іншим. Таким чином, створюється математична модель взаємо зв'язаного енергетичного пулу, що споживає споживач. В рамках такої моделі електрична енергія, як найбільш універсальна, може виступати заміником або доповнювачем іншим типам енергії в пулі споживання. Пропонується вимірювати типи енергії за її ринковою вартістю, приведеною до потреби і затребуваності споживачем. Причому залежність приведеної вартості має корегуватися у відповідності від рівня енергії оточуючого простору (сезонні температури), потреби в діяльності і інше. Корегування пропонується виконувати відповідними коефіцієнтами, що отримуються статистично. Модель зв'язаності енергій пропонується побудувати в об'ємі, як поєднання кінців векторів, що пропорційні приведеній вартості відповідного типу енергії. А кут нахилу вектора має відповідати ступеню заміщення одного типу енергії іншим. Таким чином, отримується залежність взаємо впливу різних видів енергії, що споживає споживач. А найбільшим обсягом енергії в нашому кліматі є тепла енергія. Тому недостача теплової енергії, або її низька якість, має компенсуватися іншими типами енергії споживання споживача. Так як електрична енергія є найуніверсальнішою, то її використовують в першу чергу для вирівнювання тіла енергетичного споживання. Таке споживання призводить до погіршення якості електричної енергії. Розробляється концепція взаємного впливу енергій, до якої вводиться поняття «тіло енергетичного споживання» для можливості наочного представлення і розрахунку впливу взаємопов'язаності енергій і створення методики, що дозволяє підвищити якість електричної енергії за рахунок прогнозування надспоживання для введення своєчасних заходів.

Ключові слова: показники якості електроенергії, природні умови, енергоспоживання, втрата потужності, тепла енергія, електрична енергія, взаємопов'язаність енергій, тіло енергетичного споживання.

O. GRUB, I. KRAPALYUK, S. SHVETS, O. LUKA, Y. KAURKIN

RELATIONSHIP BETWEEN CORONAL DISCHARGE AND HARMONIOUS COMPONENT AND THEIR INFLUENCE ON ELECTRICITY QUALITY INDICATORS

The issue of deterioration in the quality of electrical energy as a result of its excess consumption is considered. Such consumption is due to insufficient supply of thermal energy. The concept of general energy consumption by business entities is proposed. Within the framework of the concept, all types of energy consumed by the consumer are taken into account and a correlation dependence of the replacement of one type of energy with another is derived. Thus, a mathematical model of the interconnected energy pool consumed by the consumer is created. Within the framework of such a model, electrical energy, as the most versatile, can act as a substitute or supplement for other types of energy in the consumption pool. It is proposed to measure the types of energy by its market value, adjusted to the needs and demand of the consumer. Moreover, the dependence of the present value should be adjusted in accordance with the energy level of the surrounding space (seasonal temperatures), the need for activity, and so on. The adjustment is proposed to be carried out by the corresponding statistical coefficients. The energy connectivity model is proposed to be built in volume as a combination of the ends of vectors proportional to the present value of the corresponding type of energy. The slope of the vector must correspond to the degree of substitution of one type of energy by another. Thus, the dependence of the mutual influence of various types of energy consumed by the consumer is obtained. The largest amount of energy in our climate is thermal energy. Therefore, the lack of thermal energy or its low quality must be compensated by other types of consumer energy consumption. Since electrical energy is the most versatile, it is used primarily to equalize the body's energy consumption. Such consumption leads to a deterioration in the quality of electrical energy. The concept of the mutual influence of energies is being developed, in which the concept of "energy consumption body" is introduced to enable visual representation and calculation of the influence of the interconnectedness of energies and the creation of a methodology that allows improving the quality of electrical energy by predicting overconsumption for the introduction of timely measures.

Keywords: power quality indicators, environmental conditions, energy consumption, power loss, thermal energy, electrical energy, interconnectedness of energies, body of energy consumption.

Постановка проблеми. В даний час існує безліч проблем забезпечення міст енергією. Серед актуальних проблем слід виділити наступні: енергопостачання міст в умовах дефіциту енергоресурсів, оптимізація тепло-, газо- та електропостачання великих житлових масивів, оптимізація споживання електроенергії в комунально-побутовому секторі, підвищення ефективності централізованого теплопостачання. Для вирішення таких завдань пропонувалися різні концепції, теорії та методики [1–6].

Пошук оптимальних режимів відпуску тепла житловим масивам призводить до необхідності розробки нової структури зв'язків між об'єктом управління, керуючим процесом і засобами контролю, при якій забезпечується протікання технологічного процесу з заданими техніко-економічними

показниками і гарантується заданий рівень якості енергопостачання [7].

В нашому кліматі найбільший обсяг споживання доводиться на теплову енергію. А виходячи з того, що теплове навантаження абонентів величина не постійна, як зазначено в [3], воно змінюється в залежності від погодних умов (температури зовнішнього повітря, вітру, вологості повітря тощо), режиму гарячого водопостачання та інших факторів. Для забезпечення з одного боку якісного теплопостачання, а з іншого досягнення економічних режимів вироблення і транспортування теплоносія необхідно обирати відповідний метод регулювання, а саме: центральне, групове, місцеве та індивідуальне регулювання (в залежності від пункту здійснення) [3]. Якісний відпуск тепла абонентам у системах центрального теплопостачання можливий тільки при

комплексному застосуванні декількох ступенів регулювання [3, 4], що має включати застосування комбінованого регулювання: центральне, групове та індивідуальне або центральне, місцеве та індивідуальне.

Оскільки основне завдання систем опалення [3] полягає у підтримці температури усередині приміщень на заданому рівні, то найбільш просте й ефективне рішення цієї задачі можливе при індивідуальній автоматизації, тобто при встановленні автоматичних регуляторів безпосередньо на нагрівальних приладах. При такому вирішенні спрощуються методи регулювання відпуску тепла від ТЕЦ. Однак, впровадження індивідуального регулювання безпосередньо на теплоприладах зв'язано з великими початковими витратами і в даний час не завжди здійснимо.

Тому ефективне регулювання (у разі відсутності індивідуального і неможливості здійснення центрального регулювання відхилення регульованого параметра) може бути досягнуто тільки за допомогою впровадження нових підходів до комплексного оперативного управління виробництвом, передачею та розподілом теплової та електричної енергії.

Одним з можливих рішень ситуації, є вирішення проблеми за рахунок створення автоматизованої системи моніторингу якості енергопостачання, заснованої на статистичному аналізі. Така система дозволить отримати повну інформацію про просторово-часову структуру споживання енергії і оцінити витрати паливно-енергетичних ресурсів. Використання інформації щодо різних видів енергії, постачаємої споживачу, із урахуванням факторів, що впливають на постачання і виконання статистичного аналізу, дасть можливість прийняти необхідні заходи для поліпшення якості енергопостачання. Статистичний моніторинг дозволить здійснити виявлення відхилень, розладнань, підвищити надійність і якість енергопостачання.

Як зазначено в [3], на базі моніторингу стану споживчого попиту на паливно-енергетичні ресурси можливе здійснення більш ефективної диспетчеризації великих генераторів тепла, що може зробити систему теплопостачання більш керованою.

Контроль якості енергопостачання, загальноенергетичного споживання суб'єктами господарювання. Авторами запропонована ідея використання концепції загальноенергетичного споживання суб'єктами господарювання. В рамках концепції ураховуються всі типи енергії, які споживає споживач, і виводиться кореляційна залежність заміщення одного типу енергії іншим. Таким чином, пропонується модель взаємозв'язаного енергетичного пулу, що споживає споживач. В рамках такої моделі електрична енергія, як найбільш універсальна, може виступати заміником або доповнювачем до інших типів енергії в пулі споживання. Пропонується вимірювати типи енергії за її ринковою вартістю, приведеною до потреби і затребуваності споживачем. Причому залежність приведеної вартості має корегуватися у відповідності від рівня енергії

оточуючого простору (сезонні температури), потреби в діяльності і інше. Корегування пропонується виконувати відповідними коефіцієнтами, що отримуються статистично.

Так величина енергії Q_i для i виду енергії, вираховується наступною залежністю:

$$Q_i = C_i \cdot K_i \cdot K_{out},$$

де C_i – ринкова вартість i енергії;

K_i – коефіцієнт потреби в i енергії споживачем;

K_{out} – коефіцієнт залежності від оточуючої температури.

Модель зв'язаності енергій пропонується побудувати в об'ємі, як поєднання кінців векторів, що пропорційні приведеній вартості відповідного типу енергії (рис. 1). Кут нахилу вектора α_{i-1} має відповідати ступеню заміщення одного типу енергії іншим. Таким чином, отримується залежність взаємовпливу різних видів енергії, що споживає споживач.

$$\alpha_{i-1} = \arctg \frac{Q_i}{Q_{i-1}} \cdot k_{i-1},$$

де k_{i-1} – коефіцієнт ступеню заміщення типу $i-1$ енергії до i енергії.

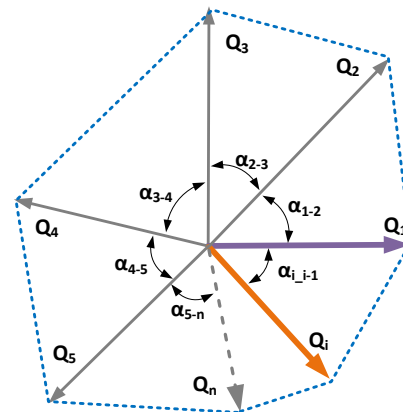


Рис. 1. Енергії, що споживає споживач, у вигляді векторної діаграми

В якості прикладу можна показати тіло енергоспоживання за трьома видами енергії (рис. 2)

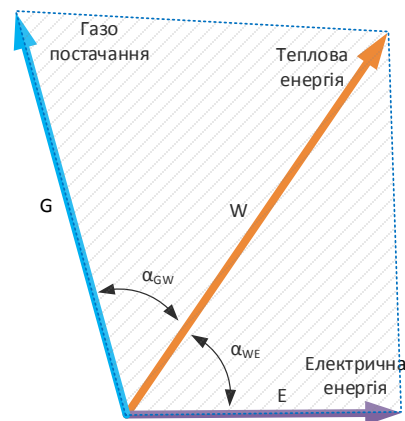


Рис. 2. Тіло енергоспоживання за трьома видами енергії

В нашому кліматі найбільший обсяг споживасмої енергії є теплова енергія. Тому недостача теплової енергії, або її низька якість, має компенсуватися іншими типами енергії споживання споживача. Так як електрична енергія є найуніверсальнішою, то її використовують в першу чергу для вирівнювання тіла енергетичного споживання. Таке споживання призводить до погіршення якості електричної енергії. Виходячи із концепції взаємопов'язаності енергій вводиться поняття «тіло енергетичного споживання». Тіло енергетичного споживання дає можливість наочного представлення і розрахунку впливу взаємопов'язаності енергій і створення методики, що дозволяє підвищити керованість енергоспоживання і таким чином підвищити якість електричної енергії за рахунок прогнозування надспоживання для введення своєчасних заходів.

Виходячи із положення зв'язаності енергії, можна показати логічний наслідок, що не різкі зміни споживання одного типу енергії обов'язково призведуть до змін у споживанні інших видів енергії. Тобто, якщо контролювати споживання, наприклад, електричної енергії, то можна через тіло енергоспоживання з'ясувати зміни у споживанні інших видів енергії. До того ж прилади споживання електричної енергії встановлені у кожного споживача. І параметри сучасних приладів обліку електричної енергії дозволяють виконувати збір даних віддалено. На даних про споживання електроенергії житловими масивами можна зробити висновки і для моніторингу якості теплопостачання. Розглядається можливість здійснення перетворення інформації, що неявно міститься у добових, тижневих даних по електроспоживанню, з якої можна отримати інформацію про якість теплопостачання, оскільки недоотримане тепло споживачі можуть компенсувати електрообігрівом. У такому разі виявлення надспоживання електроенергії буде сигналом про виникнення неполадок в системі теплопостачання, а також буде свідчити про низьку якість теплопостачання.

Як зазначено в [3, 4]: "Задача оптимізації систем теплопостачання представляє велику методичну складність у зв'язку з тим, що ці системи є підсистемами великих енергосистем, безперервно розвиваються в часі і характеризуються багатофакторною залежністю економічних показників від схеми, типу обладнання та режиму роботи системи централізованого теплопостачання, так і від структури обладнання та режиму роботи енергетичної системи в цілому."

Важливою властивістю ефективної сучасної системи моніторингу є можливість отримання доступу до даних у режимі реального часу, централізованого зберігання інформації та використання мережевого програмного забезпечення для обробки даних.

З-за неможливості експериментування на великих системах центрального теплопостачання виникає необхідність у теоретичній обробці архівних даних, у математичному моделюванні попиту на електричну та теплову енергію, у створенні

математичних моделей регулювання відпуску тепла і чисельних експериментах.

Впровадження автоматизованої системи моніторингу якості теплопостачання житлових масивів дозволить оптимізувати роботу диспетчерського центру систем центрального теплопостачання та скоротити витрати на виробництво, передачу і розподіл теплової та електричної енергії. В [2, 4] розглядається концепція автоматизації обліку і управління побутового енергоспоживання і описується використання апаратно-програмного комплексу для моніторингу якості теплопостачання житлових масивів.

Для удосконалення управління енергоспоживанням в муніципальному господарстві [2, 3, 6] проводиться дослідження сезонних закономірностей зв'язаного споживання електроенергії, газу і тепла в комунально-побутовому секторі. При цьому враховується дефіцит тепла і дефіцит сонячного світла в житлових приміщеннях. За результатами досліджень із загального потоку даних про електроспоживання для конкретного житлового масиву виявляється складова, зв'язана з електричним додатковим підігрівом. В [2] зроблено припущення, що якісній роботі системи центрального теплопостачання відповідає певна норма споживання електричної енергії житловими масивами.

Виходячи з цього, тіло енергоспоживання – кількість електроенергії, необхідна конкретному споживачу для забезпечення нормальної життєдіяльності за умови високоякісного теплопостачання, при якому заміна складова енергій буде використовуватися як найменше.

Зниження якості теплопостачання призводить до збільшення споживання електроенергії побутовими споживачами (для електрообігріву), тобто до перевищення встановленої норми. У зв'язку з чим пропонується побудова моделі «тіла енергоспоживання», що дозволить створити замкнуту систему регулювання відпуску енергії: наприклад тепла на основі системи моніторингу зв'язного споживання енергоресурсів побутовими споживачами.

Використання такої системи регулювання дає системі центрального теплопостачання можливість керування режимами відпуску тепла з урахуванням змін реакції побутових споживачів на тепловий дискомфорт, зв'язаний з недостатнім рівнем якості теплопостачання.

Огляд математичних моделей і методів для моніторингу властивостей динамічних процесів. Завдання моніторингу динамічних процесів. Важливою умовою нормального функціонування будь-якого технологічного процесу є своєчасне виявлення в ньому помилок і відхилень параметрів процесу від допустимих значень, а також ідентифікація чинників, які спричинили ці відхилення.

Мета моніторингу динамічних процесів полягає у виявленні відхилень і запобіганню їх наслідків на основі дослідження часових рядів, що містять інформацію про параметри процесу за певний часовий проміжок.

Ключова ідея моніторингу характеристик часових рядів полягає в тому, щоб контролювати і в разі необхідності регулювати параметри процесу з метою запобігання збоїв або «розладнань».

Завдання моніторингу динамічних процесів можна звести до вивчення характеристик часового ряду. Серед таких завдань можна виділити наступні:

- виявлення прихованих, неявних компонент часового ряду для аналізу причинно-наслідкових зв'язків генеруючої його динамічної системи;
- виявлення моментів часу змін властивостей досліджуваного часового ряду;
- виявлення моментів часу виходу значень певних параметрів процесу з заданої області;
- оптимізацію регулювання функціонування аналізованої системи і контроль якості кінцевого продукту.

Аналіз структури часових рядів для виявлення причинно-наслідкових зв'язків динамічної системи. Динамічні процеси, що протікають в технічних системах, породжують часові ряди складної структури, що містять різні компоненти, аналіз яких дозволяє зрозуміти природу системи, яка генерує часові ряди, і може бути використаний для вироблення стратегій оптимального керування процесом.

Можливість оптимального керування на основі вивчення динамічних взаємозв'язків часових рядів складної структури має велике практичне значення [8–13].

Обробка часових рядів, породжуваних технічними системами та виробничими процесами, дає можливість вивчення прихованих властивостей систем і процесів. Однак, на практиці дослідники часто обмежуються аналізом окремих компонент часового ряду.

Найчастіше розглядаються два класи завдань аналізу рядів динаміки: задачі ідентифікації об'єкта, що породжує ряд (підбір деякої математичної моделі, яка генерує адекватний часовий ряд) і задачі фільтрації часових рядів, мета якої полягає у виділенні і вивченні деякого компонента.

В реальній практиці моніторингу динамічних процесів, як правило, доводиться мати справу з рядами, які мають складну структуру. Це обумовлено тим, що на формування тимчасового ряду впливає багато взаємопов'язаних факторів, врахувати вплив яких поодиночки важко, а деколи і неможливо.

Як зазначено в [10], типові тимчасові ряди можуть складатися з наступних типових компонент: тренд (систематична зміна), коливання відносно тренда, періодичні складові (ефект сезонності), випадковий (несистематичний) компонент. Традиційна теорія часових рядів, присвячена розкладання даних на зазначені компоненти, їх окремому вивченню та аналізу.

Трендом є стійка, систематична зміна в поведінці низки. Причому може виникнути ситуація, коли за тренд помилково буде прийматися частина коливального процесу, з періодом більшим, ніж довжина ряду. В [10] запропоновано декілька способів

визначення тренда. Компоненту, що відповідає тренду, можна представити у вигляді полінома від часу t . Використовуючи метод найменших квадратів (метод докладно описаний у [11–13] та інших літературних джерелах), можна отримати поліном, який найбільш добре відображає еволюцію членів ряду, тобто здійснити вирівнювання членів ряду методом найменших квадратів. При цьому слід враховувати той факт, що характер тренда може змінюватися з часом. У цьому випадку авторами запропоновано використовувати поліном більш високого порядку або більш складну функцію. Авторами розглянуто і альтернативний підхід – ковзні середні, при якому здійснюється пошук полінома для деякої частини ряду (а не цілого ряду) і для різних етапів використовуються різні многочлени. У цьому випадку беруться n перших членів ряду, за цими членами будується поліном ступеня p , ($p \leq n - 1$) і знаходиться значення полінома в середині його області визначення. Далі беруться n членів ряду, починаючи з другого до $n + 1$, будується новий поліном і так далі. На кожному етапі відбувається зсув на один член вправо.

Як зазначено в [9], спектральний аналіз у частотній області утворює один клас методів аналізу часових рядів.

Методи спектрального аналізу випадкових процесів з'явилися у зв'язку з виникненням задач розробки систем автоматичного керування динамічними системами, а також задачами автоматизованої передачі інформації. Аналіз частотної структури ряду дозволяє отримати змістовну інформацію про функціонування системи.

Статистичні методи спектрального аналізу, аналіз часових рядів Фур'є для розглянуто також у [9, 12, 13].

При спектральному аналізі ряду оцінювання спектру завжди проводиться на кінцевій частотній смузі. При цьому в першу частотну смугу включається як тренд, так і гармонічні складові з частотами близькими до нуля. При аналізі часових рядів часто виникає необхідність виділення частотних смуг, що вносять значний внесок в дисперсію породжує ряд процесу. Для виділення періодичних і неперіодичних компонент ряду враховується той факт, що процес, який не містить періодичні компоненти, має безперервну спектральну щільність. Якщо ж у процесі має місце гармонійна складова частоти ω_0 , то їй буде відповідати гострий пік в спектральній щільності.

В [14] розглядаються спектральні моделі ідентифікації: неперервні і дискретні. Спектр, вказує на те, якою мірою ряд підпорядковується тому чи іншого ритму.

В [14] проводиться аналіз головних компонент у частотній області, а також вивчаються ряди головних компонент та їх властивості. Розглядається векторний ряд $X(t)$ з компонентами. Допускається, що необхідно передати значення величин $X(t)$ по каналах зв'язку із одного пункту в інший, але при цьому в розпорядженні є тільки $q \leq r$ каналів для передачі даних. У такому випадку процес передачі ряду по

каналах описується як фільтрація, в результаті якої виходить компонентний векторний ряд. Таку задачу можна розглядати як відшукування способу побудови такого мірного ряду q , який несе значну частину інформації про вихідний ряд $X(t)$.

Частотну фільтрацію тимчасового ряду здійснюють з метою виділення й аналізу деякого компонента або з метою виключення певної частотної смуги. Ці процедури зв'язані зі зміною структури спектру ряду і здійснюються, як вже було зазначено, за допомогою частотних інформаційних фільтрів.

Слід відзначити другу проблему. Виділення компонент часового ряду може бути проблематично і з причини, зв'язаної з наявністю різноманітних факторів (багато з яких не піддаються безпосередньому спостереженню і кількісному вимірюванню), що породжують різні типи нестационарностей ряду і суттєво поглиблюють проблему динамічної ідентифікації.

Незважаючи на зазначені проблеми, частотні методи отримали широке застосування при дослідженні стаціонарних процесів в автоматизованих системах управління.

Оптимізація регулювання та контроль якості.

Для вироблення стратегії оптимального управління складною системою необхідно виявлення характеру і структури взаємозв'язків між змінними параметрами процесу (X), що впливають на деякі характеристики якості кінцевого продукту, і результирующим показником (y). Внаслідок чого можливе управління показником за допомогою регулювання параметрів для запобігання або мінімізації відхилення результирующего показника від встановленого номіналу.

Регулювання, як зазначено в [9], в даному випадку являє собою спробу компенсувати збурення, що вносяться в систему, причому деякі з цих збурень доступні для безпосередніх вимірювань, інші ні, і проявляються як незрозумілі відхилення від встановленого значення керованої характеристики процесу.

Інший підхід для визначення якості кінцевого продукту представлений в [15]. Автор зазначає що, відомості про технологічні параметри процесу, зібрані за весь період протікання процесу, містять суттєву інформацію щодо якості кінцевого продукту. Однак, регулювання та контроль якості ускладнюються тим, що процес характеризується великою кількістю змінних. Ці змінні корелюють між собою, не всі вимірювані параметри є суттєвими, багато з них лише в непрякій формі відображають важливі, приховані властивості процесу. Тут передбачається, що матриця даних вимірювань параметрів технологічного процесу за певний проміжок часу і відповідна матриця даних про якість продукції. Дані надлишкові і тільки частина показників (можливо неявних) дійсно інформативні та містять потенційно важливу інформацію про якість кінцевої продукції. Порівняно з вихідною матрицею даних, матриця неявних змінних має низьку розмірність. Модель має вигляд:

$$\begin{aligned} X &= TP^T + E; \\ Y &= TQ^T + F, \end{aligned}$$

де $X(n \times k)$ – матриця вимірювань технологічних параметрів;

$Y(n \times m)$ – матриця даних якості продукції;

$T(n \times A)$ – матриця неявних змінних;

$P(k \times A), Q(m \times A)$ – матриці навантажень;

E, F – «шум».

Перехід до моделі неявних змінних передбачає значне зменшення розмірності масиву даних, а також з'являється можливість цілеспрямованого контролю параметрів процесу, беручи до уваги їх вплив на кінцевий результат процесу (якість кінцевого продукту).

При такому підході контроль може бути здійснений навіть тоді, коли на певних виробничих етапах безпосередні вимірювання якості продукції недоступні.

Отже, в промислових процесах для підтримки деякої узагальненої характеристики якості, як можна ближче до встановленого рівня, можливе здійснення управління якістю продукції засобами регулювання параметрів технологічного процесу за допомогою застосування моделей і методів компонентного аналізу.

Застосування компонентного аналізу для контролю якості найбільш актуально у випадках якщо:

- окремі показники якості не піддаються безпосередньому вимірюванню;

- відсутні деякі дані про параметри процесу, що впливають на якість кінцевого результату (наприклад, у деякі моменти часу не працював датчик, внаслідок чого отримані дані з пропусками);

- якість є комплексним показником, для якого немає шкали вимірювання;

- якість кінцевого продукту латентно на деяких стадіях виробничого процесу.

Висновок. Виходячи з вищесказаного можна відзначити, що використання облікових даних споживання електроенергії, варильного газу та тепла побутовими споживачами, а також прогнозних і поточних даних про метеумови, дає можливість отримання інформації щодо якості енергопостачання житлових масивів. Що дозволяє, на основі використання системи моніторингу зв'язного споживання енергоресурсів житловими масивами вирішити наступні завдання:

- виявлення і вивчення факторів, що впливають на особливості зв'язного споживання електроенергії, природного газу і тепла житловими масивами;

- виявлення і запобігання збоїв у системі теплопостачання;

- здійснення оперативного контролю якості теплопостачання;

- вдосконалення регулювання режимів відпуску тепла житловим масивам;

- вдосконалення планування виробництва електроенергії і тепла;

- підвищення економічності та оптимізація роботи систем центрального теплопостачання.

Таким чином, запропонована модель взаємозв'язаного енергетичного пулу, що споживає

споживач, дозволяє отримати нові шляхи для обґрунтування використання комплексного моніторингу і досягти більших мінімаксних показників при регулюванні енергопостачання, що дозволить досягти разом із покращенням економічних показників, ще й підвищення якісних показників енергопостачання.

Список літератури

1. Гриб О. Г., Сокол Е. И., Жаркин А. Ф., Васильченко В. И., Тесик Ю. Ф. *Качество электрической энергии. Том 2. Контроль качества электрической энергии*. Харьков: ПП «Граф-Ікс», 2014. 244 с.
2. Вороновский Г. К. *Усовершенствование практики оперативного управления крупными теплофикационными системами в новых экономических условиях*. Харьков: Изд-во «Харьков», 2002. 240 с.
3. Соколов Е. Я. *Теплофикация и тепловые сети*. Энергоиздат, 1982. 360 с.
4. Сафонов А. П. *Автоматизация систем централизованного теплоснабжения*. Энергія, 1974. 272 с.
5. Бравін Л. С., Охотін В. М., Рабкіна Д. І., Шальман М. П. *Автоматизация великих теплових електростанцій*. Энергія, 1974. 240 с.
6. Andarini R. The role of building thermal simulation for energyefficient building design. *Energy procedia*. 2014. Vol. 47. P. 217–226.
7. Онищенко В. А., Самойленко И. А., Гриб О. Г., Жаркин А. Ф., Васильченко В. И., Ушаповский К. В., Сендерович Г. А., Светелик А. Д., Кондратенко К. И., Довгалюк О. Н., Щербаклова П. Г., Захаренко Н. С. *Анализ и оценка экономических ущербов от низкого качества электрической энергии*. Харьков: ПП «Граф-Ікс», 2013. 329 с.
8. Box G. E. P., Jenkins G. M. *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. San Francisco: Holden-Day, 1970. 197 p.
9. Brillinger D. R. *Time series: Data Analysis and Theory*. San Francisco: Holden-Day, 1980. 536 p.
10. Kendall M. G., Stuart A. *Design and Analysis, and Time-Series*. London: Charles Griffin & Company Limited, 1976. 736 p.
11. Otnes R. K., Enochson L. *Applied Time Series Analysis. Basic Techniques*. New York: John Wiley and Sons, 1982. 428 p.
12. Rao C. R. *Linear statistical inference and its applications*. New York: John Wiley and Sons, 1968. 547 p.
13. Ündey C., Çınar A. Statistical monitoring of multistage, multiphase batch processes. *IEEE Control Systems Magazine*. 2002. Vol. 22, issue 5. P. 40–52. doi: 10.1109/MCS.2002.1035216
14. Никифоров И. В. *Последовательное обнаружение изменения свойств временных рядов*. Наука, 1983. 199 с.
15. Martin E., Morris J., Lane S. Monitoring process manufacturing performance. *IEEE Control Systems Magazine*. 2002. Vol. 22, issue 5. P. 26–39. doi: 10.1109/MCS.2002.1035215

References (transliterated)

1. Grib O. G., Sokol E. I., Zharkin A. F., Vasil'chenko V. I., Tesik Yu. F. *Kachestvo elektricheskoy energii. Tom 2. Kontrol' kachestva elektricheskoy energii* [Quality of electrical energy. Vol. 2. Quality control of electrical energy]. Kharkov, PP "Graf-Iks" Publ., 2014. 244 p.
2. Voronovskiy G. K. *Usovershenstvovanie praktiki operativnogo upravleniya krupnymi teplofikatsionnymi sistemami v novykh ekonomicheskikh usloviyakh* [Improvement of operational management practices of large district heating systems in the new economic environment]. Kharkov, Khar'kov Publ., 2002. 240 p.
3. Sokolov E. Ya. *Teplofikatsiya i teplovye seti* [Heating and heating networks]. Energoizdat Publ., 1982. 360 p.
4. Safonov A. P. *Avtomatyzatsiya sistem tsentralizovanoho teplopостachannia* [Automation of district heating systems]. Enerhiia Publ., 1974. 272 p.
5. Bravin L. S., Okhotin V. M., Rabkina D. I., Shalman M. P. *Avtomatyzatsiya velykykh teplovykh elektrostantsii* [Automation of large thermal power plants]. Enerhiia, 1974. 240 p.
6. Andarini R. The role of building thermal simulation for energyefficient building design. *Energy procedia*. 2014, vol. 47, pp. 217–226.
7. Onishchenko V. A., Samoylenko I. A., Grib O. G., Zharkin A. F., Vasil'chenko V. I., Ushchapovskiy K. V., Senderovich G. A., Svetelik A. D., Kondratenko K. I., Dovgalyuk O. N., Shcherbakova P. G., Zakharenko N. S. *Analiz i otsenka ekonomicheskikh usherbov ot nizkogo kachestva elektricheskoy energii* [Analysis and assessment of economic damage from poor quality electricity]. Kharkov, PP "Graf-Iks" Publ., 2013. 329 p.
8. Box G. E. P., Jenkins G. M. *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. San Francisco, Holden-Day Publ., 1970. 197 p.
9. Brillinger D. R. *Time series: Data Analysis and Theory*. San Francisco, Holden-Day Publ., 1980. 536 p.
10. Kendall M. G., Stuart A. *Design and Analysis, and Time-Series*. London, Charles Griffin & Company Limited Publ., 1976. 736 p.
11. Otnes R. K., Enochson L. *Applied Time Series Analysis. Basic Techniques*. New York, John Wiley and Sons Publ., 1982. 428 p.
12. Rao C. R. *Linear statistical inference and its applications*. New York, John Wiley and Sons Publ., 1968. 547 p.
13. Ündey C., Çınar A. Statistical monitoring of multistage, multiphase batch processes. *IEEE Control Systems Magazine*. 2002, vol. 22, issue 5, pp. 40–52. doi: 10.1109/MCS.2002.1035216
14. Nikiforov I. V. *Posledovatel'noe obnaruzhenie izmeneniya svoystv vremennykh ryadov* [Consistent detection of changes in time series properties]. Nauka Publ., 1983. 199 p.
15. Martin E., Morris J., Lane S. Monitoring process manufacturing performance. *IEEE Control Systems Magazine*. 2002, vol. 22, issue 5, pp. 26–39. doi: 10.1109/MCS.2002.1035215

Надійшла (received) 05.12.2022

Відомості про авторів / About the Authors

Гриб Олег Герасимович (Grib Oleh) – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри «Автоматизація та кібербезпека енергосистем»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4758-8350>; e-mail: oleg47gryb@gmail.com

Карпалюк Ігор Тимофійович (Karpaliuk Igor) – доктор технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри «Автоматизація та кібербезпека енергосистем»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5634-6807>; e-mail: humpway@gmail.com

Швець Сергій Вікторович (Shvets Sergey) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри «Автоматизація та кібербезпека енергосистем»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3716-141X>; e-mail: se55sh32@gmail.com

Лука Олексій Володимирович (Luka Oleksiy) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант кафедри «Автоматизація та кібербезпека енергосистем»; м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4178-8856>; e-mail: oleksiyluka141@gmail.com

Кауркін Євген Олексійович (Kaurkin Yevgen) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант кафедри «Автоматизація та кібербезпека енергосистем»; м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5878-128X>; e-mail: yevgenkaurkin141@gmail.com