

## КОМПЛЕКСНИЙ СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ДАНИХ СПОЖИВАННЯ АКТИВНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ, ВИТРАТ ЕНЕРГОРЕСУРСІВ ТА ОБСЯГІВ ВИРОБНИЦТВА ПРОДУКЦІЇ

*Метою дослідження є розробка алгоритму комплексного статистичного аналізу даних споживання активної електроенергії, витрат енергоресурсів та обсягів виробництва продукції та впровадження статистичного аналізу в практичну діяльність.*

*Запропоновані параметри та критерії, що можуть допомогти технологічному персоналу промислових підприємств забезпечити оптимальну та економічну роботу систем подачі і розподілу таких енергоносіїв, як електроенергія, вода, природний газ, тепло, стиснене повітря тощо на виробничих об'єктах, ґрунтуючись на зібраних облікових даних енергоспоживання за минулі періоди, інформації про динаміку споживання.*

*Зроблений висновок про те, що статистична обробка одержаних даних по кожному виду інженерного устаткування (водопостачання та водовідведення, постачання стисненим повітрям, газом, електроенергією та паром) та різноманітних витратних коефіцієнтів за запропонованим в роботі алгоритмом дає можливість виявити "слабкі ділянки" і визначити найбільш раціональні шляхи для оптимізації використання енергії.*

**Ключові слова:** електроспоживання, витрати енергоресурсів, статистичний аналіз даних.

**Вступ.** В умовах постійного зростання вартості енергетичних ресурсів та необхідності пошуку шляхів енергозбереження на підприємстві актуальним постає питання проведення комплексного (одночасного) статистичного аналізу (СА) споживання електричної енергії, з урахуванням показників діяльності підприємства, від яких воно залежить, та обсягів виробництва продукції.

Методологічною базою для проведення комплексного статистичного аналізу може стати запропонований в [1] підхід щодо накопичування даних електроспоживання об'єкту промисловості на основі обробки ансамблю їх реалізацій, одержаних автоматизованими системами обліку електроенергії, та проведенні відповідних досліджень. Цей підхід ґрунтується на роботах Фокіна Ю.О., Волобринського С.Д., Шидловського А.К., Курінного Е.Г., Денисенко М.А., Жежеленко І.В. [2-6].

**Мета та завдання.** Метою даної роботи є забезпечення максимальної ефективності використання даних енергоспоживання, що збираються з автоматичних систем енергоспоживання, з приладів автоматичного накопичення інформації про енергоспоживання, для підвищення економічності та ефективності технологічного процесу шляхом організації контролю за ним, а також надання відповідної оцінки дій персоналу. Для досягнення цієї мети необхідно розробити алгоритм комплексного статистичного аналізу даних споживання активної електроенергії, витрат енергоресурсів та обсягів виробництва продукції та запропонувати шляхи застосування комплексного статистичного аналізу даних в практичній діяльності.

**Матеріал і результати досліджень.** Масиви облікових даних щодо фактичного споживання електричної енергії, витрат енергоресурсів та обсягів виробництва продукції можуть бути одержані з інтелектуальних приладів або систем обліку енергоресурсів з дискретністю, яка найбільше підходить для використання СА, а саме один раз на п'ятнадцять, тридцять або шістьдесят хвилин.

В мережі ПП існують джерела реактивної електроенергії, які не мають автоматичного керування. Оперативний персонал змін, що тривають по 8 або 12 годин, з різною якістю проводять контроль за рівнем тангенсу потужності (або коефіцієнту потужності). При неякісному контролі може значно збільшитися споживання або генерація реактивної електроенергії, що призведе до зростання втрат потужності у мережі та обсягу перетікань реактивної електроенергії. З метою надання оперативному персоналу можливості проведення контролю та мінімізації параметрів електричних мереж, враховуючи нормальність закону розподілу електричного навантаження для великої групи електроприймачів, пропонується порівнювати реалізації значень одного із зазначених коефіцієнтів з одночасним розрахунком значень їх математичного очікування, середньоквадратичного відхилення та коефіцієнту варіації з використанням СА.

Порівняння реалізацій тангенсу потужності (відношення споживання реактивної електроенергії до споживання активної за кожен годину робочої зміни (за зміну 12 годин) по головній понижуючій підстанції 110/6 кВ (ГПП) ПП наведено у таблиці 1. Одночасно необхідно контролювати також

відношення генерації реактивної електроенергії до споживання активної за аналогічний інтервал часу. Враховуючи, що на підстанції відсутнє автоматичне регулювання коефіцієнта потужності, включення та відключення пристроїв компенсації реактивної електроенергії (конденсаторних установок) здійснюється оперативним персоналом в ручному режимі протягом зміни за результатами контролю значень тангенсу потужності.

Таблиця 1

Реалізації значень тангенсу потужності за 12 годин різних змін по ГПП ПП

Номер зміни	Значення тангенсу потужності для кожної години зміни					Математичне очікування	Середньоквадратичне відхилення	Коефіцієнт варіації, %
	1	2	...	11	12			
1	0,132	0,138	...	0,127	0,118	0,134	0,009	7,0
2	0,121	0,128	...	0,434	0,124	0,202	0,139	69,0
3	0,133	0,139	...	0,302	0,131	0,195	0,086	44,1
4	0,134	0,137	...	0,129	0,137	0,152	0,061	40,0

Як видно з таблиці 1 персонал зміни № 1 вів режим компенсації реактивної потужності в умовах стабільного режиму електроспоживання, про що свідчать досить низькі значення середньоквадратичного відхилення та коефіцієнту варіації. А серед змін №№ 2, 3 та 4, під час яких було зростання споживання реактивної потужності, необхідно виділити зміну № 4, персонал якої у найкоротші терміни виконував регулювання реактивної потужності в мережі (вмикав відключені конденсаторні установки) та забезпечував високе середнє значення тангенсу потужності (0,152).

Запропонований підхід дозволить визначати, персонал якої зміни працює ефективно в частині управління процесами споживання та виробництва реактивної електроенергії, а який персонал невчасно вживає заходів з приведення значення реактивної потужності до необхідних значень (вчасно після зміни навантаження в мережі вмикає або вимикає конденсаторні установки). Такий аналіз необхідно проводити постійно з метою напрацювання залежностей споживання активної та реактивної електричної енергії та формування певних завдань (планів) для персоналу щодо управління процесами споживання та виробництва реактивної електроенергії.

Розроблена методика проведення комплексного СА даних щодо споживання енергоресурсів, у тому числі електроспоживання, а також показників, від яких залежить споживання цих ресурсів (далі - величин, що досліджуються), враховує наступні основні етапи [7]:

- організацію масиву облікових даних енергоспоживання;
- перевірку даних на відсутність грубих помилок, відновлення втрачених даних;
- визначення на кожному інтервалі  $i$ -го спостереження статистичних характеристик (математичного очікування, коефіцієнта варіації, дисперсії);
- перевірку закону розподілу величин, що досліджуються на усіх інтервалах спостереження;
- визначення інтервалів стаціонарності нестационарного випадкового процесу енергоспоживання
- визначення оцінок параметрів розподілу еквівалентного стаціонарного процесу;
- розрахунок кореляційної матриці облікових даних енергоспоживання;
- визначення АКФ з метою перевірки випадкової функції енергоспоживання на ергодичність;
- знаходження ВКФ активного і реактивного навантаження або витрат енергоресурсів;
- розрахунок масиву питомої витрати споживання електроенергії на одиницю виробітку продукції або споживання енергоресурсу;
- визначення кореляційної матриці питомої витрати споживання електроенергії на одиницю виробітку продукції або споживання енергоресурсу;
- застосування одержаних статистичних даних для вдосконалення технологічного процесу та контролю за ним.

Слід відмітити, що для виявлення відхилень технологічного процесу рекомендується проводити СА даних енергоспоживання одно-, дво- та багатомономенклатурного виробництва.

В деяких виробничих процесах необхідно контролювати не тільки абсолютні значення витрат енергоресурсів, споживання електроенергії, виробітку продукції, а й витратних коефіцієнтів (витрат електроенергії на виробіток 1 тони продукції та на одиницю вимірювання енергоресурсу). Такий аналіз необхідно проводити постійно для організації оцінки дій персоналу та його кваліфікації, а також підвищення якості виконання робіт технологічним персоналом.

Використання комплексного СА дає можливість контролювати правильність ведення процесу, зокрема, наприклад, для цеху з виробітку аміаку. Виріток аміаку залежить від споживання електроенергії та витрат природного газу. Доцільно контролювати витратні коефіцієнти (кВтгод / т та кВтгод / 1000 м<sup>3</sup> для кожної зміни (8 або 12 годин). За результатами аналізу динаміки цих значень можливо зробити висновок про відповідність ведення процесу виробітку аміаку вимогам нормативних документів з цього питання. Критеріями можуть бути математичне очікування, середньоквадратичне

відхилення, коефіцієнт варіації витратних коефіцієнтів на виробіток аміаку за години робочої зміни (таблиця 2).

Таблиця 2

Номер зміни	Значення питомих витрат електроенергії на виробіток 1 т аміаку за годину робочої зміни					Математичне очікування, кВтгод / т	Середньоквадратичне відхилення, кВтгод / т	Коефіцієнт варіації, %
	1	2	...	11	12			
1	756	754	...	763	759	757	3,4	0,45
2	755	758	...	752	757	757	3,7	0,49
3	757	756	...	757	758	758	2,9	0,39
4	757	753	...	757	754	755	3,1	0,41

Якщо порівняти ефективність роботи змін, то можливо зробити висновок, що зміна № 4 відпрацювала зміну найкраще. Саме ця зміна досягла найменшого значення математичного очікування при достатньо низькому розкиді даних про виробіток продукції.

Для деяких виробничих процесів, де існує значна залежність рівня виробітку продукції від продуктивності попередніх періодів, корисною буде побудова кореляційної матриці витратних коефіцієнтів. Якщо коефіцієнти автокореляції першого або другого порядку близькі до 1, то доцільно при побудові математичної моделі залежності електроспоживання від виробітку продукції методом групового урахування аргументів в моделі використовувати не тільки поточні, а й попередні значення виробітку продукції [8].

Для покращення візуалізації порівняння ефективності роботи змін можливо рекомендувати або спеціальне розроблене професійне програмне забезпечення, або програми, такі як Origin Lab.

Можливості застосування комплексного СА даних споживання активної електроенергії, витрат енергоносіїв та обсягів виробництва продукції зведені в табл. 3.

Таблиця 3

Класифікація можливостей застосування комплексного СА даних споживання активної електроенергії, витрат енергоносіїв та обсягів виробництва продукції

Назва параметру, критерію, величини	Методи оцінки, контролю, розрахунку, визначення	Застосування параметру, критерію, величини
1	2	3
Нерівномірність графіків витрат енергоресурсів та виробітку продукції, витратних коефіцієнтів.	Коефіцієнт годинної нерівномірності. Оцінка значень $MO$ , $СКВ$ та $КВ$ , порівняння реалізацій витрат енергоресурсів або виробітку продукції на протязі доби, робочого дня або зміни, витратних коефіцієнтів електроенергії на одиницю вимірювання енергоресурсу або виробітку продукції за критерієм мінімізації.	Для контролю правильності та економічності ведення технологічного процесу або процесу енергоспоживання. Для визначення часу виводу в ремонт електрообладнання у той період, коли навантаження мінімальне. Для визначення діаметру водопровідних мереж, необхідної продуктивності насосів оборотного водопостачання, продуктивності охолоджуючих і очисних споруд відпрацьованої води, розрахунку газових мереж промислових підприємств.
Типовий графік електричного навантаження або витрат енергоресурсу.	Усереднення ансамблю реалізацій графіків навантаження або витрати енергоресурсів за певний час.	Для розрахунку втрат в мережах електро-, водо-, тепло-, газопостачання.
Максимально можливе значення витрат енергоресурсів.	Закон розподілу випадкової функції.	Для розрахунку систем водо-, газо, тепlopостачання тощо, визначення різноманітних параметрів електропостачальних систем (розрахунку величини реактивної електричної енергії, перерізу проводників, оцінки втрати напруги, вибору потужності силових трансформаторів.

1	2	3
Стационарність або ергодичність випадкового процесу енергоспоживання.	Умови стаціонарного процесу: математичне очікування $MO=const$ , дисперсія $D=const$ , автокореляційна функція $R_t(\tau)=const$ . Умови ергодичності випадкового процесу: одна окрема взята реалізація випадкового процесу відображає усю сукупність можливих реалізацій, прагнення кореляційної функції до нуля при $t \rightarrow \infty$ .	Для контролю правильності та економічності ведення технологічного процесу або процесу енергоспоживання.
Залежність поточних значень енергоспоживання від попередніх значень.	Коефіцієнт автокореляції першого та другого порядків.	Для підвищення точності побудови математичних моделей енергоспоживання шляхом урахування при побудові математичних моделей як поточних, так і попередніх значень; для проведення верифікації даних енергоспоживання.

### Висновки

1. Запровадження комплексного СА споживання електричної енергії, з урахуванням показників діяльності підприємства, від яких воно залежить, та обсягів виробництва продукції дозволяє забезпечити належний контроль енергоефективності і, як результат, оптимальну та економічну роботу систем подачі і розподілу таких енергоносіїв, як вода, природний газ, тепло, стисненого повітря тощо на виробничих об'єктах.

2. Запропоновані сфери застосування комплексного СА даних активних та реактивних ЕН та даних щодо обсягів виробництва продукції, витрат енергоносіїв.

3. Запропонований підхід до проведення аналізу показників може стати базою для формування відповідної системи аналізу дій персоналу в частині забезпечення підвищення економічності та ефективності технологічного процесу, організації його контролю, а також надасть технологічному персоналу необхідну інформацію для розуміння питань, пов'язаних зі структурою та динамікою показників щодо споживання енергоресурсів ПП.

4. Статистична обробка одержаних даних по кожному виду інженерного устаткування (водопостачання та водовідведення, постачання стисненим повітрям, газом, електроенергією та паром) та різноманітних витратних коефіцієнтів за запропонованим в роботі алгоритмом дає можливість виявити "слабкі ділянки" і визначити як найбільш раціональні шляхи для оптимізації використання енергії, так і помилки в роботі приладів і схем обліку енергоресурсів.

### Список літератури

1. Денисенко М.А. Дослідження електричних навантажень насосної станції / М. А. Денисенко, Я. С. Бедерак // Енергетика і електрифікація. – 2012. – №5. – С. 3 – 11.
2. Волобринский С. Д. Электрические нагрузки промышленных предприятий / С. Д. Волобринский, Г. М. Каялов, П. Н. Клейн, Б. С. Мешель. – Л.: Энергия, 1971. – 264 с.
3. Фокин Ю. А. Вероятностно-статистические методы в расчетах систем электроснабжения / Ю. А. Фокин. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 240 с.
4. Шидловский А. К. Расчеты электрических нагрузок систем электроснабжения промышленных предприятий / А. К. Шидловский, Г. Я. Вагин, Э. Г. Куренный. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 224 с.
5. Жежеленко И. В. Методы вероятностного моделирования в расчетах характеристик нагрузок потребителей / И. В. Жежеленко, Ю. Л. Саенко, В. П. Степанов. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 96 с.
6. Денисенко М. А. Спеціальні питання електропостачання : навч. посіб. Ч.І.: Вибір елементів електропостачальних систем на основі стохастичного моделювання процесів, що відбуваються в них / М. А. Денисенко. – К.: НТУУ «КПІ», 2009. – 288 с.
7. Денисенко Н.А. Исследование статистических данных о потреблении активной электрической энергии и расходе воды на насосной станции / Н.А. Денисенко, А.И. Замулко, Я.С. Бедерак // Промышленная энергетика. – 2014. – №3. – С. 12 – 16.

8. Стеценко І.В. Побудова багатofакторних математичних моделей енергоспоживання на хімічному виробництві / І.В. Стеценко, Я.С. Бедерак // *Энергосбережение, энергетика, энергоаудит*. – 2013. – №7. – С. 41 – 48.

A.I. Zamulko, Ya.S. Bederak

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"

**COMPLEX STATISTICAL DATA ANALYSIS OF ELECTRIC POWER CONSUMPTION,  
CONSUMPTION OF ENERGY RESOURCES AND PRODUCTION VOLUMES**

*Aims of this research are development of a complex statistical analysis algorithm for active electric power consumption data, consumption of energy resources and manufacturing products, implementation of statistical analysis in practice.*

*Proposed parameters and criteria, which can help to technical staff in factories, to provide optimal and economical operating of supply and distribution systems as electricity, water, gas, heat, compressed air, etc. for production facilities, based on the collected active electric power consumption data for previous periods, information about consumption dynamic.*

*It is concluded that the statistical analysis of the data, obtained for each type of engineering equipments (water supply and sewage, supply systems of compressed air, gas, electricity and steam) and various consumables coefficients (in the proposed algorithm) make possible to identify "weak areas" and to determine the most rational ways to optimize energy usage.*

**Keywords:** power consumption, energy consumption, statistical data analysis.

1. Denisenko M.A. Investigation of electrical loads (on) pumping station / M. A. Denisenko, Ya. S. Bederak // *Energetika & Elektrifikatsia*. – 2012. – №5. – P. 3 – 11.

2. Volobriniskii S.D. Electrical Loads of Industrial Enterprises / S.D. Volobriniskii, G. M. Kaialov, P. N. Klein, B.S. Meshel. – SPb.: Enerzia, 1971. – 264 p.

3. Fokin Yu.A. Probabilistic and statistical methods in the calculation of power supply systems / Yu.A. Fokin. – M.: Energoatomizdat, 1985. – 240 p.

4. Shidlovskii A.K. Calculation of electrical loads in industrial power systems / A. K. Shidlovskii, G. Ya. Vagin, E. G. Kurenii. – M.: Energoatomizdat, 1992. – 224 p.

5. Gegelenko I.V. Methods of probabilistic modeling in calculations the characteristics of loads of consumers / I.V. Gegelenko, Yu. L. Saenko, V.P. Stepanov. – M.: Energoatomizdat, 1998. – 96 p.

6. Denisenko M.A. Special issue of power supply, tutorial: S.I.: Selecting Items of electricity supply system based on stochastic modeling of processes occurring in them / M. A. Denisenko. – K.: NTUU «KPI», 2009. – 288 p.

7. Denisenko M.A. A study of statistical consumption data of active energy and water consumption at the pumping station / M. A. Denisenko, A.I. Zамулко, Ya. S. Bederak // *Promishlennaya energetika*. – 2014. – №3. – P. 12 – 16.

8. Stetsenko I.V. Construction of multifactor mathematical models of energy consumption at chemical manufacturing / I.V. Stetsenko, Ya. S. Bederak // *Energoberegenie, Energetika, Energoaudit*. – 2013. – №7. – P. 41 – 48.

УДК 519.22 : 621.316

А. И. Замулко, канд. техн. наук, доцент; Я.С. Бедерак

**Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»  
КОМПЛЕКСНЫЙ СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ ПОТРЕБЛЕНИЯ АКТИВНОЙ  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ, РАСХОДА ЭНЕРГОРЕСУРСОВ И ОБЪЕМОМ ВЫПУСКА ПРОДУКЦИИ**

*Целью исследования является разработка алгоритма комплексного статистического анализа данных потребления активной электроэнергии, расхода энергоресурсов и объемов выпуска продукции и внедрение статистического анализа в практическую деятельность.*

*Предложены параметры и критерии, которые могут помочь технологическому персоналу промышленных предприятий обеспечить оптимальную и экономичную работу систем подачи и распределения таких энергоносителей, как электроэнергия, вода, природный газ, тепло, сжатый воздух и т.д. на производственных объектах, основываясь на собранных учетных данных энергопотребления за прошлые периоды, на информации о динамике потребления.*

*Сделан вывод о том, что статистическая обработка полученных данных по каждому виду инженерного оборудования (водоснабжение и водоотведение, снабжение сжатым воздухом, природным газом, электроэнергией и паром) и различных расходных коэффициентов согласно предложенному в работе алгоритму позволяет выявить "слабые участки" и определить наиболее рациональные пути для оптимизации использования энергии.*

**Ключевые слова:** электропотребление, расход энергоресурсов, статистический анализ данных.

## ПОЛНОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТАРИЙ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПЕРМАНЕНТНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО АУДИТА

*Как правило, энергетический аудит предполагает проведение ряда совместных измерений на ограниченном временном отрезке (репрезентативном интервале) с последующим вычислением показателей энергоэффективности объекта аудита на основе экспериментальных данных и распространением полученных результатов на весь отчетный период. В статье предложен многофункциональный инструментарий для реализации перманентного энергетического аудита, позволяющий обеспечить достоверное определение показателей энергоэффективности объекта аудита, построить непрерывные профили изменения этих показателей во времени и отразить их взаимосвязи на протяжении отчетного периода. Такой подход позволяет повысить эффективность энергосберегающих мероприятий и вывести на качественно новый уровень процесс внедрения энергосберегающих технологий.*

**Ключевые слова:** энергетический аудит, АСКУЭ, полнофункциональный инструментарий, данные учета, средства измерительной техники.

**Вступление.** Информационной базой энергетического аудита являются данные учета потребления энергоресурсов на объекте аудита за отчетный период. На основе данных учета энергопотребления, результатов совместных измерений ряда влияющих физических величин на репрезентативном интервале и параметров объекта энергоаудита расчетным путем определяют показатели энергетической эффективности этого объекта с последующим проведением их сравнительного анализа относительно установленных норм и наилучших показателей аналогичных объектов [1]. При этом, результаты кратковременных измерений на репрезентативном интервале распространяют на весь отчетный период, зачастую достаточно продолжительный, что не отвечает действительности и справедливо лишь с некоторой доверительной вероятностью.

По понятным причинам такой подход приводит к снижению эффективности планируемых и проводимых энергосберегающих мероприятий, что в свою очередь преуменьшает результаты собственно энергетического аудита. Естественное решение этой проблемы состоит в проведении совместных измерений расхода каждого вида энергоносителя и влияющих физических величин на протяжении всего отчетного периода на регулярной основе. Т.е. такие измерения должны быть непрерывными во времени и синхронизированными с периодами учета, а циклы измерений и обработки результатов должны быть согласованы таким образом, чтобы реализовать непрерывный измерительно-аналитический процесс в рамках перманентного энергетического аудита. Решение подобной задачи возможно лишь на основе высокопроизводительных информационно-измерительных систем (ИИС) и современных информационных технологий (ИТ).

**Цель и задачи.** Целью статьи является создание многофункционального инструментария для реализации перманентного энергетического аудита, который позволит обеспечить достоверное определение показателей энергоэффективности объекта аудита, построить непрерывные профили изменения этих показателей во времени и отразить их взаимосвязи на протяжении отчетного периода. Для достижения поставленной цели необходимо последовательно решить следующие задачи:

- выбрать основу и разработать структуру многофункционального инструментария для реализации перманентного энергетического аудита;
- определить функциональность основных компонент такого инструментария;
- определить условия применения такого инструментария;
- определить базовые подходы к энергетическому аудиту с учетом применения созданного инструментария;
- адаптировать методологию энергетического аудита применительно к созданному инструментарию.

**Материал и результаты исследований.** Автоматизированные информационно-измерительные, информационно-советующие и информационно-управляющие комплексы и системы для контроля, учета и управления электропотреблением (под общим названием АСКУЭ), появившиеся в Украине в начале