

**Міністерство освіти і науки України
Одеський національний політехнічний університет
Національний університет «Львівська політехніка»**

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

БОНДАРЧУК АНАТОЛІЙ СЕРГІЙОВИЧ

УДК 621.316.1:658.262(043.5)

ДИСЕРТАЦІЯ

**Методи і моделі визначення електричного навантаження цивільних
об'єктів з використанням графічного і макромодельовання
та фрактальних властивостей**

05.14.02 – електричні станції, мережі і системи
(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

 А. С. Бондарчук
(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий консультант –
Лежнюк Петро Дем'янович,
доктор технічних наук, професор

Ідентичність усіх примірників дисертації

ЗАСВІДЧУЮ:

Учений секретар спеціалізованої вченої ради

/В. І. Коруд/

Львів – 2020

АНОТАЦІЯ

Бондарчук А. С. Методи і моделі визначення електричного навантаження цивільних об'єктів з використанням графічного і макромодельовання та фрактальних властивостей. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.14.02 – електричні станції, мережі і системи. – Одеський національний політехнічний університет, Одеса, 2020. Національний університет «Львівська політехніка», Львів, 2020.

Вступ містить загальну характеристику роботи, яка обґрунтовує її актуальність і важливість, розкриває мету і завдання досліджень, наукову новизну й практичне значення отриманих результатів.

У першому розділі викладено результати аналізу існуючих методів, які впливають на рівень достовірності визначення та прогнозування електричного навантаження. Запропоновано обчислення електричного навантаження об'єктів цивільного призначення за методами і моделями з використанням графічного за теорією сплайнів і макромодельовання на базі дискретних автономних макромоделей та фрактальних властивостей за його самоафінністю структури. Це дозволило підвищити рівень його достовірності, яке сприятиме економії енергетичних ресурсів, капітальних витрат на спорудження та експлуатацію систем електропостачання (СЕП).

Існуючі методи визначення електричного навантаження базуються на використанні коефіцієнтів розрахункового навантаження за рівнями електропостачання, методу упорядкованих діаграм, статистичного, універсального методу та інших, які використовуються для розрахунку навантажень промислових підприємств. Для визначення розрахункового навантаження цивільних об'єктів за нормативними документами (ДБН) передбачають використання коефіцієнта попиту, питомого навантаження на одиницю площі, кВт/м², або на кількість жител (котеджів), кВт/житло (котедж), чи на одиницю вимірювання, кВт/на місце, кВт/на одного учня, кВт/на ліжко-місце тощо.

Вони наведені для попереднього визначення навантаження на вводах до об'єктів із наступним використанням коефіцієнтів участі, розбіжності цих навантажень у максимумі, відповідність яких фактичним навантаженням перевірятимуться дослідженням. Разом із тим, розрахунки електричних навантажень, зіставлення теоретичних обчислень і прогнозів з реальними значеннями електричних навантажень об'єктів цивільного призначення, житлових мікрорайонів міста, електроспоживання яких досягає рівня промисловості, недостатньо висвітлено у наукових працях, на відміну від численних досліджень щодо електричних навантажень енергосистем та промислових підприємств.

У другому розділі наведено результати дослідження особливостей технічних характеристик традиційних та альтернативних джерел енергії. Традиційна система електропостачання найбільш поширена, однак у такий системі все більше виявляється спотворення синусоїдності кривої за напругою з різних причин, яке збільшує величину розрахункового навантаження. Мережеві сонячні електростанції, що безпосередньо приєднуються до міської електричної мережі цивільного об'єкта, знаходять все більше застосування як відновлювальні джерела живлення, що екологічно «чисті» за виробленням електроенергії. Однак, вони виявляються генераторами вищих гармонік в елементах СЕП через наявність інверторів. Гібридна система, під якою розуміється сумісна робота різних відновлених джерел енергії, теж можуть містити джерела електромагнітного збурення в системі. Інтегрована система та джерела розосередженої енергії, що об'єднує між собою різні джерела енергії і споживачів у єдину технологічну систему – є новою стратегією розвитку європейських енергетичних мереж за архітектурою, але такі системи не виключають генерацію вищих гармонік, що викликають збільшення розрахункового навантаження, порівняно з основною гармонікою, та ряд інших негативних явищ.

У третьому розділі представлено результати моделювання та аналізу графіків електричних навантажень цивільних об'єктів, на базі експеримента-

льно отриманих даних вимірювально-інформаційної техніки, з використанням сплайн-інтерполяції, сплайн-апроксимації, поліноміальних інтерполяційних сплайнів 3-го ступеня, регресійного, кореляційного, дисперсійного аналізу. Отримані моделі дозволяють з достатньою для практичних цілей точністю визначати їх параметри, такі як розрахунковий (півгодинний) максимум навантаження, усереднене навантаження, коефіцієнт заповнення графіка, кількість споживаної електроенергії за будь-який період часу та ін.

У четвертому розділі висвітлені результати розробки методів і моделей визначення електричного навантаження цивільних об'єктів з використанням графічного і макромодельовання та його фрактальних властивостей. Розроблені моделі електричного навантаження ЕП, жител, цивільних об'єктів та їх синтез за теорією сплайнів, математичного сподівання усереднених функцій, дозволили суттєво підвищити рівень достовірності розрахункового, питомого електричного навантаження, порівняно з визначенням за нормативами (ДБН), що підтверджено за натурними експериментами на об'єктах мікрорайону міста.

Застосований метод побудови макромоделей електроспоживання для цивільних об'єктів дозволяє оцінювати його кількісні характеристики у майбутньому, використовуючи апріорні дискретні автономні макромоделі без використання процедур попередньої їх обробки, апробація яких продемонструвала здатність моделей надавати адекватну інформацію і придатність їх для практичного застосування. Аналіз отриманої макромоделі дозволяє оцінити як місячну, так і сезонну динаміку електроспоживання протягом року та уникнути кризових періодів шляхом узгодження сумісних управлінських дій суб'єктів енергоринку, направлених на мінімізацію негативного їх впливу на якість електропостачання.

Застосовано метод фрактальних множин і фрактальної геометрії у сфері прогнозування електричних навантажень для цивільних об'єктів, оскільки традиційна геометрія з прямими лініями і гладкими поверхнями не завжди підходить для опису будь-якого майбутнього процесу. При цьому використовуються самоафінні структури – фрактали, кожна частина якої повторює у

своєму розвитку розвиток усієї моделі в цілому. За методом R/S-аналізу апріорної інформації, доведена самоафінність структури електричного навантаження цивільних об'єктів та встановлено фрактальний принцип його формування, який надав можливість чисельно оцінити за показником Херста наявність довготривалої пам'яті та її глибину, трендовітькість та виявлення кризових інтервалів часового ряду для своєчасного їх усунення з метою підвищення якості електричної енергії для споживачів.

Дисперсійний аналіз динаміки електроспоживання цивільних об'єктів є одним із методів обробки й аналізу даних з точки зору впливу одного або декількох факторів на ознаку, що спостерігається. Результат дисперсійного аналізу впливу чинників на динаміку електроспоживання об'єктів міста протягом року за показником критерію Фішера показав, що температура довкілля та тривалість денного часу доби найбільше впливає на величину електроспоживання. Результати кореляційного аналізу електричного навантаження об'єктів залежно від метеорологічних умов свідчать про тісний зворотний зв'язок між температурою повітря, тривалістю дня та електроспоживанням, а інші природні фактори практично не впливають на динаміку електроспоживання, якими можна нехтувати.

У п'ятому розділі розкрито метод обчислення впливу струму вищих гармонік на електричне навантаження електричних мереж, що ґрунтується на моделюванні за теорією сплайнів режиму роботи ЕП цивільних об'єктів. Електромагнітна сумісність викликає глобальну проблему в СЕП внаслідок широкого застосування ЕП з нелінійними характеристиками, що генерують вищі гармоніки. Математичним моделюванням динаміки спектру струмів у групових мережах об'єктів, дозволило оцінити їх вплив на додаткове нагрівання електричної мережі, порівняно з дією першої гармоніки, та передбачати періоди їх перегрівання. Кореляційний аналіз впливу ЕП із нелінійними характеристиками на комерційні показання лічильників показав, що між ознаками й комерційними похибками лічильників різної конструкції існує

помітний, навіть високий зв'язок, що віддзеркалюється на фіксації приладів максимального значення електричного навантаження об'єкта.

У шостому розділі викладено результати дослідження режиму роботи мережевої сонячної електростанції у виявленні спектру вищих гармонік за напругою і струмом на виході мережевого інвертора, ЕП з нелінійними характеристиками та вплив їх на електричне навантаження цивільних об'єктів. Натурні експериментальні дослідження проводилися на устаткуванні мережевої сонячної електростанції, які показали суттєвий вплив інвертора та ЕП на навантаження електропроводки від протікання вищих гармонік від 2 до 40-ї, що збільшує розрахунковий струм за основної гармоніки.

Моделювання динаміки електричного навантаження за сплайн-інтерполяцією надав можливість, з достатньою для практичних цілей рівнем достовірності, визначити величину зменшення щодобових витрат електроенергії в міській електричній мережі за рахунок цільового зрівнювання графіка навантаження. Показано, що запровадження багатозонних лічильників та перенесення роботи окремих електроприймачів на нічні години, коли тариф за спожиту електроенергію менший за основний, є інструментом зрівнювання добового графіка і, як наслідок, зменшення розрахункового навантаження. Зменшення спотворень синусоїдності напруги, струму також сприятиме його зменшенню за рахунок застосування ряду схем активних, пасивних *LC*-фільтрів, магнітних синтезаторів, активних фільтрів, що генерують гармоніки протилежних за знаком.

У сьомому розділі представлено за розробленою методикою прогнозування енергетичної, економічної та екологічної ефективності застосування гібридних сонячних колекторів, які спроможні одночасно генерувати як електричну, так і теплову енергію для енергозабезпечення багатоповерхових житлових будинків, що відрізняється від інших урахуванням цін на енергетичному ринку. За даними попередніх років прогнозовано ймовірнісну динаміку «основних» і «зелених» тарифів на енергоносії, вартості обладнання колекторів, визначено дисконтований прибуток і строк окупності інвестиційно-

го проєкту. Розраховано величину вкладень і прибутків мешканців багатоквартирних будинків за «зеленим» і «основним» тарифом на енергію за період експлуатації гібридного сонячного колектора введеного у дію за відповідний рік. Попередні розрахунки показали, що за «основним» тарифом – інноваційний проєкт буде вигідний тільки за умови подальшого здешевлення колекторів.

Ключові слова: цивільні об'єкти, електричне навантаження, графіки, макромодельовання, фрактали, гармоніки, економія енергоресурсів.

ABSTRACT

Bondarchuk A. S. Models and methods for increasing the accuracy of calculating the electric loading of civilian objects using graphic, macromodeling and fractal properties. – Qualifying scientific work as a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Science (Engineering) on specialty 05.14.02 – electric power stations, networks and systems. – Odessa National Polytechnic University, Odessa, 2020. National University «Lviv Polytechnic», Lviv, 2020.

The introduction contains a general characteristic of the work, which substantiates its relevance and importance, reveals the purpose and objectives of the research, scientific novelty and practical significance of the obtained results.

In first chapter presents the results of the analysis of existing methods that affect the level of reliability of the determination and prediction of electrical load. It is proposed to calculate the load of civilian objects by methods and models using graphical spline theory, macromodeling based on discrete autonomous macromodels and fractal properties. This allowed to increase the level of its reliability, which will contribute to saving energy resources, capital costs for the construction and operation of electrical supply systems (ESS), reducing the negative impact on the environment.

Existing methods for determining electrical load are based on the use of calculated load factors by power levels, the method of ordered diagrams, statistical, universal methods and others, which are used to calculate the loads of industrial

enterprises. To determine the estimated load of civilian objects according to the regulatory documents State building norms (SBN) include the use of demand coefficient, specific load per unit area, kW / m^2 , or the number of dwellings (cottages), $\text{kW} / \text{housing (cottage)}$, or per unit of measurement, $\text{kW} / \text{per place}$, $\text{kW} / \text{per pupil}$, $\text{kW} / \text{per bed}$, etc.

They are given to pre-determine the load on the inputs to the objects with the subsequent use of participation factors, the differences of these loads to the maximum, the fact that the actual load will be checked by research. At the same time, calculations of electric loads, comparison of theoretical calculations and forecasts with real values of electrical loads of civilian objects, residential districts of the city, the electric consumption of which reaches industry level, is insufficiently covered in scientific works, unlike numerous researches on electrical loads industrial enterprises.

In second chapter presents the results of the study of the technical characteristics of traditional and alternative energy sources. The traditional power supply system is the most widespread, but in such a system there is an increasing distortion of the sine curve of the voltage for various reasons, which increases the value of the calculated load. Networked solar power plants that directly connect to a civilian city's electrical grid are increasingly being used as renewable, environmentally friendly power generation facilities. However, they are found to be generators of higher harmonics in the ESS elements due to the presence of inverters. A hybrid system, which refers to the combined work of various renewable energy sources, may also contain sources of electromagnetic perturbation in the system. An integrated system and distributed energy sources that integrate different energy sources and consumers into a single technological system is a new strategy for the development of European energy networks by architecture, but such systems do not exclude the generation of higher harmonics that cause an increase in the design load compared to basic harmonics, and a number of other negative phenomena.

In third chapter presents the results of modeling and analysis of graphs of electrical loads of civilian objects, on the basis of experimentally obtained data of

measurement and information technology, using spline-interpolation, spline-approximation, polynomial interpolation splines of the third degree, regression, correlation, dispersion. These models allow us to determine with sufficient accuracy for practical purposes their parameters, such as estimated (half-hour) maximum load, average load, schedule fill factor, amount of electricity consumed for any period of time, etc.

In fourth chapter covers the results of developing methods and models for determining the electrical load of civilian objects using graphical and macromodeling and its fractal properties. Developed models of electric load of electric receiver (ER), dwellings, civilian objects and their synthesis by the theory of splines, mathematical expectation of averaged functions, allowed to increase significantly the level of reliability of the calculated, specific electrical load, compared with the definition by standards SBN, which confirmed objects of the residential district of the city. The applied method of construction of macromodels of power consumption allows to estimating its quantitative characteristics in the future, using a priori discrete autonomous macromodels without the use of preprocessing procedures, which validation demonstrated the ability of the models to provide adequate information and their suitability for practical application. The analysis of the macromodel obtained allows us to estimate both monthly and seasonal dynamics of electricity consumption during the year and avoid crisis periods by agreeing joint management actions of energy market entities aimed at minimizing their negative impact on the quality of electricity supply.

The method of fractal sets and fractal geometry is applied in the field of electric load prediction, since traditional geometry with straight lines and smooth surfaces is not always suitable for description. Using the method of R / S-analysis of a priori information, the self-affinity of the structure of electric load of civilian objects was proved and the fractal principle of its formation was established, which made it possible to numerically estimate the presence of long-term memory and its depth, trend stability and detection of crisis intervals of the time series. for their timely elimination in order to improve the quality of electricity for consumers.

Analysis of variance in the dynamics of power consumption of civilian objects is one of the methods of processing and analyzing data in terms of the influence of one or more factors on an observed trait.

The variance analysis of the influence of factors on the dynamics of power consumption of objects during the year according to the Fisher criterion showed that the temperature of the environment and the length of daylight hours influence the amount of power consumption. The results of the correlation analysis of the electrical load of the objects, depending on the meteorological conditions, indicate a close relationship between air temperature, duration of the day and power consumption, and other natural factors have virtually no effect on the dynamics of neglected power consumption.

In fifth chapter describes the method of calculating the effect of higher harmonics current on the electrical load of electrical networks, based on the simulation of the mode of operation of civilian objects.

Electromagnetic compatibility is causing a global problem in SPS due to the widespread use of ESS with nonlinear characteristics that generate higher harmonics. Mathematical modeling of the dynamics of the spectrum of currents in group networks of objects made it possible to estimate their influence on the additional heating of the electric network in comparison with the action of the first harmonic, and to predict the periods of their overheating. Correlation analysis of the influence of ER with nonlinear characteristics on the commercial readings of meters showed that between the signs and commercial errors of meters of different design there is a noticeable, even high connection, which reflects on the fixing of the maximum value of the electrical load of the object.

In sixth chapter presents the results of the study of the mode of operation of the network solar power plants in the detection of the spectrum of higher harmonics in voltage and current at the output of the network inverter, ER with nonlinear characteristics and their effect on the electrical load of civilian objects. Experimental studies were carried out on the equipment of a network solar power plant, which showed a significant effect of the inverter and the ER on the load of the

electrical wiring from the flow of higher harmonics from the 2-nd to the 40-th, which exceeds the effect of the calculated current under the main harmonics. Simulation of the dynamics of electrical load by spline interpolation provided, with sufficient for practical purposes, the level of reliability, the value of reducing daily electricity consumption in the urban electricity network due to the target alignment of the load schedule. It is shown that the introduction of multi-zone meters and the shift of operation of separate electric receivers at night, when the coefficient for the tariff for consumed electricity is less than the main one, is a tool for equalizing the daily schedule and, as a consequence, reducing the calculated load. Reducing the sinusoidal distortion of the current will also contribute to reducing it, so a number of circuits of active, passive LC-filters, magnetic synthesizers, active filters that generate harmonics of opposite sign are considered.

In seventh chapter presents the developed methodology for forecasting the energy, economic and environmental efficiency of using hybrid solar collectors, which are able to simultaneously generate both electrical and thermal energy for the energy supply of multi-storey residential buildings, which differs from other energy prices. According to the data of the previous years, the probable dynamics of the "basic" and "green" tariffs for energy carriers were determined, the cost of collector equipment, the discounted profit and the payback period of the investment project were determined.

The amount of investments and profits according to the "green" and "main" tariffs of residents of apartment buildings for the period of operation of the hybrid solar collector put into effect for the respective year has been calculated. Preliminary calculations showed an increase in electricity losses in ESS elements due to the consequences of distortion of the sine wave of voltage and current, and also that at the "basic" tariff – an innovative project will be profitable only if the solar panels are further cheaper.

Keywords: civilian objects, electrical load, graphs, macromodeling, fractals, harmonics, energy savings.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, які опубліковані у наукових журналах, що індексуються у наукометричній базі Scopus

1. Bondarchuk A.S. Utilization of waste mines as renewable energy accumulators / A.S. Bondarchuk // Scientific Bulletin of the National Mining University. – Dn .: National Mining University, 2016. – № 5, pp. 79–84.
2. Bondarchuk A.S. Development of the graphoanalytic method for calculating electric load at civilian objects / A.S. Bondarchuk // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – Kh.: 2017. – № 4/8 (88), pp. 4–9.
3. Bondarchuk A.S. Investigation of the influence of highly harmony curves on the calculated loading of the network solar electric station 30 kW power / A.S. Bondarchuk // Scientific Bulletin of the National Mining University. – Dnipro: National Mining University, № 1 (163), 2018. – pp. 74–80.
4. Lezhniuk P.D. Investigation and implementation of the fractal properties of electric load on civilian objects in order to efficiently predict and control electrical consumption / P.D. Lezhniuk, A.S. Bondarchuk, Iu.A. Shullie // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – Kh.: 2019. – № 3/8 (99), pp. 6–12.
5. Bondarchuk A.S. Study into predicted efficiency of the application of hybrid solar collectors to supply energy to multiapartment buildings / A.S. Bondarchuk // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – Kh.: 2019. – № 4/8 (100), pp. 69–77.
6. Lezhniuk P.D. Application of macromodeling method as bases for forecasting electrical consumption of multiflat houses / P.D. Lezhniuk, A.S. Bondarchuk, O.P. Hoholiuk // Tekhnichna Elektrodynamika. 2019. No 6. Pp. 74–80.

Наукові праці, які опубліковані у наукових періодичних виданнях інших держав

7. Bondarchuk A.S. Comparative analysis of real dynamics of electric loading of housing microregion of city determined by modeling and normatives / A.S. Bondarchuk, O.P. Hoholyuk, Iu.A. Shullie // The scientific method, (Warszawa, Poland), 2018, volume 1, number 18, pp. 22–29.

8. Bondarchuk A.S. Research of the efficiency of hybrid solar collectors as sources of electrical and thermal energy for the housing microregion of the city / A.S. Bondarchuk, O.P. Hoholyuk, Iu.A. Shullie // Slovak international scientific journal, 2018, volume 1, № 17, pp. 14–21.

9. Lezhniuk P. D. Fractal analysis of dynamics of electric loading of civil objects/ P. D. Lezhniuk, A. S. Bondarchuk, Iu. A. Shullie // Sciences of Europe (Praha, Czech Republic). – 2018. – № 27 (27), volume 1, pp. 46–54.

10. Bondarchuk A. S., Randle O. O. Investment project on energy supply for residential neighborhood in the city from hybrid solar collectors/A. S. Bondarchuk, O.O. Randle // Polish Journal of Science (Warszawa, Poland), 2019, volume 1, number 18, pp. 57–63.

***Наукові праці, які опубліковані у журналах,
що внесені до переліку наукових фахових видань України***

11. Бондарчук А. С. Порівняння енергоефективності запровадженої системи зсуву часу в Україні і в високорозвинених країнах / А. С. Бондарчук // Труды Одесского политехн. ун-та. – Одесса, 2003. – Вып. 1(19). – С. 97–100.

12. Бондарчук А. С. Вплив зміщення відліку часу на ефективність енерговикористання регіонами України / А. С. Бондарчук // Труды Одесского политехн. ун-та. – Одесса, 2004. – Вып. 1(21). – С. 64–66.

13. Розен В. П. Аналіз причинно-наслідкових зв'язків переходу України на енергоефективний літній відлік часу / В. П. Розен, А. С. Бондарчук // Труды Одесского политехн. ун-та. – 2005. – Вып. 1. – С. 48–53.

14. Бондарчук А. С. Базисний енергетичний часовий ряд як інструмент прогнозування енергоефективності сезонного відліку часу / А. С. Бондарчук // Труды Одесского политехн. ун-та. – Одесса, 2007. – Вып. 2(28). – С.86–88.

15. Бондарчук А.С. Прогнозування енергоефективності сезонного відліку часу в Україні з урахуванням впливу метеорологічних умов / А.С.Бондарчук // Труды Одесского политехн. ун-та. – Одесса, 2008.– Вып. 1(29). –С.152–156.

16. Бондарчук А.С. Прогнозування енергоефективності від впровадження сезонного відліку часу / А. С. Бондарчук // Електромашинобудування та електрообладнання. – К.: Техніка, 2003. – Вип. 60. – С. 58 – 62.

17. Бондарчук А. С. Метод моніторингу динаміки електроспоживання міста Одеси в період до виникнення і в умовах фінансово-економічної кризи / А.С. Бондарчук // Труды Одесского политехн. ун-та. – Одесса, 2009. – Вып. 1(31). – С. 76–79.

18. Бондарчук А. С. Прогностичне оцінювання енергетичного, економічного та екологічного ефекту зрівнювання графіка електричного навантаження міста Одеси / А. С. Бондарчук, В. В. Поносов // Труды Одесского политехн. ун-та. – Одесса, 2009. – Вып. 2(32). – С. 84–88.

19. Бондарчук А. С. Визначення оптимальної потужності міських трансформаторних підстанцій з урахуванням нестандартних добових графіків навантаження / А. С. Бондарчук // Електромашинобудування та електрообладнання. – К.: Техніка, 2009. – Вип. 74. – С. 48–52.

20. Бондарчук А. С. Априорний аналіз нормативних показників проектування електрообладнання систем електропостачання житлових будинків / А.С. Бондарчук // Електромашинобудування та електрообладнання. – К.:Техніка, 2010. – Вип. 75. – С. 79–82.

21. Бондарчук А. С. Ефективність запровадження диференційованого тарифу на електроенергію для населення за умови використання сучасної електропобутової техніки / А. С. Бондарчук, Д. П. Низова // Труды Одесского политехн. ун-та. – Одесса, 2010. – Вып. 1(33). – С. 95–99.

22. Бондарчук А. С. Кореляційно-регресійний аналіз впливу регіональної зміни клімату на навантаження Одеських електричних мереж і доокілля / А. С. Бондарчук // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – К.: Техніка, 2011. – № 02 (78). – С. 73–75.

23. Бондарчук А.С. Зіставлення теоретичного і реального розрахункового питомого електричного навантаження жител в умовах міста Одеси / А.С.

Бондарчук, Д. П. Низова // Праці Одеського політехн. ун-ту. – Одеса, 2011. – Вип. 1(35). – С. 78–81.

24. Бондарчук А. С. Прогнозування впливу регіонального потепління на енергоспоживання міста Одеси та на викиди парникових газів / А. С. Бондарчук, В.В. Алексєєва // Праці Одеського політехн. ун-ту. – Одеса, 2012. – Вип. 1(37). – С. 133–136.

25. Бондарчук А.С. Прогнозування та коригування електропостачання підприємств і міст в умовах енергетичної кризи / А.С. Бондарчук // Електричний журнал. – 1999. – № 1(9). – С. 3 – 10.

26. Бондарчук А.С. Оптимізація штучного сезонного зміщення відліку часу за критерієм енергозбереження / А.С. Бондарчук // Електричний журнал. – 2000. – № 2(12). – С. 3 – 10.

27. Бесараб О. М. Кореляційний аналіз впливу сучасних побутових електроприладів на комерційні показання лічильників / О. М. Бесараб, А. С. Бондарчук, Я. О. Соколов // Праці Одеського політехн. ун-ту. – Одеса, 2013. – Вип. 3(42). – С. 123–126.

28. Бондарчук А. С. Прогнозування за аналітичною моделлю тренда динаміки електроспоживання міста / А. С. Бондарчук // Праці Одеського політехн. ун-ту. – Одеса, 2014. – Вип. 4(43). – С. 159–161.

29. Бондарчук А. С. Прогнозна енергетична, економічна та екологічна ефективність запровадження мережевих сонячних електростанцій в ринкових умовах / А. С. Бондарчук // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – К.: Наука і техніка, 2015. – № 20 (96). – С. 51–55.

30. Бондарчук А. С. Дослідження впливу струму вищих гармонік на втрати активної потужності в електричній мережі житлового будинку / А. С. Бондарчук, Є. П. Нечипорук // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – К.: Наука і техніка, 2016. – № 20 (97). – С. 56–61.

31. Bondarchuk A. S. A graphic method for the research into electrical load dynamics in residential apartments / A. S. Bondarchuk, P. D. Lezhniuk, // Compu-

tational Problems of Electrical Engineering. – Lviv: Lviv Polytechnic National University, volume 7, number 2, 2017. – pp. 73–77.

Наукова праця, за яку отримано патент України на винахід

32. Бондарчук А. С. Спосіб автоматичного програмованого коригування відліку часу / А. С. Бондарчук. Патент № 75278 України на винахід, МПК (2006) G04F 5/00. – № 20040807103; опубл. 15.03.2006 р. Бюл. № 3.

Навчальні посібники з грифом МОН України

33. Бондарчук А. С. Внутрішньоквартальне електропостачання. Навчальний посібник / А. С. Бондарчук, В. Г. Рудницький. – Суми: Університетська книга, 2012. – 371 с.

34. Бондарчук А. С. Внутрішньобудинкове електропостачання. Навчальний посібник / А. С. Бондарчук. – К: Освіта України, 2015. – 480 с.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	6
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ	
ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ОБ'ЄКТІВ	
ЦИВІЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ.....	17
1.1 Аналіз публікацій наукових робіт щодо методів визначення	
електричного навантаження об'єктів	17
1.2 Визначення електричного навантаження об'єктів цивільного	
призначення за чинними нормативними документами.....	20
1.2.1 Визначення електричного навантаження за окремими	
видами жител, житлових будинків	20
1.2.2 Визначення електричного навантаження комунальних	
об'єктів.....	25
1.2.2.1 Визначення електричного навантаження підприємств	
громадського харчування за коефіцієнтом попиту.....	25
1.2.2.2 Визначення навантаження цивільних об'єктів різного	
призначення за коефіцієнтами неспівпадання максимумів.....	27
1.2.2.3 Попереднє визначення навантаження цивільних об'єктів	
різного призначення за укрупненими питомими показниками.....	27
1.2.2.4 Визначення електричного навантаження ресторанів,	
готелів, підприємств побутового обслуговування, навчальних	
закладів, шкіл, організацій управління.....	29
1.2.3 Визначення електричного навантаження за методом теорії	
ймовірності і математичної статистики.....	30
1.2.4 Визначення розрахункового навантаження групи жител з од-	
наковим питомим електричним навантаженням.....	34
1.2.5 Визначення розрахункового навантаження котеджів.....	37
1.2.6 Визначення розрахункового навантаження гуртожитків.....	39
1.2.7 Визначення електричного навантаження систем	

гарантованого електропостачання.....	42
1.3 Прогнозування споживання електроенергії житловими та громадськими об'єктами.....	45
Висновки до розділу 1.....	49
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАДИЦІЙНИХ ТА АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЦИВІЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ.....	
2.1 Традиційні джерела електропостачання.....	51
2.2 Системи гарантованого електропостачання.....	56
2.3 Відновлювальні джерела енергії.....	63
2.3.1 Автономні сонячні електростанції.....	63
2.3.2 Мережеві сонячні електростанції.....	68
2.3.3 Вітрові електричні станції.....	70
2.3.4 Гібридні системи електропостачання.....	74
2.3.5 Електропостачання цивільних об'єктів від системи сховищ відновлюваної енергії	77
2.3.6 Віртуальні електростанції.....	78
2.3.7 Інтегрована система джерел енергії як нова стратегія розвитку систем енергопостачання.....	79
2.3.8 Джерела розподільної генерації та їх вплив на систему електропостачання об'єктів цивільного призначення.....	82
Висновки до розділу 2.....	84
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ І МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ЦИВІЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ.....	
3.1 Методи моделювання електричного навантаження об'єктів цивільного призначення.....	86
3.2 Експериментальне дослідження і моделювання електричного навантаження освітлювальних приладів.....	102
3.3 Експериментальне дослідження і моделювання електричного	

навантаження побутових електроприладів.....	110
3.3.1 Експериментальне дослідження і моделювання	
навантаження приладів нагрівання та охолодження.....	110
3.3.2 Експериментальне дослідження і моделювання	
навантаження культурно-побутових електроприладів.....	130
3.3.3 Експериментальне дослідження і моделювання	
навантаження загальнобудинкових електроприймачів.....	136
Висновки до розділу 3.....	139

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА МЕТОДІВ І МОДЕЛЕЙ ВИЗНАЧЕННЯ

ЕЛЕКТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ЦИВІЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ

З ВИКОРИСТАННЯМ ГРАФІЧНОГО І МАКРОМОДЕЛЮВАННЯ

ТА ФРАКТАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ.....	141
4.1 Метод графічного за сплайнами визначення розрахункового	
електричного навантаження житлових будинків.....	141
4.2 Метод графічного визначення розрахункового електричного	
навантаження будинків з різними питомими навантаженнями.....	159
4.3 Метод графічного визначення розрахункового електричного	
навантаження громадських будинків	172
4.4 Метод графічного визначення електричного навантаження	
систем гарантованого електропостачання.....	175
4.5 Метод графічного визначення електричного навантаження	
житловими та громадськими об'єктами.....	176
4.6 Макромодельовання як основа прогнозування електричного	
навантаження об'єктів цивільного призначення.....	184
4.7 Метод моделювання електричного навантаження цивільних	
об'єктів з використанням його фрактальних властивостей.....	197
4.8 Графічний метод дослідження впливу метеорологічних умов	
на електричне навантаження міських об'єктів.....	217
4.9 Дисперсійний аналіз як інструмент дослідження графіків	
електроспоживання об'єктів цивільного призначення.....	218

4.10 Кореляційний аналіз між ознаками, що впливають на електроспоживання об'єктів цивільного призначення.....	231
Висновки до розділу 4.....	235
РОЗДІЛ 5. МЕТОД ОЦІНКИ ВПЛИВУ ВИЩИХ ГАРМОНІК НА ЕЛЕКТРИЧНЕ НАВАНТАЖЕННЯ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЦИВІЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ.....	
5.1 Електромагнітна сумісність у системах електропостачання об'єктів цивільного призначення.....	238
5.2 Експериментальне дослідження впливу вищих гармонік на електричне навантаження систем електропостачання цивільних об'єктів.....	242
5.3 Моделі диференційних рівнянь електричних, теплових процесів в електропроводці житла за дією вищих гармонік.....	249
Висновки до розділу 5.....	258
РОЗДІЛ 6. МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ВИЩИХ ГАРМОНІК СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ НА ВЕЛИЧИНУ ЕЛЕКТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ МЕРЕЖ ЦИВІЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ ТА СПОСОБИ ЙОГО ЗМЕНШЕННЯ.....	
6.1 Експериментальна база та організація дослідження мережевої сонячної електростанції	260
6.2 Метод визначення впливу вищих гармонік сонячної електростанції, електроприймачів з нелінійною характеристикою на розрахункове навантаження електричної мережі цивільних об'єктів.....	264
6.3 Метод графічного визначення зменшення електричного навантаження цивільних об'єктів через зрівнювання добових графіків.....	269
6.4 Метод графічного визначення зменшення електричного навантаження через диференціювання тарифів на електроенергію за зонами доби.....	274

6.5 Заходи зі зменшення електричного навантаження через усунення вищих гармонік в системах електропостачання цивільних об'єктів	279
Висновки до розділу 6.....	282
РОЗДІЛ 7. МЕТОД ГРАФІЧНОГО ПРОГНОЗУ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ГІБРИДНИХ СОНЯЧНИХ КОЛЕКТОРІВ ДЛЯ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ ЦИВІЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ.....	283
7.1 Загальні відомості щодо застосування гібридних сонячних колекторів для енергопостачання цивільних об'єктів	283
7.2 Метод графічного прогнозу ефективності застосування гібридних сонячних колекторів для цивільних об'єктів	288
7.3 Графічне визначення прогнозованої ефективності інвестиційного проекту застосування гібридних сонячних колекторів для енергопостачання цивільних об'єктів.....	295
Висновки до розділу 7.....	298
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	299
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	304
ДОДАТОК А. Експериментальні дані щодо моделювання електричного навантаження квартир будинку.....	326
ДОДАТОК Б. Вхідні апріорні дані щодо макромоделювання, фрактального R/S-аналізу електричного навантаження 216-квартирного будинку.....	338
ДОДАТОК В. Експериментальна база даних щодо технічних характеристик нелінійних електроприймачів цивільних об'єктів....	352
ДОДАТОК Г. Експериментальні дані щодо аналізу електричного навантаження багатоквартирного будинку.....	388
ДОДАТОК Д. Зведені відомості замірів активної і реактивної потужності об'єктів цивільного призначення	398
ДОДАТОК Е. Упровадження результатів дисертаційної роботи.....	407

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АБЖ – агрегат безперервного живлення
АВР – автоматичне ввімкнення резерву
АГЖ – агрегат гарантованого живлення
АКБ – акумуляторна батарея
АСКОЕ – автоматизована система комерційного обліку електроенергії
ВЕС – вітрова електрична станція
ВП – ввідний пристрій
ВрЕ – віртуальна електростанція
ВРП – ввідно-розподільний пристрій
ДБН – Державні будівельні норми
ДЖ – джерело живлення
ДЕС – дизельна електрична станція
ЕА – електричний апарат
ЕКГ – електроприймачі критичної групи
ЕП – електроприймач
ІСЕ – інтегрована система електропостачання
ЕУ – електроустановка
КЗ – коротке замикання
ККУ – комплектна конденсаторна установка
КЛ – кабельна лінія
КЛЛ – компактна люмінесцентна лампа
КТП – комплектна трансформаторна підстанція
ЛЛ – люмінесцентна лампа
ЛОМ – локальна обчислювальна мережа
ЛР – лампа розжарювання
МСЕС – мережева сонячна електрична станція
НН – низька напруга
ПЗВ – пристрій захисного вимкнення

ПЗ – пристрій заземлення

ПК – персональний комп'ютер

ПЛ – повітряна лінія

ПУЕ – Правила улаштування електроустановок

ПРА – пускорегулювальна апаратура

СВД – світлодіод

СГЕ – система гарантованого електропостачання

СЕП – система електропостачання

СЕС – сонячна електрична станція

СП – самоутримний ізолюваний провід

ТЕС – теплова електрична станція

ТП – трансформаторна підстанція

ЯЕ – якість електричної енергії

ВСТУП

Актуальність теми. Нові ринкові умови в електроенергетиці, такі як необхідність підвищення енергоефективності систем електропостачання, інновація та конкуренція, вимагають більш точного визначення споживаної та згенерованої електроенергії. Зокрема, проблема підвищення рівня достовірності визначення електричного навантаження цивільних об'єктів вимагає новітнього підходу до його обчислення з урахуванням режимів роботи, нелінійності характеристик електроприймачів (ЕП) та генерування ними електромагнітних завад, застосування відновлювальних джерел енергії, оскільки використання чинних нормативних документів призводить до перевищення фактичного навантаження від 1,5 до 3,5 разів, про що свідчать результати проведених досліджень.

За останні роки спостерігається зростання темпів проєктування та будівництва цивільних об'єктів, при цьому їх об'єм споживання електроенергії досяг рівня промислових підприємств. Ураховуючи зазначене, актуальним є розроблення методів і моделей для достовірного визначення електричного навантаження цивільних об'єктів на стадії проєктування, що дозволить стимулювати економію енергоресурсів, капітальних витрат на спорудження та експлуатацію систем електропостачання (СЕП), зниження негативної дії на навколишнє середовище.

Значний вклад у розвиток теорії та практики щодо сучасних стандартів, проєктування та експлуатації систем електропостачання міст, промислових підприємств, об'єктів цивільного призначення внесли такі провідні вчені, як Шидловський А.К., Кириленко О.В., Праховник А.В., Винославський В.М., Півняк Г.Г., Випанасенко С.І., Варецький Ю.О., Говоров П.П., Денисюк С.П., Макоклюєв Б.І., Павловський В.В., Розен В.П., Качан Ю.Г., Стахів П. Г., Бурбело М.Й., Лежнюк П.Д., Маліновський А.А., Фомічов Є.П., Черненко П.О.

Перші оприлюднення щодо дослідження й обґрунтування електричних навантажень та його прогнозування з'явилися на початку ХХ століття, але

щодо електричних навантажень цивільних об'єктів, дослідження проводяться тільки в останній період. Значний внесок у сферу прогнозування електроспоживання промислових підприємств, цивільних об'єктів внесли такі вчені, як Гордєєв В. І., Єрмілов О. О., Федоров А. А., Праховник А. В., Волобрінський С. Д., Гурський С. К., Лежнюк П. Д., Макоклюєв Б. І., Рогальський Б. С., Розен В. П., Стахів П. Г., Тимченко В. Ф., Черненко П. О.

Режими електроспоживання, як відомо, є результатом підсумовування значної кількості складових, наслідком яких виявляється нормальний розподіл цих випадкових процесів, який є основою можливості й ефективності вживання загальних математичних процедур при вирішенні завдань статистичного аналізу і прогнозування режимів електроспоживання. Проте, зіставлення теоретичних прогнозів з реальними значеннями електричних навантажень житлових будинків, об'єктів цивільного призначення у наукових працях недостатньо висвітлено.

Досягнення економії матеріальних і енергетичних ресурсів можливе за рахунок уточнення розрахункових проєктних нормативних показників електричного навантаження цивільних об'єктів шляхом дослідження реального навантаження і математичного моделювання, їхнього аналізу та прогнозування. У роботі представлено результати соціологічного опитування мешканців жител щодо наявності ЕП та їхнього режиму роботи.

Для оцінювання похибок теоретичного визначення отримано інформацію автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) щодо параметрів графіків електричного навантаження жител, будинків, цивільних об'єктів міста. Розроблено теоретичну і реальну математичну модель їхньої динаміки, оцінено похибки теоретично обчисленого, відносно реального розрахункового і питомого електричного навантаження об'єктів мікрорайону.

Додаткове теплове навантаження на струмовідні частини та ізоляцію створюють сучасні ЕП із нелінійними характеристиками, що генерують вищі гармоніки, у першу чергу такі, як комп'ютерна техніка, кондиціонери, перетворювачі, в тому числі що працюють у комплекті з відновлювальними дже-

релами енергії. Це може відігравати вирішальне значення для правильного вибору елементів СЕП.

Впливу вищих гармонік на якість електричної енергії, електромагнітну сумісність ЕП з нелінійними характеристиками присвячено чимало досліджень науковців, публікацій у наукових журналах, фундаментальних монографіях. Серед них значний вклад внесли такі вчені, як Шидловський А.К., Кириленко О.В., Жежеленко І.В., Півняк Г.Г., Сасенко Ю.Л., Кузнецов В.Г., Курінний Е.Г. Результати їх досліджень містять глибоко розроблені теоретичні та практичні питання щодо електромагнітної сумісності у СЕП, під якою розуміють здатність узгодженого функціонування між електричним пристроєм і його оточенням у даному електромагнітному середовищі без внесення надмірного збурювання в цю систему.

Разом із тим, у зазначених роботах більше висвітлено проблему щодо електромагнітної сумісності потужних промислових ЕП з нелінійними характеристиками таких, як дугові сталеплавильні печі, зварювальні машини, перетворювачі частоти та ін. Поза достатньої наукової уваги залишаються питання достовірного визначення розрахункових навантажень, особливості емісії гармонік ЕП із нелінійними характеристиками об'єктів цивільного призначення, загальнобудинковими ЕП, їхній вплив на додаткове електричне та теплове навантаження на елементи СЕП житлових і комунальних об'єктів.

Необхідне подальше удосконалення методики та дослідження шляхом моделювання процесів впливу струму вищих гармонік на електричне навантаження цивільних об'єктів, на втрати активної потужності в живильному кабелі, внутрішньобудинковій електричній мережі, які додатково їх нагрівають, що призводить до збільшення розрахункового струму відносно навантаження за основної частоти (50 Гц). Це дозволить приймати, в окремих випадках, адекватні заходи щодо зменшення впливу вищих гармонік, підвищення якості електроенергії до нормативних значень, зменшення втрат електроенергії в елементах СЕП, електроприймачах з урахуванням перспективно-

го масового застосування потужного навантаження з ЕП із нелінійними характеристиками об'єктів цивільного призначення.

У дисертаційній роботі проаналізовано накопичений досвід щодо проблеми підвищення рівня достовірності визначення та прогнозування розрахункових навантажень, а також шляхів уникнення значних розходжень між результатами проєктування за чинними нормативними документами і фактичного навантаження електричних мереж об'єктів цивільного призначення з урахуванням дії вищих гармонік та запропонувати нові підходи до її розв'язання, що і визначило напрям дисертаційного дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано на кафедрі «Електропостачання та енергетичний менеджмент» Інституту електромеханіки та енергоменеджменту Одеського національного політехнічного університету відповідно до пріоритетних напрямів виконання Держбюджетних науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України у 2007–2011 рр. за № 594-55, О107U011227 «Дослідження режимів енергоспоживання промислових і комунальних підприємств, розробка заходів підвищення їхньої ефективності в стратегії сталого розвитку». У 2012–2016 рр. за № 78-53, 0113U001466 «Енергетичний аналіз і поліпшення енергетичної результативності функціонування підприємств, установ, будинків, устаткування, систем і процесів у концепції сталої енергетики», за якими здобувач був виконавцем окремих розділів, що містили розробку ним моделей електричного навантаження об'єктів цивільного призначення, методів визначення їхніх параметрів на всіх рівнях електропостачання, способів зменшення максимального навантаження та заходів з енергоспоживання й захисту навколишнього середовища.

Мета та завдання дослідження полягає у вирішенні важливої науково-практичної проблеми – розроблення методів і моделей підвищення рівня достовірності визначення електричного навантаження цивільних об'єктів, що дозволить на стадії проєктування створювати умови економії енергетичних і матеріальних ресурсів у процесі спорудження та експлуатації СЕП.

Для досягнення поставленої мети в роботі розв'язано такі завдання:

- виконати аналіз нормативних документів, існуючих методів і моделей щодо визначення електричного навантаження цивільних об'єктів, виявити негативні фактори, що призводять до значних розходжень з його реальним значенням;
- розробити методи і моделі достовірного визначення електричного навантаження об'єктів цивільного призначення шляхом графічного синтезу динаміки його складових з використанням теорії сплайнів;
- застосувати метод макромодельовання електричного навантаження для цивільних об'єктів з використанням дискретних автономних макромоделей, що не потребують попередньої обробки апріорної інформації;
- довести фрактальний принцип формування електричного навантаження цивільних об'єктів на основі результатів R/S-аналізу апріорної інформації, як інструменту оцінювання наявності довготривалої пам'яті та трендостійкості;
- розробити метод оцінювання електричного, теплового навантаження на струмовідні частини систем електропостачання цивільних об'єктів під впливом генерації вищих гармонік ЕП з нелінійними характеристиками та мережевих інверторів;
- дослідити ефективність застосування результатів розроблених методів та моделей щодо визначення електричного навантаження з перевіркою їх достовірності на реальних СЕП об'єктів цивільного призначення;
- розвинути методику прогнозування ефективності застосування гібридних сонячних колекторів для енергозабезпечення цивільних об'єктів.

Об'єктом дослідження є динамічні режими і процеси електричного навантаження в системах електропостачання цивільних об'єктів.

Предметом дослідження є методи і моделі визначення електричного навантаження систем електропостачання цивільних об'єктів.

Методи дослідження базуються на використанні теорії ймовірності при аналітичному визначенні електричного навантаження, методів математичної

статистики визначення питомого електричного навантаження, кореляційного, регресійного, дисперсійного аналізу, експертного опитування, теорії сплайнів, математичного макро- і графічного моделювання, його фрактальних властивостей при аналізі динаміки та прогнозуванні електричного навантаження, електроспоживання, експериментальних досліджень на реальних СЕП цивільних об'єктів.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження полягає у теоретичному узагальненні та вирішенні важливої науково-практичної проблеми в галузі науки і техніки щодо дослідження динамічних режимів і електричних процесів, математичного моделювання та достовірного визначення електричного навантаження шляхом розроблення методів і моделей, що дозволили вирішити проблему підвищити рівень достовірності визначення і прогнозування електричного навантаження СЕП об'єктів цивільного призначення.

Новизною проведених досліджень вважаються такі наукові результати:

- створено концептуально новий метод розрахунку електричного навантаження цивільних об'єктів шляхом графічного синтезу динаміки його складових з використанням моделювання на основі теорії сплайнів, який дозволив у 1,5–3,5 разів підвищити достовірність його визначення, порівняно з обчисленням за чинними нормативними показниками, що підтверджено експериментально;

- вперше доведена самоафінність структури електричного навантаження цивільних об'єктів та встановлено за методом R/S-аналізу апіорної інформації фрактальний принцип його формування, який дозволив чисельно оцінити за показником Херста наявність довготривалої пам'яті та її глибину, трендостійкість для прогнозування електричного навантаження, електроспоживання;

- застосовано метод макромоделювання електричного навантаження об'єктів цивільного призначення, який відрізняється від існуючих методів використанням дискретних автономних макромоделей, що не потребують

попередньої обробки апріорної інформації та дозволив пришвидшити процес моделювання;

- запропоновано метод визначення питомого електричного навантаження жител багатоповерхових будинків мікрорайону міста за моделлю математичного сподівання усереднених функцій, який на відміну від чинних нормативних документів, дозволив результати обчислення наблизити до його реального значення;

- отримав подальшого розвитку метод оцінки впливу вищих гармонік, які генеруються ЕП з нелінійними характеристиками, джерелами відновлювальної енергії за наявності інверторів, на електричне, теплове навантаження струмовідних частин шляхом моделювання за сплайн-інтерполяцією процесів в електричній мережі, що дозволяє передбачати кризові ситуації при експлуатації;

- розвинена методика прогнозування ефективності застосування гібридних сонячних колекторів для енергозабезпечення цивільних об'єктів, що відрізняється від інших урахуванням цін на енергетичному ринку та визначенням дисконтованого прибутку і строку окупності інвестиційного проєкту.

Практичне значення отриманих результатів дисертаційної роботи полягає у вирішенні значимої науково-практичної проблеми в галузі науки і техніки – створення методів і моделей, які дозволили підвищити достовірність визначення електричного навантаження цивільних об'єктів, що стимулюватиме економію матеріальних та енергетичних ресурсів у процесі будівництва та експлуатації СЕП. При цьому надано оцінку ефективності їх застосування, виявлено значне завищення навантаження, обчисленого за чинними нормативними документами. Основні положення, рекомендації та висновки дисертації оприлюднені в наукових журналах, втілюються в навчальний процес кафедри «Електропостачання та енергетичний менеджмент», іншими кафедрами ОНПУ під час лекцій, лабораторних та практичних занять, курсового проєктування з дисциплін «Основи електропостачання», «Системи електропостачання», «Особливості електропостачання об'єктів житлово-

комунального господарства», «Електропостачання цивільних об'єктів», у кваліфікаційних роботах бакалаврів та у науково-дослідних роботах магістрів, аспірантів. Результати дисертаційної роботи впровадженні у наукові дослідження та проєктну практику АТ «Одесаобленерго», Південним РЕМ, ТОВ «С-інжиніринг», рекомендовані до впровадження Центром трансферу технологій ОНПУ, ТОВ «Електротехніка – нові технології», ТОВ «СТАР ЕНЕРЖІ», Науково-виробничою лабораторією «SOLAR PLEX» та ін.

Особистий внесок здобувача. Наукові результати, які викладені в дисертаційній роботі, отримано автором особисто. У друкованих наукових працях, що оприлюднені у співавторстві, автору належать такі результати: застосування графічного методу для оцінювання ефекту цільового зрівнювання графіка електричного навантаження міста [15]; запропоновано метод моделювання за сплайн-інтерполяцією електричного навантаження міських мереж для визначення ефективності запровадження диференційованого тарифу [19]; застосовано ймовірно-статистичний та графічний методи зіставлення теоретичного і реального питомого електричного навантаження жител [6,21]; запропоновано визначення впливу регіонального потепління на енергоспоживання за регресійним аналізом динаміки середньорічної температури довкілля міста [22]; проведення експериментального дослідження та аналіз, за кореляційним аналізом, впливу побутових електроприладів на комерційні показання лічильників [25]; створено математичні моделі та їх реалізація щодо підвищення рівня достовірності визначення електричного навантаження цивільних об'єктів [4]; застосування макромодельовання, фрактального аналізу для прогнозування електричного навантаження цивільних об'єктів [88, 97]; запропоновано метод розрахунку та оцінювання прогнозової ефективності застосування гібридних сонячних колекторів для цивільних об'єктів за результатами реалізації інноваційних проєктів [3, 5].

Апробація результатів роботи. Основні наукові результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на 4-й Міжнародній конференції «Управління енерговикористанням», Одеса, 2001 р., 6-й Міжнародній

науково-технічній конференції «Ефективність та якість електропостачання промислових та комунальних підприємств», м. Маріуполь, 2008 р., Міжнародному багатогалузевому науково-технічному форумі «Engineering Strategy in Innovation», м. Одеса, 2009 р., Всеукраїнській науково-практичній конференції «Проблеми енергоефективності та енергозбереження», Кіровоград, 2012 р., Республіканській науково-практичній конференції «Інтелектуальні системи управління енергоспоживанням», м. Одеса, 2013 р., Республіканській науково-технічній конференції «Проблеми енергоефективності в ЖКГ», Одеса, 2014 р., Міжнародній конференції «Сонячні електростанції в системі міського господарства», Одеса, 2016 р., Республіканській науково-технічній конференції «Енергоефективність у житлово-комунальному господарстві міста», Одеса, 2017 р., Міжнародній конференції «Проблеми сучасної електротехніки – 2018», Інститут електродинаміки, Київ, 4–8 червня, 2018 р., Міжнародній науково-практичній конференції «Електротехнічні та комп'ютерні системи: теорія і практика», Одеса, 4–6 червня, 2019 р.

Публікації. За темою дисертації опубліковано 34 наукові праці, з яких: 6 – у журналах, які індексуються у наукометричній базі Scopus, 4 – у наукових періодичних виданнях інших держав, 21 – у журналах, що внесені до переліку наукових фахових видань України, 2 – у навчальних посібниках з грифом МОН України, патенті на винахід, а також у 12 доповідях на Міжнародних і Республіканських форумах та науково-практичних конференціях, семінарах.

Структура дисертаційної роботи. Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, 7 розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг дисертації становить 414 сторінок, в тому числі, 303 сторінки основної частини, 141 рисунок, 30 таблиць, список використаних джерел з 176 найменувань на 22 сторінках та 6 додатків.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ОБ'ЄКТІВ ЦИВІЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

1.1 Аналіз публікацій наукових робіт щодо методів визначення електричного навантаження об'єктів

Результати аналітичного огляду публікацій наукових робіт учених свідчать про те, що достатньо високий рівень достовірності визначення розрахункового електричного навантаження можливе за наявності графіків, що необхідні для проєктування СЕП. Оскільки для окремих електроприймачів графіків електричних навантажень, як правило, недостатньо, тому використовують теоретичні або емпіричні методи розрахунку [33, 34, 36, 38, 70, 100, 139, 140, 160]:

- статистичний, за якого використовують експериментально отримані характерні графіки та середнє електричне навантаження, кратність розсіювання випадкової величини та середньоквадратичне відхилення активної потужності за 30-хвилинного інтервалу дискретизації;

- метод упорядкованих діаграм (метод коефіцієнта максимуму) як ймовірнісне моделювання, за якого використовують коефіцієнт використання та ефективну кількість ЕП для знаходження коефіцієнта максимуму і визначення величини розрахункового активного електричного навантаження, але такий метод дає завищені значення;

- метод розрахункових коефіцієнтів електричного навантаження (модифікований метод), за якого знаходять груповий коефіцієнт використання та ефективну кількість ЕП для знаходження розрахункового коефіцієнта відповідно до рівня системи електропостачання, що дає вищий за попередній метод рівень достовірності визначення розрахункового електричного навантаження;

- метод коефіцієнта попиту, за якого використовують коефіцієнти попиту ЕП на основі статистичних даних;
- метод питомого навантаження на одиницю площі або продукції.

Поряд з цим, моделюються режими електричного навантаження житлових районів із 15-хвилинним інтервалом, створюються моделі добових графіків навантаження житлових та комунальних об'єктів з метою реагування на його попит і зниження навантаження за допомогою смарт-мереж. Представляються математичні моделі графіків житлових енергетичних центрів із відновлювальними джерелами живлення та прийняття рішень в інтелектуальних мережах, моделі планування енергії з динамікою параметрів вітрової, сонячної енергетики, навколишнього середовища та цінової політики [32, 42, 45, 59, 98, 102, 113, 149, 156, 169, 170].

Існуючі методи прогнозування електричного навантаження, електроспоживання, залежно від застосованого математичного апарату, можуть відтворювати та в перспективі прогнозувати електроспоживання як детермінований процес або процес з імовірнісним характером електроспоживання. До сучасних методів прогнозування можна віднести такі, як адаптивний та нелінійні регресійні методи, нейронні мережі, нечітке прогнозування, макромодельовання, фрактальний аналіз, сплайн-прогнозування та ін. Кожний з них має свої особливості. Наприклад, адаптивне прогнозування характеризується тим, що спочатку використовують метод експоненційного згладжування, на якому будується більшість моделей адаптивного прогнозування. Недоліком методу є те, що при прогнозуванні сезонних процесів, він стає громіздким [89]. Запропонована «сіра модель прогнозування» ефективно працює із невідомою системою з обмеженою кількістю апріорної інформації без статистичних припущень. Але коефіцієнти її розвитку і контрольна змінна залежать від фонового значення. Використання цієї моделі на основі нейронної мережі значно покращує ефективність прогнозу [172]. Прогнозування попиту на електроенергію із використанням серії моделей залишкової модифікації на основі нейронної мережі значно підвищують адекватність отриманих резуль-

татів. При цьому експерименти підтверджують, що такі моделі придатні до застосування [36]. Розглянуто удосконалення ієрархічної багатомірної математичної моделі повного електричного навантаження щодо короткострокового прогнозування навантаження. В математичній моделі додатково введена складова інтенсивності природного освітлення, що впливає на електроспоживання [165–168]. Достатньо глибока увага приділена оперативному прогнозуванню, для якого використовують, як правило, метод еталонного графіка. При цьому за основу беруться типові графіки – усереднені за певний проміжок часу значення споживання електроенергії. Під час отримання нових даних, що впливають на динаміку електроспоживання такі, як температура довкілля, тривалість світлої частини доби, швидкість вітру, цей графік коригується [89, 165–168]. Розглянуто прогнозування за використанням нейронних мереж, що вирізняється достатньою для практичного застосування точністю. Вихідна інформація базується на ретроспективних даних об'єкта щодо електричного навантаження. Особливістю методу є можливість працювати із зашумленими і неповними даними первинної інформації та випадковими впливами [44, 165–168]. Надано результати дослідження щодо гібридних мереж, які є комбінацією нейронної мережі зі стохастичними методами навчання, такими як генетичний алгоритм, оптимізація часток, які успішно застосовані для короткострокового прогнозування [165–168]. Останнім часом застосовуються напрацювання фрактальних множин і фрактальної геометрії у сфері прогнозування навантажень енергосистем, промислових підприємств. Сутність такого прогнозування в тому, що традиційна геометрія з прямими лініями і гладкими поверхнями не підходить для опису будь-якого об'єкта. Для цього пропонується використовувати самоафінні структури – фрактали, кожна частина якої повторює у своєму розвитку розвиток моделі у цілому [88, 89, 117, 161].

Однак проблемою є те, що більшість робіт, які висвітлюють методи розрахунку, прогнозування електричного навантаження енергосистем, промислових підприємств, не в повній мірі дозволяють урахувати склад, специфіку і

технологічні особливості електричного навантаження цивільних об'єктів. Тому для вирішення цієї проблеми пропонуються розробки ефективного, достатньо точного для практичного застосування, методи і моделі визначення електричного навантаження, електроспоживання цивільних об'єктів з використанням графічного і макромодельовання, його фрактальних властивостей, сутність яких розкривається у подальших розділах дослідження.

Таким чином, значна кількість наукових робіт пов'язана з методами розрахунку і прогнозу електричних навантажень енергосистем, промислових підприємств. Однак зіставлення теоретичних обчислень з реальними значеннями електричних навантажень цивільних об'єктів недостатньо досліджено.

Ураховучи зазначене, вирішенню важливої науково-практичної проблеми підвищення рівня достовірності визначення електричного навантаження цивільних об'єктів шляхом розроблення відповідних методів, моделей і присвячена дисертаційна робота.

1.2 Визначення електричного навантаження об'єктів цивільного призначення за чинними нормативними документами

1.2.1 Визначення електричного навантаження за окремими видами жител, житлових будинків

Електричне навантаження у загальному визначенні – це величина, яка характеризує споживання потужності окремим ЕП або об'єктом у цілому [10, 11, 33, 38].

Розрахункове електричне навантаження – це її найбільше із середніх значень за певний проміжок часу, яке має такі визначення:

– *розрахункове електричне навантаження за піком температури* – це стає за часом навантаження, що викликає в провіднику таке ж максимальне перегрівання понад навколишньої температури, що й дане змінне за часом електричне навантаження;

– *розрахункове електричне навантаження за тепловим зносом ізоляції* – це стало за часом навантаження, що викликає в провіднику такий же знос ізоляції, що й дане змінне за часом навантаження;

– *розрахункове електричне навантаження за даним графіком* – це найбільше навантаження за *піком температури* або за *тепловим зносом ізоляції*.

Як відомо, за розрахункове електричне навантаження приймається, як правило, півгодинний максимум, який є найбільшим із середніх півгодинних навантажень у будь-якій точці електричної мережі, наприклад, на вводі в житло, будинок, об'єкт цивільного призначення. За цієї величини електричного навантаження вибираються перетини проводів і кабелів, струмовідних частин, потужність силових трансформаторів, комутаційні апарати, електроустаткування, апарати захисту тощо.

Електричні навантаження жител, житлових будинків є випадковими й відрізняються між собою, оскільки залежать від потужності, кількості, режиму роботи побутових приладів, ЕП та істотно змінюються протягом доби, дня тижня, сезону року. При цьому збільшення кількості жител, які приєднані до елемента електричної мережі ввідного пристрою (ВП), ввідно-розподільного пристрою (ВРП), приводить до того, що питомі електричні навантаження (на житло) зменшуються через неспівпадання їх розрахункових максимумів у часі.

Житло – це квартира у житловому будинку або кімната, що розташовується в гуртожитку, одноквартирні будинки, які призначені для проживання осіб або родин.

Чинні нормативні документи передбачають використання коефіцієнта попиту, питомого навантаження на одиницю площі, кВт/м^2 , або на кількість жител (котеджів), кВт/житло (котедж), чи на одиницю вимірювання, кВт/на місце , $\text{кВт/на одного учня}$, $\text{кВт/на ліжко-місце}$ тощо. Вони наведені для попереднього визначення навантаження на вводах до об'єктів із наступним використанням коефіцієнтів участі, розбіжності цих навантажень у максимумі для вибору елементів електричних мереж від споживача до джерел живлен-

ня. За такими нормативами визначаються такі параметри, як середній максимум, середньоквадратичні відхилення максимумів від середнього значення, середні похибки, що в значній мірі завищують кінцевий результат і потребують уточнення на всіх рівнях СЕП, починаючи від кінцевого споживача до джерела живлення [47–49, 58].

Відповідно до чинних нормативних документів житла (квартири) щодо оснащеності побутовими електроприладами та їх розрахункових навантажень умовно поділяються на окремі види:

1-й – житла (квартири) в будинках масового будівництва, споруджених чи споруджуваних із загальною площею від 35 до 95 м² включно та заявленою (встановленою) потужністю ЕП до 30 кВт включно;

2-й – житла (квартири) в багатоквартирних будинках, споруджених чи споруджуваних із загальною площею від 50 до 300 м² включно та заявленим замовником високим рівнем комфортності, що відповідає встановленій потужності ЕП від 30 до 60 кВт включно;

3-й – житла в котеджах, житлових будинках, споруджених чи споруджуваних із розрахунку, як правило, на одну родину із загальною площею від 150 до 600 м² включно та заявленим замовником високим рівнем комфортності, що відповідає встановленої потужності електроприймачів від 60 до 140 кВт включно.

У свою чергу, для жител 1-го виду (квартир у багато- та малоквартирних будинках, будинків на одну родину і будиночків на ділянках садівничих товариств) встановлюються такі рівні електрифікації та відповідні їм нормативні розрахункові питомі навантаження:

1-й – житла (квартири) з плитами на природному газі;

2-й – житла з плитами на скрапленому газі та на твердому паливі;

3-й – житла з електричними плитами потужністю до 8,5 кВт включно;

4-й – житла з електричними плитами потужністю включно до 10,5 кВт;

5-й – будиночки на ділянках садівничих товариств.

При цьому для жител 2-го виду встановлюються такі рівні електрифікації та нормативні розрахункові питомі навантаження [47]:

1-й – житла з плитами на природному газі;

2-й – житла з електричними плитами потужністю включно до 10,5 кВт .

Встановлені нормативи питомих електричних розрахункових навантажень, які наведені в таблиці 1.1 враховують застосування в житловому приміщенні побутових кондиціонерів повітря та комфортного електричного доопалювання в межах 7–15% від загальної потреби в теплі з розрахунку 60–120 Вт/м² доопалювальної площі.

Розрахункове навантаження групи жител з однаковим питомим електричним навантаженням, приведене до лінії живлення, вводу в житловий будинок, визначається за формулою [47]

$$P_{р.ж} = p_{п.р.ж} N, \quad (1.1)$$

де N – кількість жител (квартир), приєднаних до вводу в будинок.

Прилади обліку та апарати захисту, які встановлюються на вводі житла (квартири), вибираються за питомим розрахунковим навантаженням одного житла.

Усереднені максимуми електричних навантажень електроприймачів житла, які приведені до його ввідно-розподільного пристрою, визначаються за формулою

$$P_{\text{макс}} = \bar{K}_{п1} P_{уст1} + \bar{K}_{п2} P_{уст2} + \dots + \bar{K}_{пn} P_{устn}, \quad (1.2)$$

де $\bar{K}_{п1}, \bar{K}_{п2}, \dots, \bar{K}_{пn}$ – середні коефіцієнти попиту або середні ймовірності ввімкнення цих приладів під час максимуму навантаження;

$P_{уст1}, P_{уст2}, \dots, P_{устn}$ – установлена потужність побутових ЕП.

Таблиця 1.1 – Питомі розрахункові електричні навантаження жител 1-го та 2-го видів [47]

Споживачі електроенергії	Значення питомого навантаження, кВт/житло, за кількості жител														
	1	3	6	9	12	15	18	24	40	60	100	200	400	600	1000
Житла 1-го виду															
1-го рівня електрифікації – в будинках з плитами на природному газі	5,0	3,85	3,23	2,72	2,36	2,10	1,91	1,65	1,31	1,14	1,00	0,87	0,74	0,66	0,60
2-го рівня електрифікації – в будинках з плитами на скрапленому газі та на твердому паливі	6,5	5,01	4,20	3,53	3,07	2,73	2,48	2,15	1,70	1,48	1,30	1,12	0,96	0,86	0,78
3-го рівня електрифікації – в будинках з електроплитами потужністю до 8,5 кВт включно	10,0	8,19	5,56	4,44	3,76	3,33	3,05	2,72	2,35	2,10	1,73	1,38	1,31	1,19	1,10
4-го рівня електрифікації – в будинках з електроплитами потужністю до 10,5 кВт включно	12,0	9,83	6,67	5,33	4,51	3,99	3,66	3,26	2,82	2,52	2,08	1,65	1,58	1,43	1,32
5-го рівня електрифікації – в будиночках на ділянках садовничих товариств	3,5	2,84	1,91	1,47	1,22	1,07	0,96	0,83	0,66	0,58	0,52	0,48	0,47	0,46	0,41
Житла 2-го виду															
1-го рівня електрифікації – в будинках з плитами на природному газі	9,0	6,33	5,29	4,36	3,72	3,26	2,94	2,51	2,00	1,78	1,62	1,47	1,24	1,08	0,99
2-го рівня електрифікації – в будинках з електроплитами потужністю до 10,5 кВт включно	16,0	13,5	8,34	6,41	5,39	4,77	4,36	3,83	3,18	2,83	2,51	2,16	1,88	1,77	1,76

1.2.2 Визначення електричного навантаження комунальних об'єктів

1.2.2.1 Визначення електричного навантаження підприємств громадського харчування за коефіцієнтом попиту

Підприємства громадського харчування містять, як правило, силові ЕП та прилади електричного освітлення.

Розрахункове електричне навантаження підприємства громадського харчування приведене до вводу, живильної лінії, визначається за допомогою коефіцієнта попиту залежного від ефективної кількості ЕП, які однорідні за режимом роботи та однакові за потужністю, що визначають таке ж розрахункове навантаження, як і реальна кількість ЕП, різних за потужністю та режимом роботи [47].

Ефективна кількість ЕП підприємства громадського харчування визначається за таких умов:

– загальна кількість ЕП $n \leq 10$

$$n_e = \frac{\left(\sum_{i=1}^n P_{\text{уст.}i} \right)^2}{\sum_{i=1}^n P_{\text{уст.}i}^2} ; \quad (1.3)$$

– загальна кількість ЕП $n > 10$

$$n_e = \frac{2 \sum_{i=1}^n P_{\text{уст.}i}}{P_{\text{уст.макс}}}, \quad (1.4)$$

де n – загальна кількість ЕП, які приєднані до вводу, живильної лінії;

$P_{\text{уст.}i}$ – установлена потужність i -го ЕП, кВт;

$P_{\text{уст.макс}}$ – установлена потужність максимального за установленної потужності ЕП даної групи, кВт.

Коефіцієнт попиту визначається за формулою

$$K_{\Pi} = \frac{P_{\text{р}}}{P_{\text{уст}}}. \quad (1.5)$$

Розрахункове електричне навантаження групових ліній робочого, евакуаційного й аварійного освітлення громадських будинків, реклам виконується за коефіцієнтом попиту 1,0 [47].

Розрахункове електричне навантаження ліній, які живлять мережі штепсельних розеток, визначається за формулою

$$P_{\text{р.ш}} = P_{\text{уст.ш}} n_{\text{ш}} K_{\Pi.ш}, \quad (1.6)$$

де $P_{\text{уст.ш}}$ – установлена електрична потужність різноманітних побутових електричних приймачів, що приєднуюватимуться за необхідності до однієї розетки, яка приймається потужністю 0,05 кВт для установ управління, проектних організацій та 0,06 кВт – для підприємств громадського харчування, готелів;

$n_{\text{ш}}$ – кількість штепсельних розеток;

$K_{\Pi.ш}$ – коефіцієнт попиту, який приймається за [47].

Коефіцієнт попиту до розрахунку електричних навантажень живильних і розподільних ліній та введів силових електричних мереж підприємств громадського харчування визначається за [10, 47].

1.2.2.2 Визначення навантаження цивільних об'єктів різного призначення за коефіцієнтами неспівпадання максимумів

У разі приєднання об'єктів різного призначення (житлових, громадських) до лінії, вводу будинку, підсумкове навантаження визначається так:

$$P_{p \Sigma} = P_{p. \max} + K_1 P_{p1} + K_2 P_{p2} + \dots + K_n P_{p.n}, \quad (1.7)$$

де $P_{p. \max}$ – розрахункове навантаження найбільше від усіх об'єктів;

$K_1, K_2, \dots, K_n$ – коефіцієнти неспівпадання максимумів електричного навантаження n -го об'єкта і максимального за навантаженням [47].

Такий розрахунок слід виконувати відносно того навантаження, яке дає найбільше підсумкове електричне навантаження усіх об'єктів.

1.2.2.3 Попереднє визначення навантаження цивільних об'єктів різного призначення за укрупненими питомими показниками

Будинки та споруди цивільного призначення містять різноманітні ЕП. Попередні орієнтовні розрахунки електричних навантажень для них допускається виконувати за укрупненими питомими електричними навантаженнями, які враховують усереднений комплекс установлюваних ЕП (включаючи комп'ютерну техніку), за формулою [47]:

$$P_{p. \text{гр}} = p_{п. \text{гр}} N_{о.в}, \quad (1.8)$$

де $p_{п. \text{гр}}$ – питоме навантаження об'єкта громадського призначення на місце, на м^2 торговельної площі, на учня тощо, яке наведено в [47];

$N_{о.в}$ – кількість одиниць вимірювання.

Розрахункове електричне навантаження освітлювальної мережі громадських будинків визначається за формулою

$$P_{p.ос} = P_{уст.ос} K_{п.ос}, \quad (1.9)$$

де $P_{уст.ос}$ – установлена потужність освітлювальних установок громадських будинків;

$K_{п.ос}$ – коефіцієнт попиту, що залежить від установленної потужності освітлення [47].

Електричне навантаження силових мереж поділяється на чотири групи: технологічне, холодильне, санітарно-технічне та посудомийні машини.

Розрахункові навантаження кожної з цих груп визначається так:

$$P_{p.сил.i} = K_{п.сил.i} P_{уст.сил.i}, \quad (1.10)$$

де $K_{п.сил.i}$ – коефіцієнт попиту i -ї групи устаткування [47];

$P_{уст.сил.i}$ – установлена потужність устаткування i -ї групи, в яку не включаються резервні ЕП, прибиральні машини, протипожежні установки, якщо вони не визначають вибір захисних апаратів і переріз проводів.

Підсумкове розрахункове навантаження силового електроустаткування підприємства громадського харчування визначається так:

$$P_{p.сил} = P_{p.тех} + 0,75(P_{p.х.м} + P_{p.сан}). \quad (1.11)$$

Підсумкове розрахункове навантаження технологічного устаткування та посудомийних машин визначається так:

$$P_{p.тех.п.м} = P_{p.п.м} + 0,65 P_{p.тех}. \quad (1.12)$$

Підсумкове розрахункове навантаження силових ліній до холодильного та сантехнічного устаткування, визначається окремо.

Розрахункове навантаження вводу підприємства громадського харчування, які живлять сумісно силові та освітлювальні ЕП, визначається так:

$$P_{p.гр} = K_{н.м} (P_{p.ос} + P_{p.сил}), \quad (1.13)$$

де $K_{н.м}$ – коефіцієнт неспівпадання максимумів освітлювального та силового навантаження [47].

Розрахункове навантаження силових живильних і розподільних ліній та вводів підприємств торгівлі (продовольчі, промтоварні) визначається так:

$$P_{p.т} = K_{п.т} P_{уст.т}, \quad (1.14)$$

де $K_{п.т}$ – коефіцієнт попиту до розрахунку електричних навантажень живильних і розподільних ліній та вводів силових електричних мереж магазинів.

1.2.2.4 Визначення електричного навантаження ресторанів, готелів, підприємств побутового обслуговування, навчальних закладів, шкіл, організації управління

Ресторани, готелі, підприємства побутового обслуговування, навчальні заклади, школи, організації управління містять електроприймачі різної потужності.

Розрахункове електричне навантаження силових ліній готелів, організацій управління, харчоблоків та ресторанів визначається за коефіцієнтом попиту [47].

Розрахункове навантаження силових живильних та розподільних ліній, ліній технологічного устаткування підприємств побутового обслуговування, навчальних закладів, шкіл, визначається за коефіцієнтом попиту залежно від кількості ЕП [47].

1.2.3 Визначення електричного навантаження за методом теорії ймовірності і математичної статистики

Середні максимуми електричних навантажень ЕП житла, які приведені до його вводу, можна визначити за формулою [160]

$$P_{\text{макс}} = \bar{K}_{\text{п1}} P_{\text{уст1}} + \bar{K}_{\text{п2}} P_{\text{уст2}} + \dots + \bar{K}_{\text{пn}} P_{\text{устn}}, \quad (1.15)$$

де $\bar{K}_{\text{п1}}, \bar{K}_{\text{п2}}, \dots, \bar{K}_{\text{пn}}$ – середні коефіцієнти попиту або середні ймовірності ввімкнення цих приладів під час максимуму електричного навантаження;

$P_{\text{уст1}}, P_{\text{уст2}}, \dots, P_{\text{устn}}$ – установлена (умовна) потужність ЕП.

Середня ймовірність ввімкнення ЕП у даний момент за період T визначається за формулою [160]

$$\bar{p} = \frac{W}{P_{\text{уст}} T}, \quad (1.16)$$

де W – кількість електроенергії, яка споживана ЕП за період часу T ;

$P_{\text{уст}}$ – установлена (умовно) активна потужність ЕП.

У разі ввімкнення групи ЕП, які працюють незалежно один від одного, середні ймовірності ввімкнення визначаються так:

$$\bar{p} = \frac{W_{\Sigma}}{T \sum P_{уст}}. \quad (1.17)$$

Якщо режими роботи ЕП залежать один від одного, то середньозважена ймовірність ввімкнення визначається за формулою

$$\bar{p}_r = \frac{\bar{P}_{\text{макс}}}{P_{уст}}, \quad (1.18)$$

де $\bar{P}_{\text{макс}}$ – середній максимум електричного навантаження групи ЕП.

Коефіцієнти попиту, за емпіричним виявленням кореляційної залежності максимальних навантажень від числа й потужності побутових електроприладів, наведено в [160].

Таблиця 1.2 – Коефіцієнти попиту побутових електроприладів

Найменування електроприладу	Коефіцієнт попиту
Електричне освітлення	0,6
Телевізор	0,6
Холодильник	0,2
Пральна машина	0,1
Пилосос	0,1
Праска	0,2
Інші електроприлади	0,15

Доведено, що формування електричного навантаження електроприймачів підкоряється біноміальному закону розподілення, при цьому ймовірність

того, що із загальної їх кількості n електроприймачів одночасно ввімкнено m , визначається так:

$$\bar{p}r(m,n)\Sigma = \sum_0^m \frac{n!}{m!(n-m)!} K_{\Pi}^m (1-K_{\Pi})^{n-m}, \quad (1.19)$$

де K_{Π} - усереднений коефіцієнт попиту, тобто усереднена ймовірність ввімкнення ЕП незалежно один від одного за даний період часу.

У разі значної кількості ЕП

$$\bar{p}r(m,n) = \frac{1}{\sqrt{2\pi n \bar{K}_{\Pi} (1 - \bar{K}_{\Pi})}} \int_0^m e^{-(m-n\bar{K}_{\Pi})^2 / 2n \bar{K}_{\Pi} (1 - \bar{K}_{\Pi})} dm. \quad (1.20)$$

За спрощеною формулою для кількості m електроприймачів із загальної кількості n , які можуть бути ввімкненні:

$$m = n \bar{K}_{\Pi} + t_{\alpha} \sqrt{n \bar{K}_{\Pi} (1 - \bar{K}_{\Pi})}, \quad (1.21)$$

де t_{α} – нормоване відхилення.

Відомо, що розрахунковий максимум навантаження є величиною випадковою, що дає змогу при обробці результатів вимірювань, застосовувати методи теорії ймовірності і математичної статистики для визначення не лише розрахункового максимуму, але і середньоквадратичного відхилення, середньої похибки тощо.

Доведено, що розподіл навантаження, приведенного до вводу в житлові будинки, відповідає нормальному закону, звідки максимум навантаження:

$$P_{\text{макс}} = \bar{P}_{\text{макс}} + t\sigma, \quad (1.22)$$

де $\bar{P}_{\text{макс}}$ – середнє максимальнє активне електричне навантаження;

t – нормоване відхилення за гаусовим законом розподілу;

σ – середньоквадратичне відхилення.

Середньоквадратичне відхилення є важливою величиною для оцінки результатів вимірів, іноді називають стандартним відхиленням або стандартом, розраховується за такими формулами активної потужності

$$\sigma_P = \sqrt{\frac{\sum P - \bar{P}^2}{n-1}}, \quad (1.23)$$

де n – число вимірів;

P – вимірюване активне навантаження, кВт;

$\bar{P}$ – середнє навантаження, кВт.

Зв'язок між нормованим і середньоквадратичним відхиленням визначається за формулою

$$t_\alpha = \frac{P_{\text{макс}} - \bar{P}_{\text{макс}}}{\sigma_P}. \quad (1.24)$$

Нормоване відхилення для внутрішньобудинкових мереж з малими перетинами проводів і щодо малої постійної часу приймають $t_\alpha = 3$ (ймовірність становить 99,7%), а для зовнішніх мереж 1,65–2 (ймовірність становить близько 95%).

1.2.4 Визначення розрахункового навантаження групи жител з однаковим питомим електричним навантаженням

Розрахункове навантаження групи жител з однаковим питомим електричним навантаженням, приведене до лінії живлення, вводу в житловий будинок, визначається за формулою [47]

$$P_{p.ж} = p_{п.р.ж} N, \quad (1.25)$$

де $p_{п.р.ж}$ – питоме розрахункове електричне навантаження одного житла, яке вибирається за [10, 47] залежно від прийнятого рівня електрифікації та кількості квартир, приєднаних до даної ланки електричної мережі, кВт/житло;

N – кількість жител (квартир), приєднаних до лінії, вводу.

Питомі розрахункові електричні навантаження жител за [10, 47] ураховують електричне навантаження освітлення загальнобудинкових приміщень.

Підсумкове розрахункове електричне навантаження освітлення загальнобудинкових приміщень, яке враховується для вибору засобів обліку електроенергії й апаратів захисту загальнобудинкових ЕП, рекомендується визначати за формулою [47]

$$P_{p.осв.заг} = P_{сх.кл} + P_{л.хол} + P_{кор} + P_{вес} + 0,5P_{ін}, \quad (1.26)$$

де $P_{сх.кл}$, $P_{л.хол}$, $P_{кор}$, $P_{вес}$, $P_{ін}$ – розрахункове навантаження освітлення сходових кліток, ліфтових холів, коридорів, вестибюлю та інших приміщень таких, як сміттєвих камер, горищ, технічних підлогових просторів, підвалів тощо, кВт.

Відповідно до [47] розрахункове електричне навантаження силових ЕП житлового будинку, яке приведене до його вводу, лінії, визначається за формулою

$$P_{p.сил} = \sum_1^n P_{л.i} K_{п.л.i} + \sum_1^n P_{сан.i} K_{п.сан.i}, \quad (1.27)$$

де $P_{л.1}, \dots, P_{л.i}$ – встановлена потужність електричного двигуна кожного з ліфтів за паспортом, кВт;

$K_{п.л.1}, \dots, K_{п.л.i}$ – коефіцієнт попиту для ліфтів залежно від кількості ліфтових установок та кількості поверхів будинку;

$P_{сан.1}, \dots, P_{сан.i}$ – встановлена потужність кожного електродвигуна сантехнічних установок за їхніми паспортами, кВт;

$K_{п.сан.1}, \dots, K_{п.сан.i}$ – коефіцієнт попиту для електродвигунів сантехнічних установок.

Потужність резервних електродвигунів, механізмів для прибирання загальнобудинкових приміщень та протипожежних установок при розрахунку навантажень ліній живлення та введів у будівлю не враховується, за винятком тих випадків, коли вона визначає вибір захисних апаратів і перерізів провідників.

Для розрахунку ліній живлення одночасно працюючих ЕП протипожежних пристроїв коефіцієнт попиту приймається 1,0. При цьому слід враховувати одночасну роботу вентиляторів димовидалення і підпору повітря, розташованих лише в одній секції.

Значення розрахункових коефіцієнтів потужності $\cos\phi$ і реактивного навантаження $\tan\phi$ житлових будинків приймається за [47].

Коефіцієнт потужності лінії, яка живить один електродвигун, приймається за каталожними даними цього двигуна.

Рівень електрифікації для жител (котеджів) 3-го виду не має обмежень і визначається замовником та може включати повне електричне опалення та електропідігрівання води.

Розрахункове навантаження, яке приведене до вводу житла (котеджу) 1, 2 і 3-го видів з повним електроопаленням, визначається відповідно до завдання на проєктування за проєктом внутрішнього електрообладнання.

При цьому потужність електроопалювальних акумуляційних систем повного опалення на передпроєктних стадіях орієнтовно визначається з розрахунку $200\text{--}300 \text{ Вт/м}^2$ загальної площі житла, яке рекомендується використовувати в період мінімальних навантажень енергосистеми (нічні години) з метою зрівнювання добових графіків навантаження, що приводить до заощадження енергоресурсів та коли тарифи на електроенергію мінімальні.

Тому в цьому випадку ці електричні навантаження визначаються для трьох режимів роботи енергосистеми, а саме вечірнього, нічного і денного максимумів.

Орієнтовні питомі розрахункові навантаження для жител (котеджів) 3-го виду, в тому числі з повним електроопаленням, наведено в [10, 47].

Приклади визначення розрахункових питомих електричних навантажень жител 1 і 2-го видів з проточними електроводопідігрівачами та повним електроопаленням постійного включення та акумуляційним і відповідних коефіцієнтів одночасності наведено в [47].

У попередніх розрахунках допускається визначати питоме навантаження, яке приведене до вводу житла (котеджу) 3-го виду, так:

$$P_{\text{п.ж}} = P_{\text{уст}} K_{\text{п}}, \quad (1.28)$$

де $P_{\text{уст}}$ – установлена (заявлена) потужність ЕП, яка визначається так:

$$P_{\text{уст}} = P_{\text{уст.поб}} + P_{\text{уст.осв}} + P_{\text{уст.оп}} + P_{\text{уст.ел.п}}, \quad (1.29)$$

де $P_{\text{уст.поб}}$, $P_{\text{уст.осв}}$, $P_{\text{уст.оп}}$, $P_{\text{уст.ел.п}}$ – установлені потужності електропобутових, освітлювальних приладів, систем електричного опалення та електропідігрівання відповідно;

$K_{\text{п}}$ – коефіцієнт попиту, який визначається залежно від величини заявленої потужності ЕП житла.

1.2.5 Визначення розрахункового навантаження котеджів

Попередньо розрахункове електричне навантаження ліній живлення від ЕП котеджів 3-го виду з однаковими питомими навантаженнями на вводі визначається за формулою

$$P_{\text{р.ж}} = P_{\text{п.ж}} N K_{\text{о}}, \quad (1.30)$$

де $P_{\text{п.ж}}$ – питоме електричне навантаження на вводі котеджу, кВт/котедж;

N – кількість жител (котеджів), приєднаних до даної точки мережі;

$K_{\text{о}}$ – коефіцієнт одночасності.

Приклади визначення розрахункових навантажень жител 1 і 2-го видів наведено в [47].

Розрахункове електричне навантаження від групи жител (квартир, котеджів) з різними питомими навантаженнями, яке приведене до лінії живлення, вводу в житловий будинок, за загальної кількості приєднаних жител до 29 включно, визначається за формулою

$$P_{p.piz} = (P_{п1} - P_{пi})N_1K_{o1} + (P_{п2} - P_{пi})N_2K_{o(1+2)} + \dots + (P_{п(i-1)} - P_{пi})N_{(i-1)}K_{o[1+2+\dots+(i-1)]} + P_{пi}(N_1 + N_2 + \dots + N_i)K_{o(1+2+\dots+i)}. \quad (1.31)$$

Для груп з 2 та 3-х різновидів жител (котеджів) формула (1.30) надається так:

– для двох різновидів житла

$$P_{p.piz} = N_1[(P_{п1} - P_{п2})K_{o1} + P_{п2}K_{o(1+2)}] + N_2P_{п2}K_{o(1+2)}; \quad (1.32)$$

– для трьох різновидів житла

$$P_{p.piz} = N_1[(P_{п1} - P_{п3})K_{o1} + P_{п3}K_{o(1+2+3)}] + N_2[P_{п2} - P_{п3}]K_{o(1+2)} + P_{п3}K_{o(1+2+3)} + N_3P_{п3}K_{o(1+2+3)}. \quad (1.33)$$

Якщо кількість приєднаних жител 30 і більше, то розрахункове електричне навантаження від групи жител з різними питомими навантаженнями приведені до лінії живлення, вводу в житловий будинок визначається за формулою

$$P_{p.piz} = (P_{п1}N_1 + P_{п2}N_2 + \dots + P_{пi}N_i)K_{o(1+2+\dots+i)}, \quad (1.34)$$

де $P_{п1}, P_{п2}, \dots, P_{пi}$ – питомі навантаження, кВт, на вводі жител (котеджів) різновидів 1, 2, ..., i -го, при цьому найбільшому значенню присвоюється індекс 1, найменшому – i -й;

$N_1, N_2, \dots, N_i$ – кількість жител (котеджів) відповідних різновидів;

$K_{o1}, K_{o2}, \dots, K_{oi}$ – коефіцієнт одночасності, визначений для кількості жител кожного відповідного різновиду;

$K_{o(1+2+...+i)}$ – коефіцієнт одночасності для сумарної кількості жител відповідних різновидів.

Значення коефіцієнтів одночасності K_o для розрахунків електричних навантажень жител із різними питомими електричними навантаженнями, приймаються за [10, 47].

Якщо розрахункове електричне навантаження на ввіді в житло, індивідуальний будинок будь-якого виду становить більше 11,0 кВт, ввід виконується трифазним.

1.2.6 Визначення розрахункового навантаження гуртожитків

Відповідно до [47] розрахункове навантаження ЕП, що приведені до групових ліній та ліній живлення розеток у гуртожитках, визначається так:

$$P_{p.роз} = p_{п.роз} N_{роз} K_{o.роз}, \quad (1.35)$$

де $p_{п.роз}$ – питома потужність на одну розетку, яка за кількістю розеток до 100 приймається 0,1 кВт, понад 100 – 0,06 кВт;

$N_{роз}$ – кількість розеток;

$K_{o.роз}$ – коефіцієнт одночасності для мережі розеток, який визначається за кількістю розеток.

Розрахункове навантаження побутових підлогових електричних плит, яке приведені до ліній живлення, ввідів гуртожитків коридорного типу, визначається за формулою

$$P_{p.пл} = p_{пл.уст} N_{пл} K_{п.пл}, \quad (1.36)$$

де $P_{\text{пл.уст}}$ – установлена потужність електроплити, кВт;

$N_{\text{пл}}$ – кількість електроплит;

$K_{\text{п.пл}}$ – коефіцієнт попиту, який приймається за кількістю приєднаних плит.

Розрахункове електричне навантаження загального освітлення гуртожитку, яке приведене до ліній живлення, вводу визначається за коефіцієнтом попиту [47].

Розрахункове навантаження введів за змішаним живленням загального освітлення, розеток, кухонних електричних плит і приміщень громадського призначення в гуртожитках коридорного типу визначається як сума розрахункових навантажень ліній живлення помножена на 0,75. При цьому розрахункове навантаження ліній освітлення загальнобудинкових приміщень визначається за формулою окремо.

Розрахункове навантаження житлового будинку в цілому (від жител, силових електроприймачів та вбудованих чи прибудованих приміщень) за умови, коли найбільшою складовою є навантаження від жител, визначають за формулою

$$P_{\text{р.ж.б}} = P_{\text{р.ж}} + 0,9P_{\text{р.сил}} + \sum_{i=1}^n P_{\text{р.гр.}i} K_{\text{уч.гр.}i}, \quad (1.37)$$

де $P_{\text{р.ж}}$ – розрахункове електричне навантаження електроприймачів жител (квартир), кВт;

$P_{\text{р.сил}}$ – розрахункове електричне навантаження силових ЕП житлового будинку, кВт;

$P_{p.gr.i}$ – розрахункові навантаження вбудованих чи прибудованих громадських приміщень, які живляться від електрощитової житлового будинку, кВт;

$K_{уч.gr.i}$ – коефіцієнти участі в максимумі навантаження квартир і силових ЕП житлового будинку навантажень вбудованих і прибудованих приміщень, які визначаються за [10].

При цьому, якщо від ТП живляться декілька споживачів (об'єктів) з рівними або близькими до рівних електричних навантажень, розрахунок виконується відносно того навантаження, яке дає найбільше підсумкове значення.

Розрахункове навантаження житлового будинку, коли найбільшою складовою є навантаження вбудованої чи прибудованої громадської установи, визначається в іншому порядку.

Розрахункове електричне навантаження жител 2-го виду допускається визначати в проєкті внутрішнього електрообладнання квартири (будинку) залежно від конкретного набору ЕП і режиму їх роботи, що характеризується середньою ймовірністю ввімкнення (коефіцієнтом попиту) і незбігу в часі їх максимумів, тобто визначається як для жител 3-го виду.

Наведені питомі розрахункові електричні навантаження не враховують загальнобудинкове силове навантаження, освітлювальне і силове навантаження вбудованих або прибудованих приміщень громадського призначення, навантаження реклами, застосування в квартирах повного електричного опалення та електропідігрівання води, а також навантаження системи проти обледеніння даху на основі нагрівальних кабелів.

У [10] наведено значення розрахункових навантажень для зимового вечірнього максимуму. Для визначення, в разі потреби, ранкового чи денного максимуму навантаження застосовують для житлових будинків з електроплитами коефіцієнт 0,7, а з газовими плитами – 0,5.

Електричне навантаження житлових будинків у період літнього максимуму визначається шляхом множення наведених у [10, 47] навантажень зимового максимуму для квартир з електроплитами на коефіцієнт 0,8, з плитами на природному газі – 0,7, на скрапленому газі та твердому паливі – 0,6.

Електричне навантаження ілюмінації потужністю до 10 кВт у розрахунковому навантаженні на ввіді в будинок не враховується.

1.2.7 Визначення електричного навантаження систем гарантованого електропостачання

Система гарантованого електропостачання (СГЕ) застосовується у випадках наявності в будинках або спорудах ЕП критичної групи (ЕКГ).

За надійністю електропостачання ЕКГ поділяються на категорії, визначення яких наведено в [10, 47].

ЕКГ із неперервним режимом роботи це такі, що за технологією повинні працювати безперервно протягом року або більше за термін між двома планово-попереджувальними ремонтами агрегатів безперервного живлення (АБЖ). У іншому випадку, вони відносяться до ЕКГ із частково неперервним режимом, за порушення якісного електропостачання якого виникають фінансові збитки, що визначаються за відповідними нормативними документами.

ЕКГ можуть об'єднуватись у локальні обчислювальні мережі (ЛОМ) і знаходитись усередині будинку або споруди. У цьому випадку вони можуть отримувати живлення від чотирьох видів мереж: загального призначення, виділеної, розділеної, автономної з використанням відновлювальних джерел живлення.

Призначення СГЕ полягає в забезпеченні якісного електропостачання ЕКГ у випадку повного незапланованого (аварійного) зникнення живлення від основного джерела електроенергії або відхилення його параметрів за межі допустимого, на період його відновлення.

Визначення очікуваних розрахункових навантажень СГЕ виконується з метою вибору оптимальних потужностей АБЖ, акумуляторних батарей (АКБ), сонячних (СЕС), вітрових електростанцій (ВЕС), бензинових агрегатів, газових чи дизельних електростанцій, елементів СЕП ЕКГ.

Розрахункове активне навантаження ЕКГ обладнання ЛОМ, яке приведене до виходу АБЖ, орієнтовно визначається за формулою

$$P_{p.ЛОМ} = p_{уст.м} K_{п.м} N_m + p_{уст.с} K_{п.с} N_c + \Delta P_{мер}, \text{ кВт}, \quad (1.38)$$

де $p_{уст.м}$ – установлена потужність ЕКГ обладнання робочого місця ЛОМ, яка приймається без периферійних пристроїв у межах 0,25–0,3 кВт або за технічною документацією;

$K_{п.м}$ – коефіцієнт попиту, що приймається залежно від кількості робочих місць ЛОМ;

N_m – кількість робочих місць ЛОМ;

$p_{уст.с}$ – установлена потужність сервера, яка приймається в межах 0,75–1,0 кВт або за технічною документацією;

$K_{п.с}$ – коефіцієнт попиту;

N_c – кількість серверів;

$\Delta P_{мер}$ – втрати потужності в електричній мережі, які приймаються в межах 1,5–2,0% електричного навантаження або за параметрами електричної мережі.

Розрахункове реактивне навантаження обладнання ЛОМ, яке приведене до виходу АБЖ, орієнтовно визначається як

$$Q_{p.ЛОМ} = p_{уст.м} K_{п.м} N_m \operatorname{tg} \varphi_m + p_{уст.с} K_{п.с} N_c \operatorname{tg} \varphi_c, \text{ квар}, \quad (1.39)$$

де $\operatorname{tg}\varphi_M$ – коефіцієнт реактивної потужності обладнання ЛОМ, який приймається за даними його технічної документації;

$\operatorname{tg}\varphi_C$ – коефіцієнт реактивної потужності сервера, який приймається за даними його технічної документації.

Таблиця 1.3 – Значення коефіцієнта попиту робочих місць ЛОМ

Найменування електроприймачів критичної групи та їх кількості	Значення коефіцієнта попиту, K_{Π}
1–7	0,95
8–24	0,7
понад 24	0,5
Серверна	0,95

Розрахункове повне електричне навантаження обладнання ЛОМ, яке приведене до виходу АБЖ, орієнтовно визначається так:

$$S_{p.\text{ЛОМ}} = \sqrt{P_{p.\text{ЛОМ}}^2 + Q_{p.\text{ЛОМ}}^2}, \text{ кВА.} \quad (1.40)$$

Розрахунковий вихідний струм АБЖ електричного навантаження обладнання ЛОМ орієнтовно визначається за формулою

$$I_{p.\text{ЛОМ}} = \frac{S_{p.\text{ЛОМ}}}{\sqrt{3}U_{\text{НОМ}}}, \text{ А,} \quad (1.41)$$

де $U_{\text{НОМ}}$ – напруга трифазної електричної мережі, що живить обладнання ЛОМ, кВ.

Пусковий струм ЕКГ СГЕ визначається так:

$$I_{\text{пуск.ЛОМ}} = K_{\text{пуск.ЛОМ}} I_{\text{р.ЛОМ}}, \quad (1.42)$$

де $K_{\text{пуск.ЛОМ}}$ – коефіцієнт пуску, який приймається у межах 3–5, або за технічною документацією.

Підсумкове розрахункового навантаження ЕКГ та ЕП інших категорій, що приєднуються до централізованого джерела, визначається так:

$$S_{\text{р.}\Sigma \text{СГЕ}} = \sqrt{(P_{\text{р.ЛОМ}} + P_{\text{р.1,2,3}})^2 + (Q_{\text{р.ЛОМ}} + Q_{\text{р.1,2,3}})^2}, \text{ кВА}, \quad (1.43)$$

де $P_{\text{р.1,2,3}}, Q_{\text{р.1,2,3}}$ – розрахункове активне та реактивне навантаження ЕП 1, 2 і 3-ї категорії за надійністю електропостачання.

1.3 Прогнозування споживання електроенергії житловими та громадськими об'єктами

Прогнозування споживання електроенергії житловими та громадськими об'єктами є важливим етапом проєктування, оскільки воно дає основу щодо перспективного планування розвитку системи електропостачання міста, населеного пункту.

Відповідно до нормативних документів на межі експлуатаційної відповідальності між споживачем і електропередавальною організацією установа розрахункових приладів обліку електроенергії є обов'язковим, які рекомендується об'єднувати в АСКОЕ.

Ефективне використання електроенергії в житлових і громадських будинках є актуальною задачею, тому при їх проєктуванні, реконструкції слід вибирати енергозощаджувальні варіанти схем електропостачання шляхом техніко-економічного порівняння різних схем за надійністю електропоста-

чання, величини напруги, мінімізації витрат потужності і електроенергії в кожному елементі СЕП.

При цьому необхідне застосування сучасного електрообладнання, проводів, кабелів, шляхом обґрунтованого вибору економічного перерізу жил кабельних ліній та апаратів їх захисту, місць розтину замкнених електричних мереж, симетрування навантаження за фазами, застосування способів зрівнювання добових графіків навантаження.

Послідовно переходити на дво-, тризонний тариф сплати за спожиту електроенергію, сприяти широкому запровадженню енергозаощаджувальних освітлювальних приладів, відновлювальних джерел енергії для поступової заміни ними традиційних джерел, які працюють на вичерпному викопному паливі і забруднюють навколишнє середовище, сприяють утворенню парникових газів та загальному потеплінню клімату на Землі.

У разі потреби поглибленого обґрунтування вибору джерел живлення, схеми електропостачання або реконструкції її із застосуванням новітніх технологій, устаткування, відновлювальних джерел енергії виконуються техніко-економічні розрахунки ефективності запровадження інноваційного проєкту із визначенням терміну окупності.

Метод прогнозування вибирається залежно від відомих вихідних даних, наприклад, очікуване річне споживання електроенергії об'єкта визначається за формулами [160]

$$W_{a.річ} = P_p T_{\text{макс.а}}, \quad (1.44)$$

$$W_{p.річ} = Q_p T_{\text{макс.р}}, \quad (1.45)$$

де $W_{a.річ}$, $W_{p.річ}$ – річне споживання активної і реактивної енергії об'єкта відповідно;

P_p, Q_p – розрахункові активне і реактивне електричне навантаження об'єкта відповідно;

$T_{\text{макс.а}}, T_{\text{макс.р}}$ – кількість годин використання максимуму на рік активного і реактивного електричних навантажень об'єкта відповідно.

Кількість годин використання максимуму залежно від кількості квартир N , які приєднані до даної точки електричної мережі, може визначатись за такими емпіричними формулами [160]

$$T_{\text{макс.газ}} = \frac{750\sqrt{N}}{0,3\sqrt{N} + 1}, \quad (1.46)$$

$$T_{\text{макс.ел}} = \frac{2300\sqrt{N}}{0,4\sqrt{N} + 4,3}, \quad (1.47)$$

де $T_{\text{макс.газ}}, T_{\text{макс.ел}}$ – кількість годин використання максимуму електричного навантаження для квартир будинків із газовими або електричними плитами відповідно.

Очікуване річне споживання активної електроенергії об'єктів може визначатись також за формулою

$$W_{\text{а.річ}} = k_{\text{з.г}} P_p T_{\text{а.річ}} = P_{\text{сер.річ}} T_{\text{а.річ}}, \quad (1.48)$$

де $k_{\text{з.г}}$ – коефіцієнт заповнення добового графіка, який визначається співвідношенням середньорічного до максимального (розрахункового) електричного навантаження (для літнього графіка навантаження житлових будинків із газовими плитами він приймається 0,4, для зимового – 0,5, із електричними плитами – 0,45 і 0,55 відповідно, при цьому умовно приймається тривалість зимового періоду 183, літнього – 182 доби) [10];

$T_{a, \text{річ}}$ – річна кількість годин споживання активної електроенергії (максимальна кількість складає $24 \cdot 365 = 8760$ год на рік);

$P_{\text{сер.річ}}$ – середньорічне активне електричне навантаження об'єктів, яке приведене до даної точки електричної мережі.

Показники питомого споживання електроенергії $p_{\text{пит}}$, кВт·год / рік, на мешканця в комунально-побутовому секторі міста та річна кількість годин використання максимуму $T_{\text{макс}}$ електричного навантаження наведено в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Узагальнені показники питомого споживання електроенергії на мешканця в комунально-побутовому секторі

З газовими плитами		Зі стаціонарними електроплитами	
$p_{\text{пит}}$, кВт·год/рік	$T_{\text{макс}}$, год	$p_{\text{пит}}$, кВт·год/рік	$T_{\text{макс}}$, год
2730	2500	3310	5750

Необхідно врахувати, що наведені в таблиці показники враховують споживання електроенергії таких об'єктів:

- житлових і громадських будівель (адміністративних, навчальних, наукових, лікувальних, торговельних, видовищних, спортивних тощо);
- зовнішнього освітлення;
- комунальних підприємств (у тому числі водоканалізаційного управління та управлінь міського електро- та автотранспорту);
- об'єктів транспортного обслуговування населення (гаражів, відкритих майданчиків для зберігання автомобілів).

Наведені значення не враховують застосування в житлових будинках повного електричного опалення та електричного водонагрівання.

Висновки до розділу 1

1. Аналіз існуючих методів визначення розрахункового електричного навантаження об'єктів цивільного призначення показав різноманітність та складність підходів до його обчислення відповідно до чинних нормативних документів, як правило, Державних будівельних норм [47].

2. Електричні навантаження жител, житлових будинків є випадковими й відрізняються між собою, оскільки залежать від багатьох чинників, при цьому простежується, що збільшення кількості жител, які приєднані до елемента електричної мережі призводить до того, що питомі електричні навантаження (на житло) зменшуються через неспівпадання їх розрахункових максимумів у часі [6, 8, 18, 21].

3. Визначення електричного навантаження комунальних об'єктів при-ведене до вводу, живильної лінії, визначається за допомогою коефіцієнта попиту залежно від ефективної кількості силових ЕП, потужності освітлювальних приладів та коефіцієнта неспівпадіння їх навантаження, що ускладнює розрахунки [10].

4. Визначення електричного навантаження цивільних об'єктів різного призначення за коефіцієнтами неспівпадання максимумів залежить від режимів роботи об'єктів різного призначення і суттєво впливає на його підсумкове розрахункове значення [10, 11].

5. Розрахунковий максимум електричного навантаження є величиною випадковою, що дає змогу при обробці результатів вимірювань, застосовувати методи теорії ймовірності і математичної статистики для визначення не лише розрахункового максимуму, але і середньоквадратичного відхилення, середньої похибки та ін. [10].

6. Розрахункове електричне навантаження від групи жител (квартир, котеджів) з різними питомими навантаженнями, яке приведене до лінії живлення, вводу в житловий будинок, визначається залежно від кількості жител

(котеджів) відповідних різновидів та коефіцієнта одночасності для кожного відповідного різновиду, що утруднює його визначення [10, 11].

7. Розрахункове електричне навантаження електроприймачів критичної групи обладнання локальної обчислювальної мережі, яке приведене до виходу агрегату безперервного живлення, орієнтовно визначається за коефіцієнтом попиту, що приймається залежно від кількості робочих місць, потужності сервера, яке не враховує додаткову дію на нього вищих гармонік [10, 26].

8. Перелічені основні методи визначення розрахункового електричного навантаження об'єктів цивільного призначення за чинними нормативами потребують перегляду на точність обчислення та відповідність його до реального навантаження [6, 8, 10, 18, 21].

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАДИЦІЙНИХ ТА АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЦИВІЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ

2.1 Традиційні джерела електропостачання

Традиційна система електропостачання цивільних об'єктів здійснюється, як правило, від енергосистеми через міські, районні понижувальні підстанції, розподільні пункти та внутрішньоквартальні понижувальні підстанції за прикінцевої системи трифазної напруги 0,38/0,22 кВ, яка за допомогою кабельної або повітряної лінії подається на ввідно-розподільний пристрій (ВРП) об'єкта. Така система живлення найбільш поширена, навіть за наявності ряду недоліків таких, як неефективне використання вичерпного вартісного викопного палива, значні витрати електроенергії на її передавання, антропогенний вплив на навколишнє середовище та інших, порівняно з новими технологіями генерування різних видів енергії [10, 11, 38].

Найближчим джерелом електропостачання об'єктів за централізованою системою, як правило, є бетонні блокові підстанції типу БКТП, для міських мереж – КТПММ та ін.

За конструктивним виконанням вони виготовляються зовнішнього устаткування з первинною напругою 6–10 кВ, вторинною – 0,38/0,22 кВ із глухо-заземленою нейтраллю та потужністю силових трансформаторів 160, 250, 400, 630 і 1000 кВА. Такі внутрішньоквартальні ТП живляться, як правило, від РП-10 кВ, місце розташування яких визначається за умови максимального наближення до центру електричних навантажень об'єктів і обґрунтовується за техніко-економічними розрахунками та з архітектурних міркувань. Потужність силових трансформаторів підстанцій для живлення будинків вибирається (перевіряється) за коефіцієнтом допустимого перевантаження, який визначається за графіками кратності допустимих навантажень трансформатора

за значенням коефіцієнта заповнення добового графіка та тривалості максимуму навантаження. За середньостатистичними даними для добового графіка навантаження міських підстанцій цей коефіцієнт знаходиться в межах 0,55–0,65, за якого післяаварійне навантаження трансформаторів може становити $(1,6–1,8) S_{\text{ном.т}}$ протягом 5 діб, якщо час максимуму навантаження не перевищує 6 год протягом доби, або це перевантаження визначається за настановами з експлуатації трансформаторів.

Як приклад на рисунку 2.1 наведена традиційна схема електропостачання житлових будинків.

Якість електричної енергії, що подається споживачу, повинна відповідати таким вимогам відповідно до стандарту, як за частотою, відхиленням, розмахом, провалом напруги та ін.

Останнім часом, у зв'язку із появою нелінійних споживачів, відновлювальних джерел живлення із перетворювачами електроенергії, особлива увага приділяється таким показникам [37, 50, 52, 62, 65]:

– несинусоїдність кривої за напругою, що визначається так:

$$K_{U_i} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^N U_{(n)i}^2}}{U_{(1)}} \cdot 100\% = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^N U_{(n)i}^2}}{U_{\text{ном}}} \cdot 100\%, \quad (2.1)$$

де $U_{(n)i}$ – діюче значення n -ї гармоніки напруги за i -м спостереженням, при цьому, як правило, враховується значення $N \leq 40$;

– коефіцієнт n_i -ї гармонійної складової за напругою, що визначається так:

$$K_{U_{(n)i}} = \frac{U_{(n)i}}{U_{(1)}} \cdot 100\% = \frac{U_{(n)i}}{U_{\text{ном}}} \cdot 100\%. \quad (2.2)$$

Експериментально зазначені коефіцієнти визначаються за формулою

$$K_U = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N K_{U_i}^2}{N}}; \quad K_{U(n)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N K_{U(n)i}^2}{N}}. \quad (2.3)$$

Нормально і гранично допустимі K_{U_i} за $U_{\text{ном}}$ наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Нормально та гранично допустимі, %, значення K_{U_i} за $U_{\text{ном}}$

Нормально допустимі значення K_{U_i} , %		Гранично допустимі K_{U_i} , %	
0,38	6–20	0,38	6–20
8,0	5,0	12,0	8,0

Таблиця 2.2 – Допустимі K_{U_n} , %, непарної та парної гармонійної складової

Непарні, не кратні 3-м гармонікам, за $U_{\text{ном}}$, кВ			Непарні, кратні 3-м гармонікам, за $U_{\text{ном}}$, кВ			Парні гармоніки, за $U_{\text{ном}}$, кВ		
n	0,38	6–20	n	0,38	6–20	n	0,38	6–20
5	6,0	4,0	3	5,0	3,0	2	2,0	1,5
7	5,0	3,0	9	1,5	1,0	4	1,0	0,7
11	3,5	2,0	15	0,3	0,3	6	0,5	0,3
13	3,0	2,0	21	0,2	0,2	8	0,5	0,3
17	2,0	1,5	>21	0,2	0,2	10	0,5	0,3
19	1,5	1,0	–	–	–	12	0,2	0,2
23	1,5	1,0	–	–	–	>12	0,2	0,2
>25	0,2+ +32,5/ n	0,2+ +20/ n	–	–	–	–	–	–

Слід відмітити, що для 3 та 9-ї гармонік нормально допустимі значення відносяться до однофазних мереж, а в трипровідних мережах, ці значення вдвічі менші. Гранично допустимі значення для гармонійних складових приймають у 1,5 рази більшими за нормально допустимі.

За результатами виміру усередненого значення несинусоїдності кривої за напругою на вводі в житловий 9-поверховий 144-квартирний будинок можна зробити висновок, що зазначене спотворення не виходить за межі нормально допустимого значення 8% (рисунок 2.2).

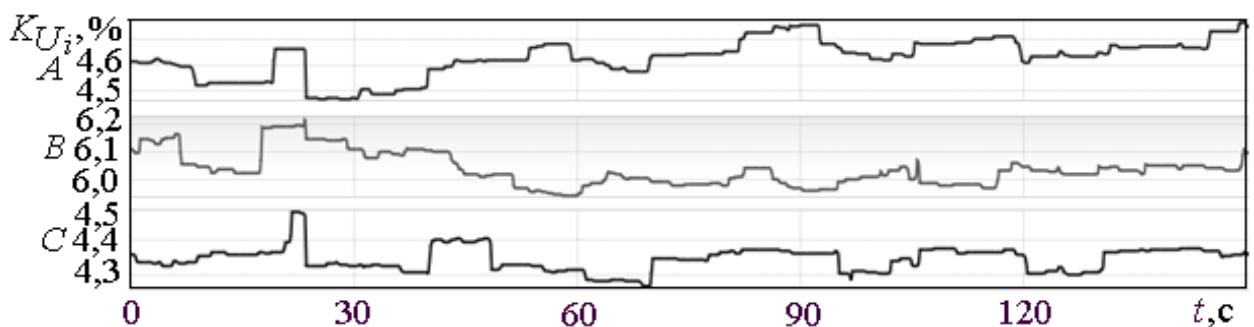


Рисунок 2.2 – Результат виміру усередненого значення несинусоїдності кривої за напругою на вводі в житловий будинок

За результатами виміру усередненого значення найбільшого за фазами коефіцієнта спотворення 2-ї гармонійної складової за напругою на вводі в житлові будинки можна зробити висновок, що зазначене спотворення не виходить за межі допустимого за нормативного значення, що становить не більше 2% (рисунок 2.3) [10].

Отримані результати виміру зазначених та інших параметрів свідчать про достатньо високу якість електроенергії, що подається від традиційного джерела живлення, такого як від міської внутрішньоквартальної трансформаторної підстанції за напругою 10/0,4 кВ, до будь-яких об'єктів цивільного призначення.

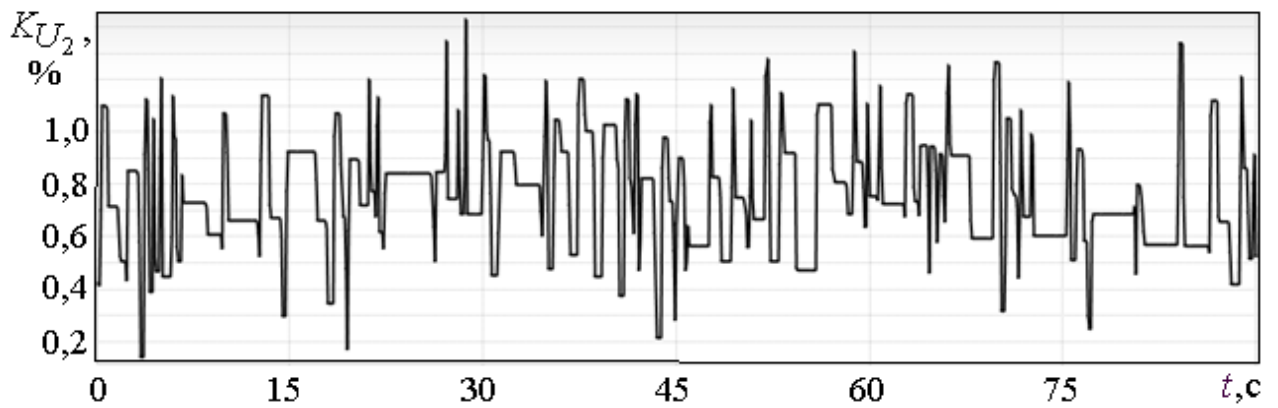


Рисунок 2.3 – Результат виміру усередненого значення коефіцієнта 2-ї гармонійної складової за напругою на ввіді в житловий будинок

Висока стабільність параметрів зумовлена значною потужністю енергосистеми, від якої живляться міські, районні, внутрішньоквартальні трансформаторні підстанції, що забезпечують живлення об'єктів цивільного призначення.

2.2 Системи гарантованого електропостачання

Системи гарантованого електропостачання (СГЕ) застосовуються у випадках наявності в об'єктах цивільного призначення електроприймачів критичної групи (ЕКГ) таких, як локальні обчислювальні мережі (ЛОМ), системи передачі цінної інформації та електронної пошти, які не допускають перерви в електропостачанні на час більше 20 мс, що пов'язане із втратою особливо важливої електронної інформації з реальною та потенційною небезпечкою для життя людини, значного пошкодження майна, цінного обладнання та ін. [10, 23, 26, 47, 48, 128].

Призначення СГЕ полягає в забезпеченні якісного електропостачання ЕКГ на період його відновлення у випадку аварійного зникнення живлення від основного централізованого джерела електроенергії або відхилення його параметрів за межі допустимого.

У СГЕ як джерело живлення використовують агрегати безперервного живлення (АБЖ), які можуть поєднуватися з відновлювальними джерелами енергії.

Структурну схему одиничного АБЖ із видаванням електроенергії від акумуляторної батареї постійного та від інвертора – змінного струму, наведено на рисунку 2.4.

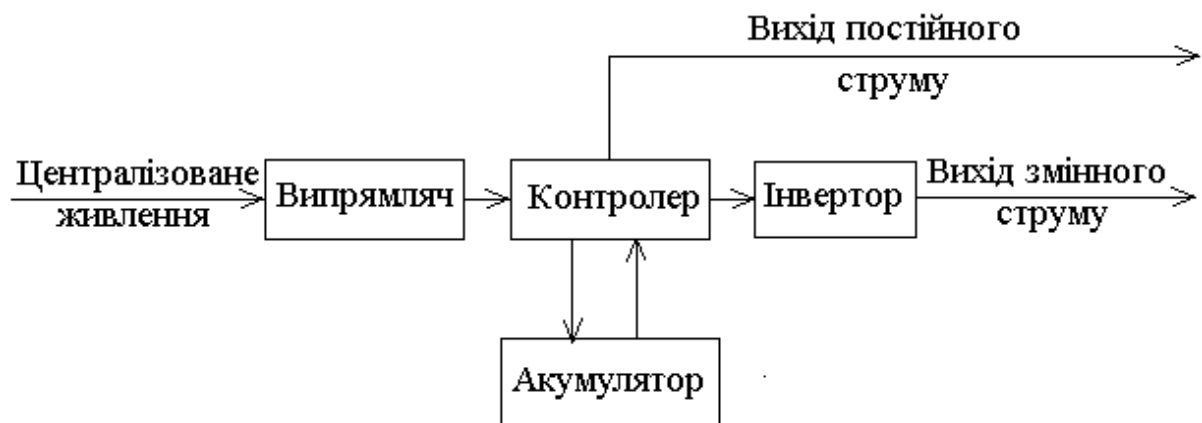


Рисунок 2.4 – Структурна схема агрегату безперервного живлення

Функція контролера полягає у своєчасному перемиканні кола із централизованого джерела на живлення ЕКГ від акумуляторної батареї, ємність якої дозволить їхню нормальну роботу на час запуску та переходу на живлення від дизельної електростанції (ДЕС), акумулятора або іншого джерела.

У схемі СГЕ (рисунок 2.5) розподіленого живлення джерелом безперервного живлення типу Enpower 33 серії D(DIAMOND) можуть використовуватися для безперебійного, з часом відновлення до 2 мс, якісного живлення локальних обчислювальних мереж аеропортів, морських портів, засобів телекомунікації та інших важливих об'єктів, що потребують надійного і якісного електропостачання відповідальних ЕКГ. Такі агрегати застосовуються тільки після техніко-економічного обґрунтування з урахуванням генерації вищих гармонік.

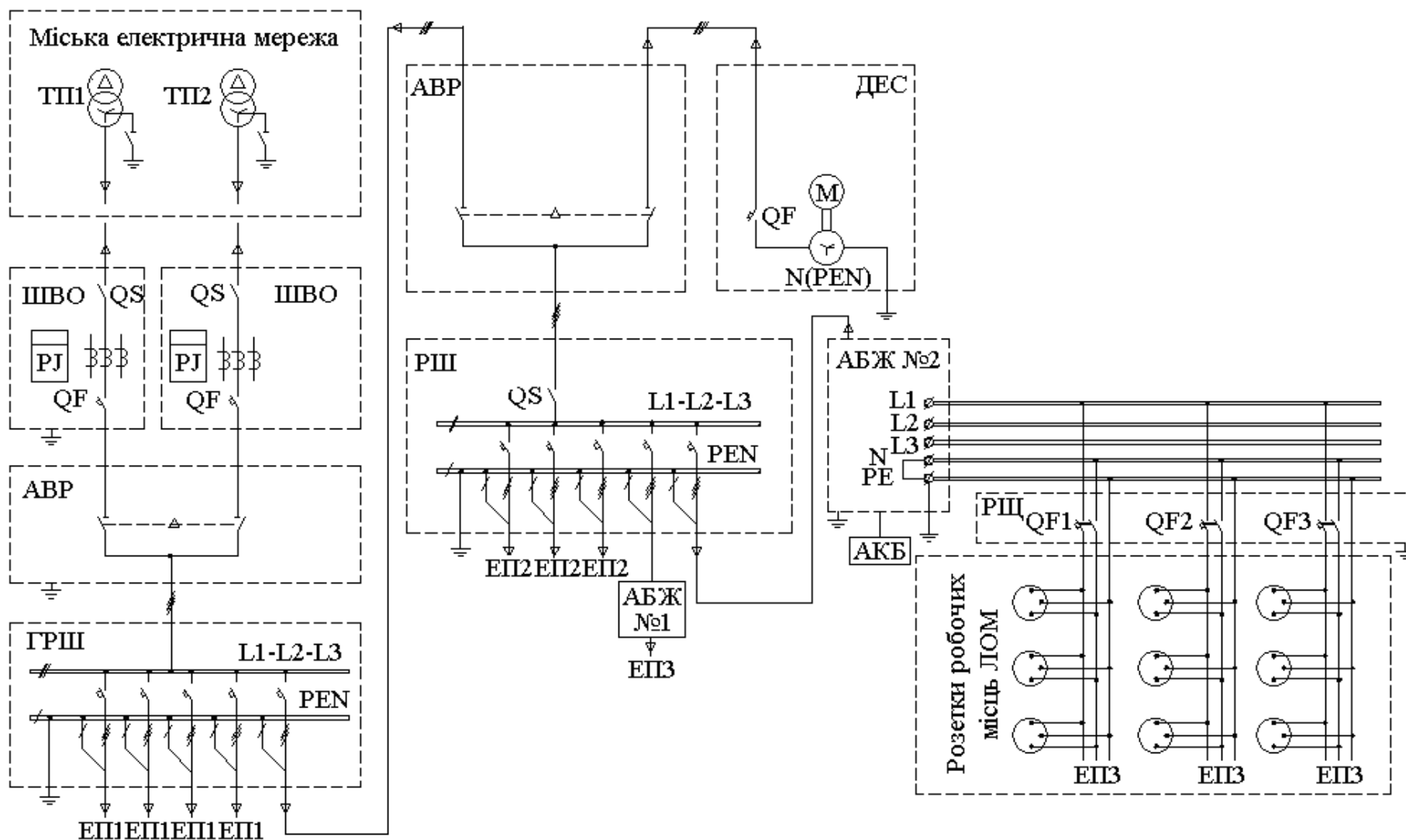


Рисунок 2.5 – Приклад схеми розподіленого живлення системи гарантованого електропостачання

Топологія такого АБЖ on-line з подвійним перетворенням із використанням векторного управління IGBT-транзисторами випрямляча й інвертора та цифрове управління з використанням DSP-процесорів, що забезпечує високу надійність та компактність джерела живлення за простотою обслуговування. Допускає роботу з ДЕС із плавним пуском за коефіцієнтом відношення потужностей 1,15. Для збільшення потужності можливе кільцеве приєднання до шести агрегатів. Стан параметрів АБЖ відображається на 2-х дисплеях. Інтелектуальне управління режимами зарядження-розрядження кислотних свинцевих та нікеле-кадмієвих акумуляторів із визначенням їх ємності та решти часу роботи [10].

Вибір АБЖ для ЕКГ здійснюється за такими умовами.

За вихідної повної потужності АБЖ відносно навантаження ЕКГ

$$S_{\text{вих.АБЖ}} = \frac{P_{\text{вих.АБЖ}}}{\cos \varphi_{\text{вих.АБЖ}}} \geq S_{\text{р.ЕКГ}}, \quad (2.4)$$

де $P_{\text{вих.АБЖ}}$ – потужність вихідна АБЖ, яка приймається за технічною документацією;

$\cos \varphi_{\text{вих.АБЖ}}$ – коефіцієнт потужності вихідний АБЖ, що приймається за технічною документацією.

За напругою вхідною за режимом 100% навантаження АБЖ

$$U_{\text{мін.ц.е}} \leq U_{\text{вх.АБЖ}} \leq U_{\text{макс.ц.е}}, \quad (2.5)$$

де $U_{\text{мін.ц.е}}$, $U_{\text{макс.ц.е}}$ – мінімальна та максимальна напруги централізованого електропостачання відповідно.

За частотою вхідною за режимом 100% навантаження АБЖ

$$f_{\text{мін.ц.е}} \leq f_{\text{вх.АБЖ}} \leq f_{\text{макс.ц.е}}, \quad (2.6)$$

де $f_{\text{мін.ц.е}}$, $f_{\text{макс.ц.е}}$ – мінімальна та максимальна частоти струму централізованого електропостачання відповідно.

За коефіцієнтом спотворення синусоїдності вхідного струму за режимом 100% навантаження АБЖ

$$THD_{\text{вх.АБЖ}} \leq THD_{\text{макс.доп}}, \quad (2.7)$$

де $THD_{\text{макс.доп}}$ – максимальний допустимий коефіцієнт спотворення синусоїдності вхідного струму АБЖ.

За часом відновлення електропостачання ЕКГ

$$t_{\text{відн.АБЖ}} \leq t_{\text{відн.доп.ЕКГ}}, \quad (2.8)$$

де $t_{\text{відн.АБЖ}}$ – час відновлення електропостачання АБЖ;

$t_{\text{відн.доп.ЕКГ}}$ – час відновлення електропостачання.

За частотою вихідною за режимом 100% навантаження АБЖ

$$f_{\text{мін.ЕКГ}} \leq f_{\text{вих.АБЖ}} \leq f_{\text{макс.ЕКГ}}. \quad (2.9)$$

За значенням Хрест-фактора за режимом 100% навантаження АБЖ

$$K_{\text{ф.АБЖ}} \geq K_{\text{ф.ЕКГ}}, \quad (2.10)$$

де $K_{\text{ф.ЕКГ}}$ – хрест-фактор ЕКГ.

За фазовим кутом АБЖ за режимом 100% розбалансування електричного навантаження

$$\alpha_{\text{розб.АБЖ}} \leq \alpha_{\text{розб.доп.ЕКГ}}, \quad (2.11)$$

де $\alpha_{\text{розб.доп.ЕКГ}}$ – фазовий кут допустимого розбалансування за режимом 100% навантаження ЕКГ.

За перевантажувальної спроможності АБЖ, що враховує його допустимий час, тривалість пускових струмів від окремих ЕП, що утворюють надструми

$$(K_{\text{доп.пер}} I_{\text{вих.АБЖ}})^2 t_{\text{доп.пер}} \geq (I_{\text{пуск.ЕКГ}})^2 t_{\text{пуск}}, \quad (2.12)$$

де $K_{\text{доп.пер}}$ – коефіцієнт допустимого перевантаження АБЖ, який приймається за технічною документацією;

$t_{\text{доп.пер}}$ – допустимий час перевантаження АБЖ, який приймається за технічною документацією;

$t_{\text{пуск}}$ – тривалість пускових струмів ЕКГ, яка приймається від 0,25 до 0,5 с або за технічною документацією.

Розрахункова вхідна потужність, що споживається АБЖ із централізованої мережі визначається так:

$$S_{\text{вх.АБЖ}} \geq \frac{S_{\text{вих.АБЖ}}}{\eta_{\text{АБЖ}} \sqrt{1 + THD^2}}, \quad (2.13)$$

де $\eta_{\text{АБЖ}}$ – коефіцієнт корисної дії АБЖ, який приймається за технічною документацією;

THD – коефіцієнт гармонік вхідного струму.

У разі перевищення потужності АБЖ на 15–25% підсумкового електричного навантаження об'єкта, що містить нелінійні електроприймачі, слід враховувати чинник виникнення гармонік від спотворення синусоїдності струму.

У складі СГЕ широке застосування знайшли свинцеві акумулятори як більш дешевші, технічні характеристики яких наведено в [10]. Герметичні свинцево-кислотні акумулятори більш зручні в експлуатації, оскільки не потребують постійного доливання води, не мають газовиділення та не утворюють кислотного туману під час експлуатації.

Кислотні акумулятори вирізняються відносно малим внутрішнім опором, високою напругою елемента (2 В), високим ККД (до 85%), але мають невеликий термін служби, наявність небезпечної рідини, недостатня міцність і незадовільна робота як за низької, так і за високої температури.

Широко застосовуються у СГЕ дизельні електростанції різної конструкції та потужності, дані яких наведено в [10]. Як правило, такі ДЕС використовують як аварійні на більший час роботи за акумулятори, ємність яких повинна бути достатньою для перемикання живлення ЕКГ із централізованого, під час її виходу із ладу, на живлення від ДЕС до повного відновлення централізованого.

Потужність ДЕС, за умови допустимого миттєвого накиду навантаження на ДЕС, визначається за формулою

$$P_{\text{ДЕС}} \geq K_{\text{ДЕС/АБЖ}} \left(\frac{P_{\text{вих.АБЖ}}}{\eta_{\text{АБЖ}}} + P_{\text{зар.АКБ}} \right), \quad (2.14)$$

де $K_{\text{ДЕС/АБЖ}}$ – коефіцієнт кратності потужності ДЕС до потужності АБЖ обумовлений впливом струмів вищих гармонік.

Таблиця 2.3 – Технічні дані дизельної електричної станції ET GP-16SH/LW

Тип	Максимальна потужність, кВА/кВт	Двигун	
		Бак	Витрата
		л	л/год
ET GP-16SH/LW	16,5/13,2	70	3,6

Такі ж функції, що і ДЕС, можуть виконувати менш потужні мініелектростанції.

На рисунку 2.6 наведено приклад схеми розподіленого живлення СГЕ, яка забезпечує високонадійну і якісну систему електропостачання ЕКГ від традиційної централізованої (міської) електричної мережі та ВЕС і СЕС.

2.3 Відновлювальні джерела енергії

2.3.1 Автономні сонячні електростанції

Перспективним є режим максимального використання енергії відновлювальних джерел автономно або паралельно із мінімальним застосуванням централізованого електропостачання за допомогою системи управління, що здешевить електроенергію та приведе до економії традиційних енергоресурсів, мінімізації шкідливих викидів у довкілля [5, 10, 77, 80, 86, 93, 110, 122, 123].

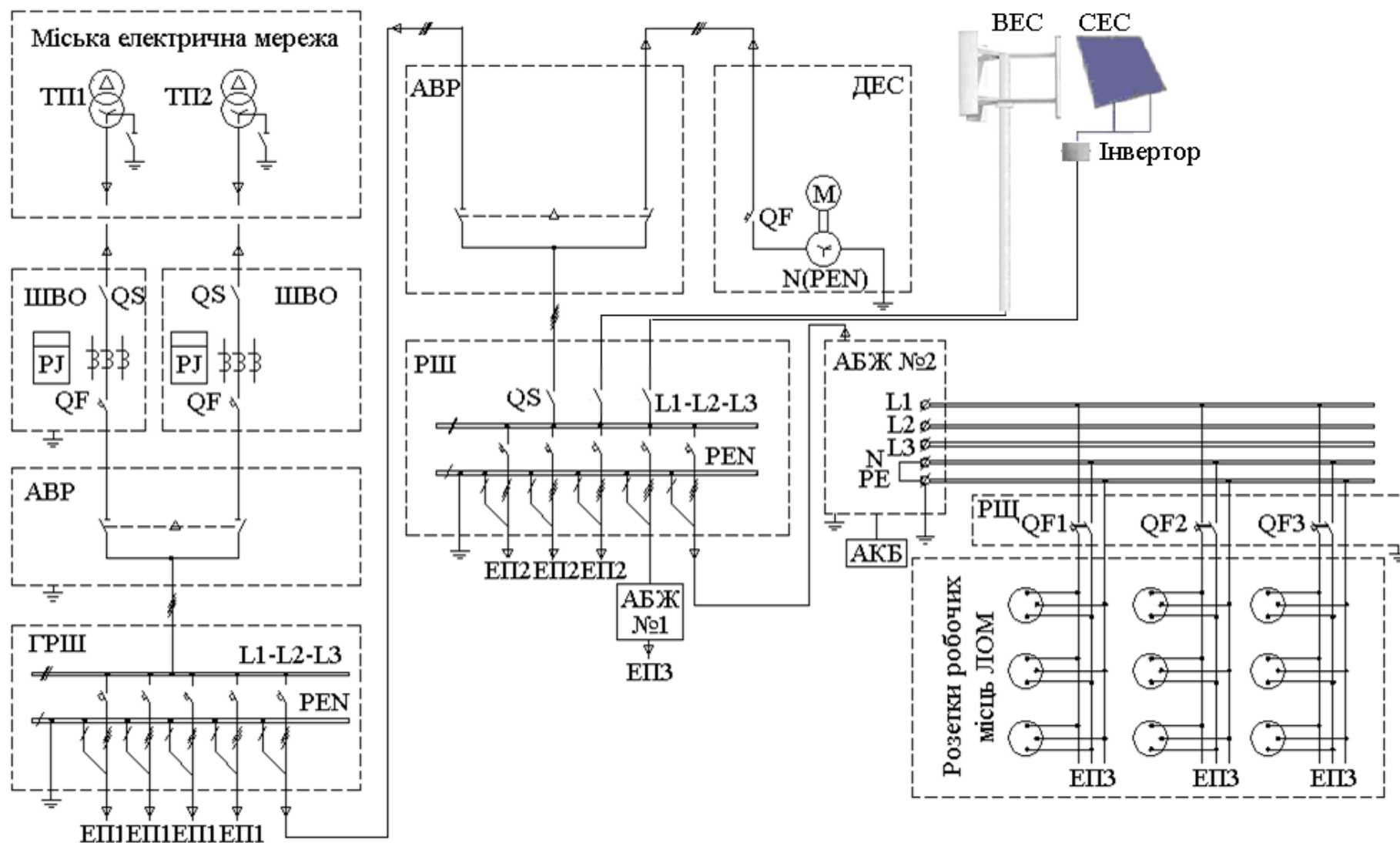


Рисунок 2.6 – Приклад схеми системи гарантованого електропостачання з живленням від БЕК і СЕС

Прикладом такого енергопостачання становлять «зелені» будинки, які практично повністю забезпечуються «чистою» енергетикою.

Все більше застосування для цивільних, приватних об'єктів знаходять відновлювальні джерела живлення такі, як автономні сонячні електростанції (СЕС), які екологічно «чисті» за виробленням електроенергії. Оскільки режим генерації електроенергії залежить від інтенсивності сонячного випромінювання, вони використовуються для зарядження АКБ, що працюють в структурі АБЖ, або в іншій накопичувальній системі, що не потребує постійного електропостачання та можуть приєднуватись до електричної мережі об'єкта.

Використовуються тонкоплівкові елементи для СЕС, що можуть наноситися на бічні поверхні «зелених» будівель, кристалічні панелі із пристроєм слідкування за сонцем, які розташовуються на даху будинків.

Елементи СЕС, які розташовують на поверхнях «зелених» будинків, на даху або на окремій конструкції у вигляді щогла, можуть використовуватися для зарядження АКБ через з'єднувальний кабель, контролер «зарядження-розрядження» для сталого забезпечення електроенергією ЕП через перетворювач, який спотворює синусоїдність напруги, електричного струму. Кількість та схема з'єднання фотоелементів залежатиме, у першу чергу, від їхніх параметрів, а саме робочої напруги та струму однієї панелі та ємності, напруги, режиму роботи АКБ в системі електропостачання.

За рівнем інтенсивності сонячного випромінювання (інсоляції) територія України поділена на чотири зони, які наведено на рисунку 2.7.

Середньорічна орієнтовна щільність потоку сонячної енергії на території всієї України становить $180\text{--}250 \text{ Вт/м}^2$.

Сонячна енергія, що надходить до Землі, наприклад, в районі Одеси становить біля $1357 \text{ кВт}\cdot\text{год/м}^2$ за 6 місяців теплого періоду року та $1040 \text{ кВт}\cdot\text{год/м}^2$ за решту від річного часу.

Протягом року щомісячна інтенсивність енергії змінюється залежно від широти розташування регіону та нахилу сонячних панелей відносного горизонту, орієнтації щодо сонячних променів (рисунок 2.8).



Рисунок 2.7 – Річний потенціал сонячної енергії України за зонами,:
1-а – 1350; 2-а – 1250; 3-а – 1150; 4-а – 1000 кВт·год/(м²·рік)



Рисунок 2.8 – Динаміка інтенсивності сонячної енергії
протягом року в Одеському регіоні

Річну кількість електроенергії, яку можуть генерувати сонячні панелі визначається так:

$$W_{\text{с.п.р}} = \int_1^{365} \Phi_{\text{с.п.}}(t) dt, \text{кВт} \cdot \text{год.} \quad (2.15)$$

Сонячна панель складається з модулів, які в певному порядку з'єднуються між собою для отримання потрібної напруги, струму.

Основні технічні дані сонячної панелі потужністю 100 Вт наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Основні технічні дані сонячної фотопанелі потужністю 100 Вт

Найменування параметра	Значення параметра
Напруга максимальна, В	18,6
Струм максимальний, А	5,56
Габарити (Ш×В×Г), мм	540×30×1200
Вага, кг	6

Сонячна електростанція складається із стандартних фотопанелей, що з'єднуються між собою послідовно з метою отримання необхідної напруги для зарядження акумуляторних батарей і паралельно – для отримання необхідного струму.

Кількість послідовно з'єднаних панелей орієнтовно визначається за формулою

$$N_{\text{ф.посл}} = \frac{U_{\text{з.АКБ}} + \Delta U_{\text{м}}}{U_{\text{ф.п}}}, \quad (2.16)$$

де $U_{з.АКБ}$ – напруга, що необхідна для зарядження АКБ;

ΔU_M – втрата напруги в мережі від фотопанелей до АКБ;

$U_{ф.п}$ – вихідна напруга однієї фотопанелі.

Кількість фотопанелей, що з'єднуються між собою паралельно для отримання підсумкового струму для зарядження АКБ та живлення через АБЖ навантаження ЕКГ, орієнтовно визначається за формулою

$$N_{ф.пар} = \frac{I_{вх\acute{д}.АБЖ} + I_{зар.АКБ}}{I_{ф.п}}, \quad (2.17)$$

де $I_{зар.АКБ}$ – струм зарядження АКБ, який орієнтовно приймається $0,1 Q_{АКБ}$ або за технічною документацією;

$I_{ф.п}$ – струм фотопанелі.

2.3.2 Мережеві сонячні електростанції

Особливість мережевих сонячних електростанцій (МСЕС) полягає в тому, що вся електроенергія, вироблена сонячними панелями, перетворюється інвертором у змінний струм частотою 50 Гц і направляється, як правило, до шин ТП-10/0,4 кВ (рисунок 2.9). Потужність мережевої сонячної електростанції (МСЕС) орієнтовно вибирається за величиною розрахункового електричного навантаження об'єктів [94, 95, 141].

Фотомодулі, наприклад, типу Chaore Solar CRM240S-156P-60(240 Вт), стандартною потужністю 24 кВт кожний, які складатимуть МСЕС за необхідної кількості модулів на фазу, приєднуються до шин НН БКТП-10 / 0,4 кВ через інвертор типу Fronius (спектр за напругою наведено на рисунку 2.10).

Діапазон робочих температур становить від $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$. Кут нахилу фотомодулів – 34° . Необхідна площа – 1037 м^2 . Строк служби становить близько 25 років.

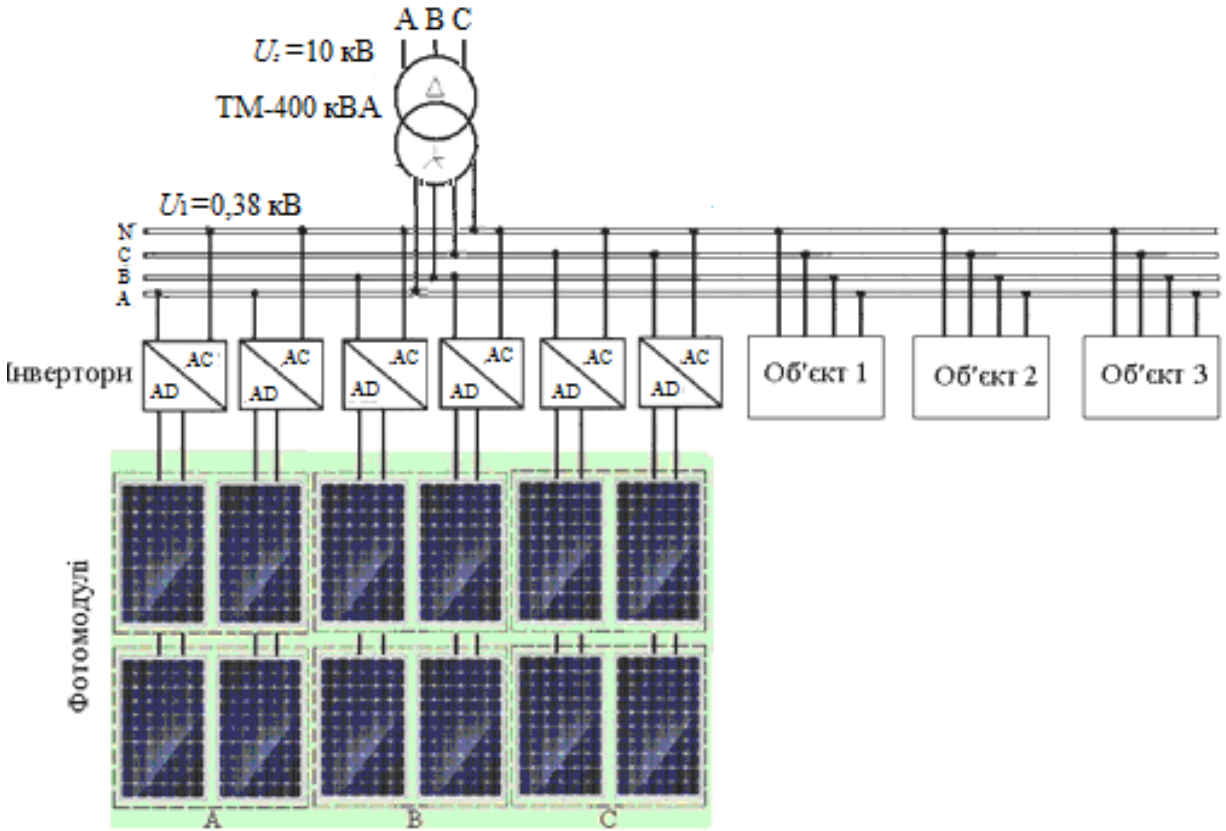


Рисунок 2.9 – Схема приєднання МСЕС до шин НН БКТП -10/0,4 кВ

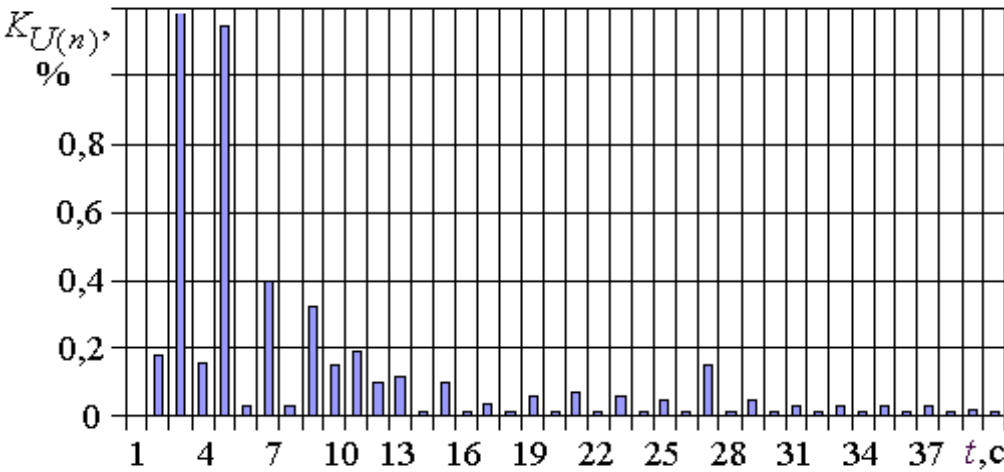


Рисунок 2.10 – Гармонійний спектр за напругою на виході інвертора МСЕС

Динаміка коефіцієнта спотворення напруги в місті приєднання МСЕС до шин міської ТП-10/0,4 кВ наведена на рисунку 2.11.

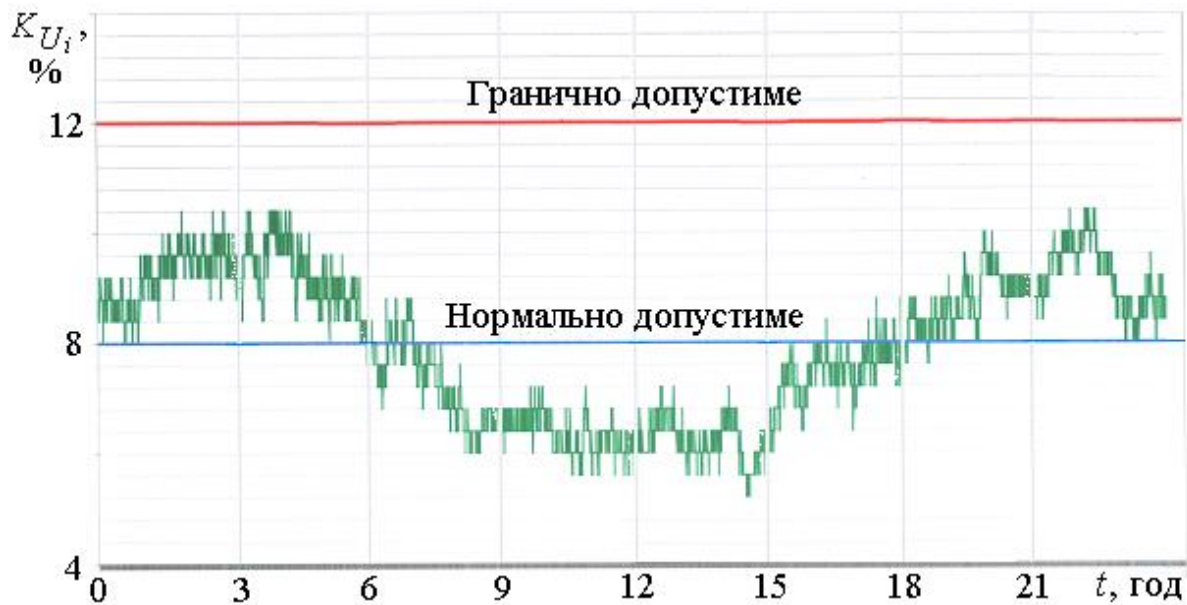


Рисунок 2.11 – Результат виміру коефіцієнта спотворення напруги в місті приєднання МСЕС до шин міської ТП-10/0,4 кВ

За рисунком 2.11 видно, що коефіцієнт спотворення напруги в місті приєднання МСЕС до шин міської ТП-10/0,4 кВ не виходить за межі гранично допустимого значення, однак вносить суттєві спотворення напруги.

2.3.3 Вітрові електричні станції

Вітрові електричні станції призначені для перетворення екологічно «чистої» вітрової енергії в електричну за допомогою генератора через обертовий момент вітроколеса, що виникає від аеродинамічного напору вітру на лопаті турбіни.

За допомогою контролера швидкості обертання, датчика, хвостовика визначається і регулюється оптимальний режим роботи вітроустановки.

Установка містить механізм обертання турбіни двигуном обертання за напрямом максимального напору вітру.

Вітрогенератор монтується на спеціальному щоглі відповідної висоти залежно від швидкості вітру, рельєфу місцевості тощо.

Вітроенергетична установка (ВЕУ) за своїм призначенням перетворення енергії вітру в інші види поділяють на вітромеханічні, вітроелектричні, вітротеплові і комбіновані для отримання, наприклад, механічної та електричної енергії [39, 81, 115].

Універсальні вітрові електричні установки набули широкого використання для цивільних об'єктів, оскільки можуть працювати у складі гібридної системи електропостачання – з сонячними колекторами, дизельними електростанціями тощо.

Оскільки швидкість вітрових потоків нерівномірна за часом, то і величина виробленої електричної потужності ВЕС нестабільна, тому вони використовуються для накопичення електроенергії шляхом зарядження АКБ або для ЕП, що не потребують постійного живлення.

Накопичення електрики в АКБ від ВЕС відбувається через контролер, що регулює режими їх «зарядження-розрядження».

Важливим і перспективним напрямком стає поступове заміщення централізованого електропостачання енергією відновлювальних джерел, що сприятиме збереженню навколишнього середовища та здешевленню й економії енергоресурсів.

За даними Інституту відновлювальної енергетики НАН України складена карта питомих показників технічно досяжного та природного енергетичного потенціалу вітру на різній висоті по всій території України за різними зонами, які наведено на рисунку 2.12.

Конструкція ВЕС буває з горизонтальною і вертикальною віссю вітро-турбіни, яка встановлюється на щоглі на відкритій місцевості.

Вітрові електростанції є джерелом значних електромагнітних перешкод, в основному вищих гармонік, оскільки генерована електроенергія піддається

перетворюванню за необхідними для споживача параметрами. Через нестабільність швидкості повітря відбувається коливання напруги. Значення K_U може коливатися у межах, близьких до 1,0 і вище до 3,5%.

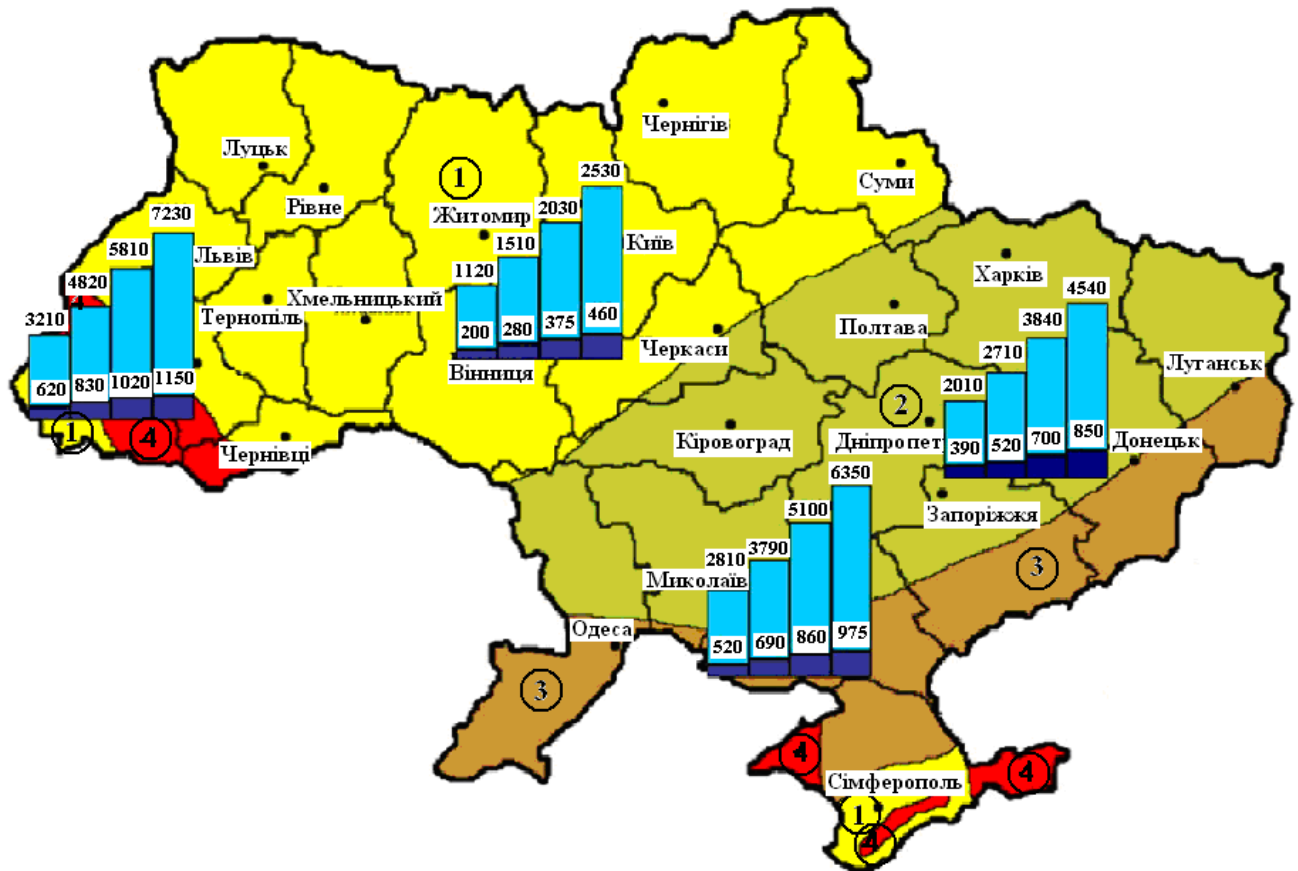


Рисунок 2.12 – Показники енергетичного потенціалу вітру в Україні:

швидкість вітру, м/с, на висоті 10 м: 1 – до 4; 2 – 4,5; 3 – 5;

4 – більше 5,5; за діаграмами: технічно досяжний та природний потенціал вітру кВт·год/(м²·рік), на висоті 15, 30, 60 і 100 м відповідно

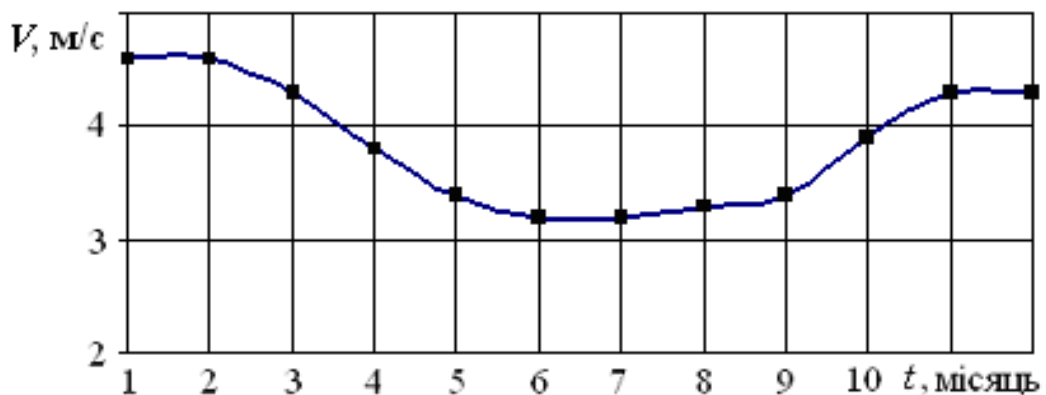


Рисунок 2.13 – Динаміка зміни швидкості вітру протягом року в Одеському регіоні

Потужність, яку може генерувати ВЕС, визначається за формулою [115]

$$P_{\text{ВЕС}} = 0,5 C_p S \rho V^3, \quad (2.18)$$

де C_p – відношення потужності вітрового потоку до потужності потоку через вітроколесо;

S – площа, що охоплюється вітроколесом;

ρ – густина повітря;

V – швидкість вітру.

Коефіцієнт C_p визначається так:

$$C_p = \frac{4V_2}{V_1} \left(1 - \frac{V_2}{V_1} \right), \quad (2.19)$$

де V_1, V_2 – швидкість вітру перед і після турбіни вітрогенератора.

Максимальний теоретичний ККД перетворення енергії вітру в механічну енергію обертання вітроколеса становить близько 59%. Практично більшість конструкцій мають коефіцієнт ефективності близько 40%. Якість виробленої електроенергії пов'язується з особливостями ЕП.

У разі приєднання ВЕС до енергосистеми, вимоги до частоти і напруги більш жорсткіші, в т. ч. відносно генерації вищих гармонік; м'якіші – у випадку використанні енергії для нагрівальних установок.

Важливим параметром для ВЕС є коефіцієнт швидкохідності $Z_{\text{ВЕС}}$, який визначається за співвідношенням швидкості кінця лопаті вітроколеса до швидкості повітря.

Характеристика вітрогенератора типу ANE 10000 наведена в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Характеристика вітрогенератора типу ANE 10000

Найменування параметра	Значення параметра
Номінальна вихідна потужність, кВт	10
Номінальна вихідна напруга, В	240
Номінальний вихідний струм, А	42
Кількість лопатнів, шт.	3
Діаметр лопатнів, м	8
Висота щогла, м	12

Вибрана ВЕС типу ANE10000, яка забезпечуватиме зарядження АКБ в схемі СГЕ, має такі властивості, як збільшена на 60% вихідна потужність за малими швидкостями вітру (до 5 м/с), відносно високий ККД, мала швидкість запуску (2 м/с), інтелектуальна система управління та контролю, що відповідає європейським вимогам, містить трирівневий режим захисту від надмежевої швидкості вітру.

2.3.4 Гібридні системи електропостачання

Гібридна система електропостачання об'єктів, під якою розуміється поєднання роботи декількох різних джерел електроенергії, забезпечуватимуть енергозаощаджувальне, безперервне та відносно якісне живлення ЕП протягом року [2, 3, 10, 122].

Технічні дані інвертор/зарядного пристрою покоління XANTREX-XW для гібридних систем безперебійного живлення наведено в [10].

Структурну схему гібридної системи електропостачання з використанням інвертор/зарядного пристрою XANTREX-XW4024-230 з приєднанням СЕС і ВЕС наведено на рисунку 2.14, технічні дані – в [10].



Рисунок 2.14 – Структурна схема гібридної системи електропостачання

Загальний вигляд автономної спрощеної гібридної системи електропостачання з використанням СЕС та ВЕС наведено на рисунку 2.15.



Рисунок 2.15 – Автономна гібридна система електропостачання об'єкта

Ефективність такого поєднання СЕС і ВЕС полягає в тому, що максимуми їх інтенсивності вироблення електроенергії не співпадають між собою протягом року, що в деякій мірі, наближає підсумковий графік сумісної ро-

боти до рівномірного. Особливо важливе це для зимового періоду, коли інтенсивність сонячної енергії різко падає, а вітру – зростає. Однак наявність інвертора в такій системі породжує спотворення синусоїдності напруги, струму в системі електропостачання.

Гібридний сонячний колектор ATMOSFERA-F2PV містить полікристалічний фотоелектричний модуль, як правило, потужністю 300 Вт і сонячний тепловий колектор потужністю 1037 Вт, які спроможні перетворювати енергію сонячного випромінювання як в електричну, для живлення електроприймачів, так і в теплову енергію, яка спрямовується для потреб гарячого водопостачання та підтримування системи опалення приміщень об'єктів цивільного призначення, конструкцію якого наведено на рисунку 2.16 [2, 3, 5].



Рисунок 2.16 – Конструкція гібридного сонячного колектора, що одночасно генерує електричну та теплову енергію

Генерація електричної та теплової енергії залежить від інтенсивності сонячного випромінювання, температури навколишнього середовища, кута нахилу панелі до горизонтальної площини та напрямку до сторін світу, швидкості вітру у регіоні розташування колектора (рисунок 2.17). Наявність охолодження теплоносієм фотопанелі підвищує до 30 % генерацію електроенергії.

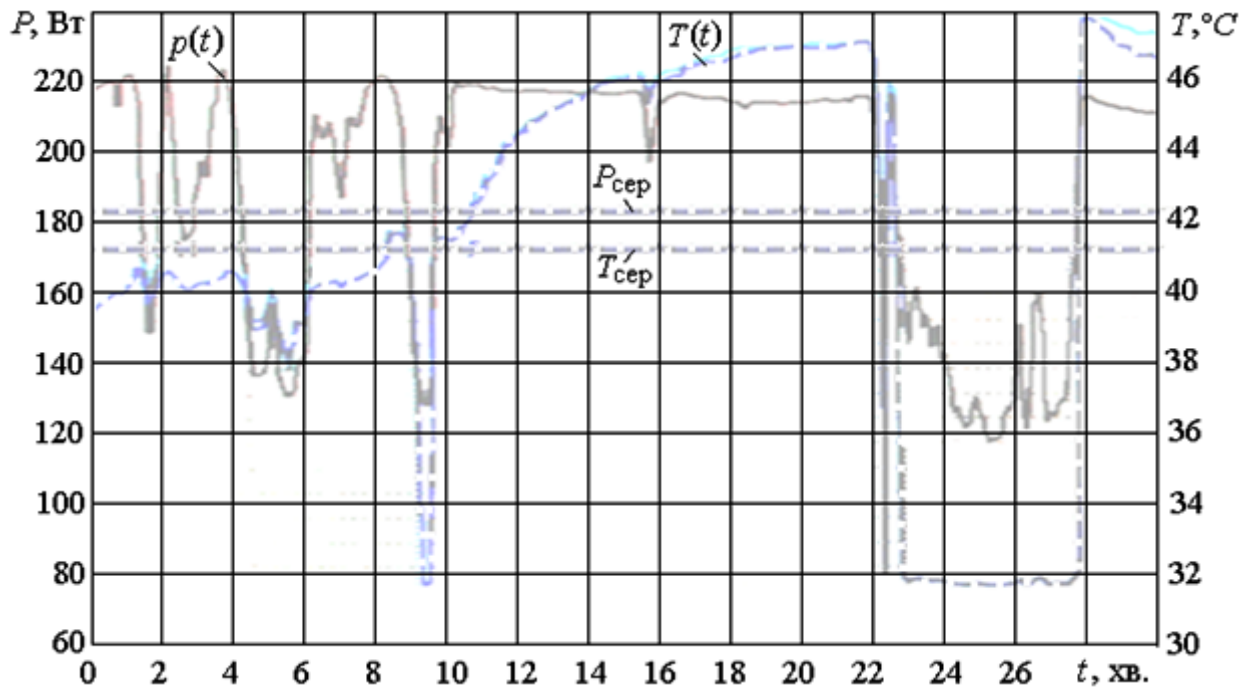


Рисунок 2.17 – Графіки генерування гібридним сонячним колектором електричної $p(t)$ та теплової $T(t)$ енергії

Гібридні системи надають можливість заміщення традиційного централізованого енергопостачання споживачів на децентралізовану енергоресурсозаощаджувальну, з дешевою екологічно «чистою» тепловою та електричною енергією, але при цьому генеруються мережевим інвертором вищі гармоніки.

2.3.5 Електропостачання цивільних об'єктів від системи сховищ відновлюваної енергії

На сьогодні зростає необхідність у технології отримання, зберігання та різноманітного використання енергії, яка накопичуватиметься від джерел сонячної та вітрової енергії, наприклад, у шахтних порожнинах, що дозволить економити традиційні енергоресурси та зменшити негативний вплив на довкілля [7]. У години надлишку генерації відновлювальними джерелами енергії, що працюють на акумулювання енергії, яка може спрямовуватись безпосередньо в міську електричну мережу через інвертори для забезпечення нею

споживачів. Однак, у цьому випадку необхідно враховувати наявність перетворювачів, що породжують вищі гармоніки, які вносять у систему електропостачання ряд негативних наслідків.

2.3.6 Віртуальні електростанції

Віртуальні електростанції (ВрЕ) – це система установок розподіленої генерації, яка об'єднана єдиним технологічним процесом оптимального вироблення та постачання електроенергії споживачам [10, 122, 123].

Зростаюча вартість землі, необхідність збереження довкілля, державне регулювання та інші чинники не дозволяють будувати потужні електричні станції, тому значно вигідніше об'єднувати під єдиним управлінням сотні розосереджених генераторів меншої потужності, що розташовуватимуться в житлових секторах.

Для ефективного управління цією системою і отримання від неї зворотної інформації передбачається телекомунікаційна технологія з оператором ВрЕ, до якої входять вимірювальні прилади і установки, прилади контролю і регулювання кожною генерувальною установкою, а також телекомутаційна апаратура для об'єднання усіх установок в єдину мережу.

У центрі або в місцях генерації повинні здійснюватися моніторинг ринкових цін, стан мережі і навантаження, оброблення інформації інших виробників і постачальників для прийняття економічного режиму роботи системи. Оператор ВрЕ об'єднує різні джерела розподіленої генерації, таких як газові турбіни, паливні комірки, когенераційні установки та джерела зі стохастичним характером генерації – фотоелектричних установок, вітрогенераторів тощо. Організація ВрЕ вимагає додаткових витрат на створення інформаційної мережі, яка містить ефективну систему управління, контролю і регулювання кожною установкою, а також телекомунікаційну технологію для їх об'єднання в єдину мережу. За своєї відносно малої потужності ВрЕ не може повністю задовольнити потреби в енергії потужних споживачів, тому вона

виконує роль додаткового джерела до централізованої енергетики, використовуючи, як правило, місцеві дешеві енергетичні ресурси.

Разом із тим, ВрЕ не виключає наявності джерел збурення електромагнітної сумісності в системі електропостачання.

2.3.7 Інтегрована система джерел енергії як нова стратегія розвитку систем енергопостачання

Інтегрована система джерел енергії як нова стратегія розвитку систем енергопостачання може містити ВрЕ й установки розосередженої генерації розміщеної в стратегічних місцях енергосистеми безпосередньо у споживачів і в центрах навантаження (рисунок 2.18).



Рисунок 2.18 – Спрощена схема інтегрованої системи джерел енергії як нова стратегія розвитку систем енергопостачання

Останнім часом увага до розподіленої генерації, включаючи ВрЕ із використанням сучасних технологій генерування і акумулювання енергії пов'язана із появою нових ефективних і екологічно «чистих» технологій, жорсткішим законодавством ряду країн відносно викидів в атмосферу і подальшою лібералізацією енергоринків [10, 29, 122, 123, 176].

Основні сфери застосування інтегрованої системи джерел енергії такі:

- базове електропостачання для споживачів, які використовують джерело розподіленої генерації не менше 6000 год/рік;
- сумісне електро- і теплопостачання для споживачів, які використовують джерело розподіленої генерації і ВрЕ не менше 6000 год/рік, при цьому теплова енергія використовується у формі технологічної пари, гарячої води, для опалення;
- покриття пікового навантаження протягом 500–3000 год/рік у період максимальної вартості електроенергії для споживачів, які працюють за особливим графіком і сплачують за диференційованими тарифами;
- зменшення викидів у навколишнє середовище за рахунок використання сучасних технологій генерації енергії;
- забезпечення підвищення надійності електропостачання та якості електроенергії для споживачів із високими вимогами до надійності, якості електроенергії;
- компенсація недостатньої пропускної спроможності ліній електропередачі, який розташований у стратегічних місцях;
- генерація допоміжної потужності для створення резерву;
- керування реактивними потоками і напругою в електричних мережах.

Сьогодні існують бар'єри, які не сприяють розвитку розосередженої генерації та віртуальних електростанцій, а саме:

- установити технічний стандарт, що визначає умови приєднання систем розосередженої генерації та віртуальних електростанцій до енергосистеми;

- створити правила сертифікації обладнання, що необхідне для інтеграції розосередженої генерації і віртуальних електростанцій та енергосистем;
- прискорити розробку надійних засобів управління системами розосередженої генерації і віртуальних електростанцій та перетворювачів;
- розробити правила, які регламентують економічні умови приєднання систем розосередженої генерації та віртуальних електростанцій до енергосистеми;
- створити методику для розподільних компаній, які дозволять здійснювати кількісну оцінку дії розосередженої генерації та віртуальних електростанцій на енергосистему.

Сутність такої методики полягає в тому, що присутність у системах електропостачання джерел розосередженої генерації та віртуальних електростанцій призводить до неможливості застосування традиційних алгоритмів, які розроблені для стандартної структури розподільних систем.

Практично, будь-яка задача при проєктуванні або управлінні функціонуванням систем електропостачання як ,наприклад, визначення перетину проводів і кабелів, вибір типу, структури і параметрів засобів релейного захисту й автоматики, регулювання напруги, компенсація реактивної потужності, оптимізація конфігурації мереж та інші, потребують корінного перегляду існуючих або створення нових методик рішення.

Зазначені методики повинні бути диференційовані залежно від характеру джерел розосередженої генерації та віртуальних електростанцій, а саме джерела малої потужності, що не перевищують декількох сотень кВт, які встановлюються на шинах низької напруги ТП без генерації енергії в мережу середньої напруги.

Використання розподіленої генерації сприяє підтримці високої якості електроенергії у централізованих мережах і зменшує витрати на реконструкцію та оновлення мереж і підстанцій. Важлива роль у цьому державних органів у плані удосконалення законодавчої та нормативної баз із метою підтримки проєктів розвитку розподіленої генерації у випадках, коли вони предста-

вляють соціальний або економічний інтерес, направлений на охорону навколишнього середовища, скорочення електроспоживання, розвиток використання відновлювальних джерел енергії. Держава зацікавлена в інтеграції генерувальних потужностей споживачів із метою підтримки енергокомпаній у підвищення пропускної здатності ліній електропередачі, якості електроенергії і надійності електропостачання, компенсації реактивної потужності, регулювання графіка навантаження, що впливатиме на зменшення тарифів на електроенергію.

Нова стратегія розвитку Європейських електричних мереж за архітектурою представляє собою інтегровану систему енергопостачання, яка приносить зиск споживачам, генерувальним і енергопостачальним компаніям із мінімальними витратами електроенергії, забезпеченням високої надійності енергопостачання за мінімальної негативної дії на навколишнє середовище.

2.3.8 Джерела розподіленої генерації та їх вплив на систему електропостачання об'єктів цивільного призначення

Джерела розподіленої генерації характеризуються більш високою ефективністю порівняно з джерелами, що використовують органічне паливо, оскільки базуються на удосконалених технологіях, джерелах «зеленої» енергетики, що значно зменшують техногенний тиск на навколишнє середовище. Нова ідеологія енергетики – енергетика сталого розвитку будується не на централізованих енергетичних системах, а на багатьох невеликих децентралізованих джерелах енергії.

Поступову заміну традиційних джерел енергії на розподілену генерацію можемо спостерігати на прикладі впровадження мережових сонячних, вітрових електростанцій для електропостачання цивільних об'єктів [10, 51, 53–55, 75, 76, 78, 79, 92, 123, 154, 155, 158].

Застосування розподіленої генерації приводить до розвантаження електричної мережі від традиційних джерел, зниження екологічного тиску на дов-

кілля. При цьому як правило, підвищуються надійність електропостачання, збільшується пропускна спроможність лінії від точки їх приєднання до традиційних джерел, що сприяє зменшенню втрат електроенергії та напруги.

Однак у разі розташування розосередженої потужної генерації безпосередньо у споживача, може призводити до зміни напрямку потужності разом із зменшенням або збільшенням витрат електроенергії на окремих ділянках ліній, якщо її потужність менша, дорівнює або більша за потужність ЕП відповідно.

Втрата напруги буде зменшуватися у напрямку від традиційного джерела до споживача. За невизначеності та неузгодженості роботи енергосистеми та місцевого джерела, можуть виникати коливання напруги у вузлах електричної мережі.

Присутність відновлювальних джерел із наявністю інверторів сприятимуть генерації вищих гармонік в електричну мережу, що знижує показники якості електроенергії, викликають додаткові витрати електроенергії, скорочують термін служби ізоляції мережі, ЕП. Збільшуються дози флікера, провали напруги за випадкової зміни співвідношень між потужностями традиційного джерела і регіонального.

Все зазначене утруднює визначення розрахункового струму живильних і розподільних ліній, струмів короткого замикання. А це, в свою чергу, впливає на правильний вибір релейного захисту та автоматики, які вибираються за однонаправленим перетоку потужності від джерела до споживачів.

Необхідно узгоджувати роботу максимально-струмового захисту, автоматичного повторного ввімкнення та спроможності вимкнення/ввімкнення інвертора під час безструмової паузи. Оскільки при неузгодженості спрацювання цих пристроїв, замість усунення електричної дуги під час короткого замикання, вона буде підтримуватися живленням від інвертора. Ураховуючи наведені фактори, необхідно запровадити направлені або диференційні системи релейного захисту. Перевірити на стійкість апаратів до струмів короткого замикання, у зв'язку з їх збільшенням.

Висновки до розділу 2

1. Традиційна система електропостачання цивільних об'єктів найбільш поширена, надійна, як правило, постачає якісну електроенергію, але вона має ряд недоліків таких, як неефективне використання вичерпного вартісного викопного палива, значні витрати електроенергії на її передавання, антропогенний вплив на навколишнє середовище та інші, порівняно з новими технологіями генерування електроенергії [10, 26, 47, 93, 123].

2. Системи гарантованого електропостачання сьогодні актуальні, оскільки застосовуються у випадках наявності в об'єктах цивільного призначення електроприймачів критичної групи, такі як локальні обчислювальні мережі, системи передачі цінної інформації та електронної пошти, що пов'язане з реальною та потенційною небезпекою для життя людини, але такі системи достатньо вартісні та потребують кваліфікованого обслуговування, сприяють спотворенню синусоїдності в електричних мережах [10, 26, 47].

3. Перспективним є режим максимального використання енергії відновлювальних джерел автономно або паралельно із мінімальним застосуванням централізованого електропостачання. Разом із тим, існує багато перешкод до масового запровадження їх для електропостачання цивільних об'єктів і основна з них – це висока вартість, генерування ними вищих гармонік [10, 123].

4. Мережеві, автономні сонячні, гібридні електростанції, вітрогенератори, досить привабливі своєю простотою конструкції та експлуатації, однак перетворення постійного струму в змінний промислової частоти, супроводжується генерацією вищих гармонік, які негативно впливають на електромагнітну сумісність у системах електропостачання об'єктів цивільного призначення [10, 123].

5. Ефективними є гібридні сонячні колектори, що спроможні одночасно виробляти як електричну, так і теплову енергію для об'єктів цивільного призначення, але генерація ними електричної енергії постійного струму

пов'язана з необхідністю перетворення її у змінний струм частотою 50 Гц, що викликає появу вищих гармонік через наявність інвертора.

6. Віртуальні, інтегровані джерела перспективні, однак потребують складних електронних технологічних мереж управління, врахування наявності вищих гармонік, мінімізації втрат в електричній мережі, вартості виробленої енергії та інших факторів [10, 123].

7. Розосереджена генерація енергії, як нова ідеологія сталого розвитку енергетики для об'єктів цивільного призначення, характеризується більш високою ефективністю порівняно з джерелами, що використовують органічне паливо, оскільки базуються на удосконалених енергозощаджувальних технологіях, джерелах «зеленої» енергетики, що значно зменшують техногенний тиск на навколишнє середовище, однак їх присутність у традиційних системах потребують додаткових розрахунків через можливий перерозподіл напрямів потоків електроенергії [10, 123].

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ І МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ЦИВІЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ

3.1 Методи моделювання електричного навантаження об'єктів цивільного призначення

Графік електричного навантаження об'єкта цивільного призначення, як випадкова реалізація деякого випадкового процесу, формується із значної кількості електричних навантажень побутових ЕП, житлових будинків, комунальних та інших об'єктів. Зміна навантаження в часі відбувається під впливом дії значної кількості незалежних випадкових чинників.

Основними методами моделювання електричного навантаження будь-якого об'єкта є:

- моделювання електричного навантаження за даними технології;
- апроксимація вибірок добових графіків математичною функцією;
- метод статистичного моделювання;
- моделювання за типовими графіками електричних навантажень;
- моделювання електричних навантажень інтегральними характеристиками або показниками на підставі аналізу закономірностей їхнього формування [46, 60, 63, 69, 90, 91, 112, 121, 145].

Найбільш розробленим є метод моделювання електричного навантаження, який побудовано на основі узагальненої періодичності електричних навантажень.

Створені моделі електричних навантажень об'єктів у вигляді коефіцієнтів, на основі теорії імпульсних потоків, статистичного моделювання, автокореляційних функцій, спектрально-кореляційної теорії випадкових стаціонарних процесів, визначення статистичних взаємозв'язків між навантаженнями й відомими для формалізації чинниками тощо.

У зв'язку зі зростаючим застосуванням вимірювально-інформаційної техніки відкриваються можливості використання кількісних методів моделювання навантажень.

Графіки електричного навантаження, які зафіксовані за різні періоди часу, як правило, не співпадають між собою за конфігурацією і являють собою в цілому випадкові реалізації деякого випадкового процесу. Накопичивши достатню кількість вибірок у кожному його перетині можна отримати динаміку процесу шляхом їхнього інтерполювання. При цьому вибираються методи наближення такими, щоб була можливість описувати ділянки графіка з достатньою для практичних цілей рівнем достовірності.

Важливу роль у питаннях описування часових рядів відіграють інтерполяційні методи моделювання дискретних послідовностей.

Інтерполяція поліномом Лагранжа при довільному розташуванні вузлів у загальному випадку зводиться до обчислення $y(x) = L_n(x)$ за допомогою інтерполяційного полінома:

$$L_n(x) = \frac{(x-x_1)(x-x_2)\dots(x-x_n)}{(x_0-x_1)(x_0-x_2)\dots(x_0-x_n)}y_0 + \frac{(x-x_0)(x-x_2)\dots(x-x_n)}{(x_1-x_0)(x_1-x_2)\dots(x_1-x_n)}y_1 + \dots + \frac{(x-x_0)(x-x_1)\dots(x-x_{n-1})}{(x_n-x_0)(x_n-x_1)\dots(x_n-x_{n-1})}y_n. \quad (3.1)$$

Метод Лагранжа для інтерполяції при рівномірному розташуванні вузлів забезпечує найменший час інтерполяції, не вимагає оновлення введів y_i й x_0 для обчислення кожного $y(x)$ і дозволяє обчислювати значення y_i у вузлах x_i .

Ряд Фур'є забезпечує високу точність наближення графіків розкладання, що полягає в знаходженні коефіцієнтів $a_0, a_1, \dots, a_k, b_1, b_2, \dots, b_k$ ряду Фур'є для функції $y(t)$, заданої на відріжку $[0, T]$ дискретними значеннями:

$$y(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos 2\pi k f_1 t + b_k \sin 2\pi k f_1 t), \quad (3.2)$$

де f_1 - частота першої гармоніки;

k - номер гармоніки.

Коефіцієнти Фур'є визначаються за відомими виразами:

$$a_k = \frac{2}{N} \sum_{i=0}^{N-1} y_i \cos 2\pi k f_1 i \Delta t; \quad (3.3)$$

$$b_k = \frac{2}{N} \sum_{i=0}^{N-1} y_i \sin 2\pi k f_1 i \Delta t, \quad (3.4)$$

де $\Delta t = T / N$ – крок, за яким розташовані абсциси.

Для розрахунку значень ряду Фур'є необхідні всі його коефіцієнти, що практично незручно при аналізі характерних ділянок графіка. Другий недолік у тому, що покращення наближення може бути досягнуте тільки шляхом збільшення кількості членів ряду.

Система незалежних кускових поліномів утворює розривну функцію й тому наближає плавний графік навантаження значно гірше, ніж ряд Фур'є. Якщо для покращення якості наближення збільшити степінь, то системі кускових поліномів будуть притаманні такі ж недоліки, що й розкладанню в ряд Фур'є. До переваг даного методу слід віднести швидкість і простоту розрахунку значень кускового полінома.

Сплайни поєднують переваги рядів Фур'є, тобто неперервність і високу точність наближення, з перевагами кускових поліномів – можливість урахувати особливості форми графіків відповідним вибором розбивання й простоту розрахунку значень функції. Крім цього, параметри спайна допускають наглядну інтерпретацію, що важливо для попереднього судження про динаміку електричного навантаження.

Відомо, що сплайн – функція $s_m(\Delta_n; x)$, яка визначена на відрізку a, b , збіжна на часткових відрізках $[x_i, x_{i+1}]$, утворених сіткою Δ_n : $a = x_0 < x_1 < \dots < x_n = b$ з алгебраїчними багаточленами степеня не вище m , і яка має на a, b неперервну $(m-1)$ -у похідну.

Для сплайна справедливе подання

$$s_m(\Delta_n; x) = P_{m-1}(x) + \sum_{k=0}^{n-1} c_k (x-x_k)_+^m, \quad (3.5)$$

де c_k – дійсні числа;

$P_{m-1}(x)$ – багаточлен степеня не вище $(m-1)$.

Точки x_i носять назву вузлів сплайна. Якщо сплайн $s_m(\Delta_n; x)$ має на відрізьку a, b неперервну $(m-k)$ -у похідну ($k > 1$), а $(m-k+1)$ – а похідна у вузлах сплайна розривна, то він має дефект k .

Поряд із наведеними вище поліноміальними сплайнами використовуються більш загальні L -сплайни, які «склеюються» із розв'язувань лінійного однорідного диференціального рівняння $L_u = 0$ і L_g – сплайнів із різною гладкістю в різних вузлах, а також сплайнів багатьох змінних.

Сплайни та їхні узагальнення часто використовуються як екстремальні функції при розв'язанні екстремальних задач: найкращі квадратурні формули, найкраще чисельне диференціювання тощо.

Сплайни використовуються для наближення функцій, таких як сплайн-апроксимація, сплайн-інтерполяція, побудування наближених розв'язань звичайних диференціальних рівнянь і рівнянь із частинними похідними.

Сплайн-інтерполяція – інтерполювання за допомогою сплайнів, тобто побудова інтерполяційного сплайна, який приймає в заданих точках $\{x_i\}$ дані значення $\{f(x_i)\}$, $i = 0, 1, \dots, n$.

Звичайно, інтерполяційний сплайн задовольняє додаткові умови в кінцевих точках. Так, для кубічного сплайна, який «склеєний» на відрізьку a, b із кубічних багаточленів і має неперервну 2-у похідну, вимагають, щоб значен-

ня $S_3(\Delta_n, x_i) = f(x_i)$, і, крім цього, задають по одній умові в кінцевих точках функції.

Сплайн-апроксимація – наближене подання функції або наближене відновлення функції з наданого класу за неповної інформації, наприклад, за значеннями на сітці, за допомогою сплайнів.

Відомо, якщо функція $f(x)$ має неперервну r -у похідну на відрізку $(-\infty, \infty)$, то для наближення поліноміальними інтерполяційними сплайнами $S_n(x, h)$ степеня $n \geq r$ з рівномірними вузлами інтерполяції $x_i = ih$, $i = 0, \pm 1, \pm 2, \pm \dots$ та вузлами сплайна справедлива оцінка

$$\|f^{(i)}(x) - S_n(x, h)\|_{C(-\infty, \infty)} \leq c \omega_{r+1-i}(f^{(i)}, h), \quad (3.6)$$

де $i = 0, 1, \dots, r$.

При використанні інтерполяційного сплайна з довільними вузлами параметром наближення вибирається максимальна відстань між вузлами інтерполяції. Звичайно, вузли інтерполяції й вузли сплайна тісно пов'язані між собою.

Поліноміальні інтерполяційні сплайни $S_3(x)$ 3-го ступеня – кубічні сплайни широко використовуються, тому що побудова таких сплайнів зводиться в більшості випадків до розв'язання системи лінійних рівнянь із тридіагональною матрицею, яка має домінуючу головну діагональ. При цьому, якщо функція $f(x)$ має неперервну k -у, $0 \leq k \leq 3$, похідну на a, b , то:

$$\|f^{(i)}(x) - S_3^{(i)}(x)\|_{C[a, b]} \leq c \|\Delta_n\|^{k-i} \omega(f^{(k)}, \|\Delta_n\|), \quad 0 \leq i \leq k. \quad (3.7)$$

При $k = 1, 2$ константи $c > 0$ не залежать від f і від сіток Δ_n .

Регресійний аналіз також використовується при моделюванні електричних навантажень. Регресійний аналіз, як відомо, це розділ математичної ста-

тики, який об'єднує практичні методи дослідження регресійного зв'язку між величинами за статистичними даними.

Якщо, наприклад, при кожному значенні $x = x_i$ спостерігається n_i значень $y_i, \dots, y_i$ випадкової величини Y , залежність середніх арифметичних

$$\bar{y}_i = \frac{1}{n_i} (y_{i1} + \dots + y_{in_i}) \quad (3.8)$$

цих значень від x_i і є регресією у статистичному понятті цього слова.

При виявленні закономірності зміни $\bar{y}_i$ із зміненою x припускається, що в основі явища, яке спостерігається, лежить імовірна залежність: при кожному фіксованому значенні x , ймовірна величина Y має певний розподіл імовірності з математичним сподіванням, яке є функцією x :

$$E(Y | x) = m(x). \quad (3.9)$$

Залежність $y = m(x)$ і є регресією, де x грає роль незалежної змінної.

Графік функції $y = m(x)$, як відомо, носить назву лінії регресії величини Y по x , змінна x носить назву регресійної змінної (регресор).

Особливість регресії в математичній статистиці характерна тим, що про розподілення величин, які досліджуються, немає достатньої інформації.

Кореляційний аналіз є базовим інструментом, за допомогою якого аналізуються двовимірні дані, що дозволяє оцінити міру взаємозв'язку між двома факторами. Визначення, настільки тісним є зв'язок між змінними, дозволяє упевнитись у його реальному існуванні.

Коефіцієнт кореляції (коефіцієнт Пірсона) між ознаками, наприклад, температурою повітря t і електричним навантаженням p об'єкта визначається так:

$$\rho = \frac{(t_i - \bar{t})(p_i - \bar{p})}{\sigma_t \sigma_p}. \quad (3.10)$$

Коваріація випадкових величин T і P (кореляційний момент)

$$\text{cov}(T, P) = (t_i - \bar{t})(w_i - \bar{w}). \quad (3.11)$$

Для незалежних випадкових величин коваріація буде дорівнювати нулю. Однак рівняння $\text{cov}(T, P) = 0$ не означає, у загальному випадку, повної незалежності величин T і P , тобто воно є необхідним, але не достатньою умовою для незалежних ознак.

Величина коваріації залежить від одиниць вимірювання, тому використовують інший показник – коефіцієнт кореляції, який є безрозмірною величиною.

При обчисленні вибіркового (емпіричного) коефіцієнта кореляції теоретичні величини замінюються їх оцінками

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})(p_i - \bar{p})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2 \sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2}}. \quad (3.12)$$

При значеннях $n < 30$ використовується модифікована формула

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n t_i p_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \sum_{i=1}^n p_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n t_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n t_i)^2}{n}} \sqrt{\sum_{i=1}^n p_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n p_i)^2}{n}}}. \quad (3.13)$$

Формули (3.10), (3.11) справедливі для генерального коефіцієнта кореляції. Для обчислення вибіркового коефіцієнта кореляції необхідно у цих формулах середнє значення по генеральній сукупності замінити на середнє

по вибірці, а стандартне відхилення по генеральній сукупності на стандартне відхилення по вибірці.

Коефіцієнт кореляції приймає значення в інтервалі $-1 \leq r \leq 1$, якщо T і P лінійно залежать один від одного, тобто якщо існує функціональний зв'язок $p(t) = b_0 + b_i t$. Величина $|r|$, що близька до 1, вказує, що залежність між даними випадковими величинами майже лінійна. Значення $|r|$, близькі до 0, свідчать про зв'язок між випадковими величинами або слабкий, або не носить лінійного характеру. Таким чином, коефіцієнт кореляції характеризує ступінь наближення залежності між випадковими величинами до лінійної функціональної залежності.

Якщо $r > 0$, то зв'язок між змінними додатний (пряма). При $r < 0$, зв'язок від'ємний, тобто зі збільшенням однієї величини інша має стійку тенденцію до зменшення.

Якщо коефіцієнт кореляції $|r| = 0,8 \dots 0,9$, то, незалежно від реального виду зв'язку, можна стверджувати, що він достатньо тісний, щоб досліджувати його форму за допомогою коефіцієнта кореляції.

Автокореляція – це кореляційний зв'язок між значеннями одного й того ж випадкового процесу $Y(x)$ у моменти t_1 і t_2 . Автокореляційна функція характеризує цей зв'язок. Кореляційний зв'язок вимірюється за допомогою коефіцієнта автокореляції.

Автокореляційна функція характеризує внутрішню залежність між значеннями часового ряду й значеннями того самого ж ряду, але зміщеному на деякий проміжок часу L (лаг, запізнення). Тобто, це кореляція членів ряду і пересунутих на L одиниць часу членів того ж ряду: $x_1, x_2, x_3, \dots$ і $x_{1+L}, x_{2+L}, x_{3+L}, \dots$. Звичайний тип автокореляції або серійна кореляція першого порядку, характеризується тим, що доданки похибки у поточний момент часу прямо зв'язані з доданками похибки у попередній момент часу. У цьому випадку модель простої лінійної регресії можна записати у вигляді:

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 X_t + \varepsilon_t, \quad (3.14)$$

за умови

$$\varepsilon_t = \rho \varepsilon_{t-1} + v_t, \quad (3.15)$$

де ε_t – величина похибки в момент t ;

ρ – коефіцієнт автокореляції з запізненням на один період, що вимірює кореляцію між послідовними доданками похибки;

v_t – нормально розподілені незалежні похибки з математичним очікуванням рівним 0 і дисперсією σ_v^2 .

Рівняння показує, що величина одного доданку похибки ε_{t-1} безпосередньо впливає на величину наступного ε_t . Значення автокореляції ρ , де значення $-1 < \rho < 1$ вказує на ступінь серійної кореляції. Якщо ρ дорівнює 0, то серійної кореляції немає й значення похибок незалежні ($\varepsilon_t = v_t$).

Коефіцієнт автокореляції може використовуватись для того, щоб визначити, чи дані є випадковими, чи дані стаціонарні.

Коефіцієнт автокореляції r_k із запізненням на k моментів спостереження, тобто між спостереженнями Y_t і Y_{t-k} , визначається за формулою:

$$r_k = \frac{\sum_{j=k+1}^n (Y_t - \bar{Y})(Y_{t-k} - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^n (Y_t - \bar{Y})^2}, \quad (3.16)$$

де r_k – коефіцієнт автокореляції для запізнення на k періодів;

$\bar{Y}$ – середнє значення ряду;

Y – спостереження в момент часу t ;

Y_{t-k} – спостереження в момент часу $t-k$.

Коефіцієнт автокореляції із запізненням на один період r_1 , або кореляція між Y_t і Y_{t-k} (кореляція 1-го порядку), обчислюється за формулою:

$$r_k = \frac{\sum_{i=2}^n (Y_t - \bar{Y})(Y_{t-1} - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^n (Y_t - \bar{Y})^2}. \quad (3.17)$$

Автокореляції із запізненням на два періоди r_2 , або кореляція між Y_t і Y_{t-2} (кореляція 2-го порядку), обчислюється за формулою:

$$r_k = \frac{\sum_{i=3}^n (Y_t - \bar{Y})(Y_{t-2} - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^n (Y_t - \bar{Y})^2}. \quad (3.18)$$

У тому випадку, коли ряд даних випадковий, коефіцієнти автокореляції між Y_t і Y_{t-k} близькі до нуля для будь-якого запізнення. Послідовні значення часового ряду не пов'язані між собою.

Якщо у ряду є тренд, то значення Y_t і Y_{t-k} мають сильну кореляцію, при цьому коефіцієнти автокореляції істотно відрізняються від нуля для перших декількох періодів запізнення, а зі збільшенням періоду поступово зменшуються до нуля.

Коефіцієнт автокореляції має вибіркове розподілення, яке може бути апроксимовано нормальною кривою з середнім значенням, що дорівнює нулю і середньоквадратичним відхиленням $\frac{1}{\sqrt{n}}$. При цьому припускається, що будь-яка автокореляція для запізнення, меншого за k (де $k > 1$), відмінна від нуля, а

будь-яка автокореляція для запізнення, більшого або такого, що дорівнює k , дорівнює нулю.

Для автокореляції, що відповідає запізненню в один період, використовується стандартна похибка $\frac{1}{\sqrt{n}}$.

Стандартна похибка автокореляції із запізненням k визначається так:

$$SE(r_k) = \sqrt{\frac{1 + 2 \sum_{i=1}^{k-1} r_i^2}{n}}, \quad (3.19)$$

де r_i – автокореляція із запізненням i ;

k – час запізнення;

n – кількість спостережень у часовому ряду.

Регресійний аналіз дозволяє прогнозувати значення залежної випадкової величини на підставі значень незалежної випадкової. Досягається це за рахунок визначення виду аналітичного виразу, який описує зв'язок залежної випадкової величини, наприклад, електричне навантаження об'єкта, з незалежними випадковими величинами температури повітря t_i у будь-який час.

Значення електричного навантаження p_i можна умовно поділити на частину, що закономірно залежатиме від t_i , тобто є функцією від t_i , а інша частина є випадковою по відношенню до t_i . Позначивши першу через $f(t_i)$, іншу – через ξ_i

$$p_i = f(t_i) + \xi_i, \quad (3.20)$$

де ξ_i – випадкова величина, $i = 1, \dots, n$.

Для того, щоб задача вибору функції відклику була змістовною, визначається набір припустимих функцій $f(t)$. Як правило, множини

припустимих функцій є параметричним сімейством $f(t, b_0, b_1, \dots, b_k)$, де $b_0, b_1, \dots, b_k$ – невідомі параметри.

Тоді (3.20) має вигляд

$$p_i = f(x_i, b_0, b_1, \dots, b_k) + \xi_i, \quad (3.21)$$

де $b_0, b_1, \dots, b_k$ – невідомі параметри регресії, а ξ_i – випадкові величини, що характеризують похибки експерименту. Звичайно припускають, що ξ_i – незалежні нормально розподілені випадкові величини з $M \xi_i = 0$ й однаковими дисперсіями $D \xi_i = \sigma^2$.

Висуваючи гіпотезу про те, що функція $f(t, b_0, b_1, \dots, b_k)$ має вигляд $f(t, b_0, b_1) = b_0 + b_1 t$, співвідношення (3.21) прийме вигляд

$$p_i = b_0 + b_1 x_i + \xi_i, \quad (3.22)$$

при цьому $M \xi_i = 0$ і $D \xi_i = \sigma^2$.

Оцінювання $\hat{b}_0, \hat{b}_1$ параметрів b_0, b_1 визначаються за методом найменших квадратів, за якого

$$\sum_{i=1}^n (p_i - b_0 - b_1 t_i)^2 \rightarrow \min_{b_0, b_1}. \quad (3.23)$$

Реалізація методу найменших квадратів визначає такі оцінювання $\hat{b}_0, \hat{b}_1$ параметрів b_0, b_1

$$\hat{b}_0 = \frac{\sum_{i=1}^n p_i \sum_{i=1}^n t_i^2 - \sum_{i=1}^n t_i \sum_{i=1}^n t_i p_i}{n \sum_{i=1}^n t_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n t_i \right)^2}; \quad (3.24)$$

$$\hat{b}_1 = \frac{n \sum_{i=1}^n t_i p_i - \sum_{i=1}^n t_i \sum_{i=1}^n p_i}{n \sum_{i=1}^n t_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n t_i \right)^2}. \quad (3.25)$$

Залишки, як визначалося, припускаються незалежними нормально розподіленими випадковими величинами з нульовим математичним спостереженням й однаковими дисперсіями σ^2 , яка визначається за виразом

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_i - \hat{b}_0 - \hat{b}_1 t_i^2. \quad (3.26)$$

Дисперсії коефіцієнтів визначаються за виразами

$$D\hat{b}_0 = \left(\frac{1}{n} + \frac{\bar{t}^2}{\sum_{i=1}^n t_i - \bar{t}} \right) \hat{\sigma}^2; \quad (3.27)$$

$$D\hat{b}_1 = \frac{\hat{\sigma}^2}{\sum_{i=1}^n t_i - \bar{t}}. \quad (3.28)$$

Оцінка дисперсії

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_i - \hat{b}_0 - \hat{b}_1 t_i^2 \quad (3.29)$$

зміщена, оскільки її математичне очікування

$$M\hat{\sigma}^2 = \frac{n-2}{n} \sigma^2. \quad (3.30)$$

Тому використовується інша незміщена оцінка дисперсії

$$s^2 = \frac{n}{n-2} \hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n p_i - \hat{b}_0 - \hat{b}_1 t_i^2. \quad (3.31)$$

Величина $\frac{(n-2)s^2}{\sigma^2}$ має розподілення χ^2 із $n - 2$ степенями свободи.

Використовуючи наведену інформацію про властивості випадкових величин s^2 , $\hat{b}_0, \hat{b}_1$, можна визначити довірчий інтервал для оцінюємих параметрів b_0 , b_1 і σ^2 .

Якщо дисперсія відома, то випадкова величина

$$\frac{\hat{b}_0 - b_0}{\sigma \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{\bar{x}^2}{\sum_{i=1}^n x_i - \bar{x}^2}}} \quad (3.32)$$

має стандартне розподілення.

За довірчою вірогідністю α , довірчий інтервал

$$\hat{b}_0 - x_{\alpha} \sigma \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{\bar{t}^2}{\sum_{i=1}^n t_i - \bar{t}^2}} < b_0 < \hat{b}_0 + x_{\alpha} \sigma \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{\bar{t}^2}{\sum_{i=1}^n t_i - \bar{t}^2}} \quad (3.33)$$

накриває невідомий параметр b_0 із вірогідністю $1 - \alpha$.

Якщо невідома дисперсія, довірчий інтервал

$$\hat{b}_0 - t_{n-2, \alpha} s \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{\bar{t}^2}{\sum_{i=1}^n t_i - \bar{t}^2}} < b_0 < \hat{b}_0 + t_{n-2, \alpha} s \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{\bar{t}^2}{\sum_{i=1}^n t_i - \bar{t}^2}} \quad (3.34)$$

накриває невідомий параметр b_0 із вірогідністю $1 - \alpha$.

Аналогічно визначаються довірчі інтервали для параметра b_1 .

Якщо дисперсія відома, то випадкова величина

$$\frac{\hat{b}_1 - b_1}{\sigma} \sqrt{\frac{n}{\sum_{i=1}^n t_i - \bar{t}}^2} \quad (3.35)$$

має стандартне нормальне розподілення і довірчий інтервал із вірогідністю $1 - \alpha$

$$\hat{b}_1 - \frac{x_\alpha \sigma}{\sqrt{\frac{n}{\sum_{i=1}^n t_i - \bar{t}}^2}} < b_1 < \hat{b}_1 + \frac{x_\alpha \sigma}{\sqrt{\frac{n}{\sum_{i=1}^n t_i - \bar{t}}^2}} \quad (3.36)$$

накриває параметр b_1 .

Тут x_α - рішення рівняння $\Phi(x_\alpha) = 1 - \alpha/2$.

При невідомій дисперсії за критерій можна взяти величину

$$\frac{\hat{b}_1 - b_1}{s} \sqrt{\frac{n}{\sum_{i=1}^n t_i - \bar{t}}^2}, \quad (3.37)$$

яка має розподілення Стюдента з $n - 2$ степенями свободи, тому інтервал

$$\hat{b}_1 - \frac{t_{n-2,\alpha} s}{\sqrt{\frac{n}{\sum_{i=1}^n t_i - \bar{t}}^2}} < b_1 < \hat{b}_1 + \frac{t_{n-2,\alpha} s}{\sqrt{\frac{n}{\sum_{i=1}^n t_i - \bar{t}}^2}} \quad (3.38)$$

накриває оцінюємий параметр b_1 із вірогідністю $1 - \alpha$.

Тут $t_{n-2,\alpha}$ - корінь рівняння $F_{n-2}(t_{n-2,\alpha}) = 1 - \alpha/2$, де $F_{n-2}(t_{n-2,\alpha})$ функція розподілення Стюдента з $n - 2$ степенями свободи.

Узагальненням лінійної регресійної моделі з двома змінними є багатомірна регресійна модель, яка дозволяє прогнозувати значення змінної Y на підставі значень двох або декількох незалежних змінних $X_1, X_2, \dots, X_M$.

Рівняння лінійної багатомірної регресії має вигляд:

$$\hat{y} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_m x_m, \quad (3.39)$$

де $\hat{y}$ – теоретичні значення результативної ознаки, що отримані шляхом підстановки відповідних значень факторних ознак у рівняння регресії;

$x_1, x_2, x_3, \dots, x_m$ – значення факторних ознак;

$b_0, b_1, b_2, \dots, b_m$ – параметри рівняння (коефіцієнти регресії).

При визначенні параметрів моделі методом найменших квадратів мінімізується сума квадратів залишків, тобто

$$Q_{\text{зал}} = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - b_0 - b_1 x_{1i} - b_2 x_{2i} - \dots - b_m x_{mi})^2 \rightarrow \min. \quad (3.40)$$

Розглядаючи $Q_{\text{зал}}$ як функцію параметрів b_i і виконуючи математичні перетворення, отримуємо систему нормальних рівнянь із m невідомими (за кількістю параметрів b_i):

$$\begin{cases} nb_0 + b_1 \sum x_1 + b_2 \sum x_2 + \dots + b_m \sum x_m = \sum y \\ b_0 \sum x_1 + b_1 \sum x_1^2 + b_2 \sum x_2 x_1 + \dots + b_m \sum x_m x_1 = \sum y x_1 \\ \dots \\ b_0 \sum x_m + b_1 \sum x_m x_1 + b_2 \sum x_m x_2 + \dots + b_m \sum x_m^2 = \sum y x_m \end{cases}, \quad (2.41)$$

де n – кількість спостережень;

m – кількість факторів у рівнянні регресії.

Рішенням системи рівнянь знаходяться значення параметрів b_i , які є коефіцієнтами шуканого теоретичного рівняння регресії.

3.2 Експериментальне дослідження і моделювання електричного навантаження освітлювальних приладів

Експериментальне дослідження і моделювання електричних навантажень основних ЕП об'єктів цивільного призначення виконувалося аналізатором якості електроенергії ELSPEC G4500 [10].

Широке застосування знаходять лампи розжарювання (ЛР), люмінесцентні лінійні (ЛЛ), компактні люмінесцентні лампи (КЛЛ), світлодіодні лампи (СВД).

Лампи розжарювання вакуумні загального призначення і галогенні працюють за принципом теплового випромінювання. Заповнення колби інертними газами (газонаповнені) та їхніми сполуками дозволяють подовжити строк служби лампи та підвищити температуру вольфрамового тіла розжарювання до 2500–2700°C, що значно збільшує її світловий потік [10].

Осцилограма пускового струму ЛР наведено на рисунку 3.1.

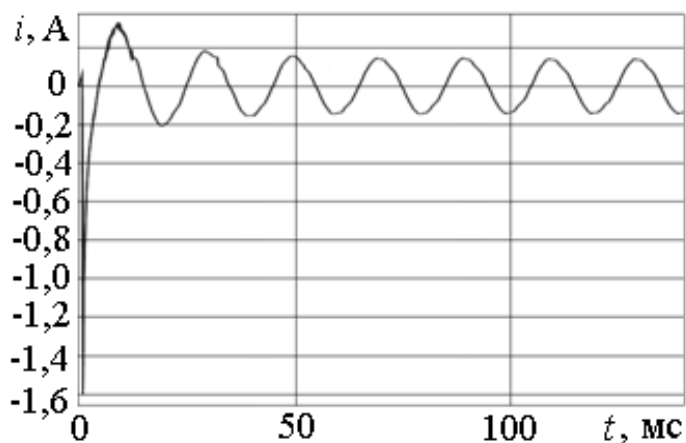


Рисунок 3.1 – Осцилограма пускового струму ЛР потужністю 40 Вт

Строк служби ЛР, як правило, не перевищує 1000 год, при цьому допускається зменшення світлового потоку ламп на 15%, за рахунок випаровування тіла розжарювання під дією високої температури, які відпрацювали біля 75% цього терміну.

Наприклад, пусковий струм ЛР потужністю 40 Вт досягає 1,6 А, за номінального струму близько 0,18 А, але тривалість його становить не більше декількох мс.

Орієнтовний опір у холодному стані нитки розжарювання ЛР за напругою 220/230 В із цоколем Е27 наведено в таблиці 3.1.

Звичайно, чим більша світлова віддача лампи на одиницю електроенергії, яка споживається, лм/Вт, тим вона економніша.

Таблиця 3.1 – Орієнтовний опір нитки лампи у холодному стані

Потужність лампи, Вт	25	40	60	100
Опір нитки, Ом	136	102	65	37

Люмінесцентні лампи газорозрядні низького тиску є значно економнішими за ЛР.

Принцип роботи ЛЛ заснований не на принципі теплового випромінювання як ЛР, а на явищі ультрафіолетового випромінювання пари ртуті низького тиску під час протікання через неї електричного розряду під дією високої напруги між вольфрамовими електродами [10].

Люмінофор, який нанесено на внутрішню поверхню скляної колби, перетворює ультрафіолетове – у видиме для ока випромінювання різних кольорів, залежно від його складу. Наприклад, лампи типу ЛБ – випромінюють біле світло, ЛХБ – холодно-біле, ЛТБ – тепло-біле, ЛД – денне світло. Лампи

покращеної передачі кольору мають останню букву маркування Ц. Світлова віддача ЛЛ 44–70 лм/Вт, середній строк служби – до 10–12 тис. год.

Недоліком ЛЛ є наявність пускорегулювальної апаратури для здійснення її запалювання, наявність небезпечної для здоров'я пари ртуті, що вимагає спеціальної їх утилізації, пульсація світлового потоку (35–55%), що викликає стомлення зору та може створити стробоскопічний ефект, коли спотворюється сприйняття деталей, які обертаються з частотою, близькою до цих пульсацій, чутливість до напруги ($\pm 10\%$), низької температури (оптимальна робоча температура 20–25°C), генерування вищих гармонік.

Компактні люмінесцентні лампи все більше застосовуються в побуті, які за своїми характеристиками близькі до лінійних ЛЛ. Перевага їх є в тому, що вони споживають менше електроенергії за тієї ж величині потоку випромінювання, що й ЛР [10].

Скляна трубка-колба наповнена сумішшю інертного газу та випарів ртуті, а її внутрішня поверхня покрита шаром високостабільного трисмугового люмінофору. Компактний пускорегулювальний апарат вбудований в конструкцію лампи, що робить її зручною в експлуатації.

Наявність нарізного цоколю дозволяє замінити ЛР лампами КЛЛ практично без реконструкції освітлювальної мережі шляхом безпосередньої їх заміни за умови відповідності їх габаритів. Загальні витрати на споживання електроенергії на 80% менші, а термін їх служби у 8 разів (8000 год) довший за ЛР загального призначення (1000 год). При цьому потужність у 5 разів КЛЛ менша за ЛР, при збереженні того ж рівня освітлення (таблиця 3.2).

Таблиця 3.2 – Порівняльні характеристики ламп компактних та розжарювання за умови рівності їх освітлення

Потужність КЛЛ, Вт	5	9	11	15	20	24	30	40	48
Потужність ЛР, Вт	25	40	60	75	100	120	150	200	240

Вони випромінюють рівне світлення без мерехтіння, відносно стійкі до коливань напруги, зберігають протягом року рівень світлового потоку при високому рівні кольоропередавання.

Коефіцієнт кольоропередавання характеризує природність освітлення лампи відносно еталонного світла, що приймається за максимальне значення $R_a = 100$, за якого всі кольори виглядають максимально природно. КЛЛ можуть використовуватися в житлових приміщеннях в якості загального освітлення – у стельових (люстрах), місцевого освітлення – у настінних (плафонах), настільних та світильниках (торшерах), що встановлюються на підлозі.

Недоліками КЛЛ є те, що вони значно дорожчі за ЛР, але завдяки економії електроенергії та довшого строку служби вони виправдовують себе тим скоріше, чим триваліше й частіше вони працюють. Також як і ЛЛ, ці лампи генерують в електричну мережу вищі гармоніки.

Оскільки нормована зорова комфортність освітлення КЛЛ вища за ЛР, то це вимагає для КЛЛ вищої цієї межі освітлення. Повної яскравості КЛЛ набуває не миттєво, а за декілька хвилин.

Присутність у цих лампах шкідливих для здоров'я речовин (пари ртуті) примушує, у разі виходу з ладу або після закінчення строку експлуатації, утилізувати їх у спеціалізованих підприємствах, оскільки присутність розбитих таких ламп навіть у під'їзді підвищує концентрацію шкідливих речовин.

При виборі КЛЛ за потрібної якості світла, необхідно керуватися тим, що маркування цих ламп у межах 2700–3300K випромінюють тепло-біле м'яке світло наближене до ЛР, які використовують у житлових приміщеннях, а у межах 3300–5000K випромінюють холодне нейтрально-біле світло, які використовують у офісних та адміністративних приміщеннях.

Строк служби ЛР скорочується в 4 рази за напруги $1,1U_{\text{ном}}$, при цьому за напругою $0,9U_{\text{ном}}$ – світловий потік ЛР зменшується на 40%, ЛЛ – на 15%. Однак, за напругою менше $0,9U_{\text{ном}}$ – ЛЛ починають нестійко працювати і за $0,8U_{\text{ном}}$ не запалюються.

Динаміку пускових струмів КЛЛ, які тривають у межах 0,5–1 мс, наведено на рисунку 3.2 [10].

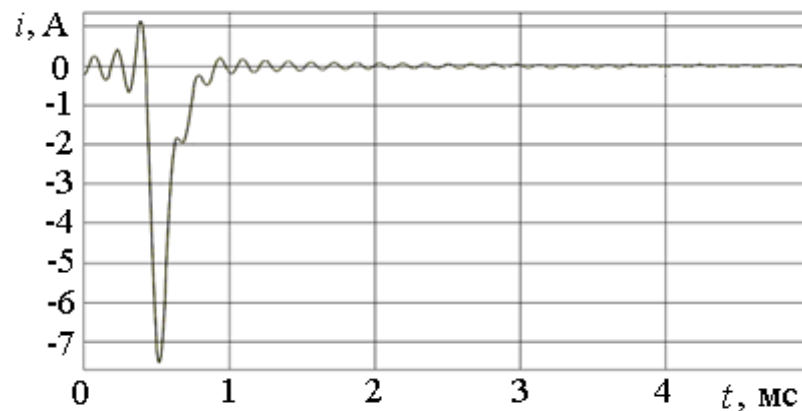


Рисунок 3.2 – Осцилограма пускового струму КЛЛ потужністю 20 Вт

Широке запровадження КЛЛ вимагає врахування нелінійності їхніх характеристик (рисунок 3.3), яка викликає ряд суттєвих негативних явищ в електричних мережах таких як гармоніки, що додатково, відносно до основної гармоніки 50 Гц, нагріває струмовідні частини, збільшуючи цим самим розрахунковий струм та зменшуючи термін служби ізоляції проводів, кабелів, електричних двигунів, силових трансформаторів інших ЕП.

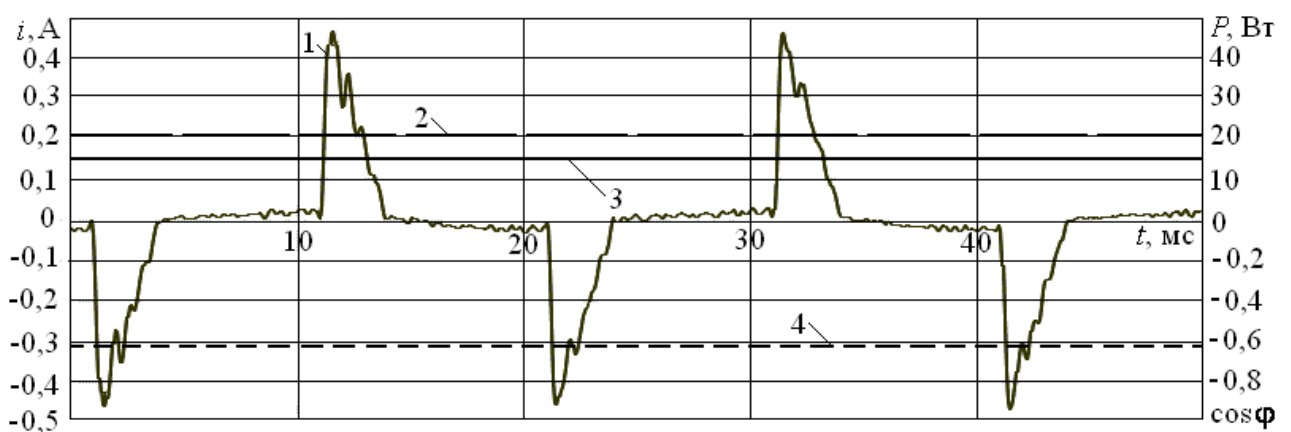


Рисунок 3.3 – Динаміка струму (1) та параметрів КЛЛ потужністю 20 Вт в усталеному режимі роботи: 2 – величини активної потужності; 3 – істинного RMS-струму; 4 – значень $\cos\varphi$

У разі, якщо кількість нелінійних ЕП за потужністю перевищує значення 25 % від підсумкової потужності об'єкта, то можливе перегрівання нульових робочих проводів та прискорений знос ізоляції через наявність вищих гармонічних складових струму в електричних мережах, які потрібно враховувати при виборі їхнього перерізу.

Гармоніки можуть викликати помилкове показання вимірювальних приладів, які пристосовані до вимірювання синусоїдних струмів, при цьому значення похибок може сягати до 40% від реальної величини.

Очевидно, що слід урахувати зазначене при розробленні схем електропостачання освітлювальних газорозрядних приладів, кондиціонерів, мікрохвильових печей, електронних приладів та інших, які спотворюють синусоїду струму, напруги.

Світлодіоди (СВД) є перспективними до застосування, це напівпровідникові прилади, в яких кристал із *p-n* переходом випромінює світло при протіканні через нього електричного струму. СВД лампи, що складаються із окремих світло діодів, кількість яких залежить від потужності лампи, близькі за своїми електричними й світловими характеристиками до КЛЛ, але вони виграють за екологічних показників, оскільки утилізація КЛЛ ускладнюється через присутність токсичних речовин.

Однак і СВД лампи мають негативну екологічну складову через наявність алюмінієвого радіатора-охолоджувача, виробництво якого пов'язане із шкідливими викидами (сірчаної кислоти) у довкілля. Разом із тим вважається, що у найближчий час масивність радіаторів вдасться зменшити удосконаленням їхньої конструкції.

Потужність, що споживається такою лампою, у 5 разів менша за КЛЛ та у 7–10 разів за ЛР за тієї ж величині світлового потоку.

Наприклад, СВД лампа Navigator серії NLL тепло-білого кольору з грушоподібною, матовою колбою призначена для загального та місцевого освітлення приміщень.

У лампі застосовані планарні світлодіоди фірми Samsung ефективністю 75–80 лм/Вт для ламп теплого кольору та 80–85 лм/Вт холодного свічення за кольоропередачі на рівні $R_a > 82$.

Застосування циліндричного охолоджувального радіатора із збільшеною площею розсіювання сприяє пониженню температури всередині лампи та подовженню строку служби лампи. Спеціальна конструкція лампи забезпечує кут розсіювання світла 270° .

Строк служби світлодіодних ламп становить 25000–50000 год і більше. Світлова віддача сучасних світлодіодів значно перевищує параметри світлової ефективності ЛР та знаходиться на рівні КЛЛ.

У СВД-світильниках відносно високий індекс кольоропередачі, відсутні шкідливі речовини, сторонні шуми, висока механічна стійкість, високий коефіцієнт використання світлового потоку, мінімальні ультрафіолетове та інфрачервоне випромінювання, швидке ввімкнення, сприятлива кольорова температура, стійкість до коливань напруги (від 100 до 280 В), широкий температурний діапазон роботи (від -40°C до $+50^\circ\text{C}$). Через значно нижчу потужність освітлювальних СВД приладів за інші джерела світла, їх пускові струми несуттєві як, наприклад, у світильника LV-IL-30-600, що містить у своєму корпусі 30 світлодіодів (рисунок 3.4) [10].

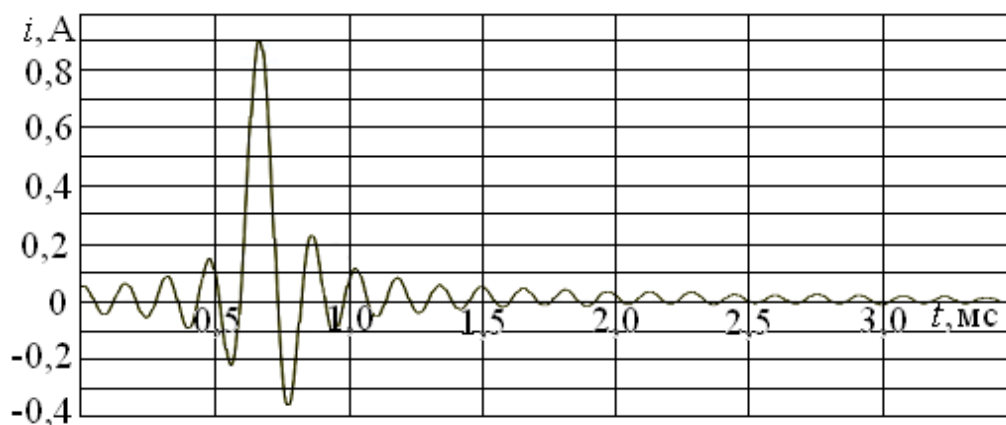


Рисунок 3.4 – Осцилограма пускового струму СВД потужністю 30 Вт

У нормальному режимі роботи його коефіцієнт потужності ємнісний і становить близько $\cos\varphi = -0,97$, струм – близько 0,146 А.

Разом із тим, значною перешкодою до масового застосування є їх висока вартість. Звичайно, термін повернення витрат на їх запровадження залежить від тривалості роботи СВД ламп протягом доби, року.

Період запалення СВД світильника відбувається за відносно короткий час (рисунок 3.5).

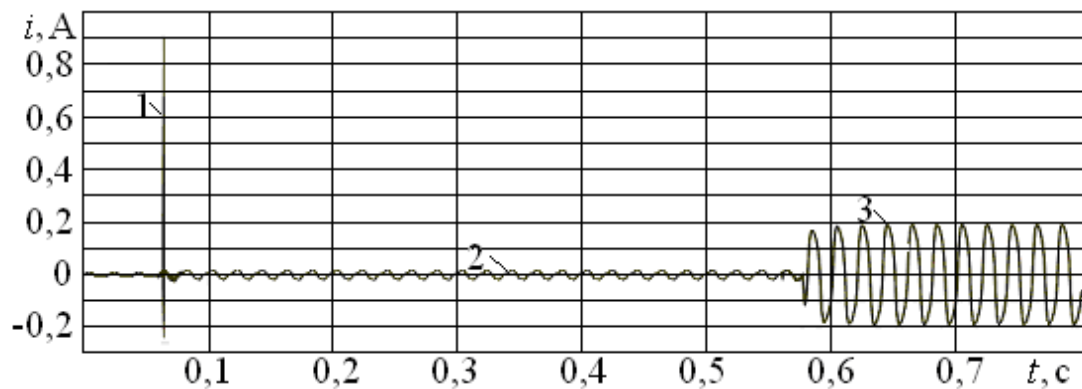


Рисунок 3.5 – Осцилограма струму пускового (1), запалення (2) та горіння (3) світлодіодної лампи потужністю 30 Вт

Загальне штучне освітлення приміщень рекомендується виконувати газорозрядними лампами зі світловою віддачею не менш, ніж 85 лм/Вт. При цьому його питома встановлена потужність не повинна перевищувати максимально допустимих величин із урахуванням потужності ПРА [10, 49].

Індекс приміщення, розраховуючи його електричне освітлення, визначається так:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot A + B}, \quad (3.42)$$

де A , B – ширина, довжина приміщення;

h – висота підвішування джерела світла.

Для попередніх розрахунків електричної активної потужності джерел світла за індексом приміщення може визначатися за формулою

$$P_{\text{уст}} = p_{\text{пит}} S, \quad (3.43)$$

де $p_{\text{пит}}$ – питома встановлена електрична потужність, Вт/м², яка визначається за [10];

S – площа приміщення, м².

3.3 Експериментальне дослідження і моделювання електричного навантаження побутових електроприладів

3.3.1 Експериментальне дослідження і моделювання електричного навантаження приладів нагрівання та охолодження

Кондиціонери сучасної конструкції дозволяють не тільки охолоджувати, але і нагрівати повітря приміщення за рахунок властивості робочого рідинного тіла, поглинати тепло під час його випаровування та віддавати тепло в навколишнє середовища під час переходу його із газоподібного – знову в рідинний стан. Тобто, кондиціонер у режимі охолодження здійснює перенесення тепла із приміщення, в якому знаходиться випаровувач із холодоагентом (фреоном) у вигляді пари, поза його межі, де він переходить у рідинний стан в радіаторі зовнішнього блока – в конденсаторі (рисунок 3.6) [10].

У режимі опалення здійснюється перенесення тепла у зворотному порядку, тобто із середовища з нижчою температурою за його межами – в приміщення. У такому разі чотириходовий клапан ТРВ запускає потік фреону в зворотному напрямку, тобто, умовно кажучи, конденсатор і випаровувач «міняються» місцями.

Рух фреону по контуру здійснюється компресором за допомогою електричного двигуна.

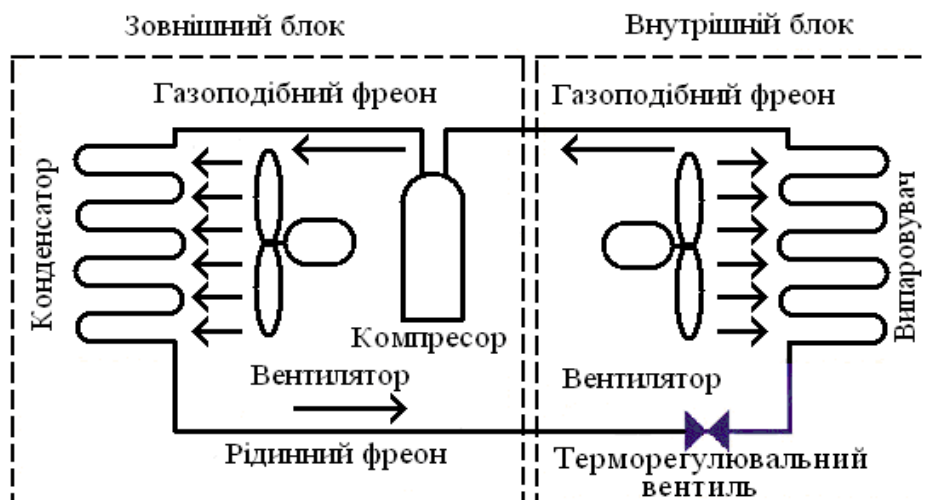


Рисунок 3.6 – Схема роботи кондиціонера в режимі охолодження

Цей процес відбувається і в тому випадку, якщо температура зовнішнього середовища буде нижчою, ніж у приміщенні, оскільки температура випаровувача завжди значно нижча за зовнішнє повітря й він здатний поглинати в себе тепло. При цьому важливим є те, що кількість електроенергії, яка витрачається з електричної мережі на роботу кондиціонера, може бути до 50% меншою за кількість теплової енергії, яка переноситься із зовні у приміщення в режимі опалення, або видаляється з приміщення в режимі охолодження.

Побутові кондиціонери малої та середньої потужності до 7 кВт використовуються для приміщень площею до 80 м². За конструкцією вони поділяються на спліт-системи та моноблокові. Перші – складаються із внутрішнього і зовнішнього блоків, які з'єднуються між собою мідними трубками для холодоагенту та електричним кабелем для забезпечення електроенергією електричного приводу компресора.

Спліт-системи бувають настінного, каналного, касетного, мульти-спліт-системи. Найбільш поширений настінний кондиціонер, внутрішній блок якого розташовують у верхній частині приміщення близько вікна, зовнішній – під вікном зовні приміщення. Потужність цих систем становить від 2 до 10 кВт і призначені для приміщень від 15 до 100 м².

Внутрішній блок каналного кондиціонера разом із теплоізованими повітропроводами встановлюється за підвісною стелею і розподілення охолодженого повітря може здійснюватися одночасно по декількох кімнатах.

Типова потужність таких кондиціонерів становить 5–25 кВт, що достатньо для 4–5-кімнатної квартири або котеджу.

Внутрішній блок касетної спліт-системи вмонтовується в підвісну стелю таким чином, що його нижня частина розміром стандартних плиток 600 (1200)×600 мм² закривається декоративною решіткою з розподільними жалюзі та рівномірно розподіляє повітряні потоки по чотирьох напрямках приміщення. Такий кондиціонер заміняє собою 2–3 кондиціонери меншої потужності кожний, що становить економічно доцільним для об'ємних приміщень.

Мульти-спліт-системи характерні тим, що до одного зовнішнього блоку приєднуються декілька (2–5) внутрішніх блоків. Недоліком їх є те, що у разі виходу з ладу зовнішнього блоку, перестають функціонувати всі внутрішні блоки, тому вони застосовуються за архітектурних міркувань.

Інверторні кондиціонери містять частотно-керований двигун компресора, в якому відбувається перетворення змінного струму живильної мережі (0,38/0,22 кВ) в постійний, а потім у змінний за економічно доцільної частоти та напруги, залежно від режиму охолодження-нагрівання повітря приміщення.

Суттєвим недоліком таких кондиціонерів є генерування вищих гармонік, які негативно впливають на елементи СЕП, ЕП [10].

Під час досягнення встановленої температури повітря в приміщенні, вони працюють із підвищеною потужністю порівняно зі звичайними більш дешевшими кондиціонерами, але при її досягненні не зупиняються як звичайні, а працюють постійно за зниженою потужністю, підтримуючи температуру повітря у межах $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, що, у кінцевому рахунку, приводить до прискорення (близько 15%) часу досягнення встановленої температури та заощадження від 15 до 50% електроенергії за звичайного кондиціонера за тієї ж продуктивності. Важливим є правильний вибір потужності кондиціонера, оскільки її за-

ниження призведе до того, що він не забезпечить підтримку заданої температури в приміщенні навіть працюючи на знос, а надмірна потужність примусить часто вмикатися і вимикатися, що скорочуватиме його строк служби через підвищений знос деталей.

Ураховуючи тривалий досвід експлуатації поширених у побуті кондиціонерів, виробниками рекомендується дотримуватись таких правил при їх виборі:

- на кожні 8–10 м² приміщення орієнтовно потрібно 1 кВт потужності холодовиробництва кондиціонером;

- потужність кондиціонера підвищується на 20–30%, якщо в приміщення попадають прямі промені сонця не менше половини світлового періоду доби;

- додається до вибраної за попереднім розрахунком потужності в середньому по 300 Вт на кожний комп'ютер, або аналогічний за тепловою дією електроприлад, який працює достатньо тривалий час;

- на підвищення потужності кондиціонера впливає надлишок тепла від постійної присутності в приміщенні людей, з розрахунку 0,1 кВт на кожну особу;

- ураховуються інші чинники, що пов'язані з додатковим підвищенням температури повітря, такі, як необхідність частого відкривання входних дверей у приміщення, конструкція, матеріал, теплопровідність стін, стелі та інших особливостей.

Потужність кондиціонера за продуктивністю охолодженого повітря може вимірюватися в одиницях BTU. При цьому 1 BTU = 0,2931 Вт, або 1 Вт дорівнює 3,412 BTU.

Стандартний ряд потужностей кондиціонерів становить 7000, 9000, 12000, 18000, 24000 BTU.

Динаміку миттєвих значень активної потужності кондиціонера типу Sensei ECO-i FTE-23MR за період роботи протягом однієї години за режимом

опалення площею 16 м² із підтримуванням температури в приміщенні 25°C, початкової 21°C, зовнішньої 8°C, наведено на рисунку 3.7.

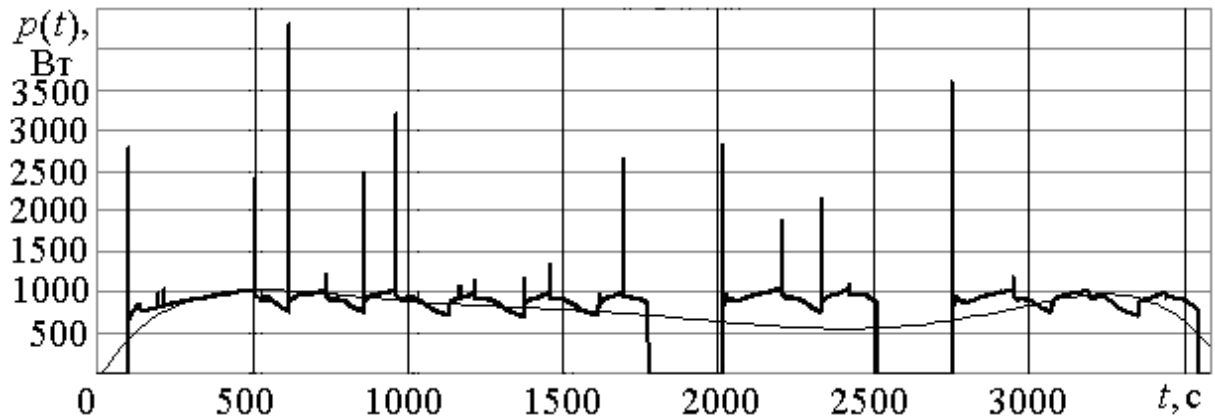


Рисунок 3.7 – Динаміка активної потужності кондиціонера типу Sensei ECO-i FTE-23MR

Під час роботи кондиціонера типу Sensei ECO-i FTE-23MR відбувається суттєве спотворення синусоїдності електричного струму від 22,8 до 26%.

Спотворення за напругою живлення становить близько 3,5% [10].

Споживання активної електроенергії кондиціонером за час T визначається так:

$$W_{\text{а.контд}} = \int_0^T p(t) dt. \quad (3.44)$$

Рівняння лінії тренда активного навантаження кондиціонера

$$p(t) = -1E - 16t^6 + 1E - 12t^5 - 6E - 0,9t^4 + 1E - 0,5t^3 - 0,0122t^2 + 6,0767t - 79,914, \quad (3.45)$$

де $p(t)$ – миттєва активна потужність, яка споживається кондиціонером у режимі опалення.

Кількість електроенергії, яка споживається кондиціонером у режимі опалення за графіком, наведеному на рисунку 3.15, протягом 1-ї години визначається за формулою

$$W_{a.k} = \int_0^{3600} p(t)dt = 0,754 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Суттєве спотворення синусоїдності напруги, струму призводить до загрози виникнення коротких замикань внаслідок можливого пробоя ізоляції кабелів, конденсаторів, електричних машин тощо. При цьому зростають втрати в елементах СЕП, виникає недооблік електроенергії через гальмівний момент на диску індукційного лічильника від гармонік оберненої послідовності, можливий вихід із ладу електронних приладів тощо.

Функцію, яка описує несинусоїдну криву, можна розкласти в ряд Фур'є синусоїдних гармонійних складових із частотою, які в n разів перевищують частоту 50 Гц в електричній мережі, наприклад, частоту першої гармоніки $f_{n=1} = 50 \text{ Гц}$, другої – $f_{n=2} = 100 \text{ Гц}$ і т. д. За різної особливості генерації, розповсюдження по мережам, своєї дії на електроустаткування гармоніки поділяють на парні та непарні, складові прямої послідовності (1, 4, 7 і т. д.), зворотної послідовності (2, 5, 8 і т. д.), гармоніки нульової послідовності. Із підвищенням частоти амплітуда гармонік та їхня дія змінюється, тому нормативними документами передбачається оцінювання всього ряду гармонійних складових від 2 до 40-ї включно.

Основними заходами щодо зменшення дії несинусоїдності струму і напруги в СЕП кондиціонерів є такі:

- живлення кондиціонерів від окремих трансформаторів або секцій;
- застосування перетворювачів із високою пульсністю;
- приєднання до потужних джерел живлення;
- застосування фільтрокомпенсувальних пристроїв.

Пральні машини, які виробляються багатьма фірмами, є одними з найбільш потужних побутових електроприладів, що призначені для автоматизованого прання та сушіння речей. Їхні основні технічні характеристики надаються виробниками в мережі Інтернет [10].

Сучасні пральні машини сприяють економному використанню води, електроенергії, часу на прання. Із 2011 р. введено обов'язкове маркування, за яким кожному побутовому приладу присвоюється 7 класів енергетичної ефективності за рівнем електроспоживання, які позначаються літерами A, B, C, D, E, F, G.

На прання 1 кг білизни пральні машини класу A споживають близько 0,19 кВт·год, класу B – 0,23, C – від 0,23 до 0,27 кВт·год. Якщо машиною споживається ще менше електроенергії, то застосовуються відповідні позначення A^+ , A^{++} тощо, при цьому пральні машини класу A^{++} споживають до 30 кВт·год/рік, класу A^+ від 30 до 42 кВт·год/рік, класу A – від 42 до 55 кВт·год/рік.

Пральні машини бувають неавтоматичні, напівавтоматичні, автоматичні. Основні технічні дані автоматичної пральної машини Electrolux наведено в [10]. Під час ввімкнення автоматичної пральної машини в електричну мережу вода з водопровідної мережі попадає в ємність машини та починає нагріватись електричним тепловим елементом до запрограмованої для прання температури.

Після цього, відбувається прання речей у пральному барабані за періодичним його обертанням приводним електричним двигуном та, через запрограмований час за рахунок високошвидкісного обертання, віджимає їх і потім електронасосом видаляє воду зовні.

Кожна з цих операцій зумовлює споживання певної величини електричної потужності та кількості електроенергії за цикл прання, які наведено на рисунку 3.8.

Коефіцієнт спотворення за струмом становить близько 20%, за напругою – близько 5% з урахуванням фонового у 2%. Усереднений за цикл прання

$\cos\varphi$ близький до 0,997, оскільки він утворюється за рахунок потужного теплого електронагрівального елемента.

Холодильники-морозильники побутові, як основні електроприлади у побуті, бувають компресійні, абсорбційні, напівпровідникові.

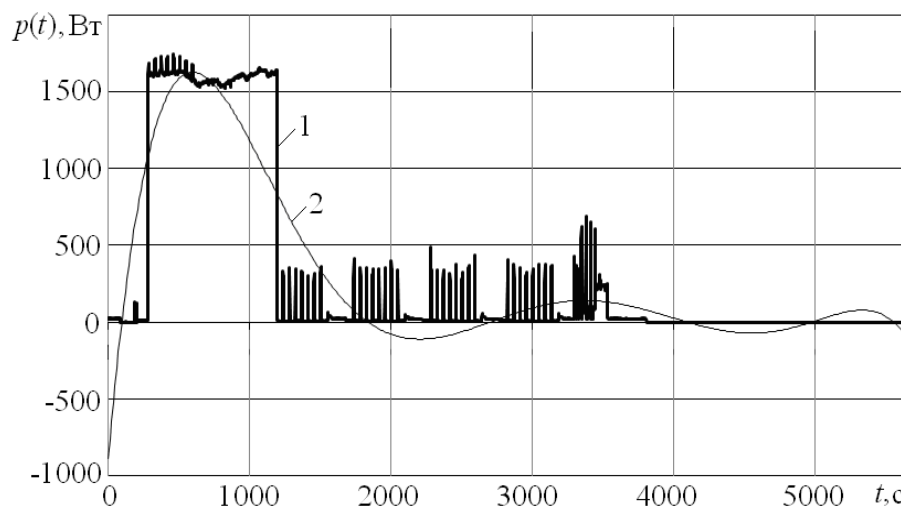


Рисунок 3.8 – Динаміка активного навантаження (1) пральної машини Electrolux та його лінії тренда (2) за цикл прання

Наприклад, дводверний холодильник-морозильник ARC 4020 фірми Whirlpool містить дві камери, систему Total No Frost, яка перешкоджає утворенню ожеледі в морозильній та холодильній камерах через їх обдування повітрям задля зниження вологості, автоматичне регулювання температури, розморожування, вентиляції.

Принцип роботи холодильного агрегату полягає в тому, що під час запуску компресор (8) всмоктує пари холодоагенту (фреону) через всмоктувальну трубку (6) та нагнітає його в конденсатор (3), де він під тиском перетворюється із пари в рідинний стан та, нагріваючись при цьому, віддає тепло зовні через охолоджувальні ребра конденсатора закріпленого на задній стінці корпусу холодильника (рисунок 3.9).

Рухаючись через фільтр-осушувач (5) та капілярну трубку (4) холодоагент попадає у випарники холодильної і морозильної камер, в яких перетво-

рюється на пару, поглинаючи тепло із цих камер, оскільки розширившись в об'ємі, температура його різко знижується до мінус 30–40°C. Пройшовши через випарники, пара знову попадає в компресор і процес повторюється.

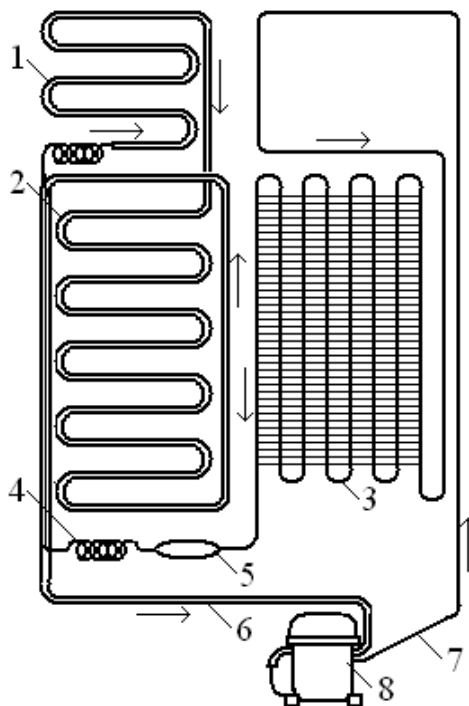


Рисунок 3.9 – Спрощена схема роботи холодильного агрегату та його

основні елементи: 1 – випарник морозильної камери;

2 – випарник холодильної камери; 3 – конденсатор; 4 – капілярна трубка;

5 – фільтр-осушувач; 6 – всмоктувальна трубка; 7 – нагнітальна трубка;

8 – герметичний компресор із холодоагентом і асинхронним двигуном

Електродвигуни для приводу герметичних компресорів та роботи в середовищі холодоагенту й масла застосовуються однофазні асинхронні з короткозамкненим ротором.

Динаміку усередненого електричного навантаження за цикл роботи компресійного трикамерного (холодильної, морозильної, висувної) з періодичним вентиляванням повітря холодильника ARC 4020 фірми Whirlpool наведено на рисунку 3.10.

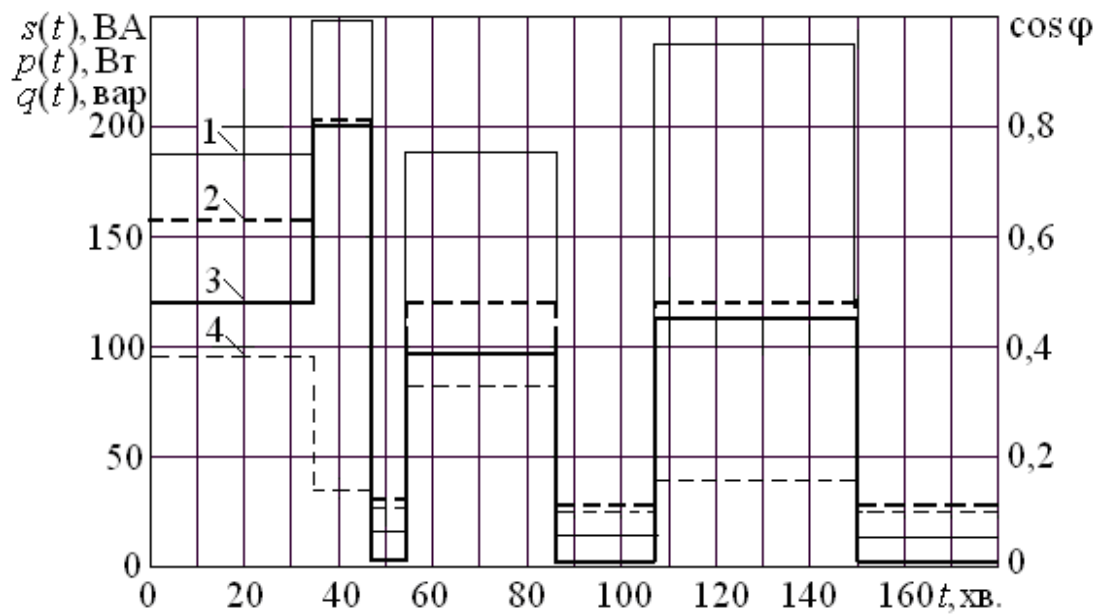


Рисунок 3.10 – Динаміка усереднених параметрів за цикл роботи холодильника: 1 – коефіцієнта потужності; 2 – повної потужності; 3 – активної потужності; 4 – реактивної потужності

Динаміка електричного навантаження холодильника за 5 год роботи у денний час, наведено на рисунку 3.11.

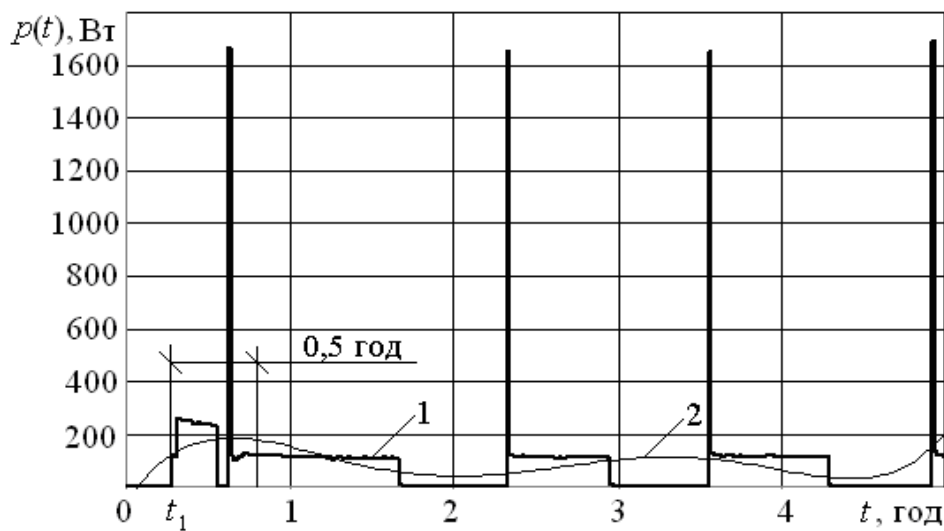


Рисунок 3.11 –Динаміки активної потужності за певний цикл роботи холодильника ARC 4020 фірми Whirlpool: 1 – активної потужності; 2 – лінія тренда

Отримана кількість споживаної активної електроенергії холодильника не враховує сезонне коливання температури навколишнього середовища, інтенсивність відкривання дверей, вагу та теплоємність продуктів, рівень підтримування температури в камерах та інші умови.

За світовими та європейськими стандартами річна витрата електроенергії для холодильників різної конструкції надається у настановах до їх експлуатації, яка може використовуватись у прогнозних розрахунках щодо річного електроспоживання.

Посудомийні машини набули широкого застосування у побуті, оскільки за багатьма функціями у автоматичному режимі здійснюють миття, ополіскування та сушіння посуду. Цей процес відбувається у такому порядку: холодна вода з водопровідної мережі подається в ємність посудомийки, в якій вона нагрівається за допомогою теплового нагрівального елемента до запрограмованої температури.

Суміш нагрітої води з миючим розчином через дозатор під тиском тонкими обертальними струминками подається на забруднений посуд. Після цього, посуд ополіскується чистою водою та висушується.

Динаміку електричного навантаження та його лінії тренда посудомийної машини наведено на рисунку 3.12 [10].

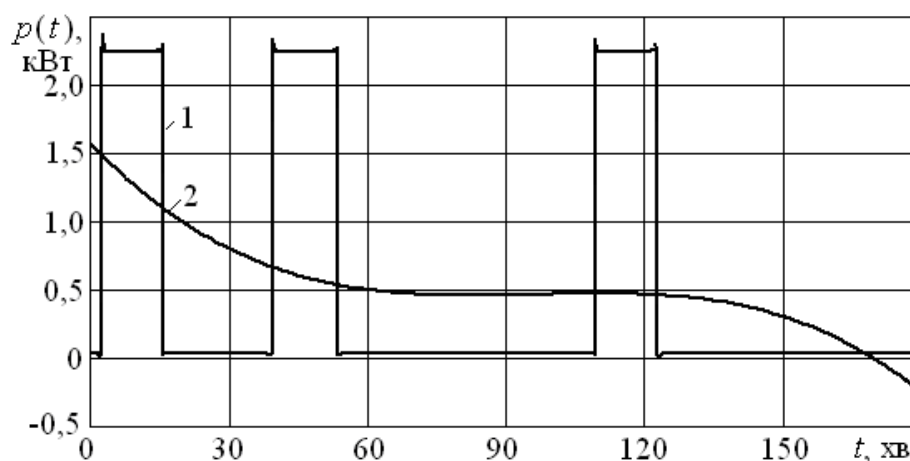


Рисунок 3.12 – Динаміка параметрів посудомийної машини протягом циклу:

1 – електричного навантаження; 2 – лінії тренда навантаження

Стандартний об'єм одного завантаження (60×60×85 см) розрахований на 10–14 комплектів посуду, що достатньо для сім'ї з 4–5 осіб.

Розрахункове електричне навантаження посудомийної машини протягом циклу визначається за формулою

$$P_{p.пос} = 2 \int_0^{30} p(t)dt \rightarrow \text{макс.} \quad (3.46)$$

Посудомийки вузького об'єму одного завантаження (45×60×85 см) розраховані на 6–8 комплектів посуду, що застосовуються для невеликих кухонь, та компактні (45×55×45 см) – на 4 комплекти посуду, що можуть застосовуватися у малогабаритних квартирах, дач із установленням їх на столі або в навісній шафі.

Економічність машини визначається витратою води та електроенергії: високоекономічні (класу А, В, С) до 14–16 л води за цикл миття, середньоекономічні (класу D, E), низькоекономічні (класу F, G) до 26 л.

Водонагрівачі (бойлери) електричні побутові накопичувальні призначені для нагрівання та автоматичного підтримування заданої температури води, яка надходить із систем водопостачання в його ємність. Водонагрівач складається із сталевих внутрішнього і зовнішнього баків, між якими закладається поліуретанова теплоізоляція, що дозволяє знизити швидкість охолодження нагрітої (70–75°C) в ньому води до 0,25–0,5°C на годину. Це дозволяє процес нагрівання води переносити на нічні години, коли тариф на електроенергію дешевший за денний. Вода із водопровідної мережі нагрівається в баку трубчастим електричним нагрівачем (ТЕН) та за допомогою терморегулятора її температура постійно підтримується шляхом періодичного ввімкнення нагрівача, якщо вона знижується нижче за встановлену величину.

Магнієвий анод захищає внутрішню поверхню бака від корозії та запобігає виникненню накипу на електричному нагрівачеві. Під час відкриття

крану гарячої води, бак водонагрівача поповнюється знизу холодною водою із водопровідної мережі.

Таким чином, водонагрівач постійно заповнений водою, а гаряча вода з верхніх шарів відбирається споживачем.

Електричне живлення водонагрівача здійснюється через трижильний кабель із мідними жилами (фаза, нуль, заземлення) перетином $1,5 \text{ мм}^2$ для ТЕН потужністю $1,5 \text{ кВт}$ і $2,5 \text{ мм}^2$ – потужністю до 3 кВт . Приєднання кабелю до щитка електричної мережі виконується через автоматичний вимикач зі струмом миттєвого спрацьовування 10 А для ТЕН потужністю $1,5 \text{ кВт}$ та 16 А – для потужності ТЕН $2\text{--}3 \text{ кВт}$.

Основні технічні характеристики накопичувальних водонагрівачів моделі Thermex PRESTIGE CLASS (P) наведено в [10].

Вибір водонагрівача рекомендується здійснювати за [10].

Графік активного електричного навантаження водонагрівача моделі Thermex PRESTIGE CLASS (P) ємністю 80 л наведено на рисунку 3.13.

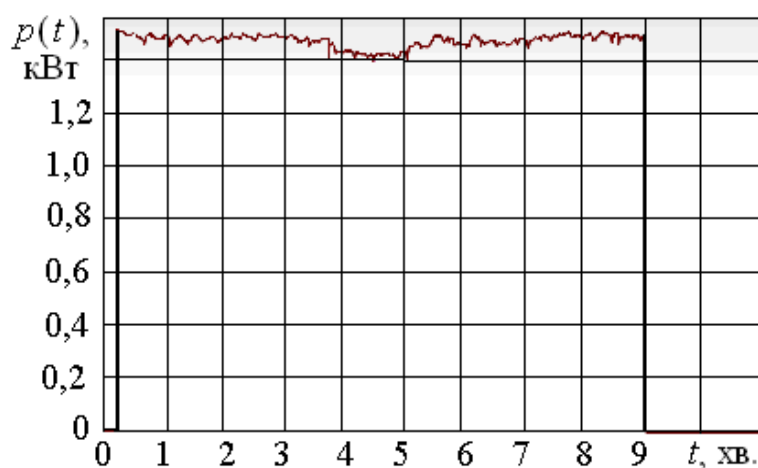


Рисунок 3.13 – Динаміка активного електричного навантаження водонагрівача моделі Thermex PRESTIGE CLASS (P)

За графіком на рисунку 3.13 усереднене значення активної потужності становить $1,47 \text{ кВт}$, значення коефіцієнта потужності $\cos \varphi = 0,998$.

Електричні праски побутові є одними із потужних електроприладів у домашньому господарстві, комунальних підприємств – пральних.

Графік електричного навантаження праски BRAUN Freestyle типу 4675/SI 6560 509 напругою 220 В, потужністю 1900 Вт, ударна пара до 95 г/хв., із подаванням пари до 30 г/хв. та розприскуванням, протягом 8 хв. наведено на рисунку 3.14.

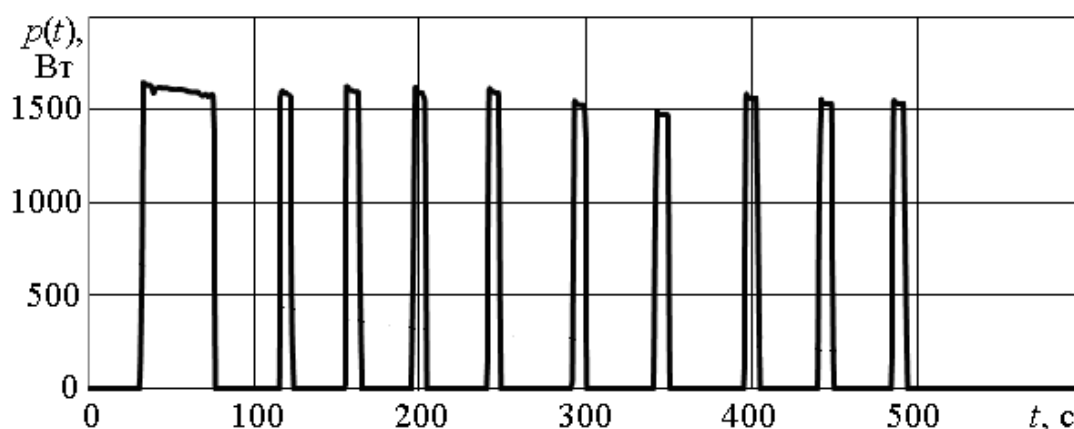


Рисунок 3.14 – Графік навантаження праски BRAUN Freestyle

Рівняння лінії тренда активного навантаження праски має вигляд

$$p(t) = -1E - 0,5t^3 + 0,0118t^2 - 4,2428t + 791,72. \quad (3.47)$$

Електроспоживання праскою за період прасування близько 8 хв. з холодного стану за графіком на рисунку 3.26 становить 0,05 кВт·год.

Електричні чайники TEFAL JUSTINE типу 4054 потужністю 2 кВт, об'ємом 1,7 л містять фільтр із високоміцного нейлону із наддрібними чарунками, пристрій автоматичного вимкнення після закипання води, підняття або відсутності води в ємності, прихований нагрівальний сталевий елемент, фіксовану кришку, індикатор увімкнення.

Під час нагрівання води електричне навантаження чайника практично однакове в часі (рисунок 3.15).

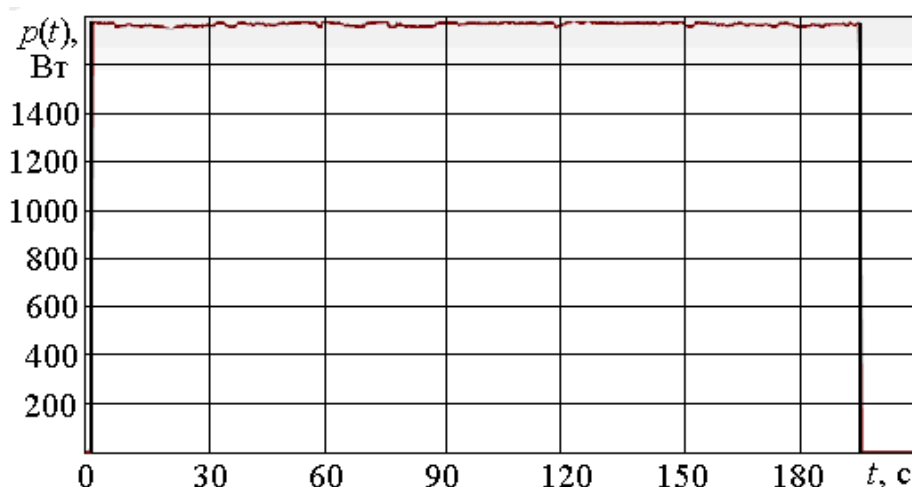


Рисунок 3.15 – Динаміка електричного навантаження чайника
TEFAL JUSTINE типу 4054 під час нагрівання води

Радіатори оливні знайшли широке розповсюдження для обігрівання, як правило, однієї кімнати в разі відсутності інших економічних джерел теплопостачання, або використання їх для доведення кімнатної температури до нормальної в години недостатнього тепла від централізованого джерела.

Ринок пропонує різні за конструкцією та рівнем автоматизації таких обігрівачів. Вони зручні тим, що температура поверхні не перевищує 60°C , безшумні, не спалюють кисень, сприяючи позитивному мікроклімату житла, завдяки автоматикі можуть самостійно працювати декілька діб. Радіатори містять у герметичному корпусі мінеральну оливу, яка нагрівається тепловим елементом і через корпус тепло передається зовні.

Одним із характерних таких обігрівачів є радіатор Delonghi KH 771120. Він складається з 11 секцій, максимальна потужність обігрівання становить 2000 Вт, мінімальна – 600 Вт, розрахований на обігрівання кімнати площею 20 м^2 , є регульовальний кімнатний термостат, за допомогою якого автоматично вмикається ТЕН у разі зниження температури нижче встановленої, захист від перевантаження, світловий індикатор, захист від промерзання приміщення, який здатний підтримувати температуру в кімнаті від 5 до 7°C .

Максимальна потужність радіатора визначає максимальну площу звичайного житла, яку він спроможний обігріти та підтримувати встановлену температуру, орієнтовно з розрахунку 100 Вт/м^2 .

Графік електричного навантаження радіатора, встановленого в приміщенні площею 16 м^2 , який автоматично підтримує температуру 25°C наведено на рисунку 3.16.

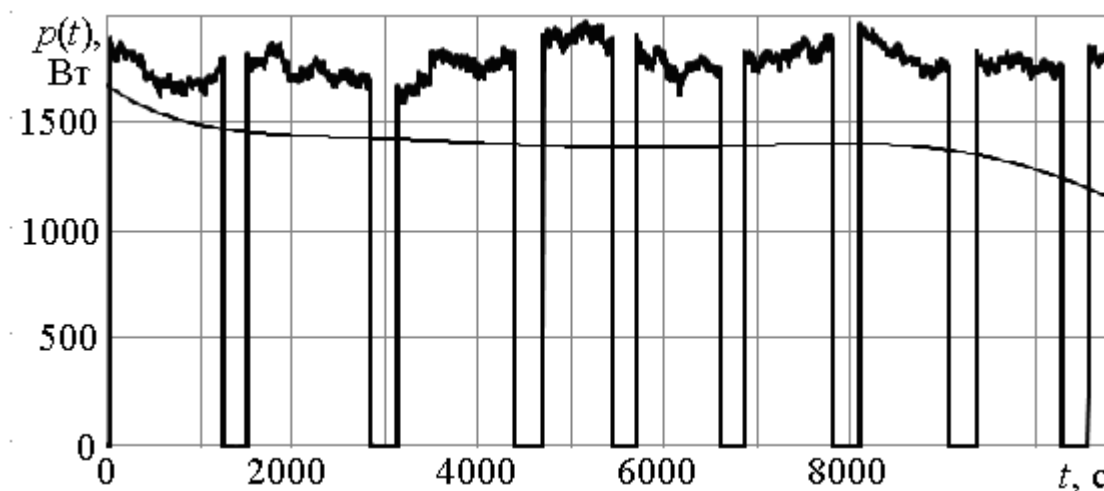


Рисунок 3.16 – Динаміка навантаження радіатора Delonghi KH

Електричний радіатор генерує гармоніки за струмом 3, 5 та 7-ю – 2,5, 1,5 та 0,8% та за напругою – 2,76, 1,73 і 0,5% відповідно.

Рівняння лінії тренда навантаження радіатора за рисунком 3.30 така:

$$p(t) = 10^{-20}t^6 - 5 \cdot 10^{-16}t^5 + 8 \cdot 10^{-12}t^4 - 5 \cdot 10^{-8}t^3 + 0,0002t^2 - 0,3214t + 1678,2. \quad (3.48)$$

Радіатори можуть обладнатися механічним управлінням температурою за допомогою поворотного регулятора, який забезпечує точність регулювання до $\pm 5^\circ\text{C}$. Таймер старту дозволяє налаштувати час ввімкнення / вимкнення радіатора та заздалегідь прогріти температуру повітря в кімнаті до часу приходу мешканців. Управління також може бути дистанційним.

Тепловентилятори моделі S131 містять термостат, за допомогою якого автоматично підтримується запрограмована температура в приміщенні площею 20 м², регулятори управління подавання холодного повітря вентилятором, теплового елемента потужністю 1000 і 2000 Вт відповідно [10].

Під час роботи вентилятор спотворює синусоїдність струму, генеруючи гармоніки 3, 5, 7, 9 до 54, 24, 5, 3% відповідно (рисунок 3.17).

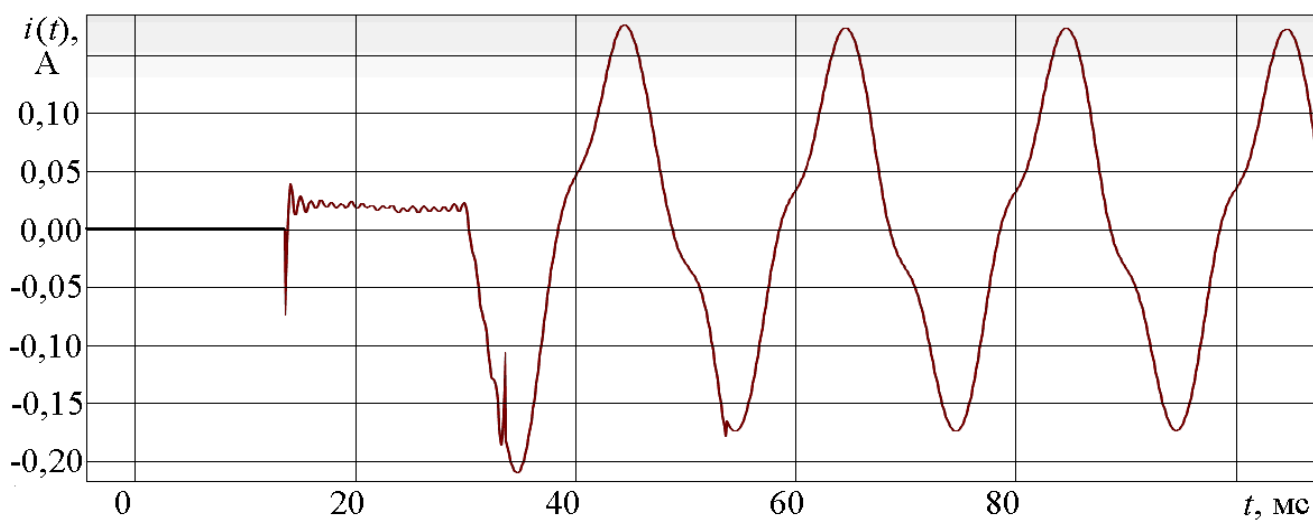


Рисунок 3.17 – Осцилограма пускового струму тепловентилятора

Електричні плити побутові, замість газових і плит на твердому паливі, поліпшують санітарно-гігієнічні умови житла, дозволяють регулювання теплового режиму роботи. Конфорки можуть виготовлятися чавунними з впресованими спіралями із ніхрому в ізоляційній масі. Температура нагрівання 350–450°C. При цьому їхнє ККД становить близько 65%.

Використовуються також трубчасті електричні нагрівальні елементи у вигляді спіралі в щільній ізоляційній масі, з температурою нагрівання 400–600°C, ККД – 75% .

Програмне регулювання потужності, режимів роботи плити дозволяє економити споживання електроенергії до 20%.

Оптимальна потужність стаціонарної плити вважається 7–7,5 кВт.

Середнє річне споживання електроенергії плитою становить близько 1300–1400 кВт·год із розрахунку на сім'ю із 4-х осіб за середньою кількістю роботи біля 1400 год на рік .

Технічні характеристики плит за різними конструкціями, потужністю й рівнями автоматизації інших виробників наводяться в мережі Інтернет.

Електрична плита GORENJE E 52103 AW за енергоефективністю відноситься до класу А. Приєднувальна потужність становить 8,9 кВт. Об'єм духовки – 49 л із дверцею з подвійним склом. Управління – механічне. Варильна поверхня містить 4 конфорки потужністю 2×2 кВт і $2 \times 1,5$ кВт. Духовка містить верхній і нижній нагрівальні елементи, інфранагрівач.

Електричні склокерамічні плити, наприклад GORENJE ET 67554 DX, містять сенсорне управління варильною поверхнею із 4-х конфорок Hi-Light потужністю 2,3 кВт, триконтурною $2 \times 1,2$ кВт і 2 кВт. Духовка multifunkціональна ємністю 64 л, максимальна температура нагрівання 250°C , 9 режимів роботи, кнопки потужності з індикаторами, таймер, електронний програматор із дисплеєм.

Приєднувальна потужність плити – 10 кВт, відноситься до класу А. Практично не впливають електричні плити на синусоїдність струму, напруги.

Мікрохвильові печі різні за конструкцією, автоматизацією, потужністю, знаходять широке застосування у побуті, дані яких можна знайти в мережі Інтернет. Наприклад, мікрохвильова піч Samsung CE287GNR містить електронне управління, таймер із витримкою до 99 хв., автопідігрівання, авторозморожування тощо. Потужність мікрохвильового випромінювача 850 Вт, гриля – 1300 Вт.

У побутових мікрохвильових печах використовують випромінювання магнетроном мікрохвиль частотою 2450 МГц, під дією яких молекули продукту розвертаються навколо своєї осі із подвійною частотою, що супроводжується виділенням тепла, яке поступово нагріває його.

Процес пуску та роботи печі супроводжується спотворенням синусоїдності струму на 3, 5, 7, 9-ї гармоніках до 55, 24, 5,3, 2,8% відповідно.

Осцилограму струму мікрохвильової печі Samsung CE287GNR під час пуску та виходу на робочий режим наведено на рисунку 3.18.

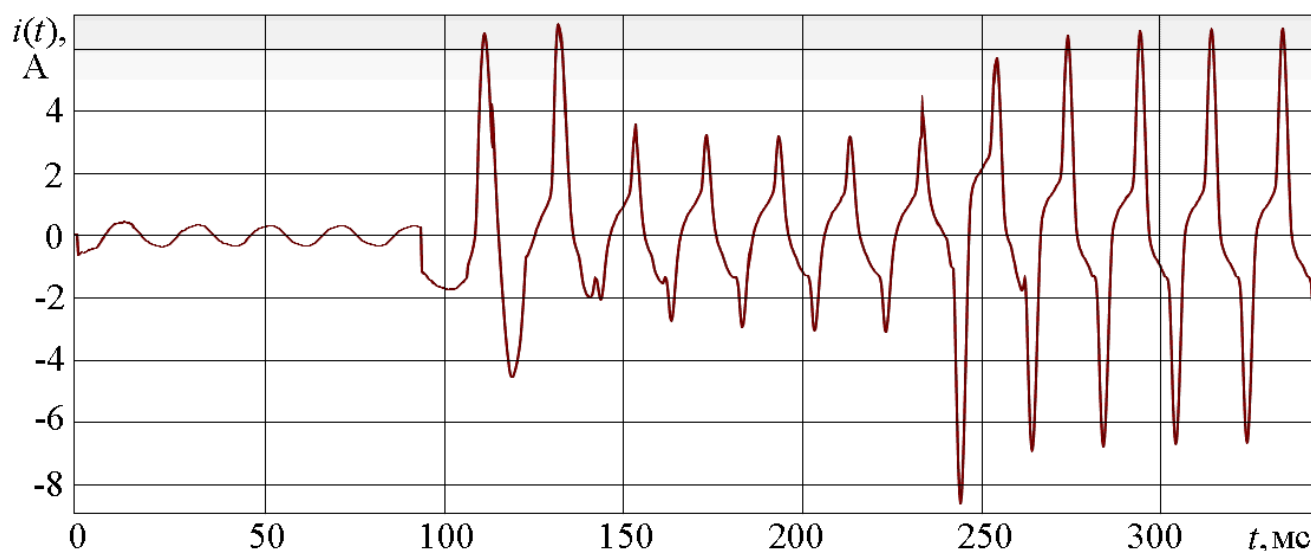


Рисунок 3.18 – Осцилограма струму мікрохвильової печі Samsung CE287GNR під час пуску та виходу на робочий режим

Середнє значення коефіцієнта потужності печі $\cos\varphi = 0,56$.

Нагрівання 0,5 л води з 10°C до кипіння в такій печі відбуватиметься за тривалістю біля 7 хв.

Для безпечного користування такою піччю з надвисокою частотою випромінювання, необхідно ретельно дотримуватися настанови до її використання.

Індукційні плити особливі тим, що розігрівають безпосередньо спеціальний металевий посуд індукованими вихровими струмами під дією високочастотного магнітного поля.

Це не потребує часу для розігрівання конфорки, що робить її більш економічною порівняно з іншими електричними плитами, оскільки тепло зосереджується безпосередньо на посуді і втрати тепла при передачі до нього практично відсутні.

Після зняття посуду плита автоматично вимкнеться, при цьому конфорка завжди залишається прохолодною, що виключає можливість обпектися. Плита містить електронний захист від перегрівання, 10 рівнів регулювання потужності від 0,4 до 3 кВт, таймер, електронний дисплей, безліч програм приготування їжі.

Гідромасажні ванни типу ALBATROS, як одні із потужних побутових електроприймачів, містять електронасос, водозабірник, гідромасажні форсунки та інші елементи

Принцип її роботи полягає у викачуванні електронасосом води із водозабірника, яка через систему шлангів під значним тиском подається до гідромасажних форсунок, де вона змішується з повітрям, утворюючи ефект інтенсивного масажу. У деяких конструкціях передбачається аерокомпресор для утворення режиму «турбо», що підсилює ефект масажу через збільшення об'єму повітря в потоці води.

Живлення до електроприладів ванни рекомендується виконувати за допомогою 2-х гідроізольованих кабелів із мідними жилами перерізом не менше, ніж $3 \times 1,5 \text{ мм}^2$ через окремий диференційний пристрій захисного вимкнення (ПЗВ) встановленого за межами ванної, який спрацює за величини струму витоку $\geq 10 \text{ мА}$.

У розподільному щитку розташовується автоматичний вимикач і запобіжник на 30 А. Двигун захищений подвійним кожухом і додаткового захисту не потребує. Заводська стандартна температура нагрівання води 39°C .

Електроустаткування приєднується до електричної мережі через розетку єврозразка, яка містить контакт захисного заземлення, фази, робочого заземлення – нуля. За світовими стандартами прийнято таке єдине кольорове позначення проводів: червоний, коричневий, білий – фази; блакитний – робоче заземлення (нуль); жовто-зелений – захисне заземлення.

Електроопалення приміщень поділяється на повне, коли все тепло отримується від електричної мережі (як правило, в нічні години), та часткове

(доопалення), яке здійснюється тільки під час недостатнього опалення від централізованої системи (рисунок 3.19).

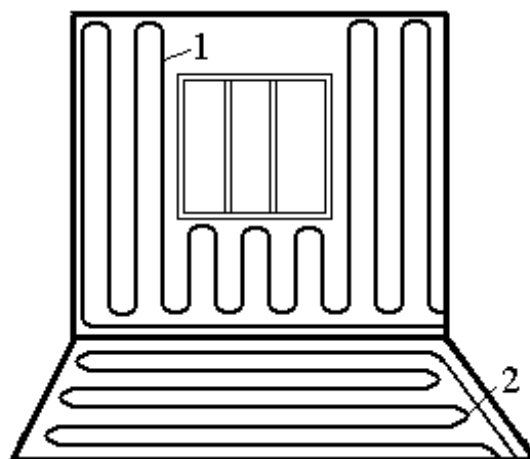


Рисунок 3.19 – Кабельна система теплоаккумулятивного опалення приміщення: 1 – панельна; 2 – підлогова

Повне електроопалення може здійснюватися від електрокотлів або окремими електронагрівальними приладами, які встановлюються в кожному приміщенні. Одним із різновидів таких систем є нагрівальний кабель, питома потужність яких становить 20–25 Вт/м його довжини або 120–150 Вт/м² площі підлоги.

3.3.2 Експериментальне дослідження і моделювання електричного навантаження культурно-побутових електроприладів

Телевізори з плоскопанельними моніторами, в тому числі й з рідинно-кристалічними LCD-моніторами, плазмові, є найбільш перспективними за монітори з електронно-променевими трубками, оскільки вони відрізняються меншим електроспоживанням, вищою якістю зображення, конструктивною компактністю, екологічною безпечністю.

Телевізор SHARP LCD 26" моделі LC26S7E із рідиннокристалічним монітором із діагоналлю 26" розрахований на напругу 220–240 В, частоту струму 50 Гц, потужністю 55 Вт.

Телевізор SAMSUNG CS-21k3Q із плоскою електронно-променевою трубкою із діагоналлю 21", розрахований на номінальну напругу 220–240 В, частоту струму 50 Гц, потужністю 60 Вт.

Динаміку активного електричного навантаження, осцилограму струму та склад гармонік телевізора SAMSUNG CS-21k3Q під час увімкнення та роботи наведено на рисунках 3.20–3.22 [10].

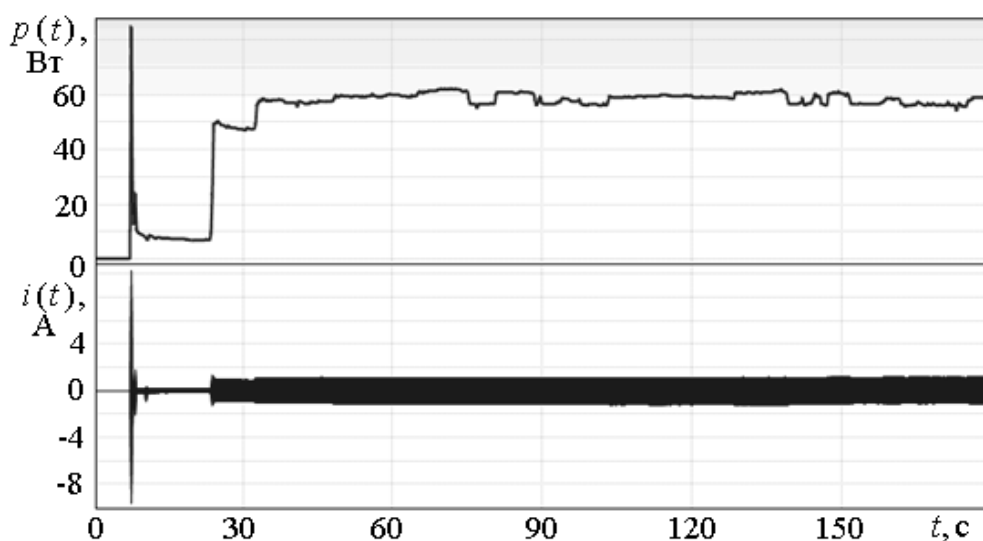


Рисунок 3.20 – Динаміка потужності, струму телевізора SAMSUNG

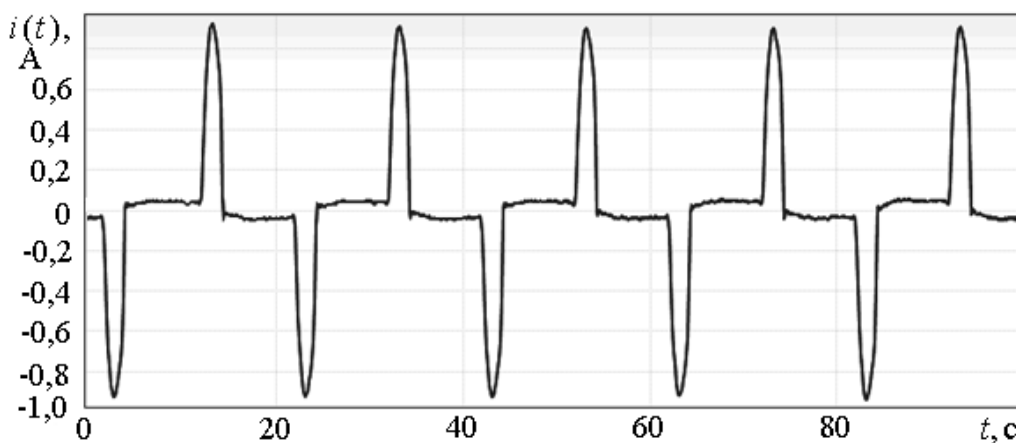


Рисунок 3.21 – Осцилограма струму телевізора SAMSUNG CS-21k3Q

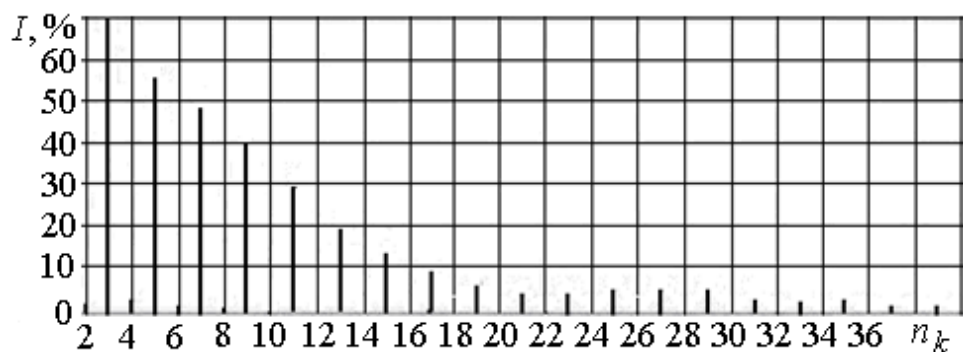


Рисунок 3.22 – Амплітудний спектр за струмом телевізора
SAMSUNG CS-21k3Q

Комп'ютерна побутова техніка знайшла широке застосування в повсякденному житті.

Монітор настільний SAMSUNG SyncMaster 920N із діагоналлю 19" рідиннокристалічний, робоча потужність становить 38 Вт, у сплячому режимі – біля 1 Вт.

Планшетний сканер Mustek Bear Paw Scan Express 1248 UB настільний, формат сканування A4, модель для домашнього користування, динаміка його електричної потужності – на рисунку 3.23.

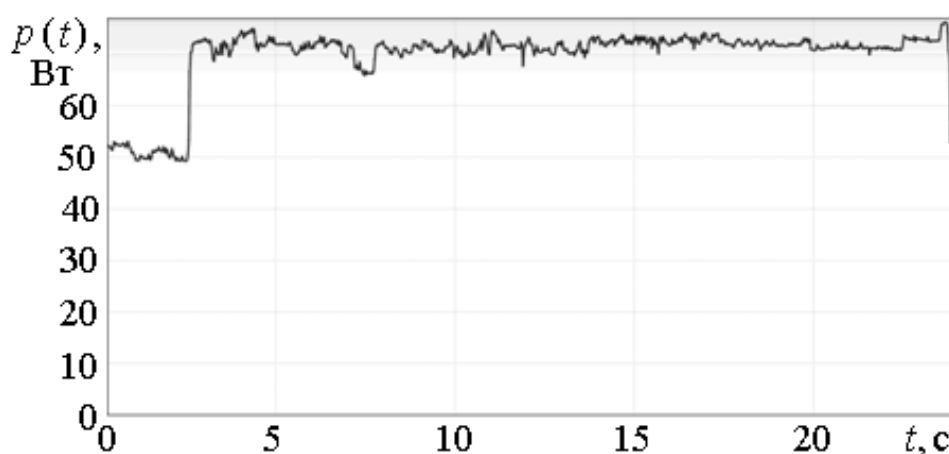


Рисунок 3.23 – Динаміка електричної потужності під час сканування
сканером Mustek Bear Paw Scan Express 1248 UB

Принтер Xerox Phaser 3117 економічний, лазерний, високошвидкісний (до 16 с. / хв. формату А4), час розігрівання після вмикання до 30 с та виходу першого аркуша за 10 с.

Динаміку потужності, спектр амплітуд гармонічних складових струму принтера Xerox Phaser 3117 наведено на рисунках 3.24, 3.25.

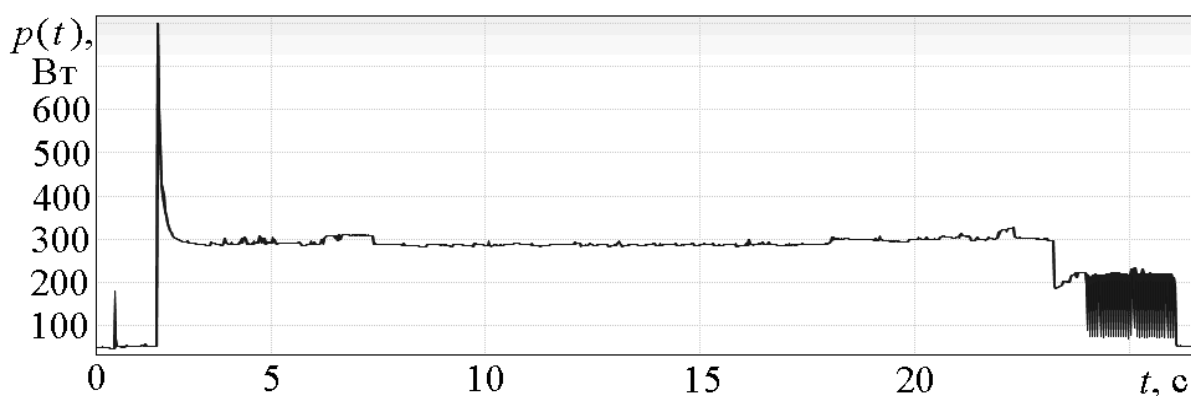


Рисунок 3.24 – Динаміка потужності принтера XEROX Phaser 3117 під час увімкнення та початку друкування аркуша на 23-й с

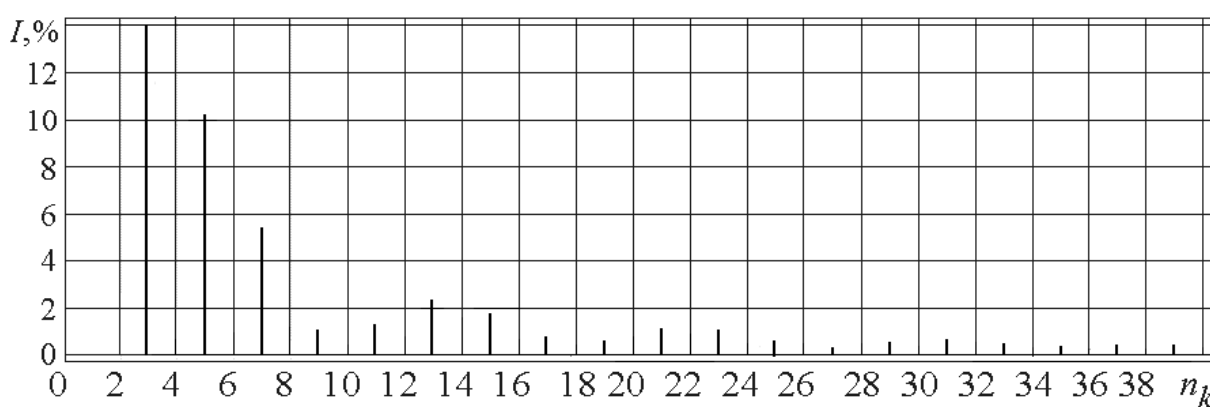


Рисунок 3.25 – Спектр амплітуд гармонік струму принтера під час роботи

Пускові струми ПК із монітором SAMSUNG SyncMaster 920N можуть досягати значної величини відносно номінального, але тривалість його у межах 3–5 мс (рисунок 3.26).

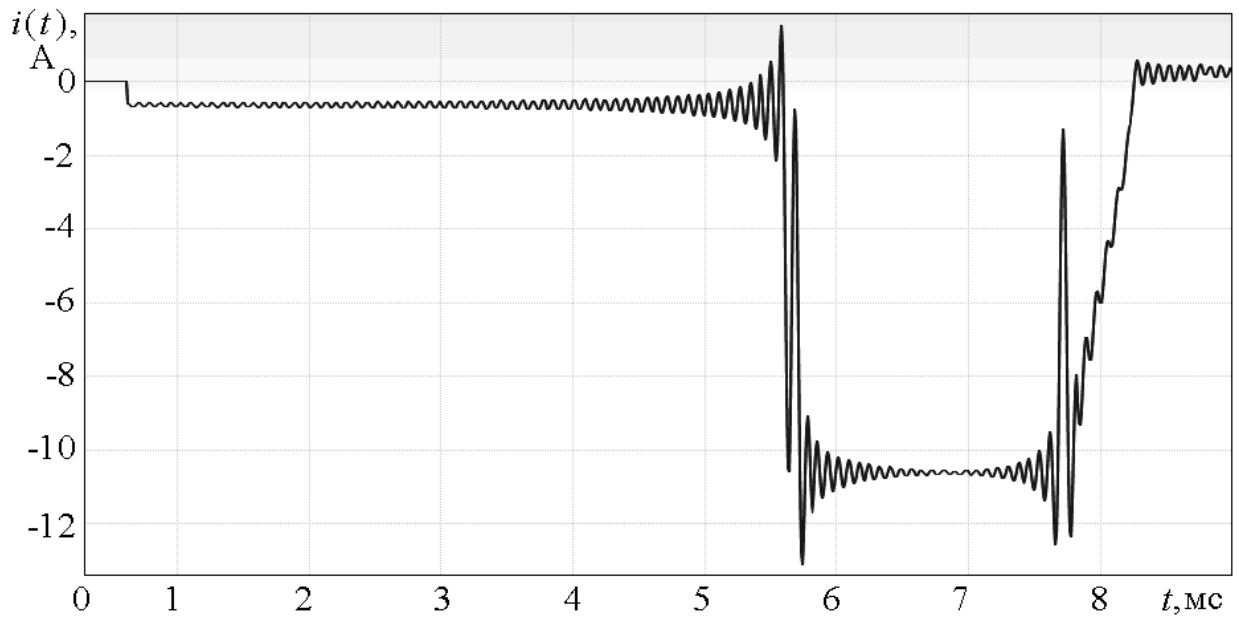


Рисунок 3.26 – Осцилограма пускового струму настільного ПК

Під час роботи ПК відбувається спотворення синусоїдності за струмом та напругою, що викликає генерування гармонік, які негативно впливають на строк служби ізоляції ліній, електроприймачів та викликає додаткове нагрівання струмовідних частин порівняно з нагріванням за першої гармоніки (рисунок 3.27).

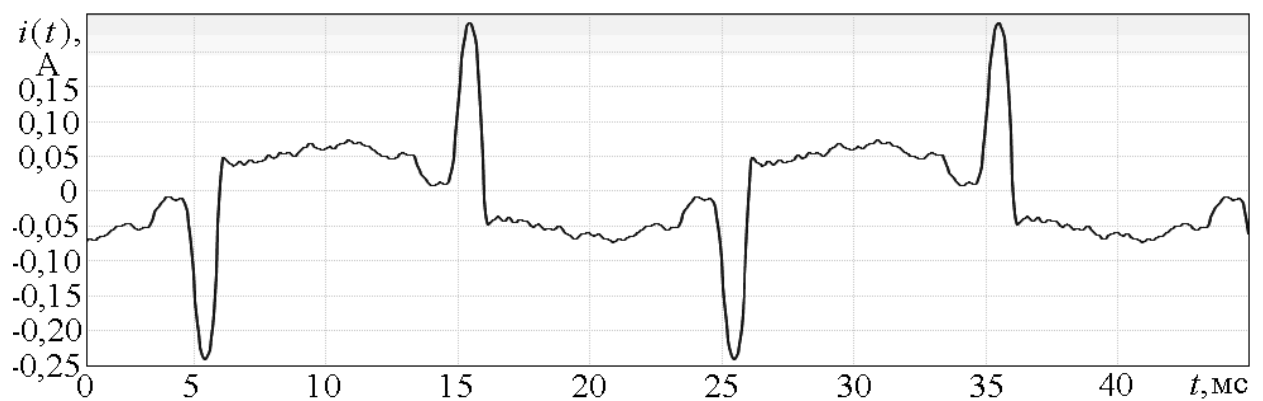


Рисунок 3.27 – Осцилограма струму ПК під час роботи

Таке спотворення струму ПК породжує вищі гармоніки (рисунок 3.28).

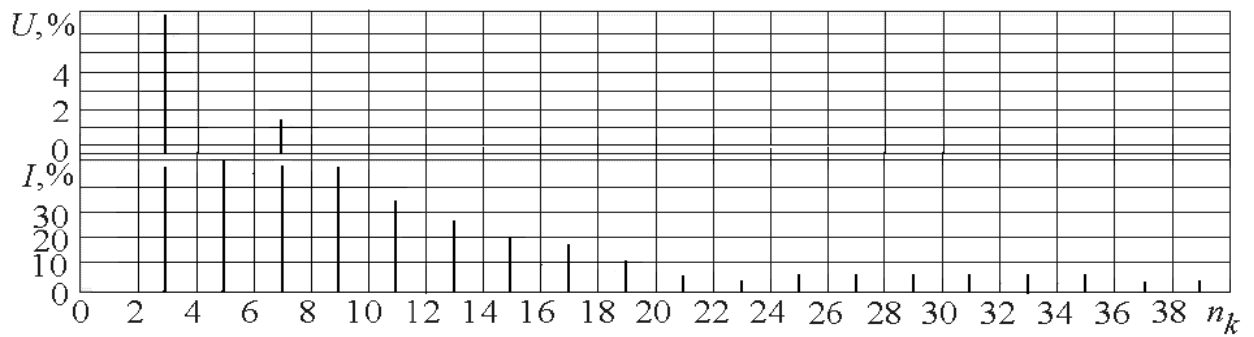


Рисунок 3.28 – Середнє значення гармонік струму, напруги під час роботи ПК

Динаміка активного навантаження ПК, гармонік під час ввімкнення, відкриття файлу, набору тексту, вимкнення наведено на рисунках 3.29, 3.30.

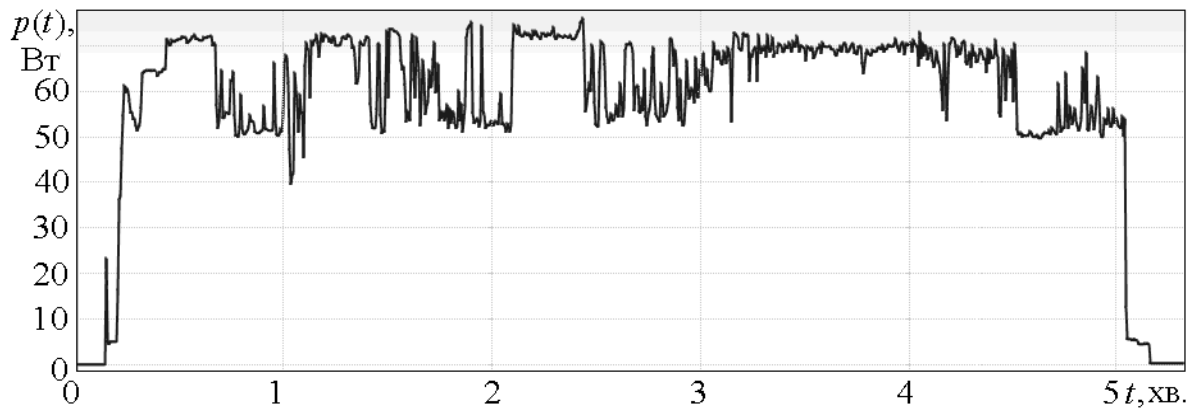


Рисунок 3.29 – Динаміка активного електричного навантаження ПК під час увімкнення, відкриття файлу, набору тексту, вимкнення

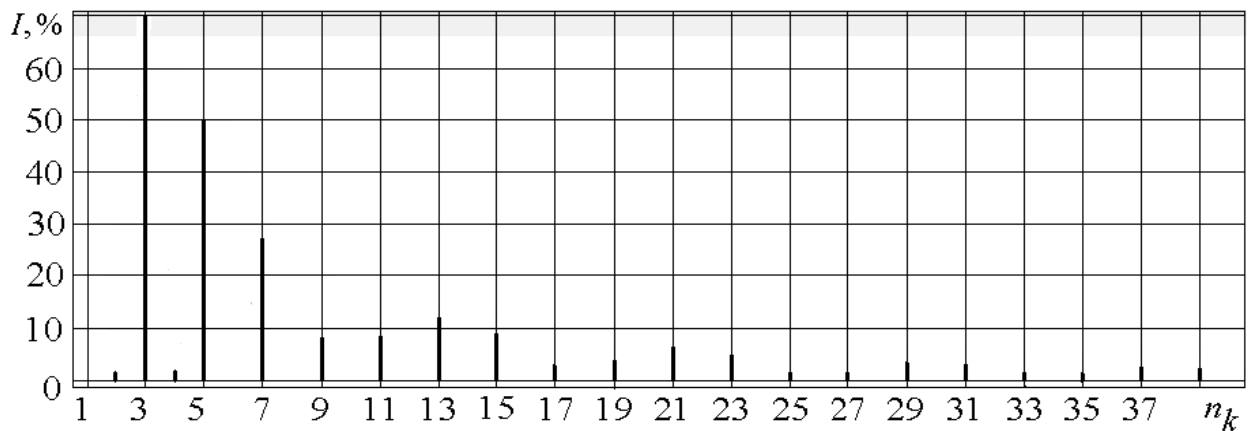


Рисунок 3.30 – Середнє значення амплітуд гармонік за струмом ПК

Наведені осцилограми струмів, значень амплітуд гармонік комп'ютерної техніки, інших основних побутових електроприладів із нелінійними характеристиками, дають загальне уявлення про найбільш небезпечні з них щодо негативного впливу на внутрішньобудинкове електрообладнання, електричні мережі.

3.3.3 Експериментальне дослідження і моделювання навантаження загальнобудинкових електроприймачів

Загальнобудинкові ЕП – це освітлювальні установки, силові ЕП та ін.

Освітлювальні установки забезпечують освітлення сходових кліток, ліфтових приміщень і шахт, холів, коридорів, вестибюлів та інших приміщень.

Освітлення сходових кліток, холів, коридорів, вестибюлів здійснюється як ЛР так і ЛЛ, які мають більший строк служби та менш чутливі до коливань напруги. В інших приміщеннях – здійснюється ЛР у вологозахищених світильниках, при цьому, за наявності газопроводів у техпідпіллях, комутаційні апарати встановлюються ззовні.

Динаміка добового електричного навантаження освітлення під'їзду 9-поверхового будинку за даними АСКОЕ наведено на рисунку 3.31.

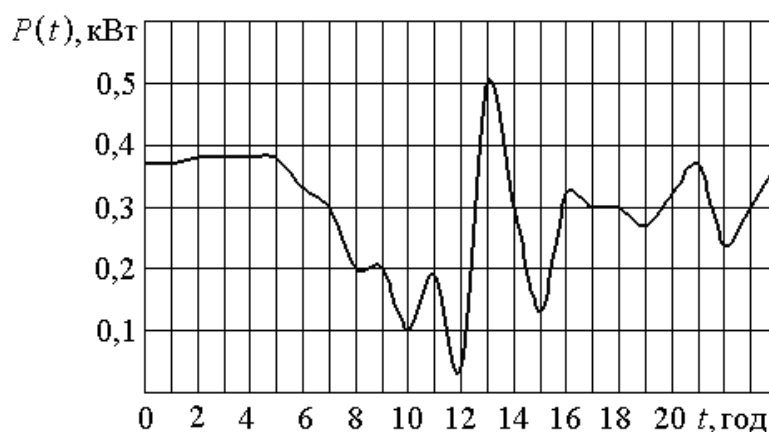


Рисунок 3.31 – Динаміка добового електричного навантаження освітлення під'їзду 9-поверхового будинку

Розрахункове реальне навантаження (півгодинний максимум) загальнобудинкового електричного освітлення під'їзду за графіком на рисунку 3.31, становить

$$P_{\text{р.осв}} = \frac{\int_{12,75}^{13,25} p(t)dt}{0,5} = 0,49 \text{ кВт.}$$

Силові загальнобудинкові ЕП – це електричні двигуни ліфтів, вентиляторів і насосів систем санітарно-технічних, протипожежних та установок димовидалення будинків, а також апаратура диспетчерського зв'язку та сигналізації.

Пасажирські, вантажні ліфти в житлових висотних будинках встановлюються різної вантажопідйомності й швидкості. Вони містять, як правило, двошвидкісні електродвигуни з короткозамкненим ротором.

В окремих випадках застосовуються потужні ліфти з електроприводом за системою генератор – двигун постійного струму для висотних будинків. До системи електроприводу входять електромагнітні гальма та апаратура управління і захисту.

У 9-поверхових житлових будинках застосовуються ліфти зі швидкістю 0,5 м / с, для більшої поверховості – 1, 1,4, 1,6 і 2 м/с.

На рисунку 3.32 наведено динаміку добового електричного навантаження 4-х ліфтових установок 9-поверхового житлового будинку за показаннями АСКОВЕ.

Розрахункове навантаження 4-х ліфтів житлового 9-поверхового 144-квартирного будинку за нормативними документами визначається за формулою

$$P_{\text{р.л}} = K_{\text{п}} \sum_{1}^n P_{\text{ном.л.}} \quad (3.49)$$

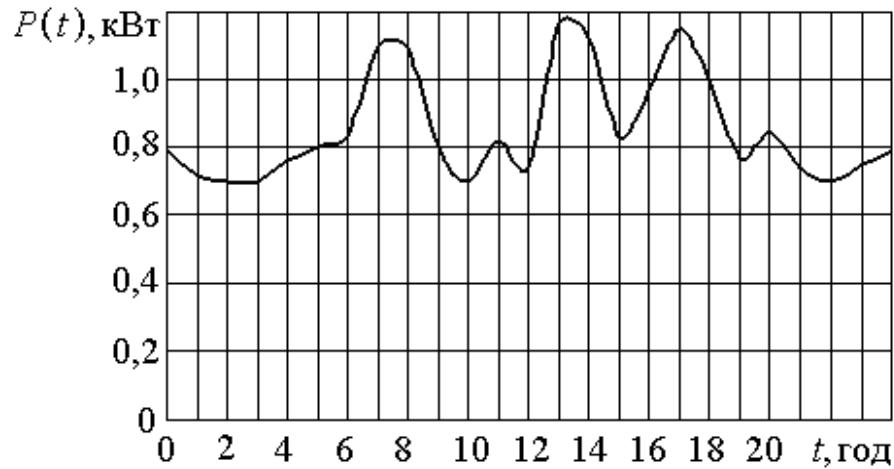


Рисунок 3.32 – Динаміка добового електричного навантаження 4-х ліфтів 9-поверхового чотирисекційного будинку за показаннями АСКОЕ

Величина реального розрахункового електричного навантаження 4-х ліфтів житлового 9-поверхового 144-квартирного будинку за графіком на рисунку 3.32

$$P_{p.l} = \frac{\int_0^{13,5} P(t) dt}{0,5} = 1,18 \text{ кВт.}$$

Розрахункове активне електричне навантаження 4-х ліфтів, приведеного до вводу будинку, визначається за формулою

$$P_{p.l} = K_{п.л} \sum_{i=1}^n p_{л.i}, \quad (3.50)$$

де $K_{п.л}$ – коефіцієнт попиту, який вибирається за даними таблиці [10];

$$P_{p.l} = 0,7 \cdot 4 \cdot (3,4 + 1,2) = 12,88 \text{ кВт.}$$

$\sum_{1}^n P_{л.i}$ – паспортна установлена потужність усіх ліфтових установок.

Отримані результати обчислення показують, що значення розрахункового навантаження ліфтів за нормативами значно перевищує визначеного за графічним методом.

Висновки до розділу 3

1. Поширеними методами моделювання електричного навантаження є такі, як інтерполяція поліномом Лагранжа, система незалежних кускових поліномів, сплайн-інтерполяція, сплайн-апроксимація, поліноміальні інтерполяційні сплайни, регресійний аналіз та інші, кожен з яких має свої особливості та вирізняється своєю точністю обчислення [91, 112, 121].

2. Основою обчислення розрахункового електричного навантаження об'єктів цивільного призначення є його максимальне усереднене значення, як правило протягом 30 хв., тому особлива увага приділена моделюванню та дослідженню осцилограм основних ЕП об'єктів цивільного призначення отриманих експериментально [8, 10, 28, 31].

3. Аналіз динаміки електричного навантаження ЕП на достатньо малому кроку дискретизації (мс, с, хв.), свідчить про складність процесів в електричній мережі, які визначають динаміку електричних навантажень ЕП, що вимагає ретельного дослідження цих особливостей у разі обчислення їхньої підсумкової величини [8, 10].

4. Отримані експериментальним шляхом моделі електричних навантажень неможливо підмінити будь-якими нормативними коефіцієнтами для визначення підсумкового розрахункового навантаження ЕП, особливо за результатами їхнього синтезу на різних рівнях системи електропостачання цивільних об'єктів [8, 10].

5. Накопичення індивідуальних моделей електричного навантаження ЕП може служити інформаційною базою для подальшого її використання при розрахунках систем електропостачання об'єктів цивільного призначення, що впливатиме на точність його визначення [8, 10].

6. Отримані моделі електричного навантаження за прикладною програмою в MathCad надають можливість з достатньою для практичних цілей точністю визначати їх параметри, такі як розрахунковий (півгодинний) максимум навантаження, усереднене навантаження, коефіцієнт заповнення графіка, кількість споживаної електроенергії за будь-який період часу та ін. [8, 10].

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА МЕТОДІВ І МОДЕЛЕЙ ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО
НАВАНТАЖЕННЯ ЦИВІЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ
ГРАФІЧНОГО І МАКРОМОДЕЛЮВАННЯ ТА
ФРАКТАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ

4.1 Метод графічного за сплайнами визначення розрахункового електричного навантаження житлових будинків

За розрахункове електричне навантаження житла, будинку, яке приведене до вводу в квартиру, лінії стояка, житловий будинок, приймається півгодинний максимум, рівний математичному сподіванню максимального усередненого навантаження за інтервал часу 30 хв. [4, 10]

За наявності графіка електричного навантаження ЕП, розрахункове навантаження визначається як максимальне півгодинне із середніх навантажень за розрахунковий період.

Для прикладу розглядається графік активного навантаження холодильника побудований в MathCad за сплайн-інтерполяцією (рисунок 3.11). Вибирається усереднене електричне навантаження протягом 30 хв. (0,5 год), значення якого є найбільшим за 5 годин його роботи (рисунок 4.1).

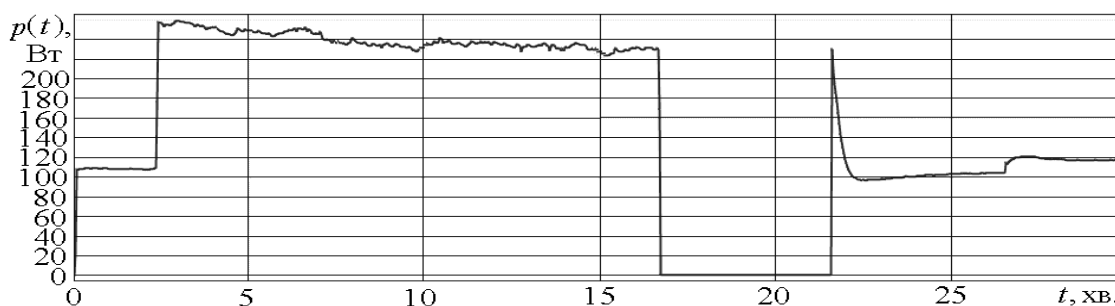


Рисунок 4.1 – Динаміка активного навантаження холодильника

ARC 4020 фірми Whirlpool

У загальному випадку розрахункове активне навантаження визначається за параметрами графіка так [4, 10, 33]:

$$p_p = \frac{\int_t^{t+0,5} p(t)dt}{0,5} \rightarrow \text{макс.} \quad (4.1)$$

Розрахункове реактивне навантаження визначається за формулою

$$q_p = p_p \operatorname{tg} \varphi. \quad (4.2)$$

Розрахункове повне електричне навантаження визначається так:

$$s_p = \sqrt{p_p^2 + q_p^2}. \quad (4.3)$$

Значення розрахункового струму визначається так:

$$I_p = \frac{s_p}{U_{\text{ном}}}. \quad (4.4)$$

Середнє значення активного навантаження за час роботи T

$$p_{\text{сеп}} = \frac{\int_0^T p(t)dt}{T}. \quad (4.5)$$

Кількість електроенергії, яка споживається ЕП за час роботи T :

$$W_a = \int_0^T p(t)dt = p_{\text{сеп}} T. \quad (4.6)$$

Графіки електричного навантаження основних побутових ЕП наведено в розділі 3, основні технічні характеристики нелінійних ЕП у Додатку В.

Для прикладу визначається величина розрахункової активної, реактивної, повної потужності та розрахункового струму холодильника ARC 4020 фірми Whirlpool за параметрами графіка, який наведено на рисунку 3.11.

Коефіцієнт потужності усереднений для цього періоду роботи холодильника становить близько $\cos\varphi = 0,977$.

Визначається розрахункове активне електричне навантаження холодильника за рисунком 4.1, оскільки у цей період воно є найбільше середнє за весь час роботи (5 год) відповідно до графіка на рисунку 3.11, за формулою (4.1)

$$P_{p.x} = \frac{\int_0^{30} p(t)dt}{30} = 153 \text{ Вт.}$$

Визначається величина розрахункової реактивної потужності холодильника за формулою (4.2)

$$Q_{p.x} = 153 \cdot 0,217 = 33 \text{ вар.}$$

Визначається величина розрахункової повної потужності холодильника за формулою (4.3)

$$S_{p.x} = \sqrt{153^2 + 33^2} = 156 \text{ ВА.}$$

Визначається розрахунковий струму холодильника за формулою (4.4)

$$I_{p.x} = \frac{156}{220} = 0,68 \text{ А.}$$

Як приклад, визначається величина розрахункового і середнього активного електричного навантаження кожного ЕП та підсумкового по житлу з газовою плитою за параметрами їх графіків, які наведені в розділі 3 та за вихідними даними в таблиці 4.1 [10].

Таблиця 4.1 – Вихідні та розрахункові дані щодо електричного навантаження житла з газовою плитою

Вихідні дані			Розрахункові дані	
Найменування	Тип, марка	$P_{уст},$ Вт	$P_p,$ Вт	$P_{сер},$ Вт
Холодильник	Whirpool	144	153	68
Бойлер	Thermex	1500	1470	1470
Телевізор	SAMSUNG	70	57	57
Пральна машина	Elektrolux	2200	828	420
Праска	BRAUN	1900	633	435
Освітлення	КЛЛ	5×20	93,5	93,5
Освітлення	ЛР	6×60	294	294
Комп'ютер	Настільний	75	60	60
Кондиціонер	Sensei	880	630	610
Електрочайник (3 хв.)	TEFAL	2000	89	89
Мікрохвильова піч (7 хв.)	Samsung	850	99,2	99,2
Всього		10079	4406,7	3695,7

Розрахункове (півгодинний максимум) навантаження для житла визначається за формулою

$$P_{p.\Sigma} = \sum_1^i P_{pi}. \quad (4.7)$$

Визначається підсумкове розрахункове (півгодинний максимум) навантаження всіх ЕП, яке приведене до вводу житла, дані якого наведені в таблиці 4.1, за формулою (4.7)

$$P_{p.\Sigma} = \sum_1^{11} p_{pi} = 4406,7 \text{ Вт.}$$

Визначається підсумкове середнє розрахункове навантаження всіх ЕП

$$P_{сер.\Sigma} = \sum_1^{11} p_{серi} = 3695,7 \text{ Вт.}$$

Як приклад, на рисунку 4.2 наведено реальний графік електричного навантаження житла протягом 3 год 45 хв. вечірнього часу робочого дня з побутовими електроприладами за таблицею 4.1, режимами роботи яких наведено в таблиці 4.2.

На графіку активного електричного навантаження ЕП на ввіді житла з газовою плитою час 0 умовно приймається за 17 год 20 хв.

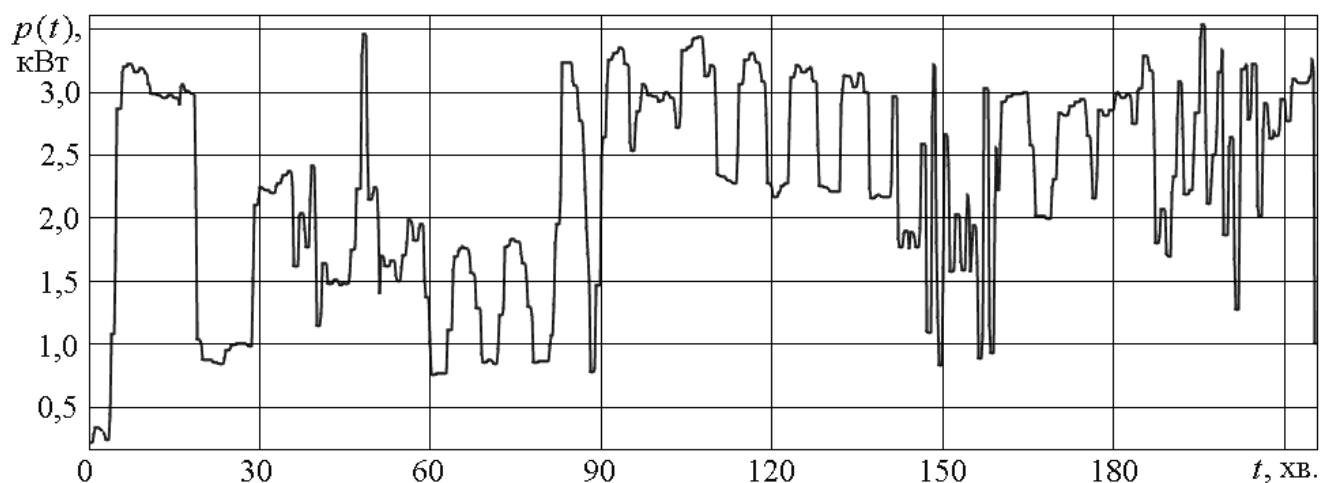


Рисунок 4.2 – Динаміка активного електричного навантаження ЕП
на ввіді житла з газовою плитою

Таблиця 4.2 – Режими роботи побутових електроприладів житла

Найменування ЕП	Час ввімкнення ЕП, год, хв.	Час вимкнення ЕП, год, хв.
Освітлення, ЛР (60 Вт)	17.20	—
Холодильник	17.20	—
ПК настільний	17.23	—
Пральна машина	17.23	18.30
Телевізор	17.36	—
Кондиціонер	17.53	—
Електрочайник (1 л)	18.06	18.09
Праска	18.16	18.28
Мікрохвильова піч	18.51	18.56
Бойлер	18.58	19.48
Пральна машина	19.49	20.49
Електрочайник (1 л)	20.35	20.39
Мікрохвильова піч	20.41	20.46
Праска	20.47	21.10

Максимальне навантаження становить близько 3,4 кВт, розрахункове за графічним визначенням – 3,0 кВт (за нормативами – 5 кВт).

Коефіцієнт потужності усереднений протягом 3 год 45 хв. становить близько 0,97.

Гармоніки за струмом 2, 3, 5, 7-а становлять близько 4, 10, 5, 2%, а інші до 40-ї – менше 1%. За напругою – 3, 5, 7-а становлять близько 3,2, 2,0 і 0,5% відповідно.

Здійснене соціологічне опитування мешканців жител щодо наявності ЕП та їх режиму роботи, отримано інформацію за автоматизованою системою комерційного обліку електроенергії щодо параметрів графіків електричного навантаження цих жител.

Розроблено теоретичну і реальну математичну модель їхньої динаміки, оцінено похибки теоретично обчисленого відносно реального питомого навантаження для 120 жител 10-поверхового будинку [10, 21].

Вихідними даними теоретичного обчислення питомих електричних навантажень жител є результати соціологічного опитування мешканців цього будинку щодо наявності електропобутових приладів, потужності та режиму їхньої роботи.

Приклад типового електричного навантаження житла 1-го виду 1-го рівня електрифікації наведено на рисунку 4.3.

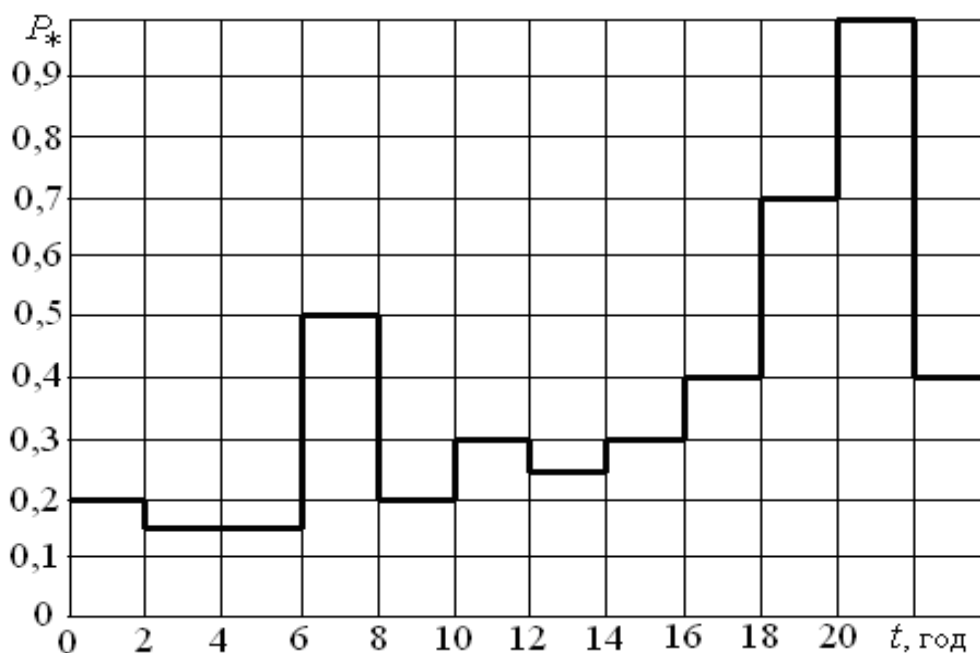


Рисунок 4.3 – Стандартний (типовий) усереднений добовий графік електричного навантаження житла з газовою плитою

У таблиці 4.3 (Додаток Д) наведено параметри типових добових графіків навантаження житлових будинків та інших міських об'єктів [10, 47].

За такими графіками можна спостерігати особливості динаміки електричного навантаження протягом доби окремих об'єктів. Шляхом їх синтезу будується підсумкове добове електричне навантаження групи певних об'єктів.

Таблиця 4.3 – Типові (орієнтовні) параметри добових графіків електричного навантаження об'єктів міста [10]

Об'єкт	Години доби / Електричне навантаження відносно максимального, %																								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Житловий будинок із газовими плитами	30	20	18	15	15	15	32	50	35	20	25	30	28	25	28	30	35	40	55	70	85	100	70	40	30
Житловий будинок з електроплитами	22	15	15	15	15	15	42	60	55	50	50	50	50	50	45	40	45	50	75	100	100	95	60	30	22
Універсам	60	60	60	60	60	60	60	60	75	90	95	100	95	85	85	90	90	90	90	90	85	80	70	60	60
Їдальня	50	50	50	50	50	50	55	60	70	80	85	90	95	100	100	100	95	90	80	70	65	60	55	50	50
Поліклініка	20	20	20	20	20	20	25	30	55	80	85	90	85	80	75	70	75	80	90	100	75	70	45	20	20
Школа	10	10	10	10	10	10	15	20	40	80	100	75	55	40	40	40	40	35	20	17	12	10	10	10	10
Побуткомбінат	25	20	20	20	20	20	25	30	60	90	95	100	98	95	92	90	92	95	92	90	80	70	50	30	25
Теплопункт	95	95	92	90	90	90	95	100	98	95	92	90	92	95	95	95	95	95	98	100	100	100	98	95	95
Водонасосна	90	90	90	90	85	80	85	90	95	100	98	95	98	100	100	100	98	95	95	95	98	100	95	90	90
ТП-10/0,4, (живить житлові будинки з газовими плитами)	46	30	28	25	25	25	32	40	35	30	32	35	32	30	30	30	39	48	69	90	95	100	81	62	46
ТП-10/0,4, (живить житлові будинки з електроплитами)	24	15	15	15	18	20	40	60	55	50	50	50	50	50	45	40	50	60	80	100	90	80	56	32	24
РП-10(6) кВ міської мережі	40	30	30	30	30	30	38	45	70	95	92	90	88	85	82	80	88	95	98	100	95	90	70	50	40

Наводиться тижневий графік навантаження характерного житла 120-квартирного будинку побудованого за інформацією АСКОЕ (рисунок 4.4).

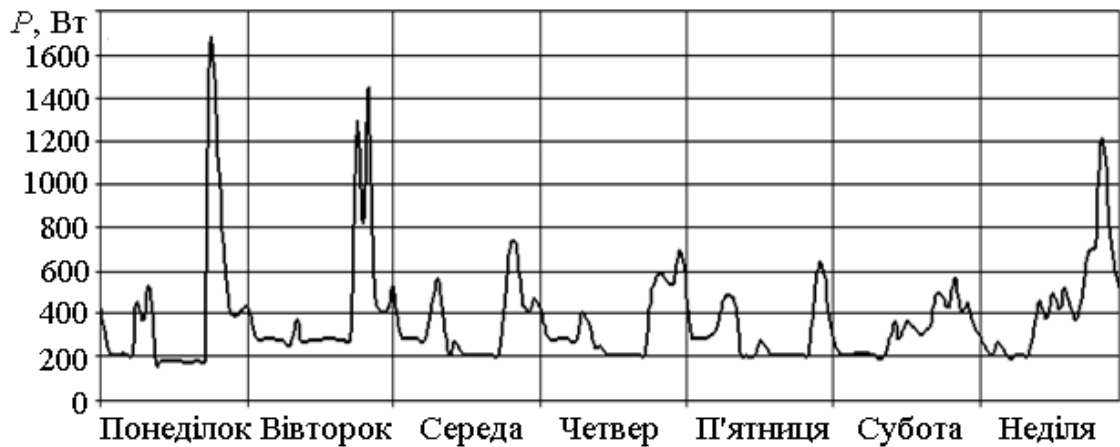


Рисунок 4.4 – Результат обробки інформації АСКОЕ щодо електричного навантаження житла за тиждень

За графіком на рисунку 4.4 спостерігається розрахункове електричне навантаження, що не перевищує 1,7 кВт, за нормативними документами воно становить 5 кВт, що майже втричі більше за реальне [10, 47].

Середньодобовий графік реального зимового електричного навантаження житла 1-го виду 1-го рівня електрифікації 120-квартирного будинку, побудованого за сплайнами і показаннями АСКОЕ, наведено на рисунку 4.5.

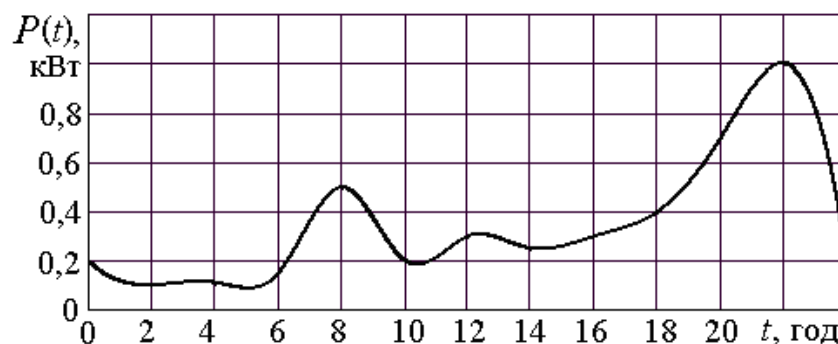


Рисунок 4.5 – Добовий графік навантаження житла 1-го виду 1-го рівня електрифікації побудованого за показаннями АСКОЕ 15.03.2017 р.

Розрахункове активне електричне навантаження цього житла рівне найбільшому усередненому значенню навантаження за півгодини (півгодинний максимум) протягом всієї доби та обчислюється на ПК у середовищі MathCAD за формулою

$$P_p = \frac{\int_t^{(t+0,5)} P(t)dt}{0,5} \rightarrow \text{макс.} \quad (4.8)$$

Коефіцієнт заповнення графіка електричного навантаження цього житла визначається так:

$$K_{з.г} = \frac{\int_0^{24} P(t)dt}{24P_p}. \quad (4.9)$$

Кількість споживаної активної електроенергії ЕП житла за добу визначається за формулою

$$W_a = \int_0^{24} P(t)dt. \quad (4.10)$$

Середньодобове активне навантаження житла визначається так:

$$P_{сеп} = \frac{\int_0^{24} P(t)dt}{24}. \quad (4.11)$$

Кількість електроенергії, яка споживається ЕП житла за час роботи T визначається так:

$$W_a = \int_0^T P(t) dt = P_{\text{сер}} T, \text{ кВт} \cdot \text{год.} \quad (4.12)$$

Як приклад, визначається величина розрахункового активного та середньодобового електричного навантаження житла, коефіцієнт заповнення добового графіка, добова кількість споживаної електроенергії ЕП житла за параметрами графіка, який наведено на рисунку 4.5.

Розрахункове активне навантаження ЕП житла за період з 21 год 45 хв. (21,75 год) до 22 год 15 хв. (22,25 год) визначається за формулою (4.8)

$$P_p = \frac{\int_{21,75}^{22,25} P(t) dt}{0,5} = 0,997 \text{ кВт.}$$

Визначається коефіцієнт заповнення графіка за формулою (4.9)

$$K_{з.г} = \frac{8,674}{24 \cdot 0,997} = 0,362.$$

Визначається добова кількість споживаної ЕП житла електроенергії за формулою (4.12)

$$W_a = \int_0^{24} P(t) dt = 8,674 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Визначається середньодобове активне навантаження житла за (4.11)

$$P_{\text{сер}} = \frac{8,674}{24} = 0,361 \text{ кВт.}$$

Електричне навантаження ЕП жител залежить від кількості кімнат, мешканців, потужності електроприладів і режиму їхньої роботи (рисунк 4.6).

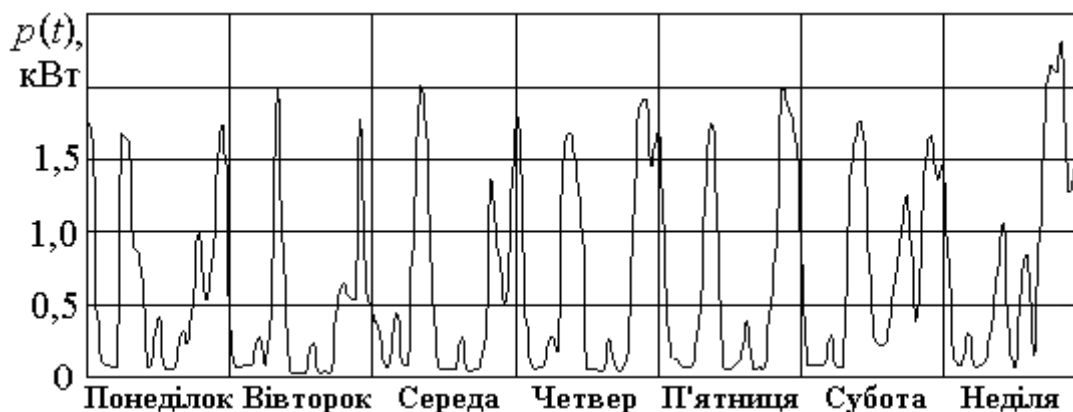


Рисунок 4.6 – Динаміка електричного навантаження електроприймачів квартири №1

З генеральної сукупності вихідної інформації АСКОВЕ щодо 120 жител відібрано вибірки характерних 12 жител житлового будинку з різною кількістю мешканців, кімнат, ЕП, що наведено в таблиці 4.4.

Використовуючи пакет аналізу даних MS Excel побудовано кореляційну матрицю властивостей 12 жител за параметрами графіків навантаження за жовтень місяць (таблиці А.1–А.12).

Коефіцієнт кореляції Пірсона, який є безрозмірним індексом в інтервалі від $-1,0$ до $1,0$ включно, відображає ступінь лінійної залежності між множинами даних (таблиці 4.5).

Дані, що наведені у кореляційній матриці, свідчать про сильний зв'язок між множинами, що наведено в таблиці 4.6 [10].

Таблиця 4.4 – Вихідні дані щодо електроприймачів та інших характеристик 12 жител (квартир)

№ з/п квартири	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Кількість кімнат	3	1	2	3	3	1	2	3	3	1	2	3
Кількість мешканців	4	2	2	3	3	1	2	4	3	1	3	2
Найменування, встановлена (умовно) потужність електроприладів, кВт												
Електрочайник	1,5			0,9		1		1,5		1,5		1,5
Праска			1	0,8		0,8		1	1,5			
Пилосос	0,6		0,6	0,6	0,6	0,6		0,6	0,6	0,6		0,6
Пральна машина	2	2		1,8	2	1,9		2,2	2		2	1,9
Мікрохвильова піч				1,2		1,2		1,2	0,9	1,2	1,2	
Комп'ютер			0,15	0,15		0,18	0,2	0,15			0,2	
Телевізор	0,15	0,1	0,1	0,14	0,12	0,13		0,14	0,13	0,15	0,13	0,14
Кондиціонер				0,88				0,88				0,88
Холодильник	0,16	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,15	0,3	0,16	0,2	0,15	0,3
Освітлювальні прилади	0,65	0,3	0,5	0,65	0,65	0,34	0,5	0,65	0,65	0,34	0,5	0,65
Підсумкова встановлена потужність ЕП, кВт	5,06	2,6	2,65	7,62	3,37	6,35	0,85	8,62	5,94	3,99	4,18	5,97
Середньодобове електроспоживання за АСКОЕ, кВт·год	15,63	4,15	8,86	11,47	7,55	5,57	2,69	11,16	16,79	3,44	5,29	15,46

Таблиця 4.5 – Кореляційна матриця

Показник	Електро- споживання	Кількість кімнат	Кількість мешканців	Кількість жител	$P_{уст}$
Електроспоживання	1				
Кількість кімнат	0,988586	1			
Кількість мешканців	0,982336	0,995742	1		
Кількість жител	0,898817	0,902065	0,895197	1	
$P_{уст}$ електроприладів	0,981596	0,976904	0,959698	0,891941	1

Таблиця 4.6 – Критерії оцінювання тісноти зв'язку між двома властивостями

Величина коефіцієнта кореляції	0,1...0,3	0,3...0,5	0,5...0,7	0,7...0,9	0,9...1,0
Характеристика сили зв'язку	слабкий	середній		сильний	
		помірний	помітний	високий	надвисокий

Ставиться задача визначити розрахункове електричне навантаження 12 квартир будинку 1-го виду 1-го рівня електрифікації з газовою плитою за аналітичним визначенням (нормативами) та порівняти його із реальним, отриманим за інформацією АСКОВЕ (рисунок 4.7).

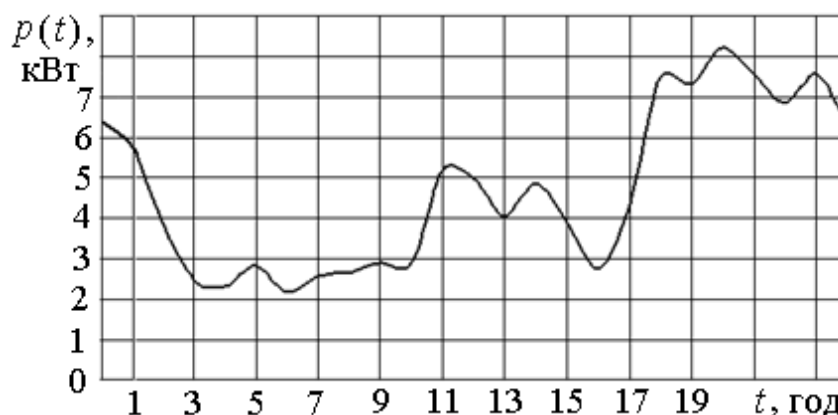


Рисунок 4.7 – Підсумковий графік добового навантаження 12 жител за тиждень 18.03.2017 р.

Для цього визначається аналітично (за нормативними документами) розрахункове навантаження 12 квартир житлового будинку за формулою (1.1)

$$P_{p.12ж} = 2,36 \cdot 12 = 28,32 \text{ кВт.}$$

Визначається підсумкове розрахункове електричне навантаження 12 квартир житлового будинку за графіком на рисунку 4.7 та формулою (4.8)

$$P_p = \frac{\int_{19,75}^{20,25} P(t)dt}{0,5} = 8,2 \text{ кВт.}$$

Отже, реальне розрахункове електричне навантаження за неділю 12 жител будинку, яке визначено за графічним методом у 3,5 разів менша за електричне навантаження, яке отримано аналітичним шляхом за нормативами.

Для прикладу аналітично визначається розрахункове електричне навантаження 4-х ліфтових установок (потужністю 3,5 кВт кожна) 9-поверхового житлового будинку та порівнюється його з величиною реального навантаження, отриманого за інформацією АСКОЕ (рисунок 3.32).

Для цього визначається величина електричного навантаження установки 4-х ліфтів житлового будинку за формулою 1.27 та коефіцієнтом попиту так [10, 47]:

$$P_{p.л} = 4 \cdot 3,5 \cdot 0,7 = 9,8 \text{ кВт.}$$

Визначається величина реального електричного навантаження 4-х ліфтів житлового будинку за графіком на рисунку 3.32 та формулою (4.8)

$$P_{p.л} = \frac{\int_{13,0}^{13,5} P(t)dt}{0,5} = 1,18 \text{ кВт.}$$

Отримане аналітично розрахункове електричне навантаження ліфтів більше за реальне у 8,3 разів.

Як приклад, визначається розрахункове електричне навантаження вводу 144-квартирного будинку 1-го виду 1-го рівня електрифікації з газовими плитами за аналітичним обчисленням та порівнюється із даними реальних графіків, що наведені на рисунку 4.8 (Додаток Г).

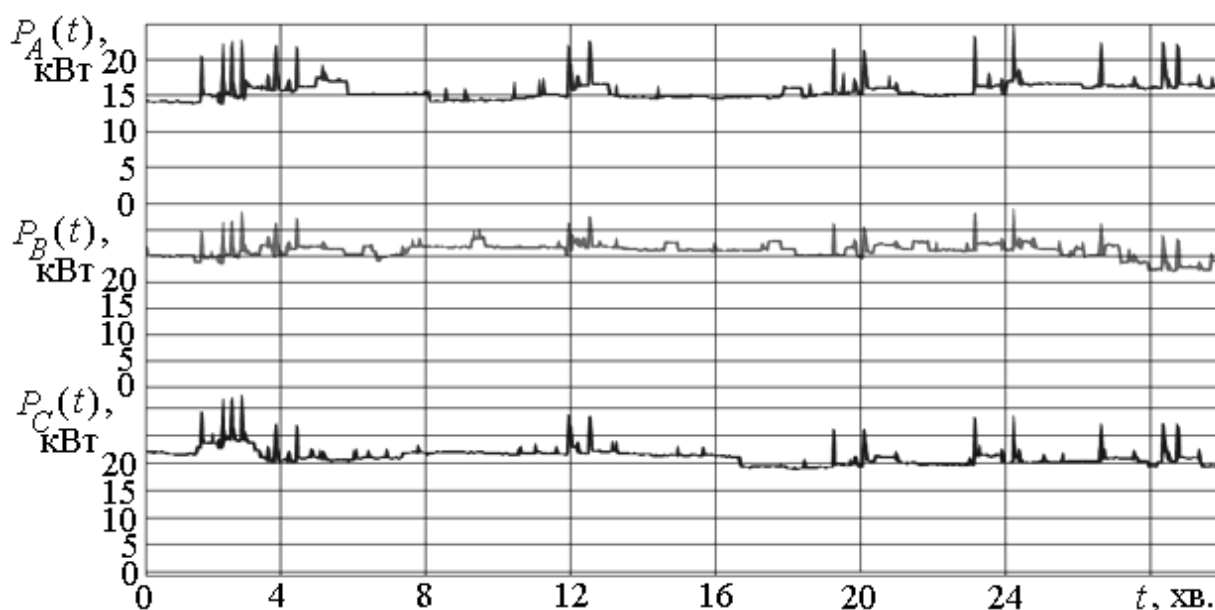


Рисунок 4.8 – Графік реального вечірнього електричного навантаження за фазами вводу 144-квартирного житлового будинку (21.00–21.30), 15.03.2017 р.

Визначається питоме електричне навантаження житла за таблицею 1.1:

$$p_{п.р.ж} = 1,0 - \left(\frac{1 - 0,87}{200 - 100} \right) \cdot 44 = 0,943 \text{ кВт / житло.}$$

Визначається розрахункове активне електричне навантаження будинку за формулою (1.1)

$$P_{р.ж} = 0,943 \cdot 144 = 135,8 \text{ кВт.}$$

Визначається навантаження будинку за рисунком 4.8 як підсумкове реальне навантаження за фазами А, В і С, що визначається за формулою

$$P_{р.ж} = P_{р.А} + P_{р.В} + P_{р.С}. \quad (4.13)$$

За формулою 4.13

$$P_{р.ж} = 15,98 + 24,98 + 21,18 = 62,14 \text{ кВт}.$$

Отже реальне електричне навантаження будинку менше, ніж у 2 рази за навантаження, яке отримано за нормативними документами.

Усереднене значення коефіцієнта потужності ЕП будинку становить близько $\cos\varphi = 0,97$, середній коефіцієнт спотворення синусоїдності за напругою становить у межах від 5,05 до 6,75% (допустимі значення за ДСТУ 8–12%), за струмом по фазах – від 10,7 до 12,6%, в нейтралі – близько 61%. Осцилограму струму в нейтралі живильного кабелю житлового будинку наведено на рисунку 4.9 [10].

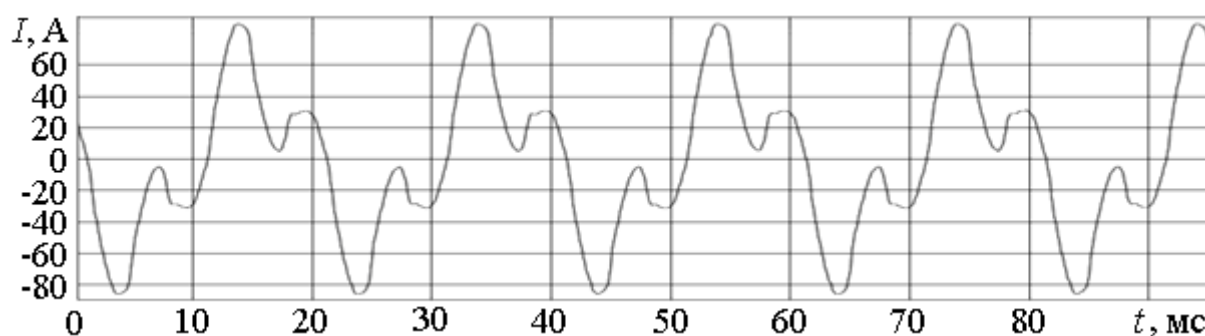


Рисунок 4.9 – Осцилограма струму в нейтралі живильного кабелю будинку

Спостерігаються сплески симетричного струму за фазами живильного кабелю тривалістю 1–2 с, що досягають 1,2–1,5 величини робочого струму, динаміку яких наведено на рисунку 4.10.

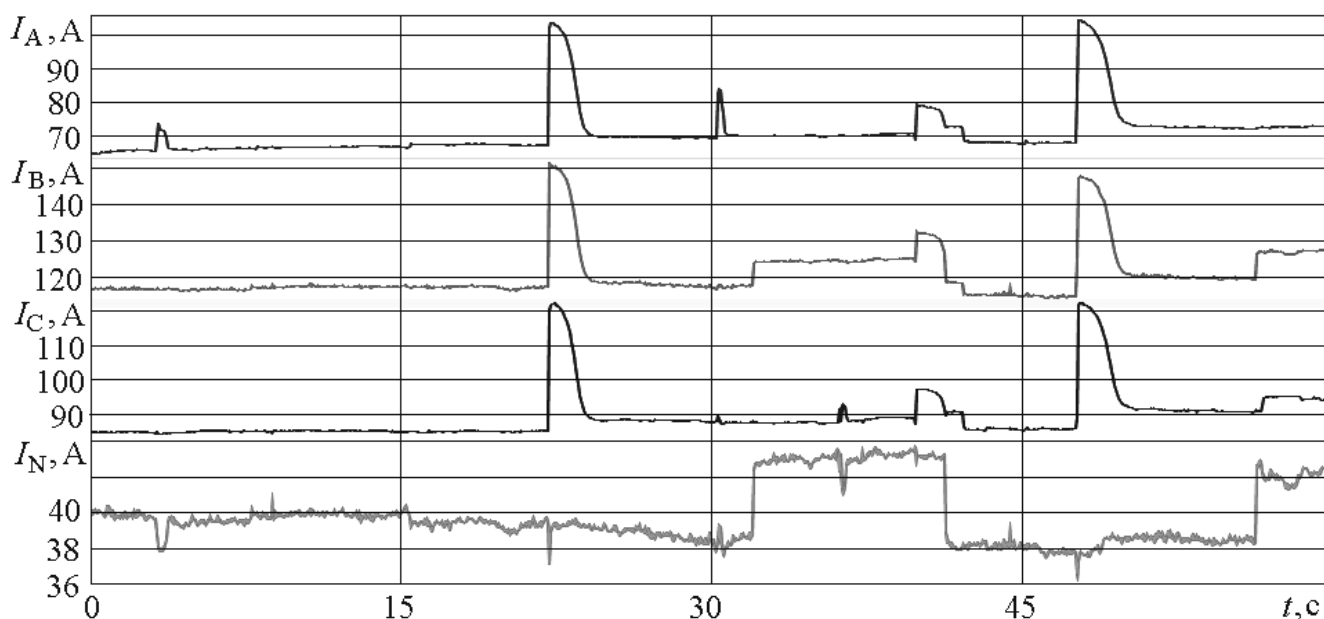


Рисунок 4.10 – Осцилограма струму електричного навантаження живильного кабелю 144-квартирного будинку

Рівень електрифікації для жител (котеджів) 3-го виду не має обмежень і визначається замовником та може включати повне електричне опалення та електропідігрівання води.

Для прикладу визначається величина підсумкового розрахункового активного електричного навантаження ЕП житла (котеджу) 3-го виду з газовою плитою за даними таблиці 4.1.

Визначається величина підсумкового розрахункового активного електричного навантаження житла (котеджу) за таблицею 4.1, коефіцієнтом попиту та формулою (1.28) [10,47]

$$P_{p.кт} = 10,079 \cdot 0,75 = 7,56 \text{ кВт.}$$

Порівняння отриманих результатів обчислення свідчить про те, що за методом визначення розрахункового навантаження житла (котеджу) за графічним методом (4,41 кВт) є меншим у 1,7 разів, оскільки враховує особливості індивідуальної динаміки (осцилограм) електричного навантаження кожного ЕП.

4.2 Метод графічного визначення розрахункового електричного навантаження будинків з різними питомими навантаженнями

Як приклад, визначається розрахункова електрична потужність жителів із різними питомими розрахунковими навантаженнями, приведеної до вводу 144-квартирного 9-поверхового житлового будинку з плитами на природному газі, якщо 72 квартири відносяться до 1-го виду, решта – до 2-го виду за рівнем електрифікації.

Визначаються питомі розрахункові електричні навантаження для кожного виду житла шляхом інтерполяції відповідних значень, що наведені в таблиці 1.1

$$P_{п1} = 1,14 - \left(\frac{1,14 - 1,0}{40} \right) \cdot 12 = 1,098 \text{ кВт/житло.}$$

$$P_{п2} = 1,78 - \left(\frac{1,78 - 1,62}{40} \right) \cdot 12 = 1,72 \text{ кВт/житло.}$$

Визначається розрахункова потужність жителів, яка приведена до вводу 144-квартирного будинку, за формулою (1.32) та значенням K_o [10, 47]

$$P_{p.pіз} = 72(1,098 + 1,72) \cdot 0,9 = 182,6 \text{ кВт.}$$

Отримане значення майже у 3 рази більше виміряного (62,14 кВт).

Для прикладу визначаються розрахункові електричні навантаження активне, реактивне, повне та величина струму, які приведені до 1 та 2-го вводу в житловий типовий 14-поверховий однопід'їзний будинок 1-го виду 3-го рівня електрифікації (з електричними плитами потужністю до 8,5 кВт), який містить 68 квартир (з 1-го по 14-й поверх), 2 офіси (1-й поверх), ліфти пасажирський (5 кВт) та вантажний (6,5 кВт), електропривод і управління яких

розташовані на горищі, тепловий пункт, установку підкачування холодної води (5,7 кВт) та рециркуляції гарячої води (1,5 кВт), паркінг на 7 автомашин розташованого в цокольному поверху. Площі кожної квартири, офісів становлять від 46,1 до 79,2 м². До 1-го вводу приєднуються ЕП квартир, загальнобудинкове освітлення, до 2-го – решта ЕП. Отримане за нормативами розрахункове навантаження порівнюється з реальним за вимірюванням.

Розрахунки виконуються у такому порядку.

Визначається питоме і розрахункове навантаження квартир (за інтерполюванням), приведенного до вводу будинку, за даними таблиці 1.1 та формулою (1.1).

Визначається орієнтовне (попереднє) розрахункове активне електричне навантаження розташованих на 1-му поверсі 2 офісів за формулою

$$P_{p.оф} = p_{п.оф} F_{оф}, \quad (4.14)$$

де $p_{п.оф}$ – питоме електричне навантаження на м² корисної площі офісу, кВт/м², яке приймається за [10];

$F_{оф}$ – корисна площа офісу, м².

Визначається розрахункове реактивне та повне електричне навантаження 2-х офісів, приведенного до вводу будинку, за формулами

$$Q_{p.оф} = P_{p.оф} \operatorname{tg} \varphi_{оф}. \quad (4.15)$$

Визначається розрахункове повне електричне навантаження 2-х офісів, приведенного до вводу будинку, за формулою

$$S_{p.оф} = \sqrt{P_{p.оф}^2 + Q_{p.оф}^2}. \quad (4.16)$$

Визначається розрахункове активне, реактивне та повне електричне навантаження ліфтів, пасажирського та вантажного, приведенного до вводу будинку, за формулами

$$P_{p.l} = K_{п.л} \sum_1^n P_{л.i}, \quad (4.17)$$

де $K_{п.л}$ – коефіцієнт попиту, який вибирається за [10];

$\sum_1^n P_{л.i}$ – паспортна установлена потужність усіх ліфтових установок.

$$Q_{p.l} = P_{p.l} \operatorname{tg} \varphi_{л}. \quad (4.18)$$

Визначається розрахункове повне електричне навантаження ліфтів, приведенного до вводу будинку, за формулою

$$S_{p.l} = \sqrt{P_{p.l}^2 + Q_{p.l}^2}. \quad (4.19)$$

Визначається розрахункове активне, реактивне та повне навантаження підвищувальної насосної холодної води й рециркуляції гарячого водопостачання так:

$$P_{p.вод} = K_{п.вод} \sum_1^n P_{вод.i}, \quad (4.20)$$

де $K_{п.вод}$ – коефіцієнт попиту, який вибирається за [10];

$\sum_1^n P_{вод.i}$ – паспортна активна електрична потужність усіх насосів.

Визначається розрахункове реактивне електричне навантаження підвищувальної насосної холодної води й рециркуляції гарячого водопостачання, приведенного до вводу будинку, за формулами

$$Q_{p.вод} = P_{p.вод} \operatorname{tg} \varphi_{вод}. \quad (4.21)$$

$$S_{p.вод} = \sqrt{P_{p.вод}^2 + Q_{p.вод}^2}. \quad (4.22)$$

Визначається активне, реактивне та повне навантаження паркінгу за формулами

$$P_{p.парк} = p_{п.парк} n, \quad (4.23)$$

де $p_{п.парк}$ – питоме активне електричне навантаження на одне місце паркінгу, кВт/місце, яке вибирається за [10];

n – кількість місць паркінгу.

$$Q_{p.парк} = P_{p.парк} \operatorname{tg} \varphi_{парк}. \quad (4.24)$$

$$S_{p.парк} = \sqrt{P_{p.парк}^2 + Q_{p.парк}^2}. \quad (4.25)$$

Визначається електричне активне, реактивне та повне електричне навантаження 1-го вводу в житловий будинок за формулою

$$P_{p.ж.б1} = P_{p.ж}. \quad (4.26)$$

$$Q_{p.ж.б1} = P_{p.ж} \operatorname{tg} \varphi_{ж}. \quad (4.27)$$

$$S_{p.ж.б1} = \sqrt{P_{p.ж}^2 + Q_{p.ж}^2}. \quad (4.28)$$

Визначається розрахункове повне електричне навантаження 2-го вводу визначається за формулою

$$S_{p.ж.62} = \sqrt{P_{p.ж.62}^2 + Q_{p.ж.62}^2} \quad (4.29)$$

Визначається розрахункове активне навантаження 1 та 2-го вводу в житловий будинок

$$P_{p.ж.61,2} = 137,8 + 22,2 \cdot 0,8 = 156,7 \text{ кВт.}$$

Визначається розрахункове реактивне навантаження 1 та 2-го введів у житловий будинок за формулою (4.32)

$$Q_{p.ж.61,2} = 55,1 + 20,21 \cdot 0,8 = 72,2 \text{ квар.}$$

Визначається розрахункове повне електричне навантаження 1 та 2-го введів будинку за формулою

$$S_{p.ж.61,2} = \sqrt{P_{p.ж.61,2}^2 + Q_{p.ж.61,2}^2} \quad (4.30)$$

За формулою (4.30)

$$S_{p.ж.61,2} = \sqrt{156,7^2 + 72,6^2} = 172,7 \text{ кВА.}$$

Розрахункове повне електричне навантаження житлового будинку за нормативами виявилось більшим, ніж у 2 рази за реального навантаження, що становить 86,1 кВА.

Моделювання графіків навантаження характерних 12 квартир здійснено за розробленою прикладною програмою в середовищі MathCAD, яка має такий вигляд [10]:

```

n=25  TO:= (0 1 2 ... 22 23 24)
P10:= (P1.0 P1.1 P1.2 ... P1.22 P1.23 P1.24)
P20:= (P2.0 P2.1 P2.2 ... P2.22 P2.23 P2.24)
...
P110:= (P11.0 P11.1 P11.2 ... P11.22 P11.23 P11.24)
P120:= (P12.0 P12.1 P12.2 ... P12.22 P12.23 P12.24)
T:= T0T P1:=P10T P2:=P20T ... P11:=P110T P12:=P120T
s11:= cspline(T,P1) p1(t):= interp(s11,T,P1,t)
s12:= cspline(T,P2) p2(t):= interp(s12,T,P2,t)
...
s111:= cspline(T,P11) p11(t):= interp(s111,T,P11,t)
s112:= cspline(T,P12) p12(t):= interp(s112,T,P12,t)
t:= min(T) - 0.1 - 0.01, min(T) - 0.1 .. max(T) + 0.1 i:= 0...n

```

Моделювання виконувалося на базі інформації АСКОЕ з жовтня 2017 р. по вересень 2018 р. (Додаток Б) із використанням вбудованої в MathCAD функції «cspline (x,y)» із продовженням інтерполяційної кривої кубічною параболою.

Важливою характеристикою випадкового процесу $X(t)$, в загальному вигляді, (у випадку, що розглядається – функція $P(t)$), є математичне очікування, або «усереднена» функція, навколо якої відбувається розкид реалізацій випадкового процесу. Звичайно, що «усереднена» функція є не випадковою.

Така «усереднена» функція $m_x(t)$ за рисунком 4.11, представлятиме питоме електричне навантаження на одну квартиру, кВт/кв., за експериментально отриманими значеннями вибірок активного навантаження кожної з цих 12 квартир.

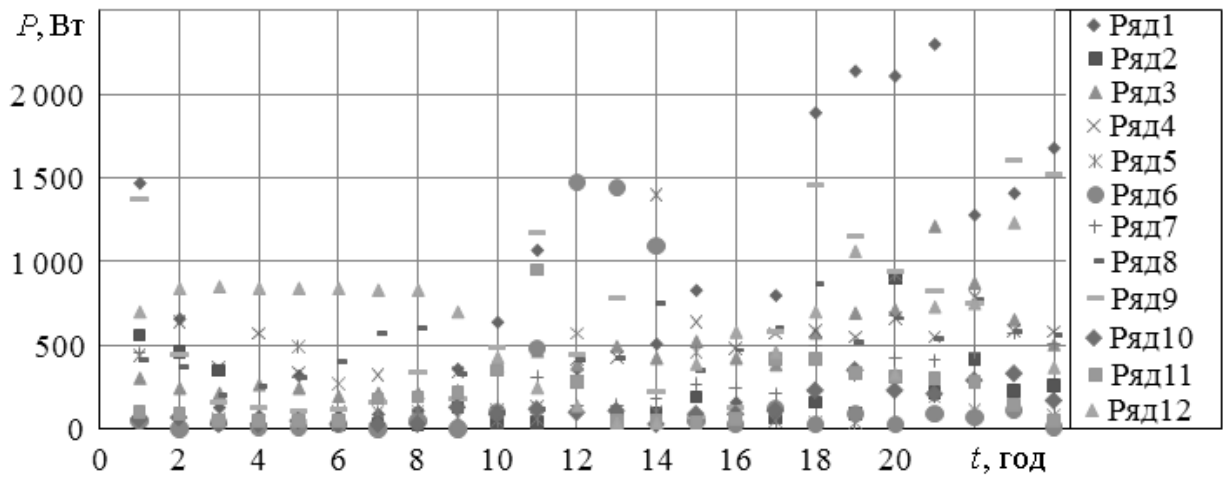


Рисунок 4.11 – Вибірки добового навантаження кожної з 12 жител за неділю 18.03.2017 р. (номер ряду відповідає номеру квартири)

Отже, математичним очікуванням випадкового процесу $X(t)$ є не випадкова функція $m_x(t)$, яка за будь-якого значення аргументу t дорівнює математичному очікуванню відповідного перетину випадкового процесу

$$m_x(t) = \mathbf{M}[X(t)]. \quad (4.31)$$

Математичне очікування випадкової величини знаходиться як сума добутку її можливих значень на їх імовірність

$$m_x = \sum_i x_i p_i. \quad (4.32)$$

Перетин випадкової величини $X(t)$ за даного значення t представляє собою дискретну величину випадкового процесу з рядом розподілення

$$X(t): \frac{|x_1(t)| |x_2(t)| \dots |x_{11}(t)| |x_{12}(t)|}{|p_1(t)| |p_2(t)| \dots |p_{11}(t)| |p_{12}(t)|}, \quad (4.33)$$

його математичне очікування визначається так:

$$m_X(t) = \mathbf{M}[X(t)] = \sum_i x_i p_i, \quad (4.34)$$

де $x_1(t), \dots, x_{12}(t)$ – значення, яке може приймати випадкова величина;

$X(t)$ – перетин випадкової величини за даним t ;

$p_1(t), p_1(t), \dots, p_{11}(t), p_{12}(t)$ – ймовірності:

$$p_1(t) = \mathbf{P}[X(t) = x_1(t)], \dots, p_{12}(t) = \mathbf{P}[X(t) = x_{12}(t)].$$

Центрований випадковий процес $\overset{\circ}{X}(t)$ визначається за формулою

$$\overset{\circ}{X}(t) = X(t) - m_X(t), \quad (4.35)$$

при цьому

$$\mathbf{M}[\overset{\circ}{X}(t)] = \mathbf{M}[X(t)] - m_X(t) \equiv 0. \quad (4.36)$$

Реалізація $\overset{\circ}{x}(t)$ центрального випадкового процесу $\overset{\circ}{X}(t)$ є відхилення випадкового процесу $X(t)$ від його математичного очікування.

Дисперсія випадкового процесу $X(t)$ визначається так:

$$D_X(t) = \mathbf{D}[X(t)] = \mathbf{M}[(\overset{\circ}{X}(t))^2] - m_X(t). \quad (4.37)$$

Знаючи закон розподілення будь-якого перетину випадкової величини $X(t)$ можна визначити її дисперсію так:

$$D_X(t) = \mathbf{D}[X(t)] = \sum_i (x_i - m_X(t))^2 p_i(t). \quad (4.38)$$

У разі математичного очікування $m_x(t)$ випадкового процесу $X(t)$ представляє усереднену функцію, то дисперсія випадкового процесу $D_x(t)$ є невід'ємна функція, яка характеризує ступінь розкиду реалізацій випадкового процесу $X(t)$ навколо його математичного очікування $m_x(t)$.

Середньоквадратичне відхилення σ_x випадкової величини $X(t)$ визначається так:

$$\sigma_x(t) = \sigma_x[X(t)] = \sqrt{D_x(t)}. \quad (4.39)$$

Ступінь лінійного зв'язку між двома випадковими величинами X і Y визначається за їх коваріацією

$$K_{xy} = \mathbf{M}[(X - m_x)(Y - m_y)] = \mathbf{M}[XY] - m_x m_y. \quad (4.40)$$

Розглядаючи два перетину випадкового процесу за моментів t і t' для $X(t)$ і $X(t')$, можна для них знайти коваріаційну функцію

$$K_x(t, t') = \mathbf{M}[\overset{\circ}{X}(t) \overset{\circ}{X}(t')] = \mathbf{M}[(X(t)X(t'))] - m_x(t)m_x(t'). \quad (4.41)$$

За $t = t'$ кореляційна функція дорівнює дисперсії випадкового процесу.

Математичне очікування питомого розрахункового електричного навантаження $p_{\text{пит}}$, або «усереднена» функція, навколо якої відбувається розкид реалізацій випадкових процесів з електричного навантаження 12 квартир, за рисунком 4.12, становитиме:

$$P_p = \frac{1}{0,5} \int_{19,75}^{20,25} P(t) dt = 683 \text{ Вт.}$$

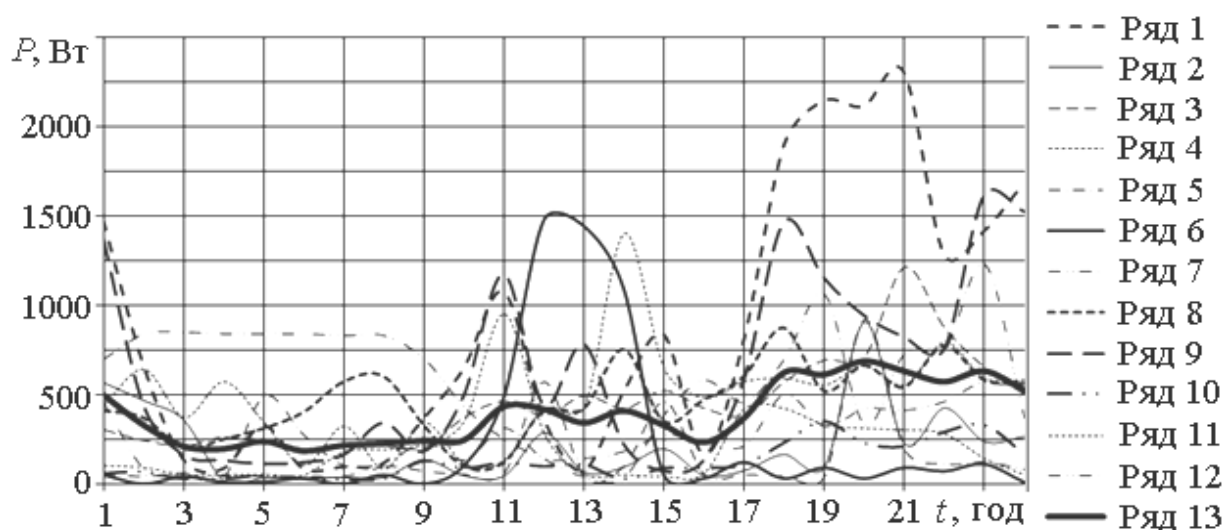


Рисунок 4.12 – Динаміка добового електричного навантаження кожного з 12 жител за неділю 18.03. 2017 р. та «усереднена» (13 ряд)

Порівнюючи отримане за графічним методом $p_{\text{пит}}$, з цим показником за нормативами приходимо до висновку, що нормативний показник (2360 Вт) порівняно з визначеним графічно (683 Вт) майже у 3,5 разів збільшений.

Характеристика житлових будинків та мікрорайону міста. Мікрорайон міста, що досліджується, нараховує до 45 житлових 9-поверхових будинків з газовими плитами (рисунок 4.13).



Рисунок 4.13 – Загальний вигляд житлового мікрорайону (місця дослідження)

За даними АСКОЕ за допомогою електронних лічильників установлених у кожній квартирі 216-квартирного будинку, побудовано модель середньодобового за жовтень 2017 р. навантаження будинку (рисунок 4.14).

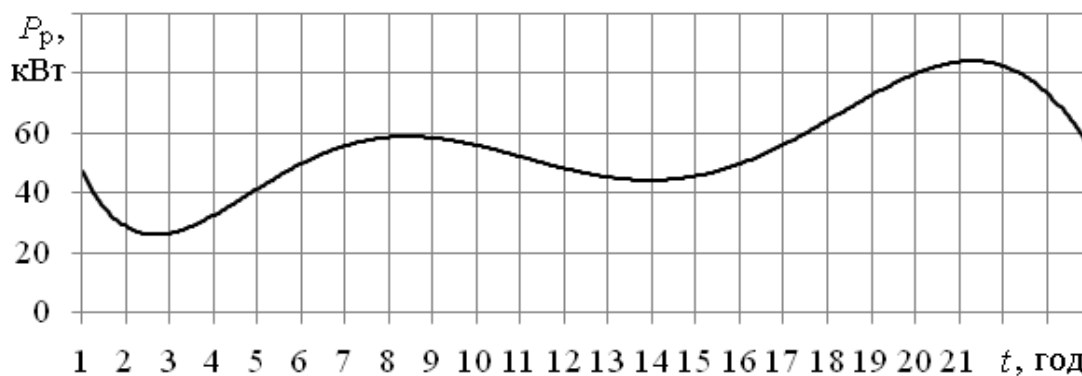


Рисунок 4.14 – Результат моделювання добового навантаження будинку

Порівнюючи отримане за графічним методом електричне навантаження з цим показником за нормативними документами відзначається, що нормативний показник завищує результат в 2,2 разу.

Електрична енергія від РП-10 кВ по кабельним лініям поступає до 9-ти ТП-10/0,4 кВ, від яких по кабельним лініям за напругою 0,4 кВ подається до ввідно-розподільного пристрою (ВРП) будинків мікрорайону (рисунок 4.15).

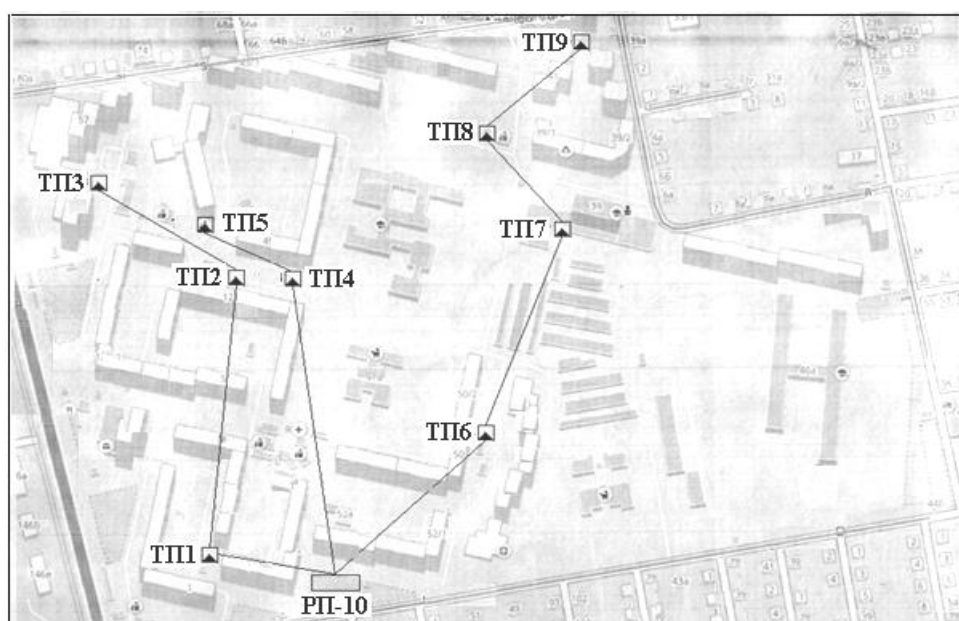


Рисунок 4.15 – План розташування будинків і ТП мікрорайону міста

За викладеними методами визначено динаміку розрахункового навантаження для 1, 12, 36, 64, 120, 144-х квартир (рисунок 4.16) [6, 8, 24, 27].

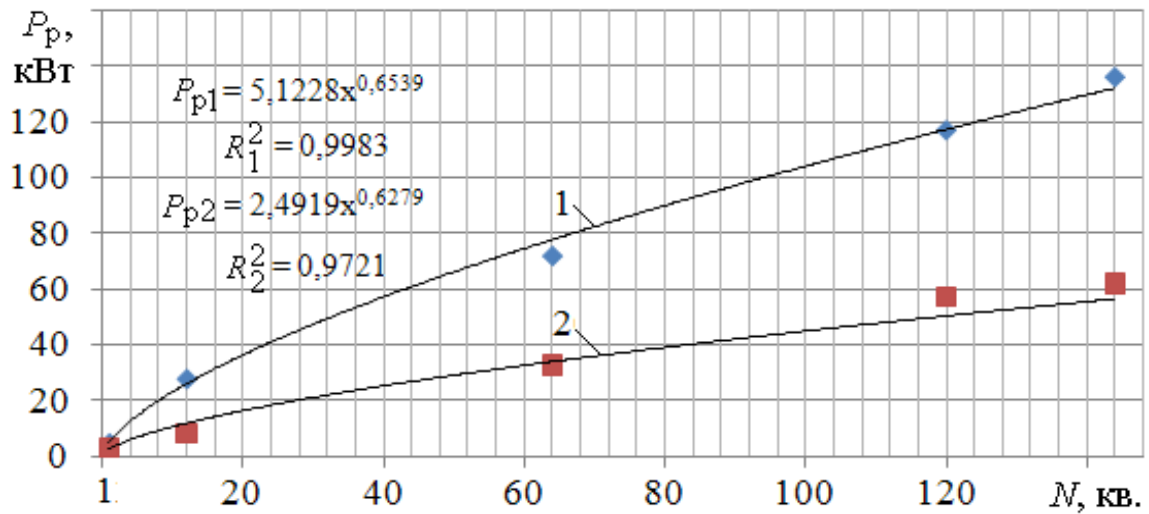


Рисунок 4.16 – Результат моделювання динаміки розрахункового навантаження до 144 квартир за: 1– нормативних документів; 2 – графічним

За викладеним методом визначено динаміку розрахункового електричного навантаження для 216, 455, 706, 1047, 1458, 1893, 1938 квартир за експериментальними вимірюваннями (рисунок 4.17).

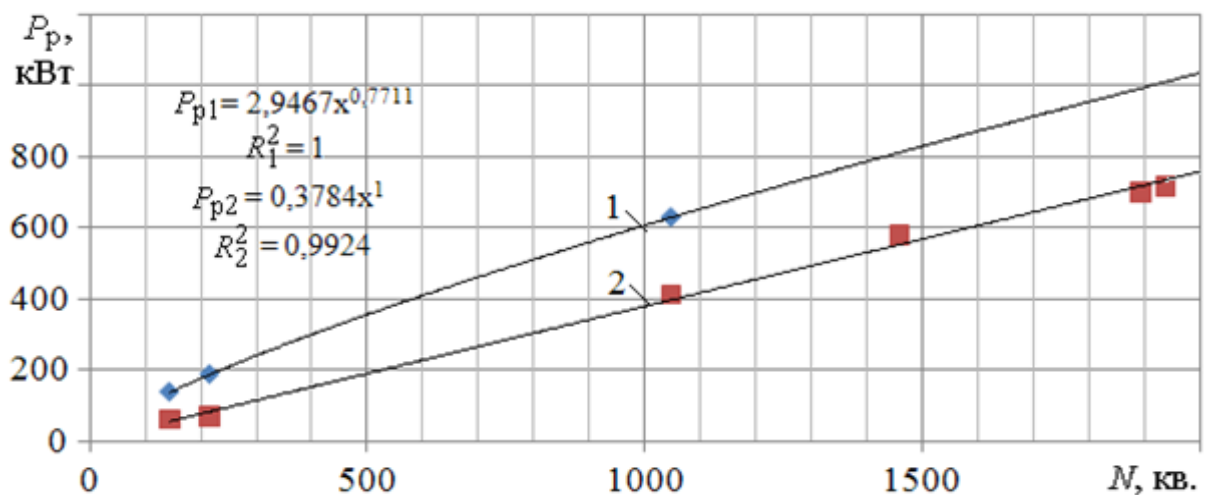


Рисунок 4.17 – Результат моделювання динаміки розрахункового навантаження до 2000 квартир за: 1– ДБН; 2 – графічним методом

Динаміку питомого розрахункового навантаження для 1, 12, 36, 64, 120, 144 квартир наведено на рисунку 4.18.

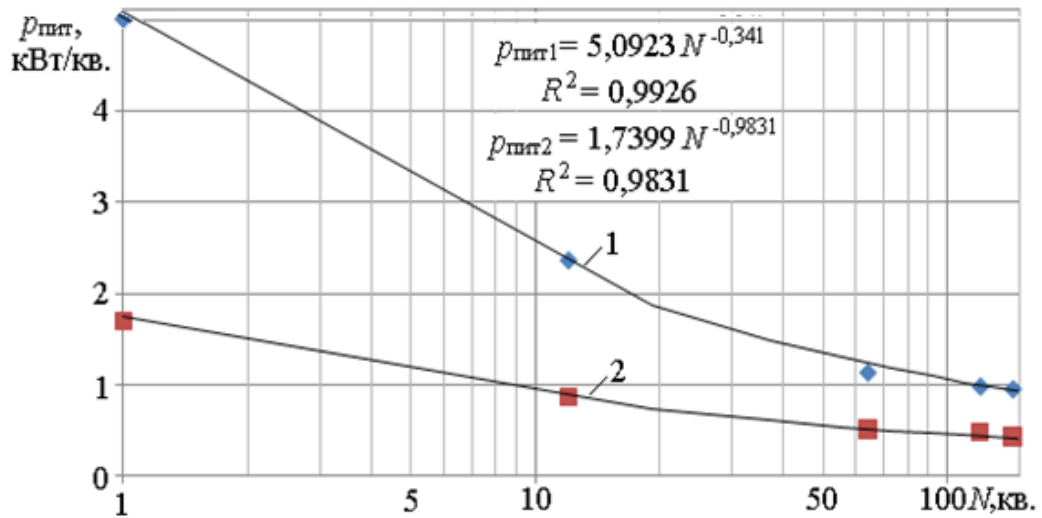


Рисунок 4.18 – Результат моделювання динаміки питомого навантаження до 144 квартир за: 1– нормативних документів; 2 – графічним методом

Динаміку питомого розрахункового електричного навантаження для 216, 455, 706, 1047, 1458, 1893, 1938 квартир із екстраполяцією до 3000 квартир за експериментальними вимірюваннями, наведено на рисунку 4.19.

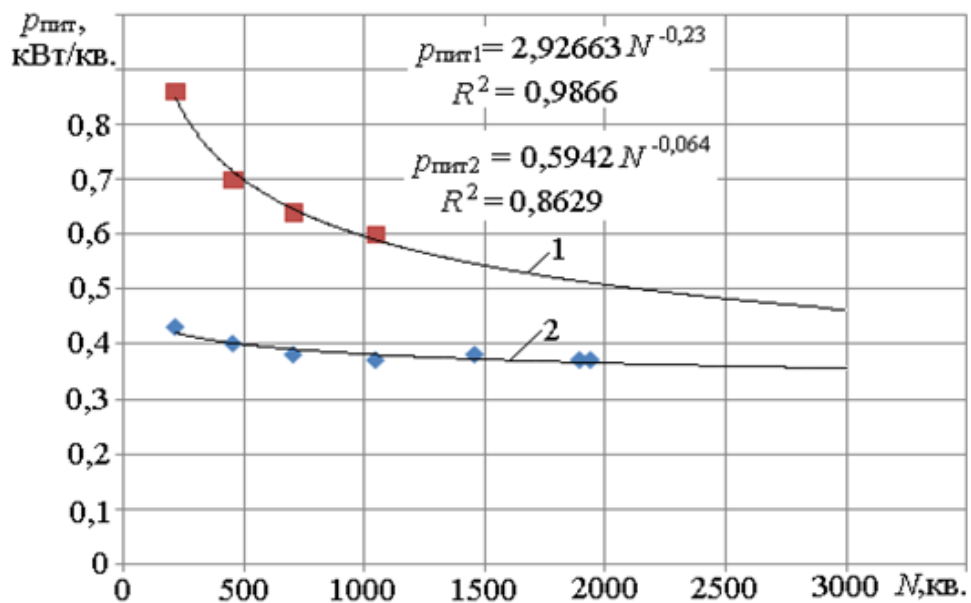


Рисунок 4.19 – Динаміка питомого навантаження від 150 до 1938 квартир та екстраполяції до 3000 квартир за: 1–нормативами; 2 – графічного методу

Коефіцієнти детермінації R^2 свідчать про високу ступінь адекватності.

Таким чином, визначається суттєва розбіжність між навантаженням обчисленим за нормативними документами та графічним методом і виміряними за фазами кабельних ліній, що живлять будинки з різною кількістю квартир.

4.3 Метод графічного визначення розрахункового електричного навантаження громадських будинків

Як приклад, визначається розрахункова потужність їдальні, технічні характеристики електрообладнання якої наведено в таблиці 4.7.

Визначається установлена потужність силових ЕП їдальні за формулою

$$P_{\text{уст.сил}} = \sum_{i=1}^n P_{\text{уст.сил.}i} \cdot \quad (4.42)$$

За формулою (4.42)

$$P_{\text{уст.сил}} = 162,35 \text{ кВт.}$$

Визначається відсоткова частка електричної потужності теплового обладнання від загальної установленної потужності силових ЕП їдальні так:

$$P_{\text{уст.т/с}} = \frac{P_{\text{уст.т}}}{P_{\text{уст.сил}}} \cdot 100\%. \quad (4.43)$$

За формулою (4.43)

$$P_{\text{уст.т/с}} = \frac{127,2}{162,35} 100 = 78,3\%.$$

Таблиця 4.7 – Технічні характеристики електрообладнання їдальні

Найменування обладнання	Кількість	Установлена потужність одного ЕП, кВт	Підсумкова потужність, кВт
Електроплита 6-конфоркова	3	22,6	67,8
Пательня чавунна	2	6	12
Картоплечистка	1	5	5
М'ясорубка	1	1,5	1,5
Марміт 1-х страв	1	2,5	2,5
Марміт 2-х страв	1	2,5	2,5
Протиральна машина	1	0,75	0,75
Холодильна шафа	2	0,6	1,2
Холодильна вітрина	2	0,6	1,2
Хліборізка	2	0,25	0,5
Вентиляційна установка	4	3	12
Шафа прожарювальна	1	10	10
Кавоварка	1	4,6	4,6
Кип'ятильник	2	10	20
Вітрина для 2-х страв	2	6	12
Вітрина-холодильник	2	0,5	1
Вітрина гарячих напоїв	2	0,5	1
Мікрохвильова піч	1	2,4	2,4
Електрорушник	2	2,2	4,4

Визначається ефективна кількість ЕП за формулою (1.4)

$$n_e = \frac{2 \cdot 162,35}{22,6} = 15.$$

Визначається розрахунковий коефіцієнт попиту силових ЕП, який приймається 0,65 [10, 47].

Визначається розрахункове навантаження силових ЕП за формулою

$$P_{\text{р.сил}} = P_{\text{уст.сил}} K_{\text{п.сил}}, \quad (4.44)$$

де $K_{\text{п.сил}}$ – розрахунковий коефіцієнт попиту для силових ЕП їдальні.

За формулою (4.44)

$$P_{\text{р.сил}} = 162,35 \cdot 0,65 = 105,53 \text{ кВт.}$$

Визначається аналогічно розрахункове електричне навантаження мережі освітлення за розрахунковим коефіцієнтом попиту

$$P_{\text{р.осв}} = 32 \cdot 0,75 = 24 \text{ кВт.}$$

Визначається частка навантаження освітлювального до силового

$$P_{\text{р.о/с}} = \frac{24}{105,53} \cdot 100\% = 22,7\%.$$

Оскільки ця відсоткова частка більша за 20%, то підсумкове розрахункове навантаження силових та освітлювальних ЕП визначається за коефіцієнтом попиту, який становить 0,9 [10, 47].

Визначається підсумкове навантаження їдальні з урахуванням коефіцієнта неспівпадання максимумів силового та освітлювального навантаження

$$P_{\text{р.їд}} = K_{\text{н.м}} (P_{\text{р.сил}} + P_{\text{р.ос}}). \quad (4.45)$$

За формулою (4.45)

$$P_{p.ід} = 0,9(105,53 + 24) = 116,58 \text{ кВт.}$$

За інформацією АСКОЕ розрахункове навантаження їдальні становить 56,2 кВт, що у 2 рази менше визначеного за нормативами.

4.4 Метод графічного визначення електричного навантаження систем гарантованого електропостачання

Як приклад, визначаються розрахункові електричні навантаження ЕКГ ЛОМ (активне, реактивне, повне) та розрахунковий і пусковий струми, приведені до виходу АБЖ, які створюють 8 робочих місць та 2 сервери.

Розрахункове активне навантаження ЕКГ ЛОМ, яке приведене до виходу АБЖ, за формулою (1.38)

$$P_{p.ЛОМ} = 0,3 \cdot 0,7 \cdot 8 + 1,0 \cdot 0,95 \cdot 2 + 0,07 = 3,65 \text{ кВт.}$$

Розрахункове реактивне навантаження ЕКГ ЛОМ за формулою (1.39)

$$Q_{p.ЛОМ} = 0,3 \cdot 0,7 \cdot 8 \cdot 0,96 + 1,0 \cdot 0,95 \cdot 2 \cdot 0,96 = 3,44 \text{ квар.}$$

Розрахункове повне електричне навантаження ЕКГ ЛОМ, яке приведене до виходу АБЖ, за формулою (1.40)

$$S_{p.ЛОМ} = \sqrt{3,65^2 + 3,44^2} = 5,0 \text{ кВА.}$$

Розрахунковий вихідний струм АБЖ від ЕКГ ЛОМ, за формулою (1.40)

$$I_{р.ЛОМ} = \frac{5,0}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 7,6 \text{ А.}$$

Пусковий вихідний струм АБЖ від ЕКГ ЛОМ, за формулою (1.41)

$$I_{пуск.ЛОМ} = 3 \cdot 7,6 = 22,8 \text{ А.}$$

За даними динаміки електричного навантаження ЕКГ (розділ 3) розрахункове активне навантаження ЛОМ становить близько 1,8 кВт, що у 2 рази менше визначеного за нормативами.

4.5 Метод графічного визначення споживання електроенергії житловими та громадськими об'єктами

Визначення електричного навантаження житлових будинків наведено за прикладом добового навантаження будинку, побудованого за інтерполяцією дискретних значень навантаження 120 жителів і загальнобудинкових електроприймачів за інформацією АСКОВЕ, що наведено на рисунку 4.20.

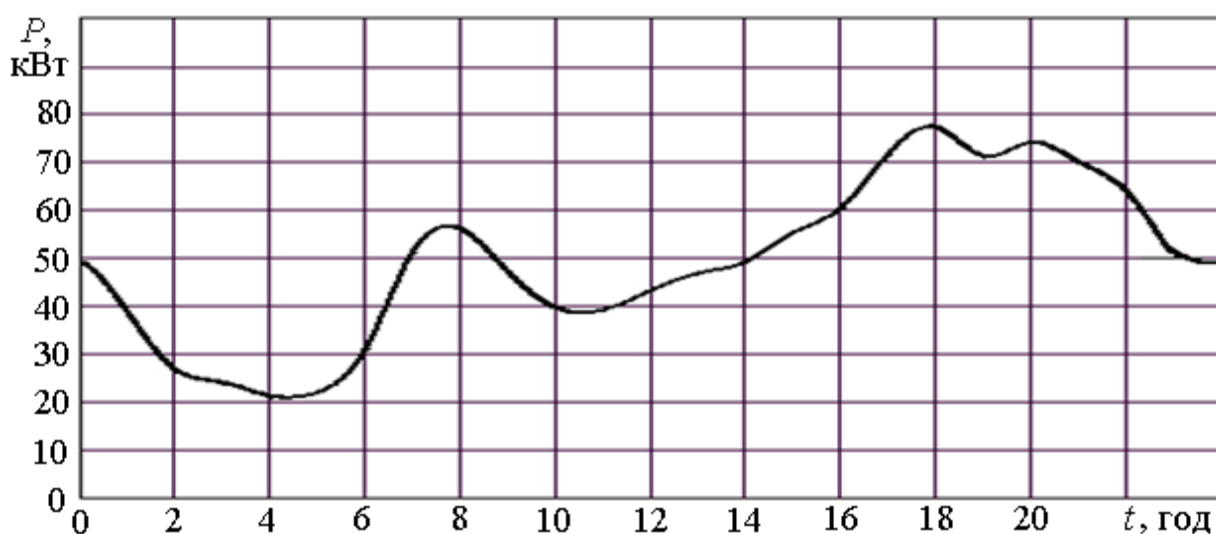


Рисунок 4.20 – Результат моделювання добового навантаження 120-квартирного будинку за інформацією АСКОВЕ 20.12.2017 р.

За розрахункове навантаження житлового будинку, яке приводиться до певного елементу мережі, наприклад, ввідно-розподільного пристрою (ВРП), приймається півгодинний максимум, який вибирається найбільшим із середніх півгодинних навантажень протягом доби.

Розрахункове активне навантаження цього будинку обчислюється як його максимальне середнє значення за час з 17 год 45 хв. по 18 год 15 хв.:

$$P_{\text{р.ж.б}} = \frac{\int_{17,75}^{18,25} p(t)dt}{0,5}. \quad (4.46)$$

Коефіцієнт заповнення графіка електричного навантаження житлового будинку визначається за формулою

$$K_{\text{з.г}} = \frac{\int_0^{24} p(t)dt}{24P_{\text{р.ж.б}}}. \quad (4.47)$$

Коефіцієнт заповнення графіка використовуватиметься при визначенні потужності силових трансформаторів внутрішньоквартальних понижувальних підстанцій.

Кількість споживаної активної електроенергії електроприймачами житлового будинку за добу визначається за формулою

$$W_a = \int_0^{24} p(t)dt. \quad (4.48)$$

Графік річного споживання електроенергії 120 житлами, 3-х ліфтових установок, електричного освітлення сходових кліток 3-х під'їздів житлового

будинку та інших загальнобудинкових ЕП за АСКОЕ 2017 р. наведено на рисунку 4.21, за яким річне споживання активної електроенергії ЕП будинку, приведенного до його вводу (ВРП), визначається за формулою

$$W_{a.річ} = \int_0^{12} p(t)dt. \quad (4.49)$$

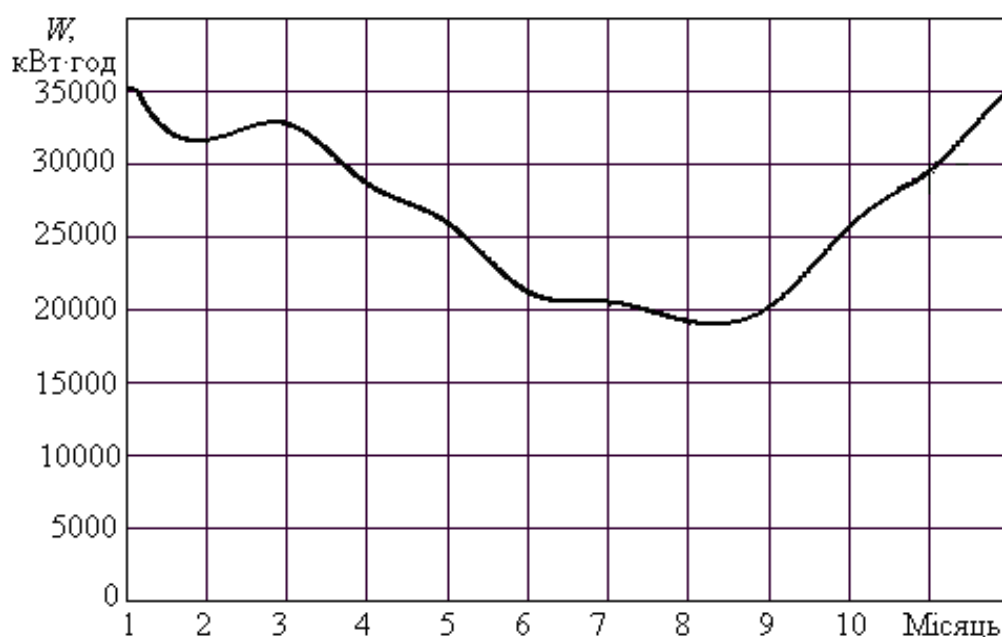


Рисунок 4.21 – Результат апроксимації кубічними сплайнами дискретних значень електроспоживання житлового будинку за АСКОЕ 2017 р.

Річна кількість годин використання максимуму активної електричної потужності ЕП цього житлового будинку визначається за формулою

$$T_{a.річ} = \frac{W_{a.річ}}{P_{p.ж.б}}. \quad (4.50)$$

Середньорічне значення активного електричного навантаження електроприймачів житлового будинку визначається як

$$P_{\text{сер.річ}} = \frac{W_{\text{а.річ}}}{8760}. \quad (4.51)$$

Отримані значення за формулами (4.46–4.49) можуть використовуватися для розрахунку електричних мереж аналогічних об'єктів.

Очікуване добове споживання електроенергії житлового будинку може визначатися за типовими добовими графіками навантаження вбудованих об'єктів, які живляться від загального ВРП (рисунок 4.22) [16, 17, 18].

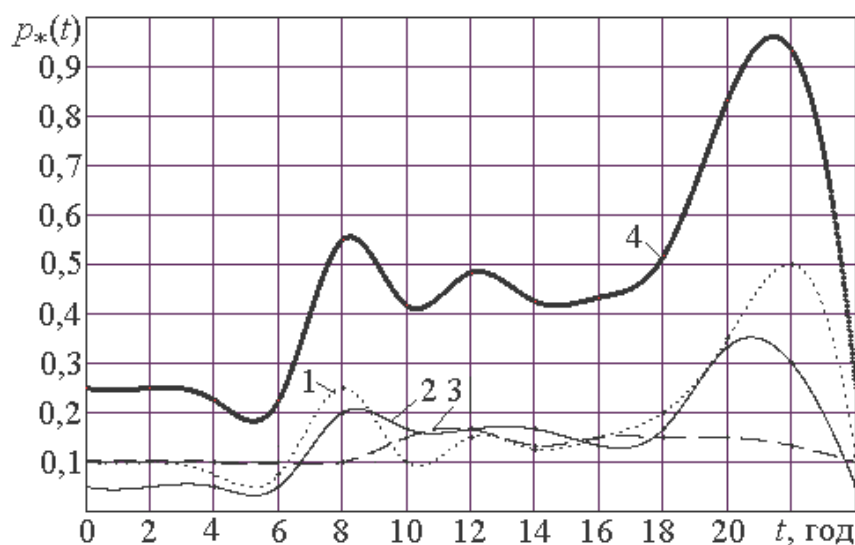


Рисунок 4.22 – Добові графіки навантаження:

1 – житлового будинку з електричними плитами; 2 – орендованих приміщень будинку; 3 – вбудованого універсалу; 4 – підсумковий

Очікуване добове підсумкове споживання електроенергії житлового будинку з вбудованими об'єктами визначається за формулою

$$W_{\text{а.доб}} = \int_0^{24} p_1(t) dt + \int_0^{24} p_2(t) dt + \int_0^{24} p_3(t) dt = \int_0^{24} p_4(t) dt, \text{ кВт} \cdot \text{год.} \quad (4.52)$$

Коефіцієнт заповнення добового графіка визначається так:

$$k_{з.г} = \frac{1}{24P_p} \int_0^{24} p_4(t) dt. \quad (4.53)$$

На підставі добового споживання активної енергії житлового будинку у робочі і вихідні дні очікуване річне може визначатися так:

$$W_{a.річ} = W_{a.роб} n_{роб} + W_{a.вих} n_{вих}, \quad (4.54)$$

де $W_{a.роб}$, $W_{a.вих}$ – електроспоживання за робочі та вихідні дні;

$n_{роб}$, $n_{вих}$ – річна кількість робочих і вихідних днів відповідно.

Енергетична, економічна та екологічна ефективність впливу графічного і за нормативами визначення навантаження 4-х 216-квартирних будинків на вибір потужності живильної двотрансформаторної ТП, обчислюється за вихідними даними в середовищі MathCad. Для цього за рисунком 4.19 визначається фактичне питоме навантаження квартир з газовими плитами для 4-х будинків та за ДБН і будуються відповідні графіки (рисунок 4.23).

За нормативами розрахункове повне електричне навантаження 4-х будинків визначається так:

$$S_{p1} = \frac{P_{пит1} \cdot N + 0,9P_{снл}}{\cos \varphi}. \quad (4.55)$$

Попередньо вибираються трансформатори 2×ТМ-250/10 і 2×ТМ-160/10.

Початковий коефіцієнт навантаження трансформаторів 2×ТМ-250/10

$$K_{н1} = \frac{1}{2S_{т1}} \sqrt{\frac{\int_0^{20,41} S_{p1}^2(t) dt + \int_{23,11}^{24,0} S_{p1}^2(t) dt}{21,3}}. \quad (4.56)$$

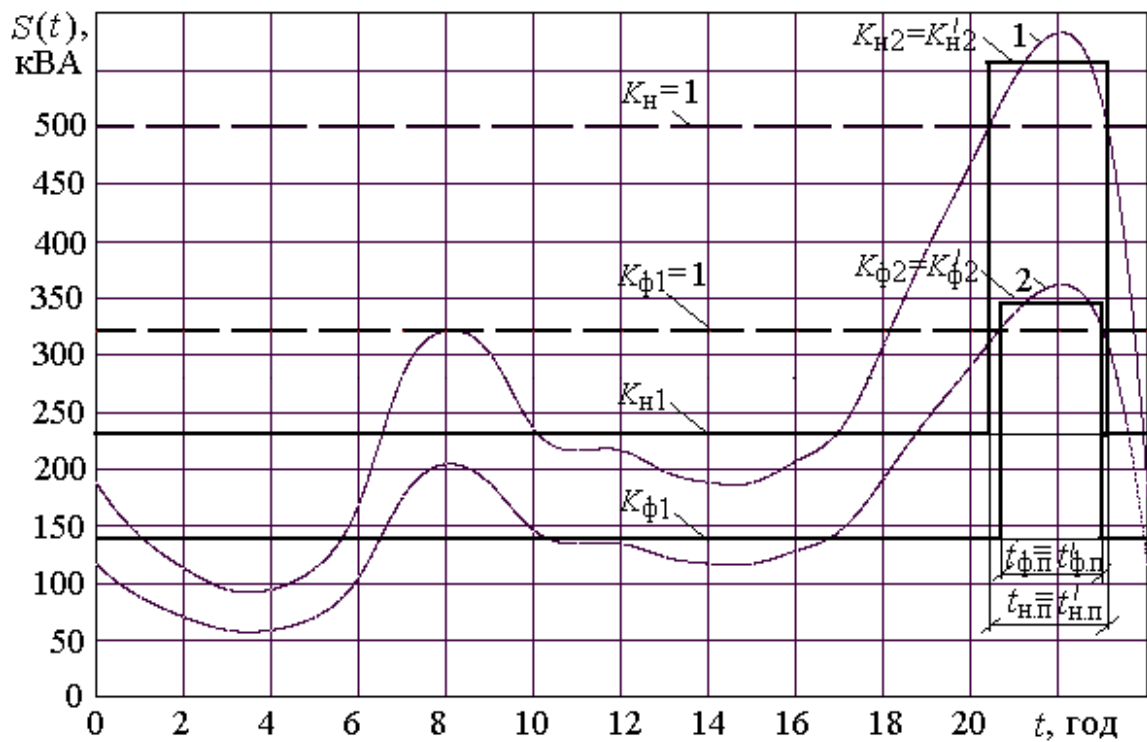


Рисунок 4.23 – Результат побудови графіків навантаження 4-х будинків за нормативами (1) і графічного (2) та перетворення їх в еквівалентні двоступінчасті

Перевантаження K_{H2} за його тривалості $t_{H.П}$ знаходиться аналогічно.

У разі, коли $K'_{H2} \geq 0,9S_{p1} / 2S_{T1}$, то $K_{H2} = K'_{H2}$ і $t_{H.П} = t'_{H.П}$.

Якщо $K'_{H2} < 0,9S_{p1} / 2S_{T1}$, то

$$t_{H.П} = \frac{(K'_{H2})^2 t'_{H.П}}{(0,9S_{p1} / 2S_{T1})^2}. \quad (4.58)$$

Попередньо вибираються трансформатори 2×ТМ-250/10 обчислені за ДБН розрахункової потужності 4-х житлових будинків. Отримане розрахункове навантаження 582,3 кВА трансформаторів за їхньої технічної можливо-

сті не задовольняє умовам задачі, тому остаточно вибираються трансформатори 2×ТМ-400/10, які забезпечуватиме електропостачання 4-х будинків як в нормальному, так і в аварійному режимі.

Аналогічно, за графічно визначеного електричного навантаження 4-х будинків 361,5 кВА, вибирається остаточно трансформатори 2×ТМ-250/10, при цьому припускається, що коефіцієнти заповнення (конфігурація) графіків електричного навантаження 1, 2 подібні.

Втрати активної потужності у двообмоткових трансформаторах визначаються за формулами:

$$\Delta P_T = \frac{P_p^2 + Q_p^2}{U_{\text{ном}}^2} R_T + \Delta P_x = \frac{S_p^2}{S_{\text{ном.т}}^2} \Delta P_K + \Delta P_x, \text{кВт}; \quad (4.59)$$

– втрати річні активної електроенергії у трансформаторі

$$\Delta W_{\text{т.річ}} = \frac{S_p^2}{S_{\text{ном.т}}^2} \Delta P_K \tau + \Delta P_x 8760 \text{ кВт} \cdot \text{год}. \quad (4.60)$$

Втрати реактивної потужності у двообмоткових трансформаторах визначаються за формулою

$$\Delta Q_T = \frac{P_p^2 + Q_p^2}{U_{\text{ном}}^2} X_T + \frac{I_x \%}{100} S_{\text{ном.т}} = \frac{u_K \%}{100} \frac{S_p^2}{S_{\text{ном.т}}} + \frac{I_x \%}{100} S_{\text{ном.т}}, \quad (4.61)$$

де P_p , Q_p , S_p – розрахункові активна, реактивна та повне навантаження трансформатора відповідно;

R_T , X_T – активний та реактивний опори трансформатора, які визначаються так:

$$R_T = \frac{\Delta P_K U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ.Т}}^2}, \quad (4.62)$$

$$X_T = \frac{u_K U_{\text{НОМ}}^2}{100 S_{\text{НОМ.Т}}}, \quad (4.63)$$

де $\Delta P_K, u_K$ – втрати активної потужності КЗ та напруги КЗ трансформатора відповідно;

$\Delta P_X, I_X$ – втрати активної потужності та струм холостого ходу трансформатора відповідно;

S_p – розрахункове навантаження трансформатора;

$S_{\text{НОМ.Т}}$ – номінальна потужність трансформатора.

Використовуючи технічні дані силових трансформаторів типу ТМ напругою 10/0,4 кВ, за наведеними формулами обчислюються річні втрати електроенергії у силових трансформаторах 2×ТМ-400/10 і 2×ТМ-250/10 відповідно.

Таким чином, варіант з трансформаторами 2×ТМ-250/10, що вибрано за графічного обчислення навантаження 4-х будинків, заощадить (*енергетична ефективність*) за час експлуатації біля 492,2 т у. п., за витратою електроенергії (*економічна ефективність*) варіант дешевший на 268,2 тис. грн, при цьому зменшаться викиди (*екологічна ефективність*) у навколишнє середовище близько 163,6 т.

Ураховуючи, що на території житлового мікрорайону міста розташовано 9 трансформаторних підстанцій, неважко розрахувати енергетичну, економічну та екологічну ефективність вибору потужності трансформаторів ТП за результатами обчислення навантаження за графічним методом порівняно з розрахунками за нормативними показниками.

4.6 Макромодельовання як основа прогнозування електричного навантаження об'єктів цивільного призначення

Електричні навантаження житлових будинків є випадковими, залежать від порядку денного життя сімей, наявності набору ЕП, вони істотно змінюються протягом доби і залежно від пори року. Все це створює труднощі в прогнозуванні. Окрім цього, зростає насиченість жител новими електропобутовими приладами. Визначення прогнозних електричних навантажень є основою проєктування внутрішніх мереж будинків і міських мереж.

Основну групу споживачів селітебних територій складають житлові будинки. Електричне навантаження будинків визначається освітленням квартир і різними електропобутовими приладами, що використовуються населенням. Практично на величину споживання електричної енергії впливають найбільш потужні електроприймачі повсякденного вживання. До них відносяться кондиціонери, пральні і посудомийні машини, електронагрівальні прилади, такі як бойлери, електричні плити, системи опалення тощо [10, 11, 160, 162–164].

Результати аналізу показали, що установлена потужність освітлення квартир знаходиться від 0,34 до 0,65 кВт, а із застосуванням сучасних освітлювальних приладів – значно менше. В обстежених квартирах на 100 сімей було 50% електрочайників і 95% телевізорів. Насичення холодильниками складає 100%, пральними машинами 75%. Використовуються пилососи та інші окремі електропобутові прилади, доля яких в загальному вжитку квартири є незначною. Річний вжиток електроенергії однією сім'єю, за наявності газових плит, становить в середньому 1200 кВт·год залежно від кількості мешканців. За прогнозними розрахунками мереж необхідно враховувати динаміку електроспоживання і приділяти цьому особливу увагу.

За темпом, що спостерігається щодо збільшення побутових ЕП, річний вжиток електроенергії в будинках з газовими плитами визначений в серед-

ньому 1200–2300 кВт·год на сім'ю. Інші розрахункові показники електрожитку визначаються за динамікою реального електроспоживання.

Нормальний розподіл ймовірності є основою можливості й ефективності вживання загальних математичних процедур при вирішенні завдань статистичного аналізу і прогнозування режимів електроспоживання.

Прогнозування навантаження грає найважливішу роль в забезпеченні економічності і надійності режимів роботи систем електропостачання. Висока вартість і обмеженість ресурсів первинних джерел енергії та розвиток засобів обчислювальної техніки і систем управління електропостачанням створюють передумови для подальшого розвитку методів прогнозування.

Значна кількість алгоритмів прогнозування електроспоживання є комбінацією різноманітних статистичних процедур. Існують методи прогнозування, у яких здійснюється виділення базової складової та зміни навантаження. Крім цього, також застосовуються методи, у яких зміна навантаження розглядається як випадковий процес.

Однак точне моделювання є утрудненим через нелінійні та складні співвідношення між навантаженнями, факторами від яких воно залежить та випадковими впливами.

Існуючі методи прогнозування не завжди можуть працювати з зашумленими та неповними даними первинної інформації. Проте, передбачення електричного навантаження базується на врахуванні певних відомих властивостей прогнозованого процесу.

Також слід зазначити, змінам навантаження притаманні випадковий, імовірнісний характер. Внаслідок цього, природних змін завантаження та впливу стохастичних факторів, строга періодичність у графіках навантаження відсутня.

Таким чином, застосування окремих методів прогнозування електроспоживання призводить до виникнення значних похибок в оцінюванні прогнозованих величин. Інші, через труднощі математичного апарату не отрима-

ли широкого застосування для розв'язування практичних задач електроенергетики.

Ефективність застосування до прогнозування різних підходів може бути перевірена шляхом оцінювання найменшої похибки прогнозування електроспоживання, працездатності алгоритму за умови неповної інформації та його завадостійкості.

Виходячи з цього розроблення нових підходів, методів та алгоритмів для прогнозування електроспоживання, які б враховували дані різного роду та могли б врахувати неточні чи неповні дані на сьогодні є актуальною науковою та прикладною проблемою [1, 36, 40, 41, 44, 74, 82, 83, 85, 87, 97, 101, 108, 109, 124, 142–145, 150–154, 157, 165–168, 171–175].

Загальна структурна схема моделей, що призначені для прогнозування електроспоживання цивільних об'єктів наведена на рисунку 4.24

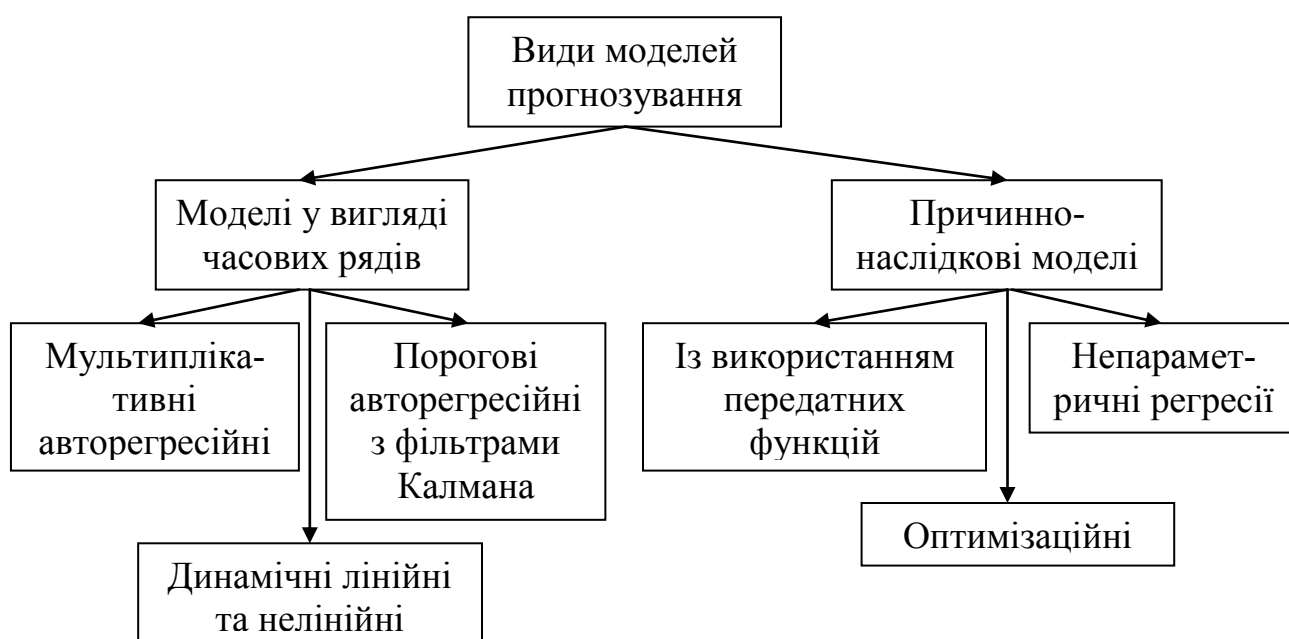


Рисунок 4.24 – Види моделей прогнозування електроспоживання

Серед вже розроблених моделей для прогнозування електроспоживання застосовуються такі:

1) Авторегресійні моделі – це моделі часових рядів, у яких значення часового ряду в даний момент лінійно залежать від попередніх значень того ж ряду.

Авторегресійний процес порядку p визначається так:

$$X_t = c + \sum_{i=1}^p a_i X_{t-i} + \varepsilon_t, \quad (4.64)$$

де $a_1, \dots, a_p$ – параметри моделі (коефіцієнти авторегресії);

c – стала (часто для спрощення приймають рівною нулеві);

ε_t – білий шум.

За допомогою авторегресійних моделей можна моделювати сезонність, у цьому випадку кількість коефіцієнтів моделі відповідатиме кількості циклічно змінних факторів, які беруться до уваги.

З метою прогнозування електроспоживання можна застосовувати таку форму авторегресійної моделі:

$$L(t, d) = \sum_{k=1}^4 a_k L_k(t, d), \quad (4.65)$$

де a_k – лінійні ваги, які забезпечують оптимальну комбінацію чотирьох окремих прогнозів;

$L_1(t, d)$ – прогноз $L(t, d)$ на основі авторегресійної моделі першого порядку з затримкою в одну годину;

$L_2(t, d), L_3(t, d), L_4(t, d)$ – те ж саме із затримкою в одну добу, тиждень та рік відповідно.

2) Узагальнене експоненційне згладжування, яке може застосовуватися для прогнозування сумарного погодинного електроспоживання:

$$L(t) = a^T f(t) + \varepsilon(t), \quad (4.66)$$

де a^T – транспонований вектор експоненційно згладжених ваг;

$f(t)$ – вектор згладжувальних функцій.

Згладжувальні функції представляють собою розклад у ряд Фур'є на період одного тижня.

3) Нейронні мережі та нечітка логіка – це один з нових підходів, який застосовується для вирішення проблеми прогнозування на основі нечіткої логіки та нейронних мереж. Метод передбачає використання апріорної інформації, дозволяє використовувати нову інформацію в процесі побудови та враховувати властивості модельованого процесу. Також може використовувати попередньо відому інформацію, піддається навчанню і є достатньо наочним для спостерігача. Основним елементом нейронної мережі є штучний нейрон, який є математичною моделлю біологічної нервової клітини. Штучні нейронні мережі є множиною сполучених і взаємодіючих між собою штучних нейронів, для працездатності яких необхідно виконувати процедуру навчання. Нейронні мережі здатні виявляти складні залежності між вхідними та вихідними даними та виконувати узагальнення існуючих, проте прихованих, властивостей та взаємозв'язків. Саме з цього випливає здатність навченої нейронної мережі до прогнозування, передбачити майбутнє значення певної послідовності на основі декількох попередніх значень чи існуючих в даний момент факторів.

Такий спосіб застосування нейронних мереж для прогнозування не втрачатиме працездатності за умови неповної вхідної інформації, проте потребує значного часу на навчання. Застосування систем з нечіткою логікою, тобто множин із сукупністю елементів довільної природи, які чітко не визначають належність до певної множини, дозволяє усунути недоліки штучних нейронних мереж.

Моделювання із застосуванням нечітких множин є доцільним у випадку дослідження надто складної технічної системи або процесу.

Сучасна математична статистика, що тривалий час претендувала на роль основного інструмента аналізу даних, не завжди підходить при розв'язанні задач з реального різноманітного життя. Таке відбувається, оскільки використовуються усереднені характеристики вибірки, що часто виявляються фіктивними величинами. Тому методи математичної статистики виявляються корисними, для перевірки заздалегідь сформульованих гіпотез.

Сутність альтернативного прогнозування на основі макромоделювання – це процес побудови моделі електроспоживання за таких етапів, що наведені на рисунку 4.25.

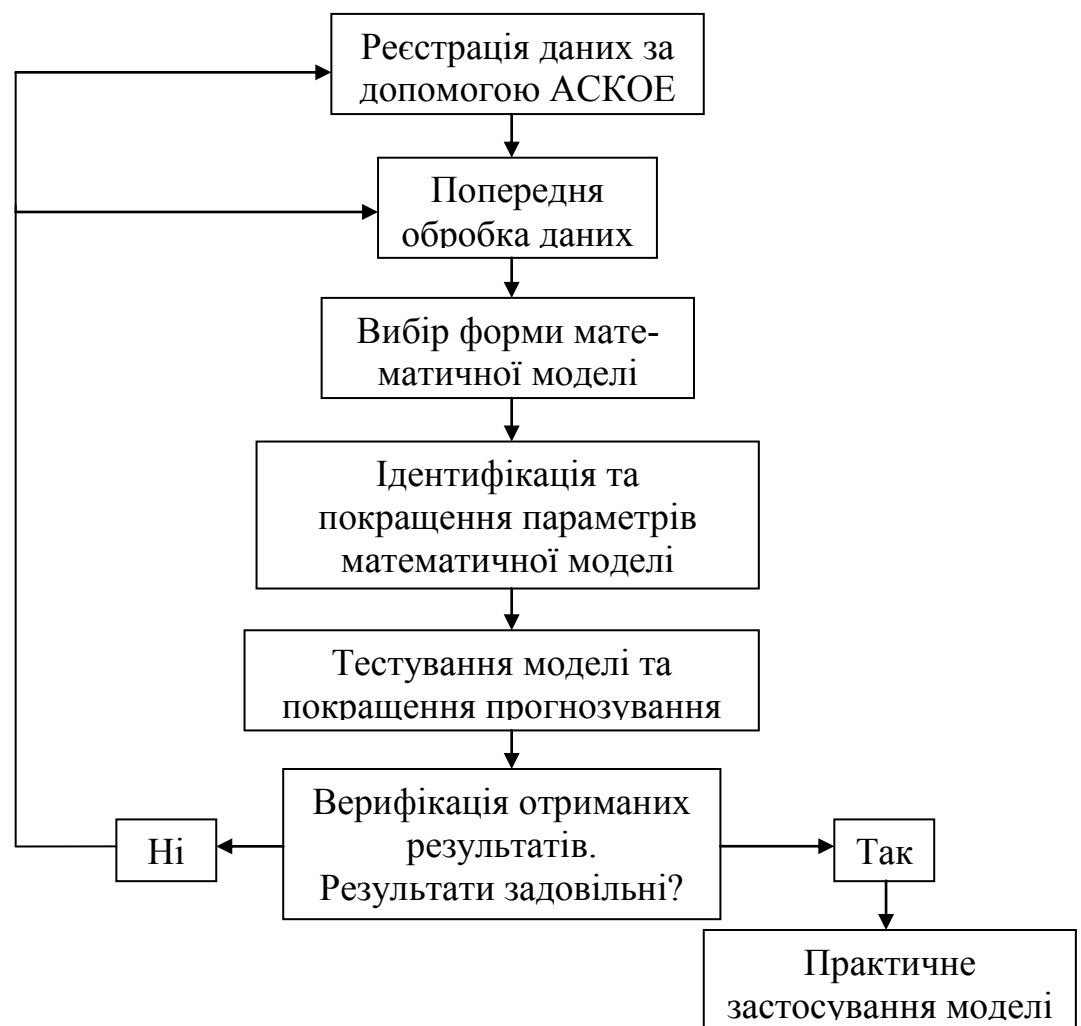


Рисунок 4.25. Етапи побудови макромоделі прогнозування

На першому етапі здійснення процедури аналізу передбачається збирання та оброблення даних про електроспоживання наведеного в дослідженні реального об'єкта – 9-поверхового 216-квартирного будинку.

Система організації збирання та реєстрації інформації щодо електричного навантаження житлового будинку здійснювалася за допомогою АСКОЕ АТ «Одесаобленерго».

Прилади обліку електроенергії житлових будинків, громадських будівель та їх комплексів рекомендується об'єднувати в АСКОЕ, що сприяє використанню її як інструмента проведення енергетичного аудиту, контролю питань щодо заощадження енергетичних ресурсів через запровадження відповідних заходів та збереження навколишнього середовища.

Застосування АСКОЕ сприяє економному використанню енергоресурсів за рахунок ретельного контролю споживання електроенергії та своєчасній розробці відповідних заходів.

Електронні лічильники сімейства Smart IMS є мікропроцесорні багатофункціональні інтелектуальні прилади. У них відбувається за допомогою контролера аналогових сигналів датчиків струму і напруги перетворення їх в цифрові величини, на підставі яких обчислюються потужність, електроспоживання та ряд інших параметрів, що відображаються на дисплеї.

Електронні багатофункціональні лічильники, які використовуються в АСКОЕ, дозволяють організовувати комерційний та технічний облік споживання електроенергії в умовах диференційних тарифів, вимірюють активну, реактивну та повну потужність у мережах однофазного та трифазного змінного струму в одному та у двох напрямках. Прилад має такі особливості як облік та індикація споживання електроенергії за останні 12 місяців за усіма тарифами, зняття показів лічильника за допомогою пристрою зміни параметрів або електронної карти.

Прилади обліку електроенергії кожної з 216 квартир 9-поверхового житлового будинку приєднані до мережі АСКОЕ, яка містить систему збору інформації, типова схема побудови якої наведена на рисунку 4.26.

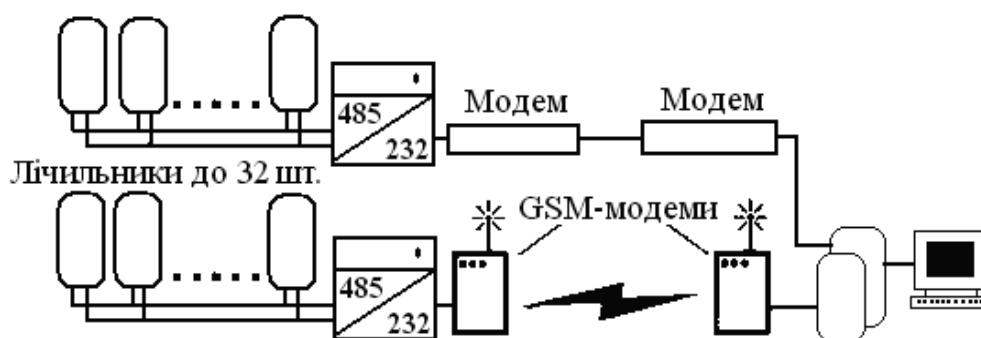


Рисунок 4.26 – Типова схема побудови автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії

Система АСКОЕ дозволяє організувати дистанційне опитування приладів обліку через радіозв'язок, телефонні лінії, GSM-канали.

Уся інформація відображається у вигляді неперервних графіків на дисплеї або у цифровому варіанті в Excel (рисунок 4.27).

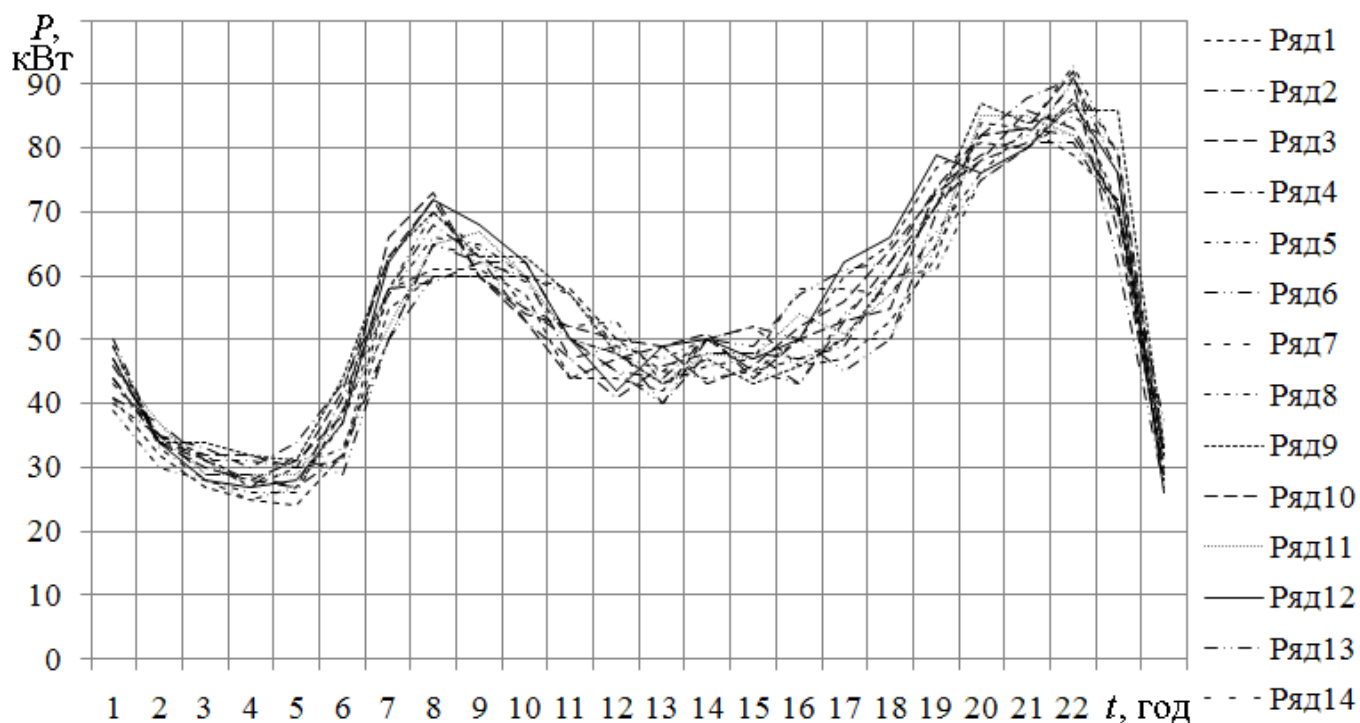


Рисунок 4.27 – Графіки добового навантаження будинку в жовтні 2017 р.
(день за порядком у жовтні місяці співпадає з номером ряду)

За отриманою інформацією відзначається, що максимальне електричне навантаження 216-квартирного житлового будинку протягом 2-х тижнів жовтня 2017 р. становить не більше 95 кВт.

Графіки електричного навантаження мають імовірнісний характер та змінюються протягом доби, мають максимуми у вранішні з 7 до 9-ої та вечірні з 19 до 23-ої години, що зумовлено режимами роботи різноманітних електроприймачів квартир.

Попередня обробка даних передбачає вибір періоду часу, для якого здійснюється прогнозування, та періоду для подальшої верифікації даних.

Проводиться фільтрація у випадку значної кількості інформації щодо електроспоживання з метою вибору форми моделі та спрощення процедури прогнозування.

Під час вибору форми моделі може стати математичне макромодельовання із використанням дискретних автономних макромоделей у вигляді «чорної скриньки».

Процес відбувається на основі реєстрованих характеристик споживання електроенергії шляхом використання однорідних диференціальних чи різницевих рівнянь стану у такому вигляді:

$$\begin{cases} \frac{d\vec{t}}{dt} = \vec{f}(\vec{x}) \\ \vec{y} = \vec{g}(\vec{x}) \end{cases}, \quad (4.67)$$

$$\begin{cases} \vec{x}(k+1) = \vec{f}(\vec{x}(k)) \\ \vec{y}(k+1) = \vec{g}(\vec{x}(k)) \end{cases}, \quad (4.68)$$

де $\vec{x}$ – вектор змінних стану;

$\vec{y}$ – вектор вихідних змінних;

$\vec{f}(\cdot), \vec{g}(\cdot)$ – вектор-функції, що підбираються за допомогою оптимізаційних алгоритмів прихованого шару.

Оскільки при побудові моделі електроспоживання вектор вхідних змінних явно є відсутній, розглядаємо випадок, коли початкове значення змінних стану модельованого об'єкта є нульовим. Виберемо форму опису макромоделі у такому вигляді:

$$\begin{cases} \vec{x}(k+1) = \mathbf{F} \vec{x}(k) + \Phi(\vec{x}(k), \vec{v}(k)) \\ \vec{y}(k+1) = \mathbf{C}(\vec{x}(k+1)) \end{cases} \quad (4.69)$$

Початковий стан модельованого об'єкта описується нульовою дискретою вектора змінних стану $\vec{x}^{(0)}$. Тому компоненти цього вектора повинні додатись до набору невідомих коефіцієнтів моделі.

Проте $\vec{x}^{(0)}$ не можна просто ввести в набір параметрів моделі, оскільки для кожного динамічного процесу буде своє незалежне значення $\vec{x}^{(0)}$. Щоб врахувати цей факт, треба розділити вектор невідомих коефіцієнтів $\vec{\lambda}$ на дві частини: першу, в яку входять коефіцієнти, однакові для усіх процесів, і другу з незалежним набором елементів вектора $\vec{x}^{(0)}$ для кожного процесу, що збільшує невідому кількість коефіцієнтів і ускладнює оптимізаційну задачу.

У разі використання пропонованої макромоделі виникає проблема визначення нульової дискрети вектора $\vec{x}$, оскільки компоненти цього вектора, як правило, безпосередньо не вимірюються експериментально, а визначаються через певні значення вихідних елементів $\vec{y}$.

У загальному випадку це означає, що треба додатково знайти лінійну чи нелінійну залежність від $\vec{x}^{(0)}$ експериментально вимірюваних величин $\vec{y}$.

Зокрема, в задачах прогнозування ця залежність будується як функція кількох перших дискрет вихідних величин:

$$\bar{x}^{(0)} = \bar{f}(\bar{y}^{(1)}, \bar{y}^{(2)}, \dots, \bar{y}^{(l)}), \quad (4.70)$$

де l – кількість дискрет, що використовують для знаходження нульової дискрети вектора $\bar{x}$.

Оптимізаційний підхід, завдяки універсальності щодо форми представлення макромоделей може бути використано для знаходження додаткових залежностей. Це означає, що елементи вектора $\bar{x}^{(0)}$, додані до невідомих коефіцієнтів $\bar{\lambda}$ необхідно замінити на коефіцієнти виразу (4.66), тобто фактично ввести цей вираз у саму модель.

Якщо модель має вигляд (4.70), то отримаємо:

$$\begin{cases} \bar{x}^{(k+1)} = \mathbf{F} \bar{x}^{(k)} + \Phi(\bar{x}^{(k)}) \\ \bar{y}^{(k+1)} = \mathbf{C} \bar{x}^{(k+1)} \\ \bar{x}^{(0)} = \bar{f}(\bar{y}^{(1)}, \bar{y}^{(2)}, \dots, \bar{y}^{(l)}) \end{cases}, \quad (4.71)$$

що сприятиме апробації макромоделі електроспоживання об'єкта.

З метою перевірки працездатності запропонованого підходу побудовано макромодель добового електроспоживання 9-поверхового 216-квартирного будинку, для чого використано вхідні дані щодо середньодобового електроспоживання та тижні за жовтень 2017 року (рисунки. 4.28, 4.29).

Дискретну макромодель електроспоживання житлового будинку створено у вигляді такого співвідношення:

$$\begin{cases} \bar{x}^{(i+1)} = \mathbf{F} \bar{x}^{(i)} \\ \bar{y}^{(i+1)} = \mathbf{C} \bar{x}^{(i+1)} \end{cases}. \quad (4.72)$$

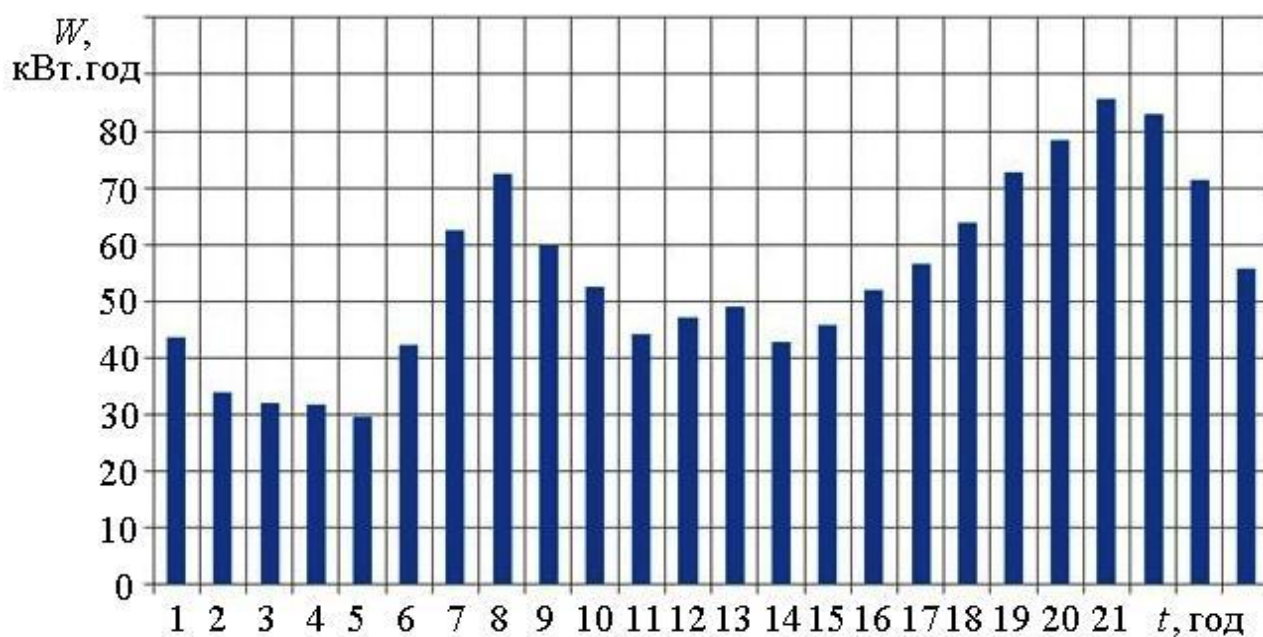


Рис. 4.28 – Динаміка середньодобового електроспоживання
216-квартирного будинку

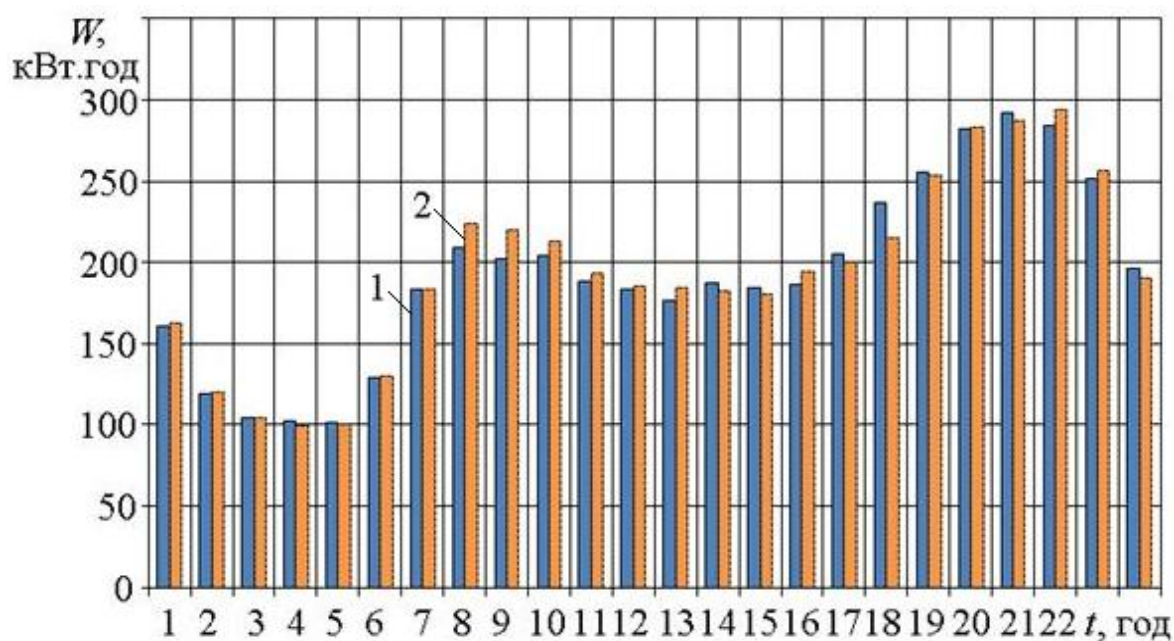


Рисунок 4.29 – Вхідні дані електроспоживання житлового будинку
протягом 1-го і 2-го тижня жовтня місяця 2017 р.

Початкове значення змінних стану $\bar{x}^{(0)}$ визначалося на основі лінійної залежності від рівня споживання електроенергії у довільно вибраному часі, а саме о 8, 13 та 22-й годині.

Таким чином отримаємо вираз

$$\bar{x}^{(0)} = S \begin{pmatrix} y_8 \\ y_{13} \\ y_{22} \end{pmatrix}. \quad (4.73)$$

Коефіцієнти матриць **F**, **C**, **S** макромоделі у стрічковому вигляді такі:

- матриця **F**: [1.0871, -0.3336, 0.3777, -0.4018, 1.0648, 0.3031, -0.0340, -0.1624, 0.1795, 0.9370, 0.3278, 0.3991, 0.2344, 0.7090, 1.0619];
- матриця **C**: [-0.6564, 0.3965, 0.0359, 0.4721];
- матриця **S**: [-0.1302, 0.2074, -0.6485, 0.3443, 0.0820, 0.0833, 0.5044, 0.2064, -0.3413, -0.0997, -0.3074, -0.06894].

Графічне представлення динаміки річного електроспоживання будинку, яка відтворена макромоделлю, що позначена суцільною лінією (—), за апріорної інформації, що позначена штрих-пунктирною лінією (— · —) за період з 01.10.2017 по 30.09.2018 р., наведено на рисунку 4.30.

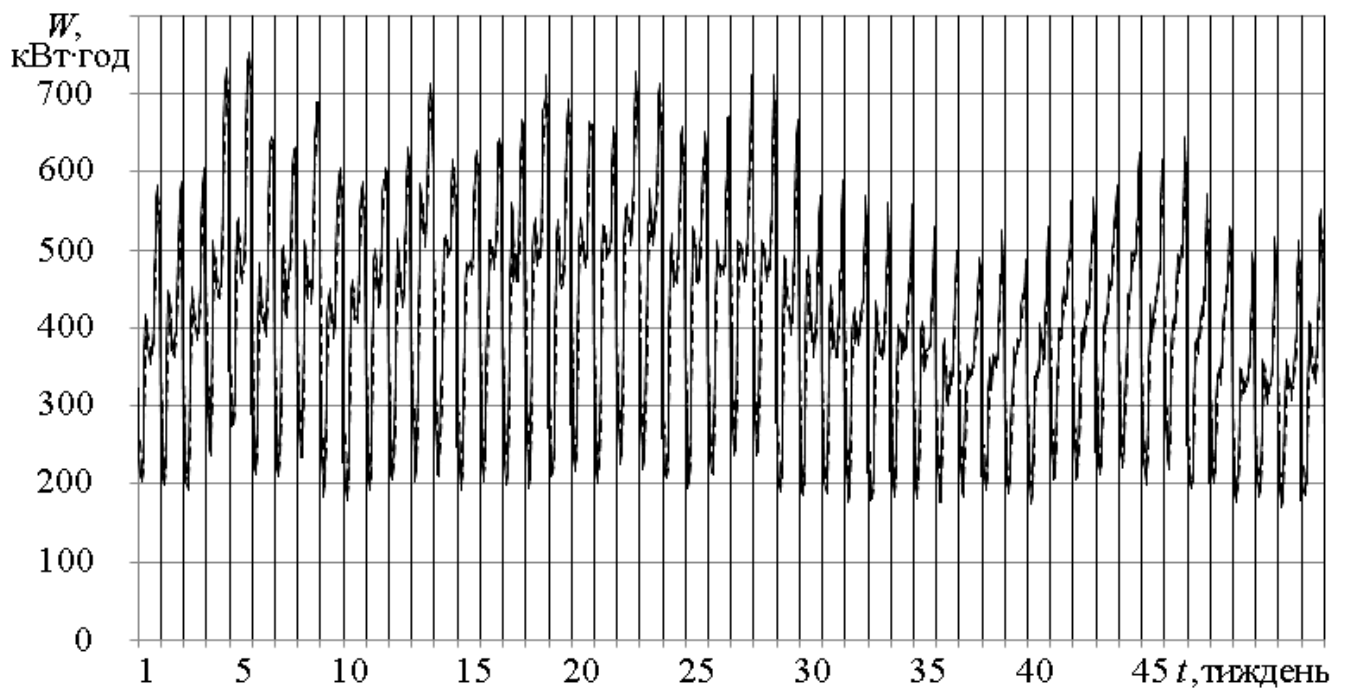


Рисунок 4.30 – Реакція макромоделі (—) на вхідні дані (— · —) електроспоживання житлового будинку за період з 01.10.2017 по 30.09.2018 р.

Апробація математичної макромоделі електроспоживання 216-квартирного будинку на основі дискретного автономного макромодельовання продемонструвала здатність моделі надавати адекватну інформацію за середньоквадратичної похибки 3,1 %.

Аналіз отриманої макромоделі дозволяє оцінити як місячну, так і сезонну динаміку електроспоживання протягом року та уникнути кризових періодів шляхом узгодження сумісних управлінських дій суб'єктів енергоринку, направлених на мінімізацію негативного їх впливу на якість електропостачання.

Метод дозволяє розробляти з достатньо високою точністю детерміністичні моделі електроспоживання на базі ретроспективних даних без використання процедур попередньої обробки даних, що притаманно для інших методів. Разом із тим, збір попередньої інформації, процедура побудови дискретної макромоделі для прогнозування, вимагає значного часу на підбір архітектури нейронної мережі, вибору навчальних і тестових завдань та тренінг мережі. Однак, на прикладі прогнозування електроспоживання житлового будинку показано, що підхід дискретного автономного макромодельовання ефективно використовує ретроспективну інформацію. Здатен навчатися та на виході надавати наочну і високоточну адекватну інформацію щодо процесу електроспоживання.

4.7 Метод визначення електричного навантаження цивільних об'єктів з використанням його фрактальних властивостей

Сучасні методи прогнозування можуть використовувати динаміку електроспоживання як детермінований процес або процес з імовірнісним характером. До них можна віднести адаптивний та нелінійні регресійні методи, нейронні мережі, нечітке прогнозування, сплайн-прогнозування, фрактальний аналіз та ін. Важливу роль відіграє оперативне прогнозування, для якого використовують типові усереднені графіки, при цьому вони оновлюються за

отриманої нової інформації такої, як температура навколишнього середовища, тривалість світлої частини доби [1, 165–168].

Застосовується в останній час метод фрактальних множин і фрактальної геометрії у сфері прогнозування електричних навантажень, оскільки традиційна геометрія з прямими лініями і гладкими поверхнями не завжди підходить для опису будь-якого об'єкта. При цьому використовуються самоафінні структури – фрактали, кожна частина якої повторює у своєму розвитку розвиток усієї моделі в цілому. Однак проблемою є те, що більшість робіт, які висвітлюють прогнозування потужних енергосистем, промислових підприємств, не дозволяють урахувати склад, специфіку і технологічні особливості режиму роботи електроприймачів, електроспоживання цивільних об'єктів. Тому для вирішення цієї проблеми пропонується розробка ефективного, достатньо точного для практичного застосування метод прогнозування з використанням фрактальних властивостей, сутність якого розкривається у подальших дослідженнях [88, 89, 161].

Серед методів прогнозування виділяють такі три групи: статистичні (ймовірнісні); детерміновані (в тому числі алгебраїчні); комбіновані ймовірно-детерміновані.

Статистичні моделі отримали найбільш широке застосування в задачах прогнозування процесів електроспоживання. Популярність моделей цього типу пояснюється високим ступенем адекватності для розв'язання цілої низки задач прогнозування процесів в енергетиці. На практиці користуватися багатовимірними щільностями ймовірності досить складно, так само як і їх визначити.

Випадкові нестационарні графіки навантаження часто мають особливості, що спрощують їх аналіз і моделювання. До таких особливостей відноситься повторюваність технологічних або добових циклів, а також циклів викликаних сезонними змінами.

Основу статистичних прогнозних математичних моделей електричних навантажень систем електроспоживання складають різні моделі часових ря-

дів: модель ковзного середнього і зваженого ковзного середнього, модель експоненційного згладжування Брауна, авторегресійна модель, поєднана модель авторегресії ковзного середнього, поєднана модель авторегресії інтегрованого ковзного середнього або Бокса-Дженкінса та ін.

Методи статистичної обробки інформації мають добре розвинені і вивчені класичні методи, а саме, регресійний, кореляційний аналіз та ін. Незважаючи на безперечну цінність цього виду досліджень, у багатьох випадках від нього доводиться відмовлятися. Як алгебраїчний підхід можна розглядати побудову математичних моделей процесів на основі теорії нечітких множин, штучних нейронних мереж, які дозволяють формувати модель об'єкта або процесу в умовах малих і нестационарних вибірок, а також формалізувати експертні оцінки фахівців. Усе більшого поширення набувають математичні прогнозні моделі, які є комбінацією статистичних та детермінованих моделей. Саме ці моделі дозволяють забезпечити найкращу точність прогнозування, адаптивність до змінного процесу електроспоживання, але вони не завжди відтворюють складні залежності, які супроводжуються нечітким формалізованим завданням.

Використовують математичні прогнозні моделі, які є комбінацією статистичних та детермінованих моделей. Саме ці моделі дозволяють забезпечити найкращу точність прогнозування, адаптивність до змінного процесу електроспоживання. Вони базуються на концепції стандартизованого моделювання навантаження, яка полягає в моделюванні фактичного навантаження $P(t,d)$ як сукупності стандартизованого графіка (базової складової, детермінованого тренду) $P_S(t,d)$ і залишкової складової $P_D(t,d)$. Така декомпозиція на складові найчастіше має адитивний характер:

$$P(t,d) = P_S(t,d) + P_D(t,d). \quad (4.74)$$

Іноді використовується і мультиплікативна декомпозиція:

$$P(t,d) = P_S(t,d) \cdot P_D(t,d), \quad (4.75)$$

де d – тип прогнозованої доби.

Використовується також модель, що поєднує властивості адитивної і мультиплікативної моделей:

$$P(t,d) = P_{S1}(t,d) + P_{S2}(t,d) \cdot P_D(t,d), \quad (4.76)$$

де $P_{S1}(t,d)$, $P_{S2}(t,d)$ – детерміновані складові;

$P_D(t,d)$ – остаточна випадкова складова.

Найбільш широке застосування в електроенергетиці має адитивна модель (4.74), моделі (4.75) і (4.76) мають обмежене застосування.

Процес $P_D(t,d)$ у першому наближенні вважають стаціонарним, а це спрощує його моделювання з використанням статистичних моделей. Виділення стандартної складової $P_S(t,d)$ здійснюють різними широко відомими методами [5, 10, 25, 74, 76, 87–89, 93].

При моделюванні стандартної складової $P_S(t,d)$ також часто здійснюють її декомпозицію на окремі складові:

$$P_S(t,d) = P_A(t,d) + P_R(t,d) + P_W(t,d), \quad (4.77)$$

де $P_A(t,d)$ – складова, що враховує зміну середнього сезонного навантаження;

$P_R(t,d)$ – складова, що враховує тижневу циклічність зміни електроспоживання;

$P_T(t,d)$ – трендова складова, що моделює додаткові ефекти, пов'язані зі зміною сходу і заходу сонця від сезону до сезону;

$P_W(t,d)$ – складова, яка враховує залежність електроспоживання від метеофакторів (температури).

Кожна із складових у комбінованій моделі, як правило, реалізується на основі того чи іншого статистичного або детермінованого методу. Це і визначає різноманіття комбінованих прогнозних математичних моделей процесів.

Комбіновані моделі не завжди обов’язково містять всі перелічені складові: $P_S(t,d)$, $P_A(t,d)$, $P_R(t,d)$, $P_T(t,d)$, $P_W(t,d)$, $P_D(t,d)$.

У низці випадків одні складові вбирають у себе функції інших відсутніх в моделі складових.

Метою дослідження є використання методів і моделей прогнозування електричних навантажень систем електроспоживання з врахуванням їх фрактальних властивостей. Завданням дослідження є розроблення та реалізація можливості фрактального R/S-аналізу динаміки електричного навантаження цивільного об’єкта та виявити і чисельно оцінити такі фундаментальні характеристики часових рядів як наявність довготривалої пам’яті та її глибину, трендостійкість та ін.

З цією метою організовано збирання й отримання за допомогою АСКОЕ ретроспективної інформації щодо електричного навантаження багатоквартирного житлового будинку, моделювання добових, тижневих та місячного електроспоживання багатоповерхового житлового будинку.

Проведено фрактальний R/S-аналіз динаміки електричного навантаження цивільного об’єкта та визначення за його результатами наявність довготривалої пам’яті та її глибину, трендостійкість ретроспективної інформації для прогнозування.

Для розкриття сутності фракталу розглянемо аналогію між побудовою Кривої Коха та принципом формування динаміки електричного навантаження цивільних об’єктів на прикладі електроспоживання багатоповерхового житлового будинку.

Для отримання Кривої Коха необхідно розділити відрізок на три рівні частини, на середній з яких побудувати правильний трикутник. Кожну із сторін фігури, що утворилася, знову розділити на три рівні частини і на середніх із них побудувати правильні трикутники і т. д.

Результатом цього процесу буде Крива Коха, побудова якої за п'ять ітерацій наведено на рисунку 4.31 [88, 89, 161].

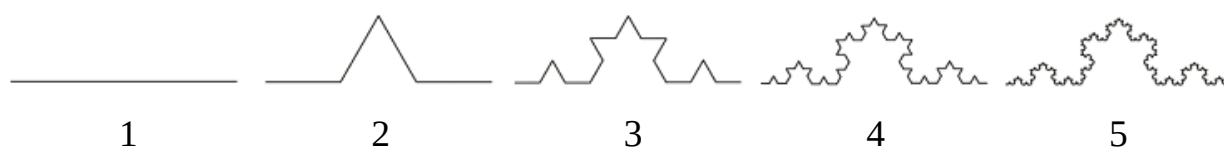


Рисунок 4.31 – Стадії побудови Кривої Коха

Крива Коха самоподібна: складається з чотирьох частин, подібних усій кривій нескінченної довжини з коефіцієнтом подібності $1/3$.

Фрактальна розмірність часового ряду, або накопичених змін при випадковому блуканні, рівна $1,5$. Фрактальна розмірність кривої лінії рівна 1 , а фрактальна розмірність геометричної лінії, яка заповнює площину, рівна 2 .

Отже, фрактальна розмірність випадкового блукання знаходиться між кривою лінією і площиною. Таким чином, фрактальна розмірність D – це критична розмірність, яка характеризує те, як об'єкт або часовий ряд заповнює простір. Вона описує структуру предмета при зміні коефіцієнта збільшення, або при зміні масштабу предмета.

Так, фрактальний об'єкт заповнює простір нерівномірно, оскільки його частини залежні або корельовані. Для загального визначення фрактальної розмірності необхідно визначити, яким чином об'єкт групується в єдине ціле в своєму просторі. Фрактальний часовий ряд змінює масштаб статистично, у часі. Фрактальна розмірність випадкового часового ряду становить $1,5$ і є функцією зміни масштабу в часі.

Фрактальна розмірність часового ряду надзвичайно важлива, тому що вона вказує, що процес може бути десь між детерміністичним (лінія з фрактальною розмірністю 1) і випадковим (фрактальна розмірність 1,5). Статистика часового ряду з фрактальною розмірністю, відмінною від 1,5, значно відрізняється від гаусової статистики і не обов'язково знаходиться в межах нормального розподілу. Показник Херста може бути перетворений у фрактальну розмірність D за допомогою такої формули:

$$D = 2 - H. \quad (4.78)$$

Отже, якщо $H = 0,5$, то $D = 1,5$. Обидві величини характеризують незалежну випадкову систему. Величина $1 < H < 0,5$ буде відповідати фрактальній розмірності, більш близькій до кривої лінії. Це, за термінологією Херста, персистентний часовий ряд, який дає більш гладку, менш зазубрену лінію, ніж випадкове блукання. Антиперсистентна величина H ($0 < H < 0,5$) дає, відповідно, більш високу фрактальну розмірність і більш переривчасту лінію, ніж випадкове блукання, і, відповідно, характеризує систему, яка більш схильну до змін. Це в точності відповідає антиперсистентному часовому ряду.

Фрактальна розмірність є показником складності графіка навантаження. Аналізуючи чергування ділянок з різною фрактальною розмірністю і тим, як на систему впливають зовнішні і внутрішні фактори, можна навчитися передбачати поведінку системи, і найголовніше, діагностувати та передбачати нестабільні стани.

Суттєвим моментом запропонованого підходу є наявність критичного значення фрактальної розмірності графіка навантаження, при наближенні до якого система втрачає стійкість і переходить у нестабільний стан, а параметри швидко зростають або зменшуються, залежно від тенденції, що має місце в цей час. Тобто фрактальна розмірність графіка навантаження може використовуватися як індикатор кризи. Також величина фрактальної розмірності може бути індикатором кількості факторів, що впливають на систему елек-

троспоживання. При фрактальній розмірності: менше 1,4 – на систему впливає одна або кілька сил, що рухають систему в одному напрямку; якщо близько 1,5 – сили, що діють на систему, різноспрямовані, але більш-менш компенсують одна одну (поведінка системи в цьому випадку є стохастичною і добре описується класичними статистичними методами); якщо значно більше 1,6 – система стає нестійкою і готова перейти в новий стан.

Під час достатньо стабільних періодів і повільних підйомів фрактальна розмірність часового ряду залишалася досить невисокою, в той час як в періоди криз сумарна фрактальна розмірність зростає.

У випадку, коли знайдена аномальна величина H , виникає питання, чи обґрунтована оцінка такої величини. Перевірити обґрунтованість результатів можна шляхом змішування даних, у результаті чого порядок спостережень стане повністю відмінним від початкового ряду. Через те, що спостереження залишаються такими ж, їх частотний розподіл також залишається незмінним. Далі обчислюється показник Херста цих перемішаних даних. Якщо ряд дійсно є незалежним, то показник Херста не зміниться, оскільки був відсутній ефект довготермінової пам'яті, тобто кореляції між спостереженнями. В цьому випадку змішування даних не впливає на якісні характеристики даних. Якщо мав місце ефект довготермінової пам'яті, то порядок даних електричних навантажень дуже важливий. Змішуючи дані, тим самим руйнуємо структуру системи. Оцінка H при цьому буде значно нижчою і буде наближатись до 0,5, навіть якщо частотний розподіл спостережень не зміниться.

Безрозмірне співвідношення за допомогою ділення розмаху R на стандартне відхилення спостережень S , що прийнято називати методом нормованого розмаху (R/S -аналіз), ввів Г. Херст.

Оскільки фрактал – це геометрична форма, яка може бути розділена на частини, кожна з яких – зменшена версія цілого, то таку особливість можна застосувати до графіків електроспоживання багатоквартирного будинку, яке складатиметься із добового електроспоживання кожної з 216-ти квартир, отриманої за інформацією АСКОВ за 4 жовтня 2017 р. (рисунки 4.32, 4.33).

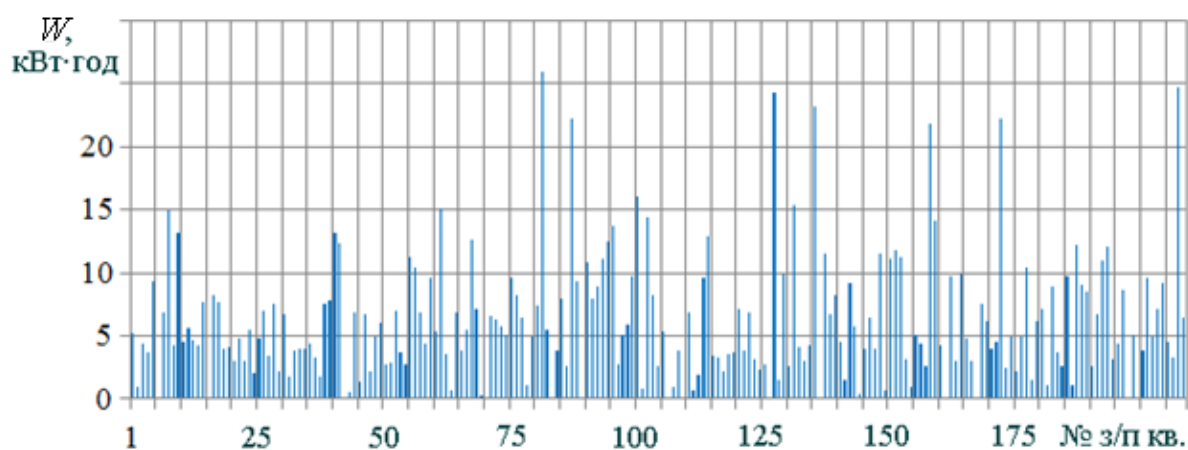


Рисунок 4.32 – Динаміка електроспоживання кожної з 216 квартир будинку

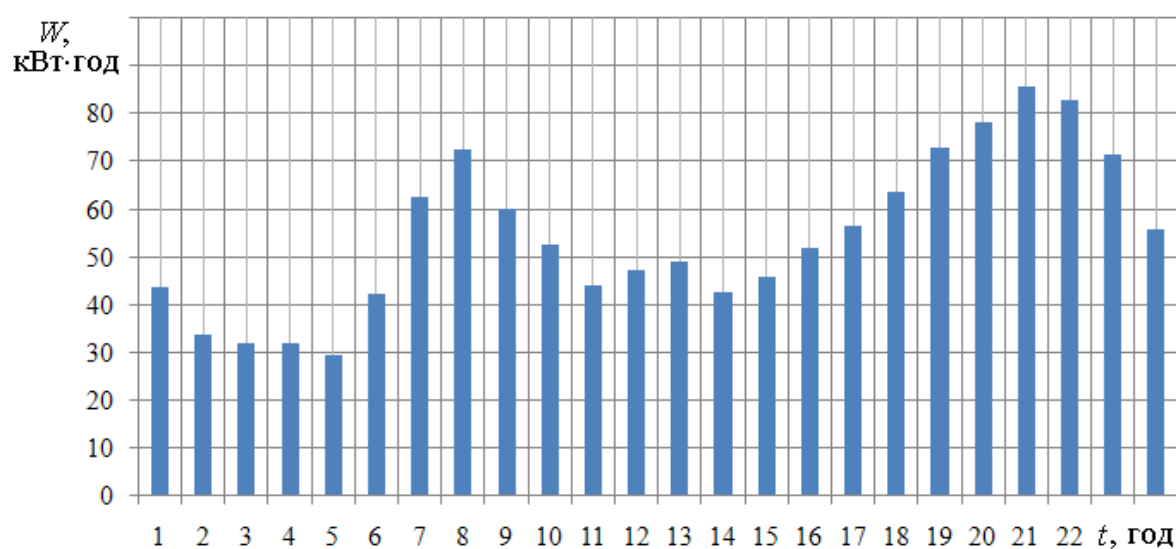


Рисунок 4.33 – Динаміка щодобового електроспоживання житлового будинку

При цьому добове електроспоживання житлового будинку формує тижневе за жовтень 2017 р. (рисунок 4.34).

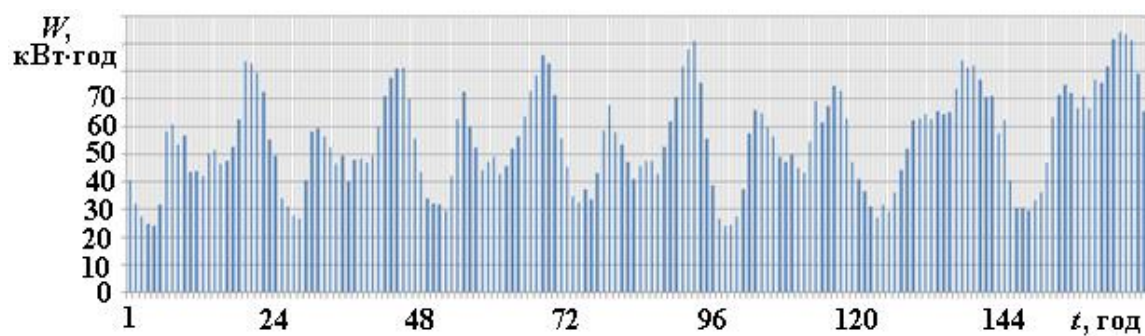


Рисунок 4.34 – Динаміка тижневого електроспоживання житлового будинку

Тижневі криві формують місячну динаміку добового електроспоживання багатоквартирного будинку (рисунки 4.35, 4.36).

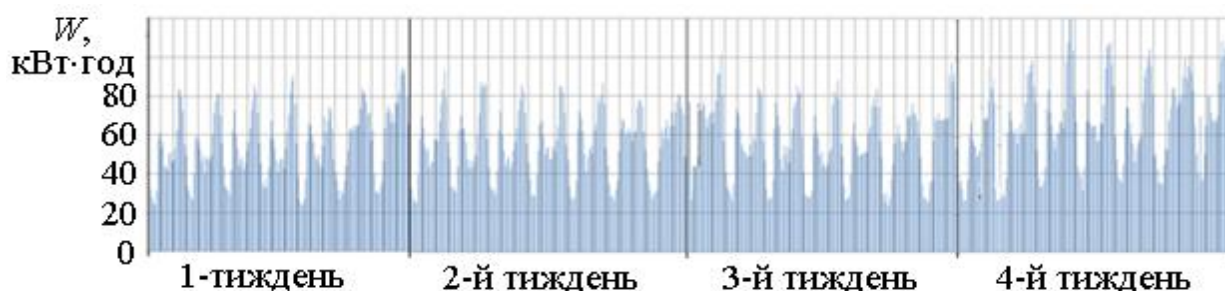


Рисунок 4.35 – Динаміка щотижневого електроспоживання житлового будинку за жовтень 2017 р.

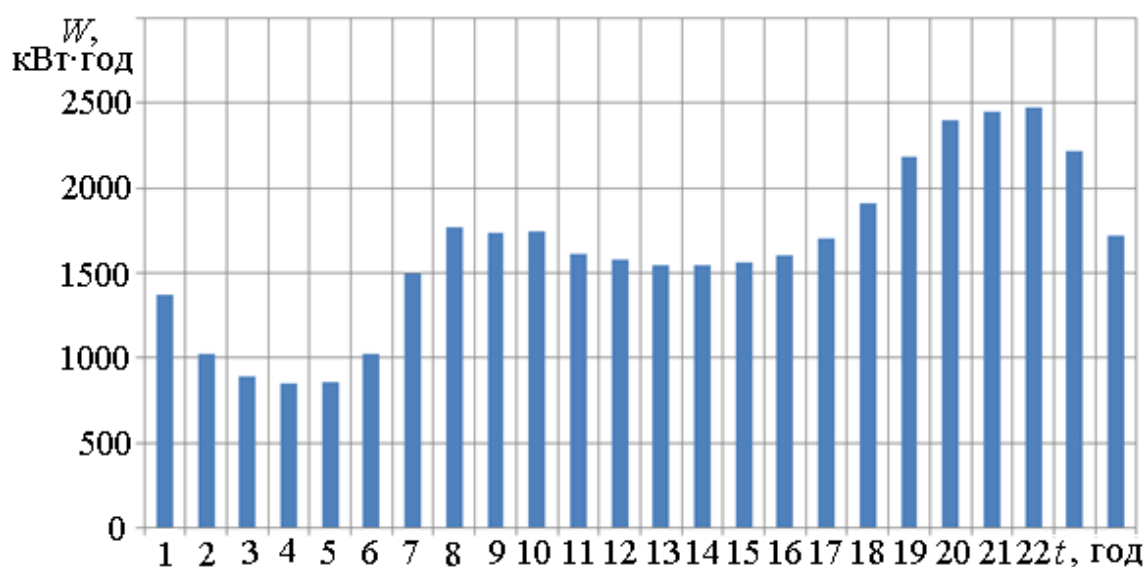


Рисунок 4.36 – Динаміка електроспоживання житлового будинку за жовтень 2017 р.

Оскільки графік електричного навантаження багатоповерхового житлового будинку можна представити як тренд із шумом і визначити показник Херста, формалізуємо алгоритм R/S -аналізу для зручної реалізації у сучасних методах фрактального аналізу в такому порядку [88, 89].

За інформацією АСКОЕ електричне навантаження 216-квартирного будинку в загальному випадку має вигляд:

$$P : p_i, i = 1, 2, \dots, n. \quad (4.79)$$

В ньому послідовно виділимо його початкові відрізки

$$P_\tau = p_1, p_2, \dots, p_\tau, \quad (4.80)$$

де $\tau = 3, 4, \dots, n$, для кожного з яких обчислимо поточне середнє

$$\bar{p}_\tau = \frac{1}{\tau} \sum_{i=1}^{\tau} p_i. \quad (4.81)$$

Для кожного фіксованого P_τ , $\tau = 3, 4, \dots, n$ обчислюється накопичене відхилення відрізків довжини

$$t : X_{t,\tau} = \sum_{i=1}^t (p_i - \bar{p}_\tau), t = 1, \tau. \quad (4.82)$$

Обчислюємо різницю між максимальним і мінімальним накопиченим відхиленням $R = R(\tau) = \max(P_{\tau,t}) - \min(P_{\tau,t})$ за $1 \leq t \leq \tau$.

Цей розмах R нормується, тобто представляється у вигляді відношення R/S , де $S = S(\tau)$ – стандартне відхилення для відрізка часового ряду P_τ , $3 \leq \tau \leq n$.

Показник Херста $H = H(\tau)$, який характеризує фрактальну розмірність заданого часового ряду і колір шуму, що йому відповідає, отримаємо з такого наведеного співвідношення

$$R / S = (a \cdot \tau)^H, H = H(\tau). \quad (4.83)$$

Логарифмуємо обидві частини цієї рівності та приймаючи $a = 1/2$, отримуємо декартові координати (x_m, y_m) точок H -траєкторії, ординати й абсциси яких дорівнюватиме:

$$y = H(\tau) = \frac{\log(R(\tau)/S(\tau))}{\log(\tau/2)}, \quad x_\tau = \tau, \tau = 3, 4, \dots, n. \quad (4.84)$$

Необхідна для фрактального аналізу ряду R/S -траєкторія представляється в декартових логарифмічних координатах послідовністю точок, абсциси яких $x_\tau = \log(\tau/2)$, а ординати $y_m = \log(R(\tau)/S(\tau))$.

З'єднавши відрізком сусідні точки (x_τ, y_τ) і $(x_{\tau+1}, y_{\tau+1})$, $\tau = 3, 4, \dots, n - 1$, можемо отримати графічне відображення R/S - траєкторії (H -траєкторії) в логарифмічних координатах (рисунок 4.37).



Рисунок 4.37 – R/S -траєкторія і H -траєкторія графіка електричного навантаження житлового будинку за 04.10.2017 р.

За допомогою отриманих R/S -траєкторії і H -траєкторії відрізка графіка електричного навантаження житлового будинку можна чисельно оцінити такі

характеристики часових рядів як наявність довготривалої пам'яті та її глибини, трендостійкість й інші показники.

Інтерпретація отриманих результатів R/S -аналізу графіка електричного навантаження житлового будинку виглядає таким чином.

На відрізок від $\log(\tau) = 0,176$ до $\log(\tau) = 0,653$ є найкращий варіант при прогнозуванні електричних навантажень, оскільки значення $H > 0,6$, для якого характерний «чорний колір» шуму. Чим більше значення H , тим більша трендостійкість властива відповідному проміжку часового ряду. Значення H в межах $\sim 0,5 \pm 0,1$ є зоною білого шуму, який відповідає «хаотичній поведінці часового ряду» і, відповідно, найменшій надійності прогнозу електричних навантажень. Значення H в межах $0,3 \pm 0,1$ визначають зону рожевого шуму, який означає характерну антиперсистентність, яка властива відрізку часового ряду. Графічне представлення кольору шуму та відповідність показнику Херста H , яке можна використовувати для аналізу даних графіка навантаження наведено в таблиці 4.8.

Таким чином, динаміка електричного навантаження житлового будинку відповідає персистентному часовому ряду, оскільки $0,5 < H < 1,0$, тобто має всі ознаки фракталу, оскільки може бути описаний як узагальнений броунівський рух. Для узагальненого броунівського руху характерна наявність кореляції між подіями за часовою шкалою.

Показник Херста H описує таку ймовірність, при якій дві послідовні події можуть бути однаковими. За $H > 0,6$, існує велика ймовірність того, що: якщо попередній рух був додатнім, то він і залишиться додатнім ще деякий час.

Суттєвим моментом дослідження є наявність критичного значення фрактальної розмірності графіка навантаження, при наближенні до якого система втрачає стійкість і переходить у нестабільний стан, а параметри швидко зростають або зменшуються, залежно від тенденції, що має місце в цей час.

Тобто фрактальна розмірність графіка навантаження може використовуватися як індикатор кризи.

Таблиця 4.8 – Відповідність значень показника Херста кольору шуму

Значення H	Колір шуму	Опис особливості
0–0,1	Коричневий шум	Відповідає максимальній фрактальній розмірності часового ряду і повній невизначеності у відношенні прогнозованості, або відповідає броунівському випадковому процесу, для якого відсутні ефекти пам'яті або в яких тренд відсутній
$0,3 \pm 0,1$ (0,2–0,4)	Рожевий шум	Характеризується атиперсистентністю, тобто є таким, що не підтримує поточну тенденцію
$0,5 \pm 0,1$ (0,4–0,6)	Білий шум	Відповідає хаотичній поведінці часового ряду і, відповідно, найменшій надійності прогнозу або найменшій прогнозованості. Ряди з властивостями «білого шуму» характеризуються «повною непередбачуваністю», їм властиві циклічність, часта зміна трендів, що супроводжується втратою персистентності
0,6–1	Чорний шум	Чим більше значення H , тим більша трендостійкість властива відповідному проміжку часового ряду. При $H \gg 0,5$ досліджуваний часовий ряд є персистентним або трендостійким, тобто таким, що підтримує поточну тенденцію (якщо ряд зростає протягом деякого періоду, то досить ймовірно, що він збереже цю тенденцію деякий час у майбутньому). Така трендостійкість поведінки підсилюється при наближенні H до 1,0. Коли H наближається до 1,0, ряд стає менш зашумленим і має більше послідовних спостережень з однаковим знаком. Спадкоємність синергетичних і класичних статистичних методів забезпечується при $H > 0,9$

Показано, що для вивчення таких процесів, як споживання електроенергії об'єктів цивільного призначення, може бути використаний базовий інструмент фрактального аналізу часових рядів – R/S -аналіз.

За результатами дослідження визначено придатність R/S -аналізу для прогнозування електричних навантажень цивільних об'єктів.

Таким чином доведено, що графіки електричних навантажень житлового будинку мають фрактальну структуру, розвиток якої не залежить від масштабу оскільки це рекурсивна модель, кожна частина якої повторює у своєму розвитку розвиток усієї моделі в цілому.

Аналіз графіків електричних навантажень багатопверхового житлового будинку показав наявність фрактальних властивостей у динаміці його електроспоживання та наявність короткотермінової та довготермінової пам'яті, що дозволяє для математичного моделювання та прогнозування використовувати фрактальний аналіз, який встановлює залежність майбутніх значень навантаження від їх ретроспективної інформації.

Аналіз фрактальних властивостей річних графіків електроспоживання цивільних об'єктів розглядається з урахуванням фрактальної структури і наявності довготермінової залежності, властивої самоподібним стохастичним процесам. Особливістю цього є те, що один і той самий процес може містити в собі різні типи часової залежності. Виявити наявність типу пам'яті дає змогу R/S -аналізу зміни показника Херста H залежно від довжини часового ряду, отримуючи точкову оцінку цього параметру, що характеризує ступінь довготермінової залежності.

У цьому випадку показник Херста H розглядається як функція числа відліку часового ряду $H(n)$, поводження якої дає можливість визначити такі характеристики часового ряду як незалежність випадкових даних, наявність циклічних складових і середню довжину неперіодичного циклу, наявність довготермінової і короткотермінової залежності. Типові залежності $\log(R/S)$ від довжини часового ряду для процесів з різними типами пам'яті наведено на рисунку 4.38.

Пунктирною лінією позначено теоретичні значення $\log(R/S)$ для незалежних випадкових даних при $H = 0,5$ [89].

За наявності довготермінової залежності (крива 1) значення $\log(R/S)$ знаходитимуться вище пунктирної лінії, а у випадку антиперсистентності – нижче (крива 3).

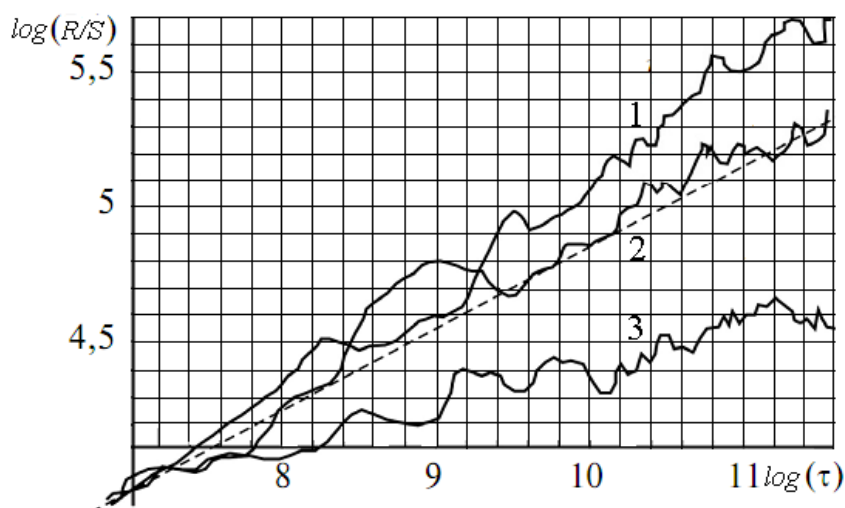


Рисунок 4.38 – Типові залежності $\log(R/S)$ від довжини ряду

Аналіз поведінки показника Херста дає змогу визначити значення часового інтервалу, починаючи з якого процес змінює властивості довготермінової залежності. За допомогою R/S -аналізу можна виявити циклічність процесу і визначити середню довжину неперіодичних циклів, характерних для хаотичних систем.

Оскільки в цьому випадку динаміка системи обмежена атрактором (періодичним або хаотичним), починаючи з певного періоду значення показника H (нахил кривої $\log(R/S)$) перестають змінюватися. Цей період характеризує середню довжину циклу. Особливе значення при дослідженні фрактальних процесів має виявлення і усунення короткотермінової залежності, що характерна для авторегресійних процесів. Лінійна залежність збільшує значення показника Херста і демонструє ефект довготермінової пам'яті. Для усунення короткотермінової залежності необхідно значення часового ряду процесу $S(t)$

регресувати як залежну змінну відносно $S(t - 1)$ і знайти лінійну залежність між ними. Після цього проводиться R/S -аналіз залишку $X(t) = S(t) - (a + bS(t - 1))$.

Якщо вихідний ряд мав довготермінову залежність, то вона зберігається, у той час як короткотермінова залежність усувається.

З метою виявлення властивості фрактальності у графіках електричних навантажень, досліджено ряд щодобового електроспоживання 216-квартирного будинку за період з 02.10.2017 р. по 08.04.2018 р., який містить 1680 спостережень (рисунок 4.39).

Щоб застосувати фрактальний аналіз для дослідження часових рядів, необхідно використовувати критерії значимості і методи підготовки даних. Проаналізуємо для графіків навантажень авторегресійні $AR(1)$ -різниці, які використовуються для усунення або зведення до мінімуму лінійної залежності. Що може змістити показник Херста і змусити виглядати його значущим (коли немає довготермінових трендів), тобто викликати помилку першого роду.

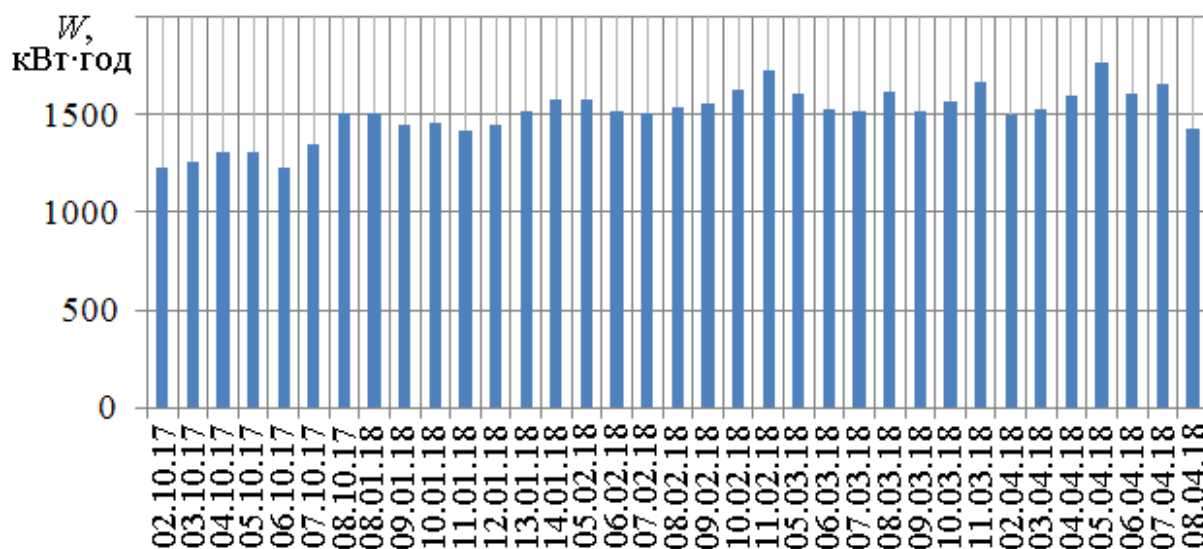


Рисунок 4.39 – Динаміка щодобового електроспоживання житлового будинку з 02.10.2017 р. по 08.04.2018 р.

Такий процес називають попереднім відбілюванням або видаленням трендів. У разі R/S -аналізу видалення трендів усуває серіальну кореляцію, або короткочасну пам'ять.

Почнемо дослідження структури часового ряду споживання електроенергії з побудови ряду першої різниці $D(-1)$. Процедура взяття першої різниці рівноцінна вилученню авторегресійної залежності і лінійного тренду, що часто дає можливість отримати стаціонарний, у широкому значенні, ряд, який було досліджено на стаціонарність за критеріями серій, інверсій і поворотних точок.

Проведені дослідження продемонстрували відсутність тренду часового ряду (рисунок 4.40).

Поведінка у часі з 02.10.2017 р. по 08.04.2018 р. R/S -траєкторії, що наведена на рисунку 4.41, свідчить про хаотичну поведінку часового ряду (відповідає білому шуму), якому властива часта зміна тренда електроспоживання за період, що розглядається.

Таким чином, показано можливість застосування законів фрактальних множин і фрактальної геометрії для довготривалих графіків електричних навантажень об'єктів цивільного призначення.

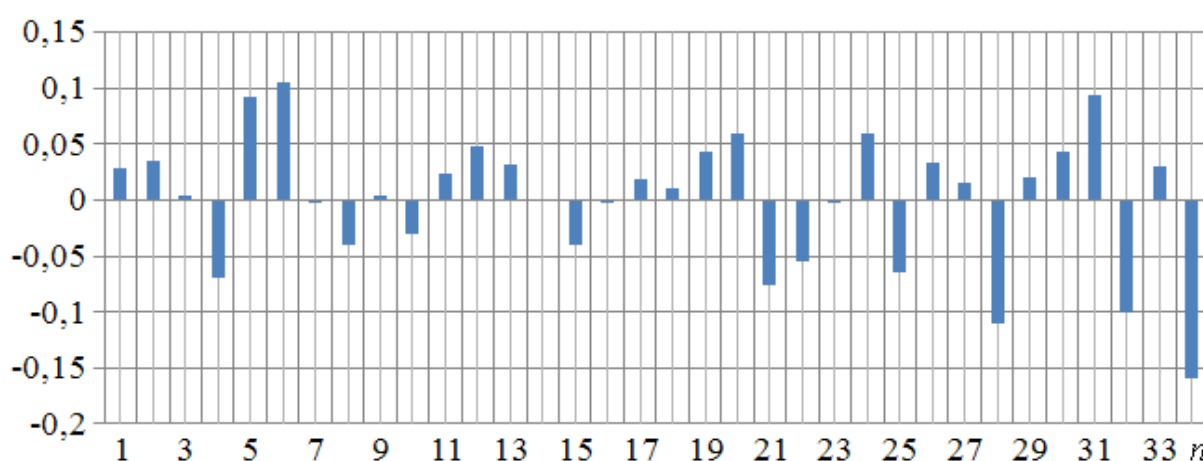


Рисунок 4.40 – Кореляційна функція для ряду споживання електроенергії за $D(-1)$

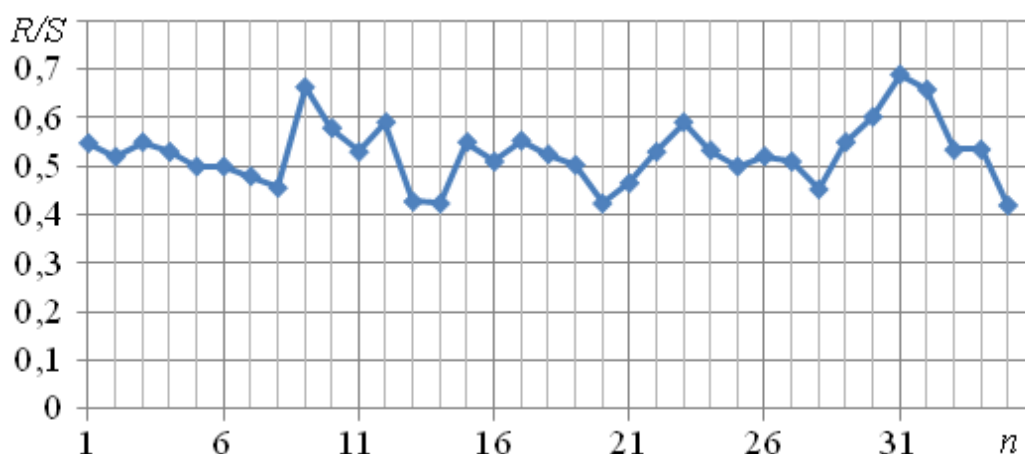


Рисунок 4.41 – Результат аналізу щоденного електроспоживання будинку

Показано, що для вивчення таких процесів, як споживання електроенергії, може бути використаний базовий інструмент фрактального аналізу часових рядів – R/S -аналіз, який дозволяє виявити і чисельно оцінити фундаментальні характеристики часових рядів.

Прогнозування навантажень систем електроспоживання передбачає створення програмно-апаратної реалізації зі збору і обробки даних з метою його оптимізації (рисунок 4.42).

Принцип дії програмно-апаратного комплексу оперативного прогнозування електричних навантажень можна описати такою послідовністю дій:

- накопичення даних спостережень АСКОЕ в системі керування базами даних;
- зчитування вищевказаних даних програмним комплексом фрактального аналізу з наступним обчисленням показника Херста;
- за відсутності трендостійкості досліджуваних даних графіків електричного навантаження, попередньо оброблені дані передаються в програмний комплекс прогнозування на основі Statistica Neural Networks, за якої здійснюється вибір моделі і архітектури нейронної мережі та відбувається її навчання, після чого відбувається візуалізація результатів прогнозування, що передаються в систему прийняття рішень.

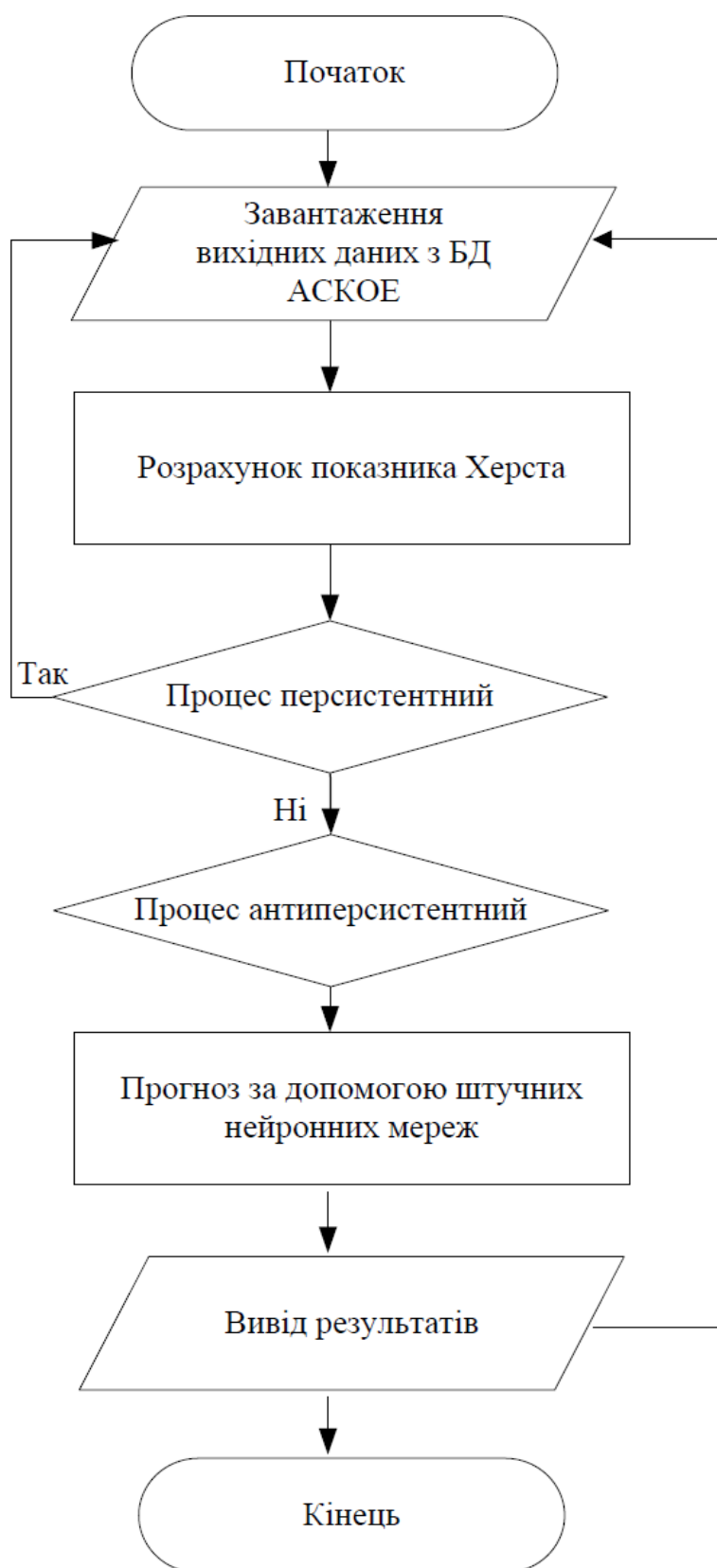


Рисунок 4.42 – Алгоритм прогнозування електроспоживання

Середньоквадратична похибка реалізації прогнозу електроспоживання становить 5%.

4.8 Графічний метод дослідження впливу метеорологічних умов на електричне навантаження міських об'єктів

Сьогодні людство стурбоване аномальною зміною клімату на Землі, що супроводжується посиленням потужних буревіїв, тривалих посух, повеней тощо, які суттєво впливають на електричне навантаження міст і населених пунктів. Існує декілька теорій щодо причин виникнення та наслідків таких природних явищ. Одна з них стверджує, що на людство чекає льодовиковий період через аварію в 2010 р. на нафтовій платформі в Мексиканській затоці та наслідків її тривалої ліквідації середня температура на півночі течії Гольф-стріму знизилась на 10 °С. За іншою теорією, яка ґрунтується на результатах експертного опитування Інститутом Горшеніна, насувається загальне потепління клімату на Землі, якому сприяють спалювання на електричних станціях, в котельнях газу, вугілля та інших видів палива, що призводить до викидів вуглекислого газу в атмосферу й утворення парникового ефекту. Як найгірший варіант, можуть навіть змінюватись кліматичні пояси. Завданням дослідження є оцінка регіонального температурного стану довкілля та моделювання його впливу на електричне навантаження міста. Тренд лінійної регресії реальної температурної динаміки за даними гідрометеорологічних служб в місті Одесі за попереднє століття наведено на рисунку 4.43 [14].

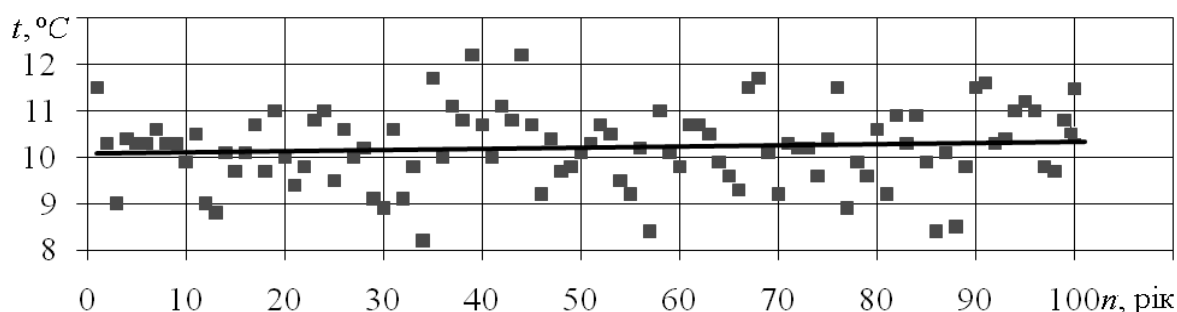


Рисунок 4.43 – Результат регресійного аналізу середньорічної температурної динаміки в місті за попереднє століття

За регресійним аналізом підвищення температури в одеському регіоні за попереднє століття становила близько $0,26^{\circ}\text{C}$, проти $0,8^{\circ}\text{C}$ планетарного потепління клімату, а за період останніх років із 2000 по 2017 рр., температура в регіоні зросла на $1,0^{\circ}\text{C}$ рисунку 4.44.

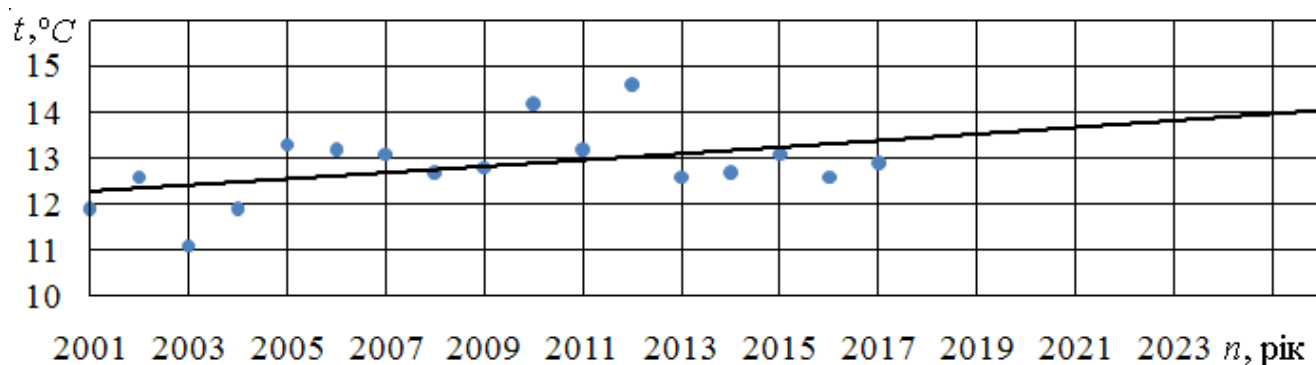


Рисунок 4.44 – Результат регресійного аналізу середньорічної температурної динаміки в місті за період з 2000 по 2017 рр.

Якщо збережеться темп зростання температури за останніх років, вона зросте на $0,7^{\circ}\text{C}$ до 2025 року, що стає небезпечним.

4.9 Дисперсійний аналіз як інструмент дослідження графіків електроспоживання об'єктів цивільного призначення

Дисперсійний аналіз є одним із ефективних методів дослідження впливу одного або декількох факторів на ознаку, що спостерігається.

При цьому необхідно відповісти на питання, чи впливає незалежний фактор на розкид вибірок, чи розкид є наслідком випадковості, що викликаний незначним об'ємом вибірок [12, 13, 14, 20, 22, 69, 112].

Графік електроспоживання об'єктів цивільного призначення є випадковою реалізацією випадкового процесу, який випадково залежить від режиму роботи електроприймачів, системи відліку часу, тривалості світлого часу доби, температури повітря, природного освітлення території тощо, які теж мають імовірнісний характер зміни.

Нормальне розподілення цих випадкових процесів дає можливість застосування загальних математичних процедур при розв'язанні задач їхнього аналізу й прогнозування.

Важливу роль у теорії математичної статистики відіграє нормальне розподілення процесів. Воно застосовується у тих випадках, коли відомий істинний закон розподілення, але обчислення по цьому закону важко, а апроксимація його нормальним розподіленням допустиме.

Крім цього, нормальне розподілення використовується для вирішення практичної задачі визначення ймовірності того, що випадкова величина попаде на заданий інтервал дійсної вісі.

Випадкова величина ξ нормально розподілена з параметрами μ і $\sigma, \sigma > 0$, якщо її густина розподілення $p_{\xi}(t)$ і функція розподілення $F_{\xi}(t)$ визначаються за співвідношеннями

$$p_{\xi}(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)^2}, \quad (4.85)$$

$$F_{\xi}(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{z-\mu}{\sigma}\right)^2} dz = \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right). \quad (4.86)$$

Випадкова величина ξ має стандартне нормальне розподілення, якщо $\xi \sim N(0,1)$. Густина й функція розподілу для стандартного нормального розподілення має вигляд:

$$p_{\xi}(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}t^2}, \quad (4.87)$$

$$F_{\xi}(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{z^2}{2}} dz = \Phi t, \quad (4.88)$$

де Φt – функція Лапласа.

Функція розподілення нормальної величини $\xi \sim N(\mu, \sigma)$ визначається через функцію Φ t за виразом:

$$F_{\xi}(t) = \Phi\left(\frac{t - \mu}{\sigma}\right). \quad (4.89)$$

На рисунку 4.45 наведена крива густини нормального розподілення залишків апроксимації електроспоживання.

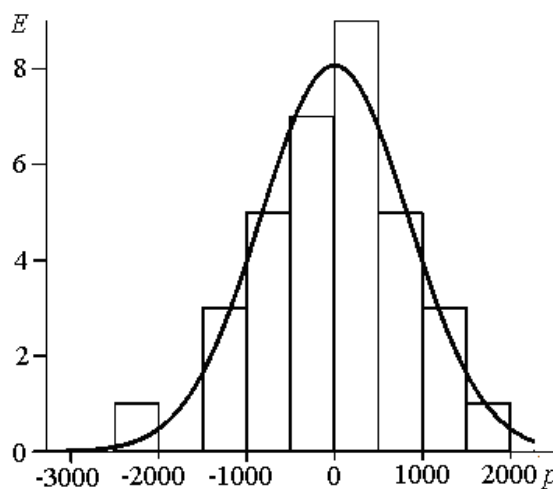


Рисунок 4.45 – Крива густини нормального розподілення залишків апроксимації електроспоживання

Тому необхідно відповісти на питання, виявив змінний незалежний фактор істотний вплив на розкид вибірових середніх, чи розкид є наслідком випадковості, що викликаний невеликим об'ємом вибірок. Іншими словами, якщо вибірки належать однієї генеральної сукупності, то розкид даних між вибірками повинен бути не більше за розкид даних у цих вибірках (групах).

Для отриманих вибірок припускається, що вони мають різні вибірові середні й однакові вибірові дисперсії.

Для порівняння середніх значень декількох вибірок будується F -статистика.

Нульова гіпотеза має вигляд:

$$H_0 : \bar{x}_1 = \bar{x}_2 = \bar{x}_3 = \dots = \bar{x}_k, \quad (4.90)$$

де $\bar{x}_i$ – середнє i -ої групи.

Перевірка гіпотези щодо рівності середніх значень вибірок здійснюється відповідно до вимог при кожному рівні фактора:

- спостереження незалежні і проводяться в однакових умовах;
- всі сукупності нормально розподілені;
- дисперсії усіх сукупностей рівні.

Нехай x_{ik} – i -й елемент k -ї вибірки, тоді вибіркове середнє цієї вибірки

$$\bar{x}_k = \frac{1}{n_k} \sum_{i=1}^{n_k} x_{ik}. \quad (4.91)$$

Загальне середнє обчислюється за формулою:

$$\bar{x}_k = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^{n_k} x_{ik}, \quad (4.92)$$

де $n = \sum_{k=1}^m n_k$.

Основна тотожність дисперсійного аналізу

$$Q = Q_1 + Q_2, \quad (4.93)$$

де Q_1 – сума квадратів відхилень вибірових середніх $\bar{x}_k$ від загального середнього $\bar{x}$ (сума квадратів відхилень між групами);

Q_2 – сума квадратів відхилень спостережних значень $\bar{x}_{ik}$ від вибіркового середнього $\bar{x}_k$ (сума квадратів відхилень у групі);

Q – сума квадратів відхилень спостережних значень $\bar{x}_{ik}$ від загального середнього $\bar{x}$.

Розрахунок цих сум квадратів відхилень здійснюється за формулами:

$$Q = \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^{n_k} (x_{ik} - \bar{x})^2 = \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^{n_k} x_{ik}^2 - n\bar{x}^2, \quad (4.94)$$

$$Q_1 = \sum n_k (\bar{x}_k - \bar{x})^2 = \sum_{k=1}^m n_k \bar{x}_k^2 - n\bar{x}^2, \quad (4.95)$$

$$Q_2 = \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^{n_k} (x_{ik} - \bar{x}_k)^2 = \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^{n_k} x_{ik}^2 - \sum_{k=1}^m n_k \bar{x}_k^2. \quad (4.96)$$

В якості статистичного критерію користуються критерієм Фішера за співвідношенням:

$$F = \frac{Q_1 / (m-1)}{Q_2 / (n-m)}. \quad (4.97)$$

Якщо значення критерію Фішера менше табличного значення $F < F_{\alpha, m-1, n-m}$, нульова гіпотеза приймається і немає підстав рахувати, що незалежний фактор впливає на розкид середніх значень. В іншому випадку незалежний фактор істотно впливає на розкид середніх значень і нульова гіпотеза відкидається (тут α – рівень значимості або рівень ризику, що приймається 0,05). Добова циклічність електроспоживання зумовлена, як відомо, чергуванням дня й ночі. Недільна циклічність визначається семиденною системою організації праці й спочинку людей.

Послідовність звичайних днів (регулярних) порушується появою святкових днів (нерегулярних), що можуть співпасти з будь-яким днем тижня (рисунок 4.46).

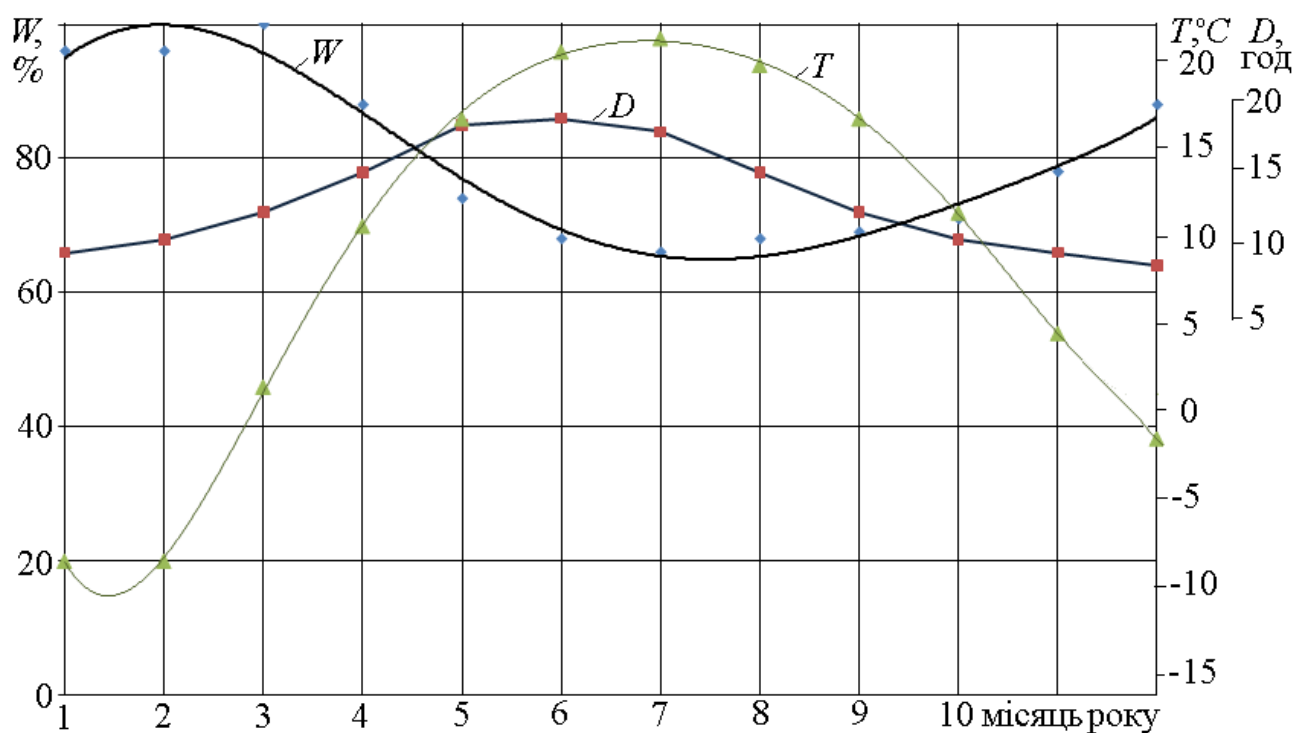


Рисунок 4.46 – Результат моделювання: W – щомісячного електроспоживання; T – середньомісячної температури; D – тривалості світлого часу доби

Річна, сезонна, недільна, добова періодичність електроспоживання міста визначається сезонними коливаннями температури повітря, зміною тривалості світлого часу доби та іншими чинниками.

Аналіз такої динаміки електроспоживання за будь-який місяць протягом року показує, що вона змінюється у «протифазі», до деякої міри, зі зміною середньомісячної температури повітря, тривалості світлого часу доби характерного для даного регіону.

Змістом методу аналітичного вирівнювання будь-якого процесу є розрахунок загальної тенденції його розвитку (тренда) як функції часу

$$w_t = f(t), \quad (4.98)$$

де w_t – теоретичне значення процесу електроспоживання, обчислене відповідно до аналітичного рівняння.

Визначення теоретичних (розрахункових) значень $\hat{w}_t$ здійснюється на основі адекватної математичної моделі, що найкраще відображає основну тенденцію розвитку процесу.

Простішими моделями (формулами), що відображають тенденцію розвитку, є:

– лінійна функція, графік якої є прямою лінією,

$$\hat{w}_t = a_0 + a_1 t; \quad (4.99)$$

– показова функція

$$\hat{w}_t = a_0 a_1^t; \quad (4.100)$$

– степенева функція другого порядку, графік якої є параболою

$$\hat{w}_t = a_0 + a_1 t + a_2 t^2; \quad (4.101)$$

– логарифмічна функція

$$\hat{w}_t = a_0 + a_1 \ln t. \quad (4.102)$$

Розрахунок параметрів функції виконується, як правило, методом найменших квадратів, в якому рішення приймається за виразом

$$\sum (\hat{w}_t - w_t)^2 \rightarrow \min, \quad (4.103)$$

де $\hat{w}_t$ – вирівняні (розрахункові) рівні;

w_t – фактичні рівні.

Параметри рівняння a_i , що задовольняють цієї умови, можуть бути знайдені розв'язанням системи нормальних рівнянь.

Вирівнювання за функцією прямої використовується у тих випадках, коли абсолютні приростання практично постійні, тобто коли рівні змінюються в арифметичній прогресії (або близько до неї).

Вирівнювання за показовою функцією застосовується, коли ряд відображає розвиток у геометричній прогресії, тобто ланцюгові коефіцієнти зростання практично постійні.

Вирівнювання за степенною функцією (параболою другого порядку) використовується, коли ряди динаміки змінюються з постійними ланцюговими темпами приростання.

Вирівнювання за логарифмічною функцією застосовується, коли ряд відображає розвиток із уповільненням зростання наприкінці періоду, тобто приріст у прикінцевих рівнях часового ряду прагне до нуля. За обчисленими параметрами виконується синтез трендової моделі функції, тобто отримання значень a_0 , a_1 , a_2 та їхня підстановка у шукане рівняння.

Правильність розрахунків аналітичних рівнів можна перевірити за наступною умовою: сума значень емпіричного ряду повинна співпадати з сумою обчислених рівнів вирівняного ряду.

При цьому може виникнути невелика похибка у розрахунках внаслідок заокруглення обчислюваних величин:

$$\sum w = \sum \hat{w}_t. \quad (4.104)$$

Для оцінювання точності трендової моделі використовується коефіцієнт детермінації

$$R^2 = \frac{\sigma_{\hat{p}}^2}{\sigma_p^2}, \quad (4.105)$$

де $\sigma_{\hat{p}}^2$ – дисперсія теоретичних даних за трендовою моделлю;

σ_p^2 – дисперсія емпіричних даних.

Трендова модель адекватна процесу, що вивчається, і відображає тенденції його розвитку при значеннях R^2 , близьких до 1,0.

Апроксимуючі поліноми наближення процесу мають такий вигляд:

– щомісячного електроспоживання міста протягом року

$$W = -0,000021t^6 + 0,00351t^5 - 0,0231t^4 + 0,743t^3 - 11,629t^2 + 68,323t + 493, \quad (4.106)$$

при цьому величина достовірності апроксимації $R^2 = 0,9445$;

– середньомісячної температури повітря протягом року

$$T = 1E-07t^6 - 2E-05t^5 + 0,0015t^4 - 0,0535t^3 + 0,9597t^2 - 5,8304t + 0,5051, \quad (4.107)$$

при цьому величина достовірності апроксимації $R^2 = 0,9165$;

– тривалості світлого часу доби протягом року

$$D = -2E-08t^6 + 3E-06t^5 - 0,0002t^4 + 0,0027t^3 - 0,0068t^2 + 0,2707t + 7,8537, \quad (4.108)$$

при цьому величина достовірності апроксимації $R^2 = 0,9987$.

Трендові моделі адекватні дослідному процесу, оскільки величини достовірності апроксимації близькі до 1,0.

Здійсненням дисперсійного аналізу вивчається вплив факторів середньомісячної температури повітря $T_{\text{сер}}$ та тривалості світлого часу доби D на ознаку W – динаміку електроспоживання міста протягом року.

Дисперсійний аналіз у цьому випадку має свої особливості, так як необхідно враховувати й взаємодію між цими факторами.

Нехай головним фактором є $T_{\text{сер}}$ (температура повітря), а додатковим – фактор D (тривалість світлого часу доби), припускаючи, що фактор $T_{\text{сер}}$ приймає K , а фактор D – m різних значень.

Рівні фактора $T_{\text{сер}}$ відображаються у таблиці 4.9 по стовбцям, а рівні фактора D по рядкам, утворюючи блоки. Кожна комірка відображає тільки одне спостереження W_{ij} , яке представляється у вигляді адитивної моделі:

$$w_{ij} = b_i + a_j + \varepsilon_{ij}, \quad (4.109)$$

де $i = 1, \dots, m$, а $j = 1, \dots, K$;

ε_{ij} – випадкова величина.

Величини вкладів b_i і a_j не можуть бути відновлені однозначно. Так, збільшення всіх b_i і зменшення всіх a_j одночасно на одну й ту же константу не змінює значення W_{ij} .

Таблиця 4.9 – Матриця спостережень двофакторного дисперсійного аналізу

Тривалість дня	$T_{\text{сер}.1}$	$T_{\text{сер}.2}$	...	$T_{\text{сер}.k}$
D_1	W_{11}	W_{12}	...	W_{1k}
D_2	W_{21}	W_{22}	...	W_{2k}
...	...	...	...	...
D_m	W_{m1}	W_{m2}	...	W_{mk}

Для однозначного визначення вкладів факторів використовують відхилення β_i і τ_j відклику від μ за результатами дії факторів $T_{\text{сер}}$ і D ,

де μ – загальне середнє значення відклику, його оцінкою є величина

$$\bar{w}, \sum_{j=1}^m \beta_j = 0, \quad \sum_{j=1}^K \tau_j = 0.$$

Ефекти блоків, величини $\beta_1, \dots, \beta_m$, характеризують відхилення від β у результаті дії фактора D .

Ефекти обробки, величини $\tau_1, \dots, \tau_K$, характеризують відхилення відклику через дію фактора $T_{\text{сер}}$. У цьому випадку

$$w_{ij} = \mu + \beta_i + \tau_j + \varepsilon_{ij}. \quad (4.110)$$

Нульова гіпотеза щодо відсутності ефектів обробки має вигляд

$$H_0: \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_K = 0. \quad (4.111)$$

Нульова гіпотеза щодо відсутності ефектів блоків

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_m = 0. \quad (4.112)$$

Перевіряється нульова гіпотеза двофакторного, як і в задачі однофакторного дисперсійного аналізу, за дотриманням таких вимог:

- при різних сполученнях факторів $T_{\text{сер}}$ і D спостереження незалежні;
- при кожному сполученні рівнів $T_{\text{сер}}$ і D результативна ознака має нормальний закон розподілення.

Загальна сума квадратів Q розбивається на три частини (таблиця 4.10): Q_T і Q_D , зумовлених впливом T і D , і залишкову частину $Q_{\text{зал}}$, що зумовлена випадковою змінністю спостережень за рахунок неврахованих факторів:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^K (w_{ij} - \bar{w})^2 = m \sum_{j=1}^K (w_{-j} - \bar{w})^2 + K \sum_{i=1}^m w_{i-} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^K (w_{ij} - w_{-j} - w_{i-} + \bar{w})^2, \quad (4.113)$$

де $w_{-j} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m w_{ij}$ – середнє по j -му стовбцю;

$(w_{-j} - \bar{w})$ – оцінка ефекту обробки τ_j ;

$w_{i-} = \frac{1}{K} \sum_{j=1}^K w_{ij}$ – середнє по i -му блоку;

$(w_{i-} - \bar{w})$ – оцінка ефекту блоку β_i .

Таблиця 4.10 – Базова таблиця двофакторного аналізу

Джерело дисперсії	Сума квадратів	Число ступенів свободи	Оцінка дисперсії
Головні ефекти	$Q_{\text{мод}} = Q_T + Q_D$	$K + m - 2$	$S_{i\hat{a}}^2 = \frac{Q_{i\hat{a}}}{K + m - 2}$
Фактор T	Q_T	$K - 1$	$S_T^2 = \frac{Q_T}{K - 1}$
Фактор D	Q_D	$m - 1$	$S_D^2 = \frac{Q_D}{m - 1}$
Залишкове розсіювання	$Q_{\text{зал}}$	$(K - 1)(m - 1)$	$S_{\text{цає}}^2 = \frac{Q_{\text{цає}}}{(K - 1)(m - 1)}$
Усього	$Q = Q_{\text{мод}} + Q_{\text{цає}}$	$K(m - 1)$	$S_w^2 = \frac{Q}{Km - 1}$

За результатами дисперсійного аналізу впливу природних чинників на динаміку електроспоживання визначено, що для фактора $T_{\text{сер}}$ розрахункове значення величини критерію Фішера $F_p^{T_{\text{сер}}} = 9,394$, а критична область утворюється правостороннім інтервалом $(4,0201; +\infty)$. Так як $F_p^{T_{\text{сер}}} = 9,394$ попадає в критичну область, то вважається, що температура виявила вплив на величину електроспоживання.

Для фактора D розрахункове значення величини критерія Фішера $F_p^D = 2,291$, а критична область утворюється правостороннім інтервалом

$(1,6012; +\infty)$. Так як $F_p^D = 2,291$ попадає в критичну область, то вважається, що фактор тривалості світлого часу доби виявив вплив на величину електроспоживання.

Методика дисперсійного аналізу заснована на припущенні однорідності групових дисперсій, тобто припускається, що величини ε_{ij} , які описують у моделі $w_{ij} = a_i + \varepsilon_{ij}$ підсумковий вплив випадкових факторів, мають однакові дисперсії σ^2 . Якщо впевненості в такому розподіленні ε_{ij} немає, то перед проведенням дисперсійного аналізу, слід впевнитись у тому, що групові дисперсії для всіх рівнів фактора співпадають.

Це означає, що необхідно упевнитись у тому, що гіпотеза про однаковість групових дисперсій $H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_m^2$, не суперечить результатам спостережень.

Існує декілька способів перевірки гіпотези про однорідність дисперсій. Один із них заснований на критерії Бартлетта.

Знаходяться спочатку незміщені оцінки групових дисперсій

$$s_i^2 = \frac{1}{n_i - 1} \sum_{j=1}^{n_i} w_{ij} - \bar{w}_i^2, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (4.114)$$

а також

$$\begin{aligned} s^2 &= \frac{n_1 - 1 s_1^2 + n_2 - 1 s_2^2 + \dots + n_m - 1 s_m^2}{n_1 - 1 + n_2 - 1 + \dots + n_m - 1} = \\ &= \frac{n_1 - 1 s_1^2 + n_2 - 1 s_2^2 + \dots + n_m - 1 s_m^2}{n - m}, \end{aligned} \quad (4.115)$$

$$q = \left[1 + \frac{1}{3(m-1)} \left(\frac{1}{n_1 - 1} + \frac{1}{n_2 - 1} + \dots + \frac{1}{n_m - 1} + \frac{1}{(n_1 - 1)(n_2 - 1) \dots (n_m - 1)} \right) \right]^{-1}. \quad (4.116)$$

Після цього, обчислюється b за формулою

$$b = q \left[(n_1 - 1) \ln \frac{s_1^2}{s_1^2} + (n_2 - 1) \ln \frac{s_2^2}{s_2^2} + \dots + (n_m - 1) \ln \frac{s_m^2}{s_m^2} \right]. \quad (4.117)$$

Доведено, якщо гіпотеза H_0 вірна і всі $n_i > 3$, $i = 1, 2, \dots, m$, то випадкова величина b , критерій Бартлетта, має розподілення, близьким до χ^2 – розподіленню з $m - 1$ степенями свободи. Задаються рівнем значимості α і знаходиться правостороння критична точка χ_α^2 – розв’язання рівняння $F_{\chi^2}(x_\alpha) = 1 - \alpha$. Якщо $b > \chi_\alpha^2$, то гіпотеза H_0 відхиляється.

За результатами обчислення гіпотеза H_0 не суперечить результатам спостережень, що підтверджує однорідність дисперсій вибірових значень щодо динаміки електроспоживання міста.

4.10 Кореляційний аналіз між ознаками, що впливають на електроспоживання об’єктів цивільного призначення

Кореляційний аналіз є базовим інструментом, за допомогою якого аналізуються дані, що дозволяє оцінити міру взаємозв’язку між чинниками.

Визначення, настільки тісним є зв’язок між чинниками, дозволяє упевнитись у його фактичному існуванні та можливості моделювання процесу [20, 22, 69, 112].

Моделювання динаміки електроспоживання вимагає дослідження міри впливу погодних умов на її величину, а саме, температури повітря, тривалості світлого часу доби, атмосферного тиску, вологості, швидкості повітря, хмарності небосхилу.

Результати такого дослідження за даними автоматизованої системи комерційного обліку електроенергії та метеослужби наведено на рисунку 4.47 та в таблицях 4.11, 4.12.

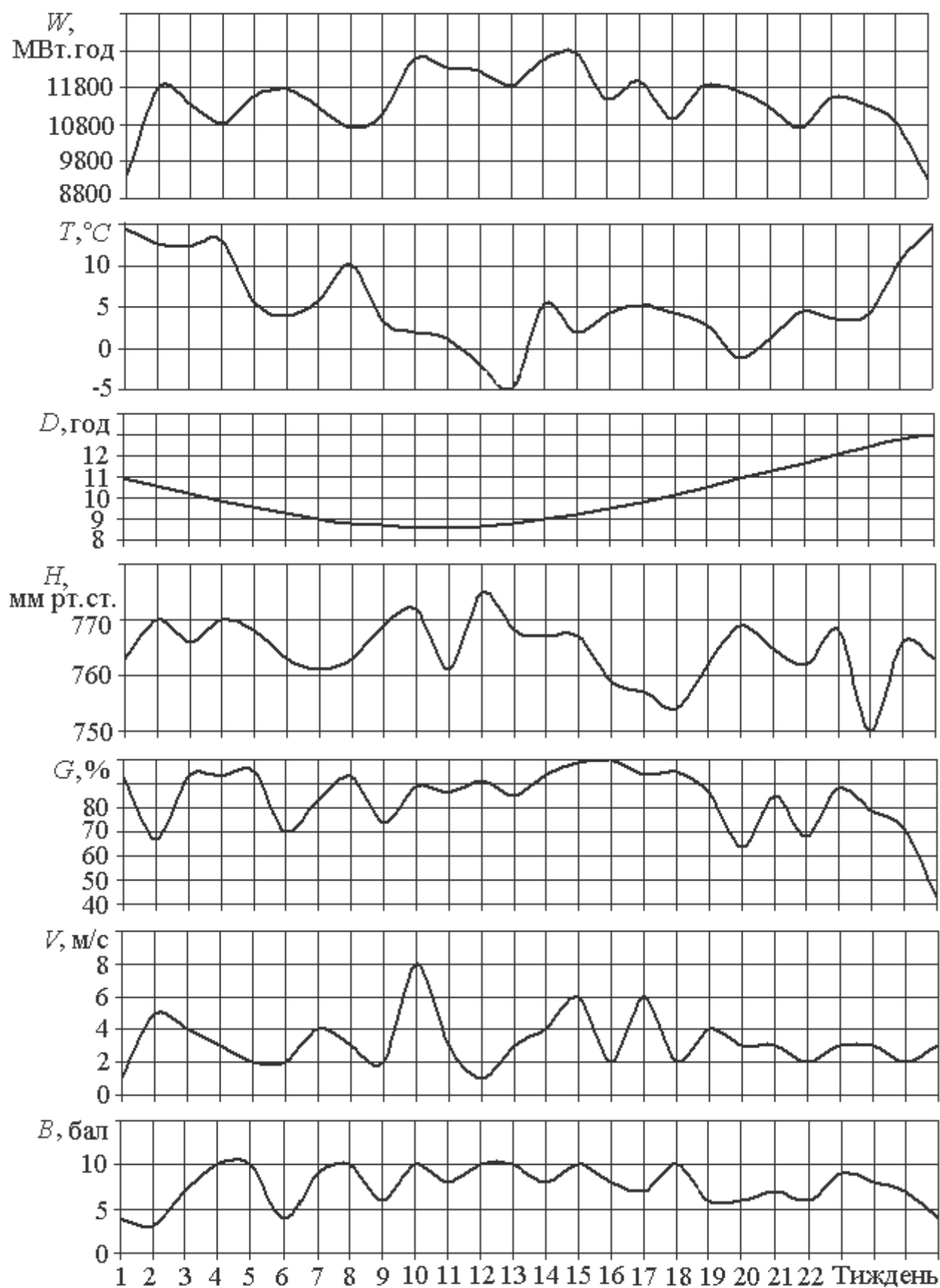


Рисунок 4.47 – Динаміка електроспоживання міста протягом опалювального сезону залежно від погодних умов

Таблиця 4.11 – Вихідні дані щодо електроспоживання міста та параметрів довкілля

Номер тижня	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Електроспоживання, W_1 , МВт·год	8797	9658	9697	10702	11660	11554	13376	11473	11179	13172	12344	10778	13162	12258	12004	12496	11512	12860	12388	10537	11245	10443	10183	11345	10957	9810
Температура повітря, T , $^{\circ}\text{C}$	12,6	12,5	10,1	3,7	5,6	3,2	0,9	6,8	0,8	-0,3	2,5	-5,4	-5	-0,2	3,4	-1,6	1,4	-2,2	3	5,3	3,7	7,1	6,5	2,8	7,1	7,4
Тривалість дня D , год	10,9	10,5	10,2	9,82	9,5	9,22	8,98	8,78	8,65	8,6	8,6	8,68	8,82	9,02	9,27	9,57	9,88	10,2	10,7	11	11,4	11,7	12,1	12,5	12,9	13,3
Тиск H , мм рт.ст.	768	762	768	766	760	769	764	759	764	722	775	770	774	771	762	771	771	774	770	762	763	755	755	751	761	759
Вологість повітря G , %	66	94	73	66	63	76	73	86	95	83	88	80	73	98	77	74	95	70	61	89	79	90	64	79	96	99
Швидкість Вітру V , м/с	2	3	7	6	3	2	3	5	4	3	5	10	2	2	4	2	2	3	2	3	5	4	3	2	1	2
Хмарність B , бал	0	8	7	5	2	0	6	10	10	10	10	8	7	6	3	0	2	8	4	4	8	5	7	5	8	7

Таблиця 4.12 – Кореляційна матриця

Ознака	Електроспоживання	Температура повітря	Тривалість дня	Атмосферний тиск	Вологість повітря	Швидкість вітру	Хмарність небосхилу
Електроспоживання щодобове, W_1 , МВт·год	1						
Температура повітря, $T, ^\circ\text{C}$	-0,763	1					
Тривалість дня, D , год	-0,537	0,51	1				
Тиск, H , мм рт. ст.	-0,004	-0,156	-0,173	1			
Вологість повітря, $G, \%$	-0,227	0,163	0,106	-0,075	1		
Швидкість вітру, V , м/с	-0,196	-0,068	-0,342	0,095	0,027	1	
Хмарність, B , небосхилу, бал.	0,112	-0,117	-0,084	-0,264	0,391	0,368	1

Кореляційний аналіз дозволяє оцінити міру взаємозв'язку між метеофакторами x_i і величиною електроспоживання w_i і у загальному випадку має вигляд:

$$r = \frac{(x_i - \bar{x})(w_i - \bar{w})}{\sigma_x \sigma_w}, \quad (4.118)$$

де $\bar{x}, \bar{w}$ - середні значення відповідних метеофакторів та електроспоживання.

Коефіцієнт кореляції приймає значення в інтервалі $-1 \leq r \leq 1$, якщо метеофактори і електроспоживання залежать один від одного, тобто коли існує функціональний зв'язок $w(t) = b_0 + b_i t$. Величина $|r|$, що близька до 1, вказує, що залежність між даними випадковими величинами майже лінійна. Значення $|r|$, що близькі до 0, свідчать про зв'язок між випадковими величинами або слабкий, або не носить лінійного характеру.

Таким чином, коефіцієнт кореляції характеризує ступінь наближення залежності між випадковими величинами до лінійної функціональної залежності. Якщо $r > 0$, то зв'язок між змінними додатний (прямий). При $r < 0$, зв'язок від'ємний (зворотний), тобто зі збільшенням однієї величини, інша має стійку тенденцію до зменшення.

Висновки до розділу 4

1. Розроблена програма в середовищі MathCad із використанням вбудованої в MathCAD функції «cspline (x,y)» із продовженням інтерполяційної кривої кубічною параболою дозволяє здійснювати не тільки моделювання, але й синтез моделей електричного навантаження об'єктів [8, 10, 46, 87, 91].

2. Моделі динаміки електричного навантаження ЕП та їх синтез дозволило отримати величину розрахункового навантаження житлових будинків, при цьому підсумкове навантаження за графічним методом виявилось меншим за визначенням за нормативами від 1,5 до 3,5 разу, що експериментально підтверджено [8, 10, 46, 87, 91].

3. Моделі динаміки електричного навантаження об'єктів цивільного призначення та їх синтез надають можливість графічно отримати величину розрахункового навантаження з урахуванням реальної розбіжності максимумів, що суттєво підвищує точність обчислення та впливає на вибір елементів системи електропостачання [10, 46, 87].

4. Важливою характеристикою випадкового процесу щодо розрахункового електричного навантаження є математичне очікування, або «усередне-

на» функція, навколо якої відбувається розкид реалізацій випадкових процесів, за якого визначено питомі електричні навантаження для 12, 36, 64, 120, 144, 216-квартирних будинків, які виявилися меншим за визначенням за нормативами від 1,5 до 3,5 разу, що підтверджено АСКОВЕ [10, 16, 17, 18].

5. За допомогою екстраполяції степеневими функціями динаміки питомого розрахункового навантаження для 1, 12, 36, 64, 120, 144, 216-квартирних житлових будинків прогнозовано цей показник до 3000 квартир, за нормативними документами цей показник обмежений 1000-а квартирами [6, 8, 87, 88].

6. Визначена ефективність застосування методу графічного обчислення навантаження будинку: варіант з трансформатором ТМ-400/10, який дешевший за ТМ-630/10 на 56,7 тис. грн., заощадить (*енергетична ефективність*) за рахунок зменшення втрат електроенергії за час експлуатації біля 2731 т у. п., за втратою електроенергії (*економічна ефективність*) варіант дешевший на 1,61 млн. грн, що приведе до зменшення викидів (*екологічна ефективність*) у навколишнє середовище близько 908 т. [6, 8, 10, 87, 88].

7. Застосовано метод побудови макромоделей електроспоживання та описано метод прогнозування електричного навантаження об'єктів цивільного призначення, який дозволяє оцінювати кількісні характеристики споживання електричної енергії у майбутньому, використовуючи дискретні автономні макромоделі, які побудовані за відомими попередніми даними без використання процедур попередньої їх обробки [44, 86, 150–154].

8. Апробація макромоделей електроспоживання багатоквартирних будинків продемонстрували здатність моделей надавати адекватну інформацію і придатність їх для практичного застосування, оскільки результати верифікації засвідчили високу точність моделювання за ретроспективної інформації, середньоквадратична похибка яких не перевищила 3,1%, що значно вище від отриманих за регресійних моделей, яка становить близько 6,0% [44, 86, 150–154].

9. За результатами фрактального (R/S) аналізу графіків електричного навантаження багатоквартирних будинків доведено фрактальний принцип

його формування. При цьому, на відрізку від $\log(\tau) = 0,176$ до $\log(\tau) = 0,653$ (нічні години) є найкращий варіант для прогнозуванні навантажень, оскільки значення $H > 0,6$, для якого характерний «чорний колір» шуму. Отримане значення H в межах $\sim 0,5 \pm 0,1$ є зоною «білого шуму», який відповідає «хаотичній поведінці часового ряду» і найменшій надійності прогнозу. Значення H в межах $0,3 \pm 0,1$ визначає зону «рожевого шуму», що означає характерну антиперсистентність відрізка даного часового ряду [88, 89, 171–173].

10. Аналіз метеорологічних умов регіону показав небезпечне збільшення температури навколишнього середовища регіону за період з 2000 по 2025 рік, якщо темпи її збільшення не зміняться [12, 13, 20, 22].

11. За результатами дисперсійного аналізу впливу природних чинників на динаміку електроспоживання міста визначено, що для фактора $T_{\text{сер}}$ розрахункове значення величини критерію Фішера $F_p^{T_{\text{сер}}} = 9,394$, а критична область утворюється правостороннім інтервалом $(4,0201; +\infty)$. Так як $F_p^{T_{\text{сер}}} = 9,394$ потрапляє в критичну область, то вважається, що температура вплинула на величину електроспоживання.

Для фактора D розрахункове значення величини критерію Фішера $F_p^D = 2,291$, а критична область утворюється правостороннім інтервалом $(1,6012; +\infty)$. Так як $F_p^D = 2,291$ потрапляє в критичну область, то вважається, що фактор тривалості світлого часу доби вплинув на величину електроспоживання. [12, 13, 20, 22].

12. Результати кореляційного аналізу електричного навантаження міста залежно від метеорологічних умов свідчать про тісний зворотний зв'язок між температурою повітря, тривалістю дня та електроспоживанням, оскільки коефіцієнт кореляції вище середнього значення 0,5, а інші природні фактори практично не впливають на динаміку електроспоживання [12, 13, 20, 22].

РОЗДІЛ 5

МЕТОД ОЦІНКИ ВПЛИВУ ВИЩИХ ГАРМОНІК НА ЕЛЕКТРИЧНЕ
НАВАНТАЖЕННЯ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ
ЦИВІЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ5.1 Електромагнітна сумісність у системах електропостачання об'єктів
цивільного призначення

Електромагнітна сумісність (ЕМС) викликає глобальну проблему в системах електропостачання об'єктів цивільного призначення внаслідок широкого застосування побутових електроприладів з нелінійними характеристиками, що генерують, як відомо, вищі гармоніки.

До таких приладів відносяться лінійні люмінесцентні лампи, енергозощаджувальні компактні люмінесцентні, світлодіодні лампи, персональні комп'ютери, кондиціонери, електронне устаткування, пристрої частотного регулювання електричного приводу вентиляторів, насосів, системи живлення від відновлювальних джерел – вітрових, сонячних електростанцій [50, 64, 65, 96, 116, 138, 148, 174].

Проблема ЕМС умовно поділяється на такі групи:

- ЕМС електроенергетики з навколишнім середовищем (ЕКО-ЕМС);
- ЕМС з біосферою (БІО-ЕМС);
- ЕМС з протяжними металевими спорудами техносфери (ТЕХНО-ЕМС);
- ЕМС з інформаційною, комп'ютерною та радіотехнічною електроносферою (ЕЛЕКТРОНО-ЕМС);
- ЕМС внутрішня між підсистемами електроенергетики (ІНТЕР-ЕМС).

Проблеми ЕКО-ЕМС стосуються питань атмосферної електрики, електрохімічної корозії, електромагнітних бур і наслідків відчуження великих ділянок землі під підстанції та високовольтні лінії.

Проблеми БІО-ЕМС з'являються під час виникнення небезпечної напруги дотику і кроку, а також ті, що впливають на самопочуття та здоров'я людини.

Гармоніки, які генеруються нелінійними ЕП викликають помилкове показання вимірювальних приладів, що розраховані, як правило, для використання в колах із синусоїдними струмами.

За правильної синусоїдної форми кривої зміни струму в колі, показання вимірювального приладу, який сертифікований за синусоїдної форми кривої струму, співпадатимуть із показаннями приладу, що сертифікований за істинним RMS-вимірюванням (рисунок 5.1).

Коефіцієнт амплітуди визначається за формулою

$$K_{\text{ампл}} = \frac{i_{\text{макс}}}{I_{\text{RMS}}}. \quad (5.1)$$

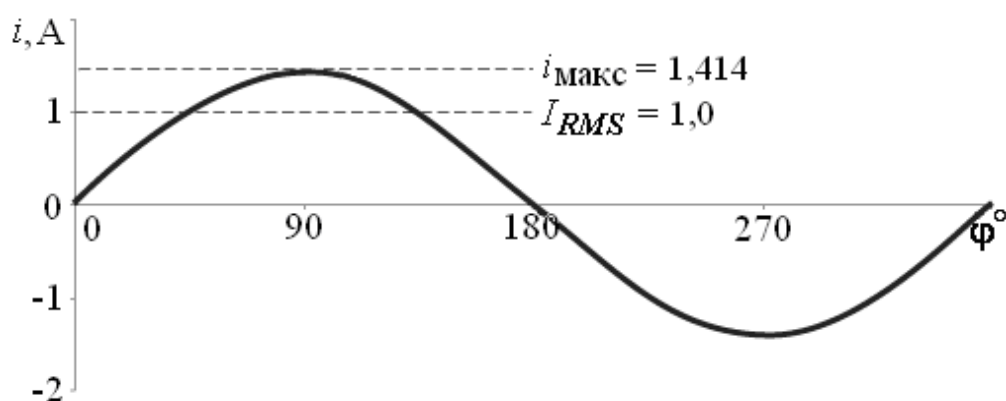


Рисунок 5.1 – Вигляд синусоїдної форми зміни струму

Тобто, I_{RMS} вимірюється за середньоквадратичною величиною змінного струму, який еквівалентний за теплової дії значенню постійного струму, що протікає за той же час через вимірювальне коло.

Співвідношення показань приладів до істинного RMS значення за різної конструкції наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Співвідношення показань приладів за різної конструкції

Тип механізму вимірювання приладу	Показання приладу за синусоїдної форми струму	Показання приладу за прямокутної форми струму	Показання приладу за форми струму однофазного діодного випрямляча	Показання приладу за форми струму трифазного діодного випрямляча
				
Істинне RMS	1,0	1,0	1,0	1,0
Усереднене RMS	1,0	1,1	0,6	0,7–0,95

Механізм фіксації значень вимірювального струму в приладі істинного RMS полягає в тому, що він реагує на квадрат миттєвого значення струму кола, усереднює його за певний проміжок часу та виводить на дисплей значення квадратного кореня з цього усередненого значення.

Таким чином прилади, які усереднюють струм RMS значення, надають недоміри до 40% за певної форми кривих струму, що призводить до недооцінки номіналів кабелів і захисних приладів та можливих аварійних вимкнень і передчасного зносу ізоляції електроустановок.

Очевидно, що слід урахувати зазначене при розробленні схем електропостачання об'єктів цивільного призначення.

Присутність вищих гармонік в електричних колах збільшують витрати електричної енергії в електричній мережі, побутових та інших електроприймачах, пришвидшують старіння ізоляції, викликають електромагнітні пере-

шкоди, що впливатиме на інформаційну комп'ютерну та радіотехнічну електроноферу.

Можуть викликати помилкове комерційне показання вимірювальних приладів, які розраховані для використання в колах із синусоїдними струмами, або можуть викликати помилкове спрацьовування захисних апаратів, релейного захисту.

Все зазначене може призводити до зниження надійності електропостачання та суттєвих збитків, зменшення пропускної спроможності ліній електропередачі, негативно впливатимуть на електромагнітну сумісність, навколишнє середовище тощо.

Одним із основних ЕП і одночасно генератора гармонік в електричних мережах є перетворювачі частоти. Взаємодія між ними визначається комутаційними функціями за методом накладення процесів, що відбуваються окремо у випрямлячі й інверторі. При цьому, електричний струм у мережі визначається як сума струмів вищих гармонік випрямляча i_{bn} і інтергармонік інвертора i_{in} , перерахованих на сторону випрямляча за допомогою комутаційної функції K_I

$$i_{mn} = i_{bn} + K_I i_{in}. \quad (5.2)$$

Струм мережі містить канонічні вищі гармоніки та інтергармоніки, які не кратні вхідній частоті f_1 .

Рівняння комутаційної функції для 6, 12-пульсного випрямляча

$$K_I = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} \left(\sin \omega_1 t - \frac{1}{5} \sin 5\omega_1 t - \frac{1}{5} \sin 7\omega_1 t + \dots \right). \quad (5.3)$$

Вплив вищих гармонік на системи імпульсно-фазового керування перетворювачем може призвести до виникнення гармонійної нестійкості, що полягає в появі на шинах багатопульсного вентильного перетворювача значної напруги парної гармоніки або кратної трьом. Через це в інверторному режимі

вентильного перетворювача можливі порушення комутації, що призводить до нестійкої роботи системи керування. Гармонійна нестійкість виникатиме під час приєднання потужного перетворювача до електричної мережі.

Гармоніки вищих порядків впливають на нормальну роботу телемеханічних пристроїв, у разі застосування силових кіл як каналів зв'язку між диспетчерською і пунктами контролю. Утруднюють використання системи телекерування по лініях електричних мереж.

Інтергармоніки викликають в електричній мережі спотворення напруги, струму, інтенсивність дії яких залежить від амплітуди за відповідної частоти. За більшого спектру частот, ризик виникнення нештатних ситуацій, таких як резонансні явища, збільшується, що може збільшити несинуїдність струму, напруги, порушити роботу ЕП споживача.

Негативними наслідками інтергармонік є тепловий ефект, низькочастотні коливання конструкцій. Призводить до мигтіння джерел світла, порушення роботи електронного устаткування. Може викликати невірні спрацьовування апаратів захисту та керування, перевантажувати пасивні фільтри вищих гармонік, акустичні явища а також насичення вимірювальних трансформаторів.

5.2 Експериментальне дослідження впливу вищих гармонік на електричне навантаження систем електропостачання цивільних об'єктів

Дослідження ґрунтується на моделюванні динаміки напруги і струмів основної і вищих гармонік електричних загальнобудинкових і ЕП з нелінійними характеристиками цивільних об'єктів та на результатах аналітичних розрахунків щодо витрат електроенергії.

Електричне навантаження житлового будинку складається, як відомо, з навантаження побутових ЕП житла і загальнобудинкових ЕП [10, 11]. За основу дослідження прийнято режими роботи найбільш вживаного набору ЕП житла, які наведено в таблицях 4.1 та 4.2. Окремі з наведених нелінійних ЕП генерують вищі гармоніки різної інтенсивності за спектром.

Наприклад, амплітудний спектр струму компактної люмінесцентної лампи (КЛЛ) наведено на рисунку 5.2.

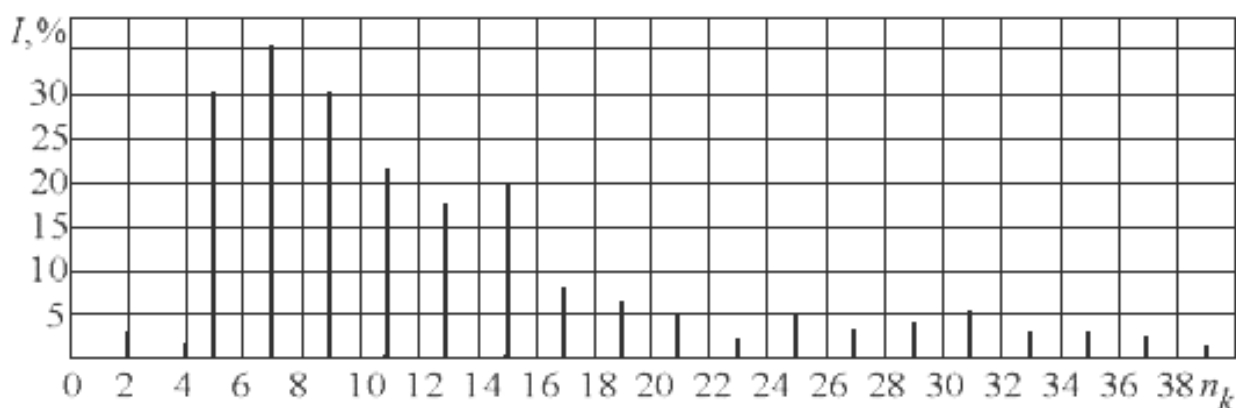


Рисунок 5.2 – Амплітудний спектр струму КЛЛ потужністю 20 Вт

Відсотковий склад гармонік струму КЛЛ свідчить про його достатньо широкий спектр. Суттєве спотворення синусоїдності струму викликають кондиціонери (рисунки 5.3).

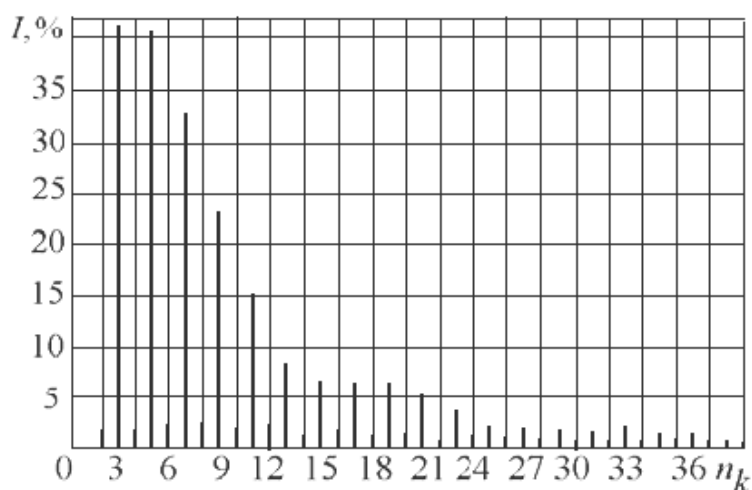


Рисунок 5.3 – Амплітудний спектр гармонік струму кондиціонера
SENSEI ECO FTE-23MR

Гармонійний спектр за напругою та струмом під час роботи ПК, принтера, сканера наведено на рисунку 5.4.

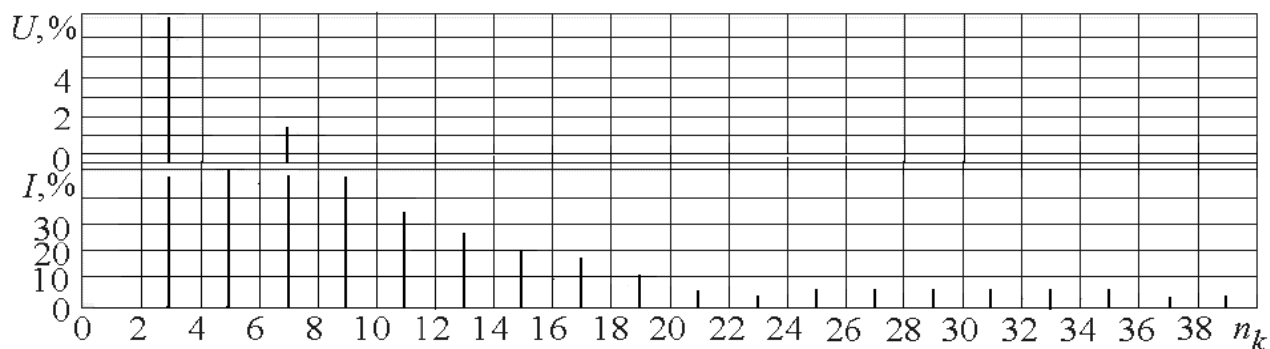


Рисунок 5.4 – Усереднений гармонійний спектр за напругою та струмом під час роботи ПК, принтера, сканера

Очевидно, що синусоїдність струму суттєво спотворена через генерування вищих гармонік в електричну мережу житлового будинку. Динаміку цього струму можна розкласти в ряд Фур'є, що дозволяє проводити теоретичний аналіз процесів, що відбуваються в електричних колах систем електропостачання.

Функція струму $i(t)$ рядом Фур'є у тригонометричній формі має вигляд

$$i(t) = I_0 + \sum_{n=1}^{40} I_{nm} \sin(n\omega t + \psi_k), \quad (5.4)$$

де I_0 – визначається як

$$I_0 = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} i(t) dt, \quad (5.5)$$

та I_{nm} – результативне значення амплітуди n -ї гармоніки.

Результати виміру спектру гармонік мікрохвильової печі Samsung CE28GNR та тепловентилятора S131 наведено в таблиці 5.2, на рисунку 5.5.

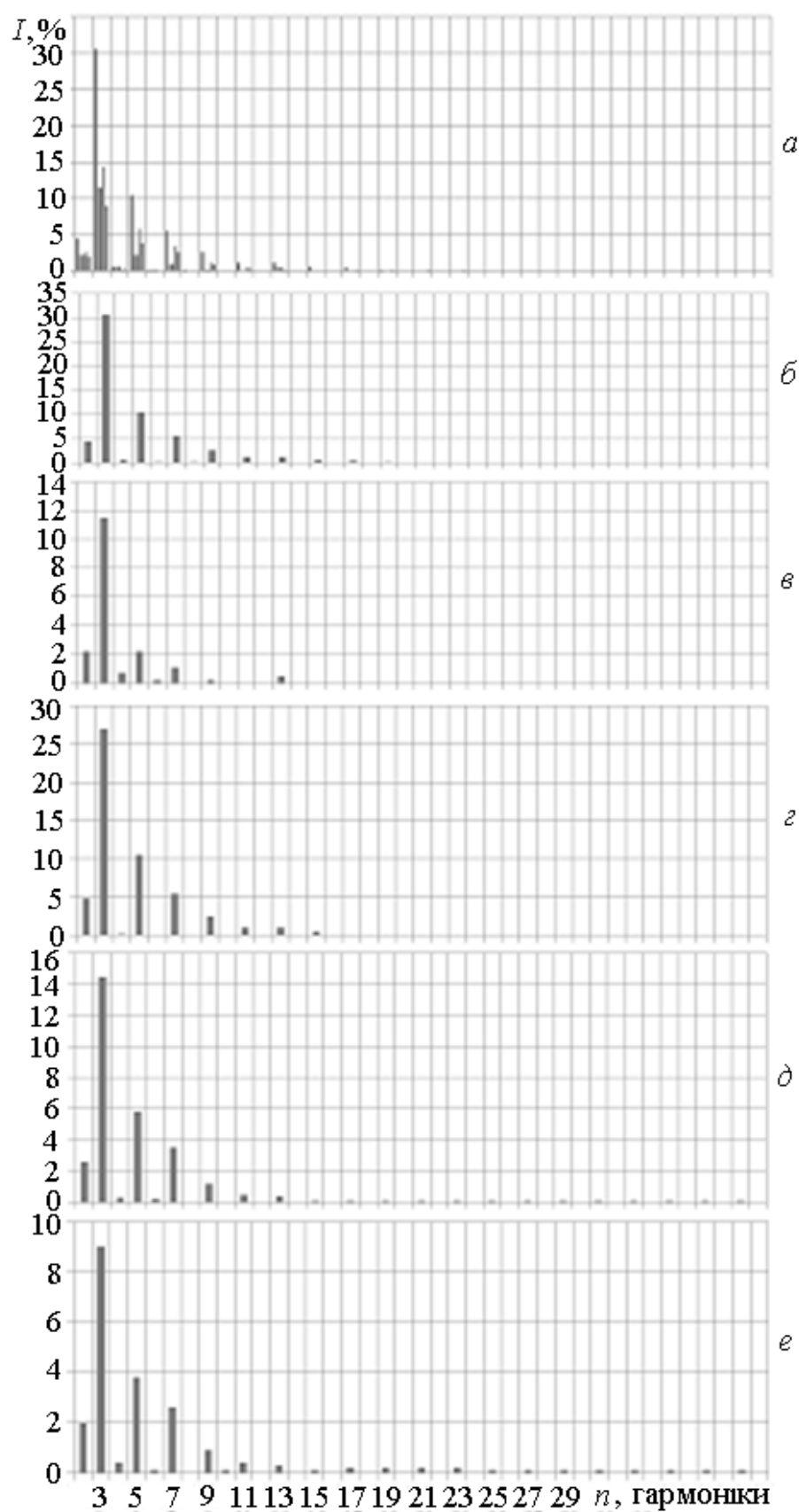


Рисунок 5.5 – Амплітудний спектр гармонік
мікрохвильової печі, тепловентилятора

За таблицею 5.2, на рисунку 5.5 наведено гармонійний спектр: *а* – підсумковий, *б* – мікрохвильової печі, *в* – вентилятора тепловентилятора, *г* – тепловентилятора з увімкненим тепловим елементом 1-го ступеня, *д* – з увімкненим тепловим елементом 2-го ступеня.

Моделювання динаміки спектру струмів у групових мережах напругою 220 В із приєднанням їх до однофазного вводу в квартиру надасть виявити додаткове нагрівання електропроводки від виникнення вищих гармонік, що генерують нелінійні побутові ЕП (рисунок 5.6) [33, 34, 114].

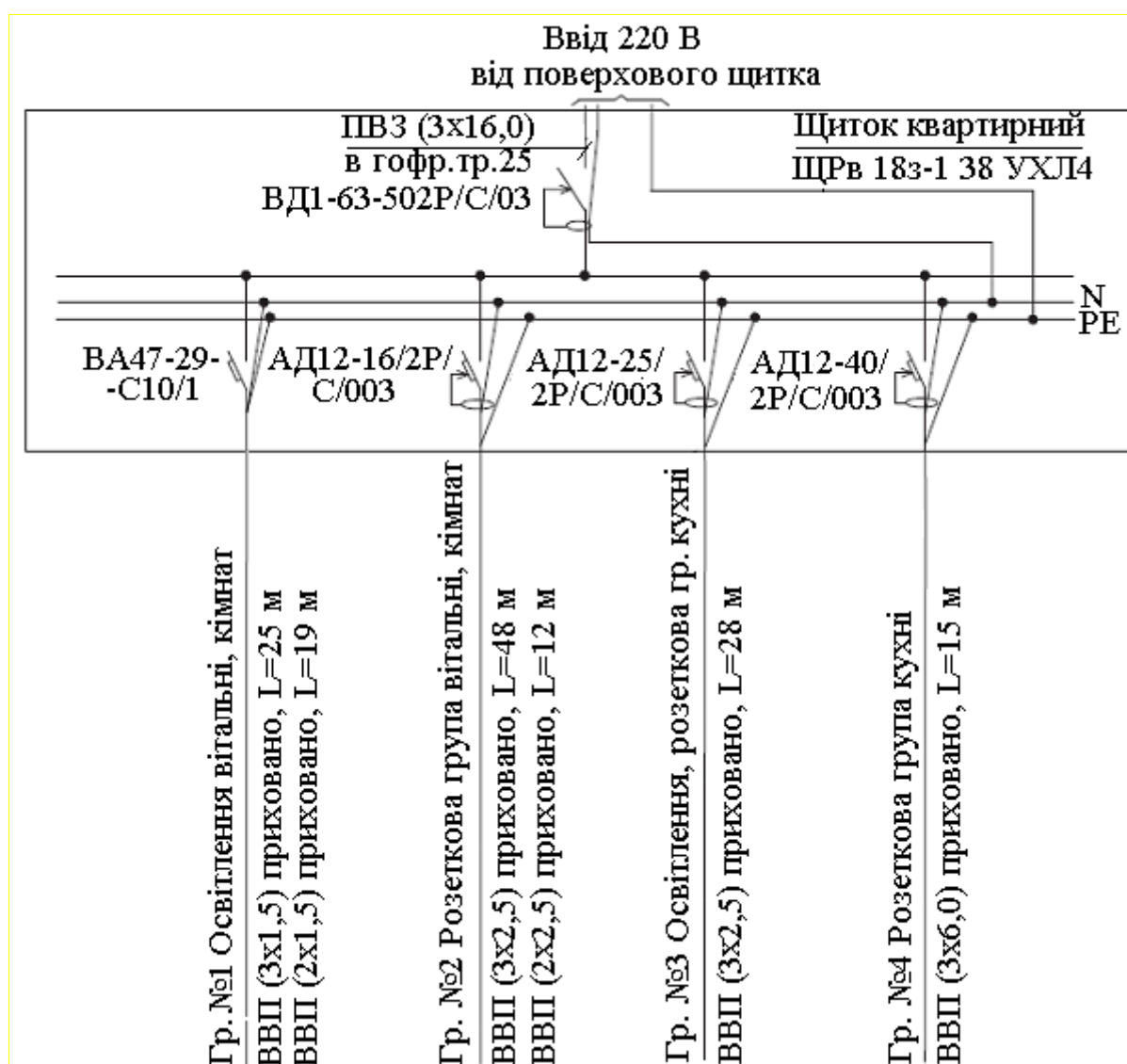


Рисунок 5.6 – Схема групових мереж напругою 220 В із приєднанням їх до однофазного вводу у квартиру

Наприклад, група № 1 лінії освітлення вітальні, кімнат приєднується до квартирнього щитка через однополюсний автоматичний вимикач серії ВА47-29-С10/1 на номінальний струм 10 А, який забезпечує її захист від перевантажень та струмів КЗ (рисунок 5.7).

Електрична мережа квартири виконується проводами марки ВВП із мідними жилами відповідного перерізу, які прокладено приховано під штукатуркою.

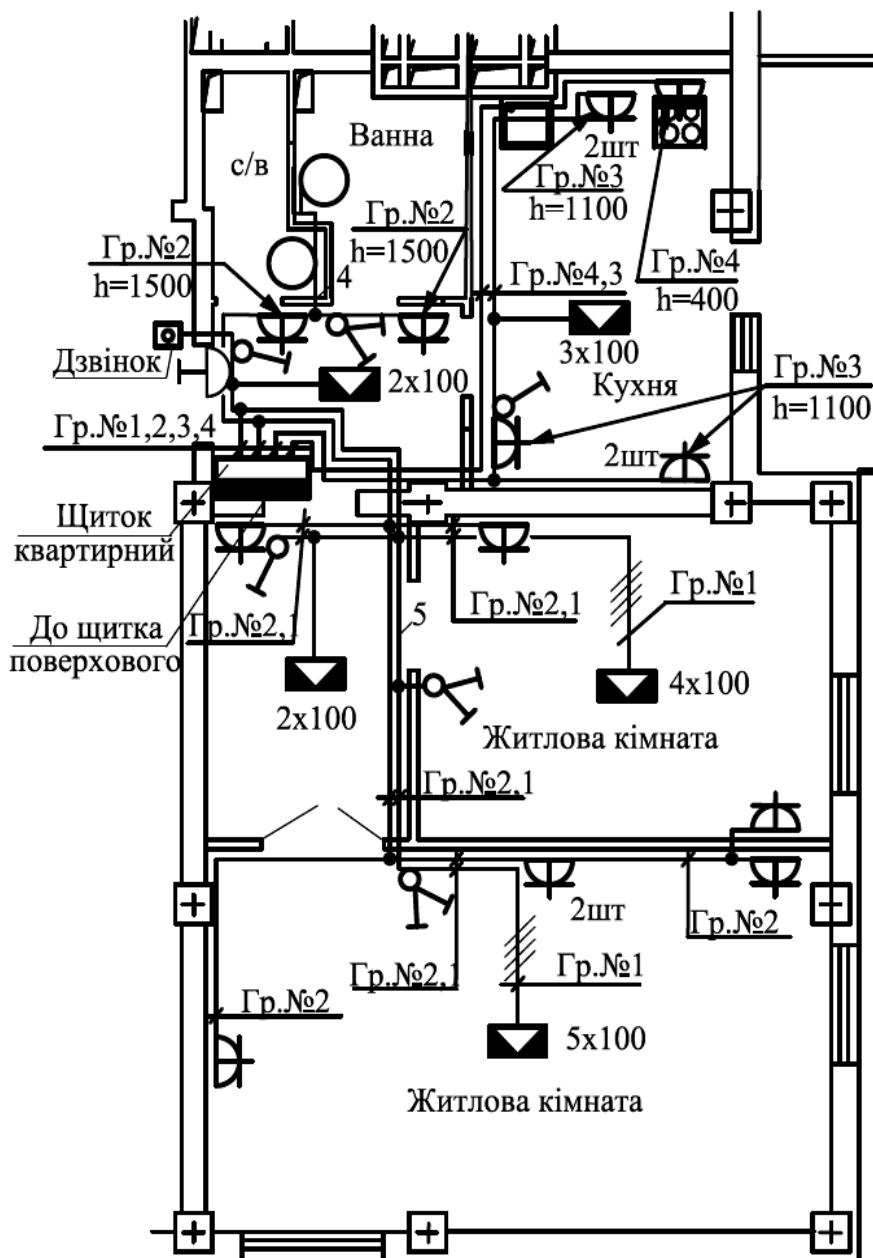


Рисунок 5.7 – План групових мереж двокімнатної квартири

Граф схеми найбільш поширеної електричної мережі житла наведено на рисунку 5.8 [33, 34, 114].

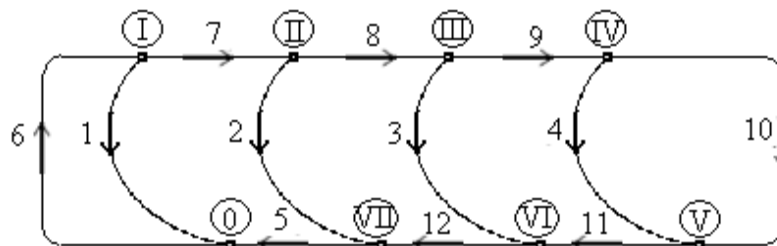


Рисунок 5.8 – Граф схеми електричної мережі житла

Як відомо, величина діючого значення активної потужності за наявності 1-ї та вищих гармонік n до 40-ї визначається за формулою

$$P = P_1 + \Delta P_n = U_1 I_1 \cos \varphi_1 + \sum_{n=2}^{40} U_n I_n \cos \varphi_n. \quad (5.6)$$

Така формула дозволяє відтворити навантажувальні режими в елементах електричної мережі житла під впливом 1-ї та вищих до 40-ї гармоніки.

5.3 Моделі диференційних рівнянь електричних, теплових процесів в електропроводці житла за дією вищих гармонік

Стаціонарний випадковий процес в електропроводці житла може бути представлений канонічним розкладанням від 1-ї до 40-ї гармоніки так:

$$X(t) = m_X + \sum_{k=1}^{40} (V_k \cos \omega_k t + U_k \sin \omega_k t), \quad (5.7)$$

m_X – математичне очікування випадкової величини;

$V_k \cos \omega_k t, U_k \sin \omega_k t$ – система випадкових величин за амплітудою на частоті $\omega_k t$.

При цьому, його кореляційна функція може бути представлена спектральним розкладанням кореляційної функції [33, 34, 114]

$$\begin{aligned}
 K_X(t, t') &= \sum_{k=1}^{40} (D_k \cos \omega_k (t - t')) = \\
 &= \sum_{k=1}^{40} (D_k \cos \omega_k t \cos \omega_k t' + \sin \omega_k t \sin \omega_k t') = \\
 &= \sum_{k=1}^{40} (D_k \cos \omega_k \tau) = k_X(\tau),
 \end{aligned} \tag{5.8}$$

де $D_k \cos \omega_k (t - t')$ – система випадкових величин за амплітудою на частоті $\omega_k (t - t')$;

$$\mathbf{M}[V_k] = \mathbf{M}[U_k] = \mathbf{M}[V_k U_k] = 0, \mathbf{M}[V_i U_j] = 0 (i \neq j);$$

$$D[V_k] = D[U_k] = D_k, \tau = t - t'.$$

Координатними функціями канонічного розкладання стаціонарного випадкового процесу є $\cos \omega_k (t - t')$, $\sin \omega_k (t - t')$.

Спектральне розкладання стаціонарного канонічного випадкового процесу може бути представлено так:

$$X(t) = m_X + \sum_{k=1}^{40} Z_k \cos(\omega_k t - \theta_k), \tag{5.9}$$

де θ_k – фаза гармонійного коливання елементарного стаціонарного випадкового процесу – випадкова величина, яка розподілена рівномірно на інтервалі $(0, 2\pi)$;

Z_k – амплітуда гармонічного коливання елементарного стаціонарного випадкового процесу – теж випадкова величина.

Випадкові величини Z_k і θ_k залежні, при цьому між ними та випадковими величинами V_k і U_k існує співвідношення

$$Z_k \cos \theta_k = V_k, Z_k \sin \theta_k = U_k. \quad (5.10)$$

Отже, стаціонарний випадковий процес може бути представлений у вигляді суми гармонічних коливань із випадковими амплітудами Z_k і випадковими θ_k за різними невинуватковими частотами ω_k .

Математичні моделі диференційних рівнянь, які описують електричні процеси в електричній мережі житла за дією від 1-ї до 40-ї гармоніки мають такий вигляд:

$$\left. \begin{aligned} e_{11} - R_{11}i_{11} - L_{11} \frac{di_{11}}{dt} &= u_{11} \\ R_{12}i_{12} - L_{12} \frac{di_{12}}{dt} &= u_{12} \\ &\dots \\ e_{1n} - R_{1n}i_{1n} - L_{1n} \frac{di_{1n}}{dt} &= u_{1n} \end{aligned} \right\} \dots \quad (5.11)$$

$$\left. \begin{aligned} e_{40.1} - R_{40.1}i_{2.1} - L_{40.1} \frac{di_{40.1}}{dt} &= u_{40.1} \\ R_{40.2}i_{40.2} - L_{40.2} \frac{di_{40.2}}{dt} &= u_{40.2} \\ &\dots \\ e_{40n} - R_{40n}i_{40n} - L_{40n} \frac{di_{40n}}{dt} &= u_{40n} \end{aligned} \right\},$$

де R – активний опір і L – індуктивність електричної мережі за окремих гармонік і ділянок, що позначені відповідними індексами;

e, i, u – е. р. с., струм і напруга за окремих гармонік і ділянок, що позначені відповідними індексами.

Загальне рівняння теплового балансу ділянок електропроводки з урахуванням дії струму вищих гармонік та перетоку тепла у навколишнє середовище від провідників шляхом теплопровідності має такий вигляд [33, 34]:

$$i_n^2 R = m C d\theta + \alpha(\theta - \theta_c) F dt, \quad (5.12)$$

де m, C – маса і теплоємність провідника відповідно;

α – коефіцієнт тепловіддачі;

θ, θ_c – температура провідника і середовища відповідно;

F – площа поверхні провідника.

У векторній формі

$$\left. \begin{aligned} \vec{e}_n - \rho \mathbf{I} \vec{j}_n - \mathbf{L}_n \mathbf{S} \frac{d\vec{j}}{dt} &= \vec{u}_n \\ \frac{d\vec{\theta}}{dt} + \frac{2\alpha}{\gamma C r} \vec{\theta} &= \frac{\rho}{\gamma C} \vec{j}^2 + \frac{2\alpha}{\gamma C r} \vec{\theta}_c \end{aligned} \right\}, \quad (5.13)$$

де $\mathbf{I}, \mathbf{L}, \mathbf{S}$ – діагональні матриці довжини ділянок, індуктивностей, перерізів проводів за радіусом r ;

j – густина струму.

Розв'язання системи рівнянь надає можливість отримати динаміку електричного навантаження від дії вищих гармонік та прикінцевої сталої температури провідників.

На рисунку 5.9 наведено RMS-струму та HRMS-струму вечірнього електричного навантаження ЕП на вводі житла з газовою плитою протягом 3-х год 45 хв. (за рисунком 5.9 час 0 умовно приймається за 17 год 20 хв.), як найбільш навантажений електроприладами протягом доби (таблиця 4.1).

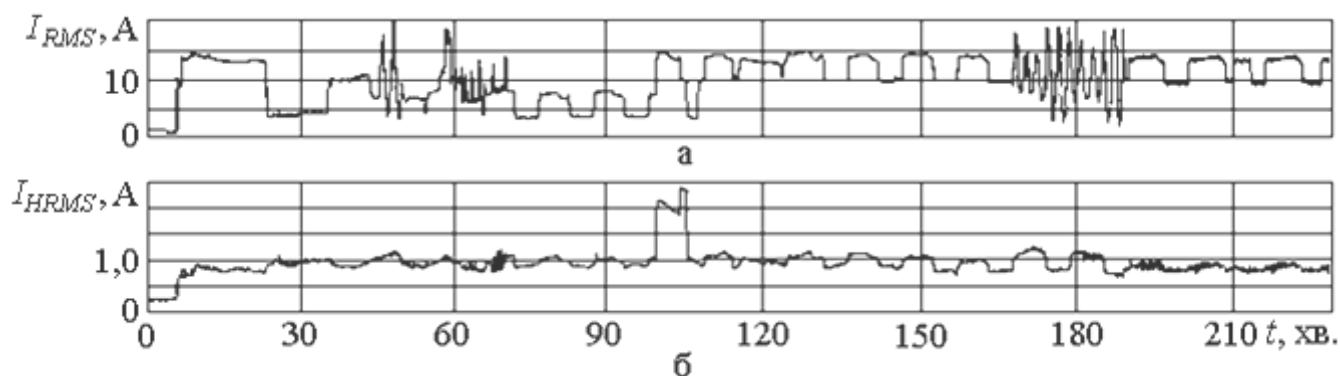


Рисунок 5.9 – Осцилограми RMS-струму (а) та HRMS-струму (б) електричного навантаження ЕП на ввіді житла

Механізм фіксації значень вимірювального струму в аналізаторі якості електроенергії Elspec G4500 істинного RMS-струму (HRMS – вищих гармонік) полягає в тому, що він реагує на квадрат миттєвого значення струму кола, усереднює його за певний проміжок часу та виводить на дисплей значення квадратного кореня з цього усередненого значення.

За результатами вимірювання вмісту в електричній мережі житла струмів за гармоніками 2, 3, 5, 7-ї становлять близько 4, 10, 5, 2% відповідно, а інших гармонік, до 40-ї – менше, ніж 1%.

Додаткові витрати активної потужності від струмів вищих гармонік у провіднику орієнтовно визначаються за формулою [31, 34, 129–131]

$$\Delta P_{\text{мер}}^{(i)} = r_0 l_i \sum_{n=2}^m I_n^2 \sqrt{n}, \quad (5.14)$$

де r_0 – питомий активний опір i -ї ділянки провідника мережі, Ом / м;

l_i – довжина i -ї ділянки провідника мережі, що живить нелінійний ЕП;

m – найбільш значуща ($\geq 0,01 I_1$) гармоніка, що генерує нелінійний ЕП;

I_n – величина струму n -ї гармоніки, що генерує нелінійний ЕП.

З урахуванням того, що перетин електропроводки із мідних проводів становить 1,5, 2,5, 6 мм² внутрішньоквартирної електричної мережі від ква-

ртирного щитка до зазначених ЕП, додаткові витрати активної потужності за наявності вищих гармонік, за попередніми розрахунками, збільшаться на 2,6% відносно втрат за основної частоти 50 Гц.

Результати вимірювання значень вищих гармонік струму за фазами *A*, *B*, *C* та в нейтралі *N* кабелю, що живить 144-квартирний будинок, наведено в таблиці 5.3 і на рисунку 5.10 [10].

Таблиця 5.3 – Результати виміру складу гармонік у живильному кабелі

Гармоніки	Усереднене значення гармонік за фазами та в нейтралі кабелю, %			
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>N</i>
3-я	8,044	23,484	7,794	35,752
5-а	3,486	5,135	3,452	4,343
7-а	1,377	2,267	1,064	2,286
9-а	1,092	2,295	0,937	2,758

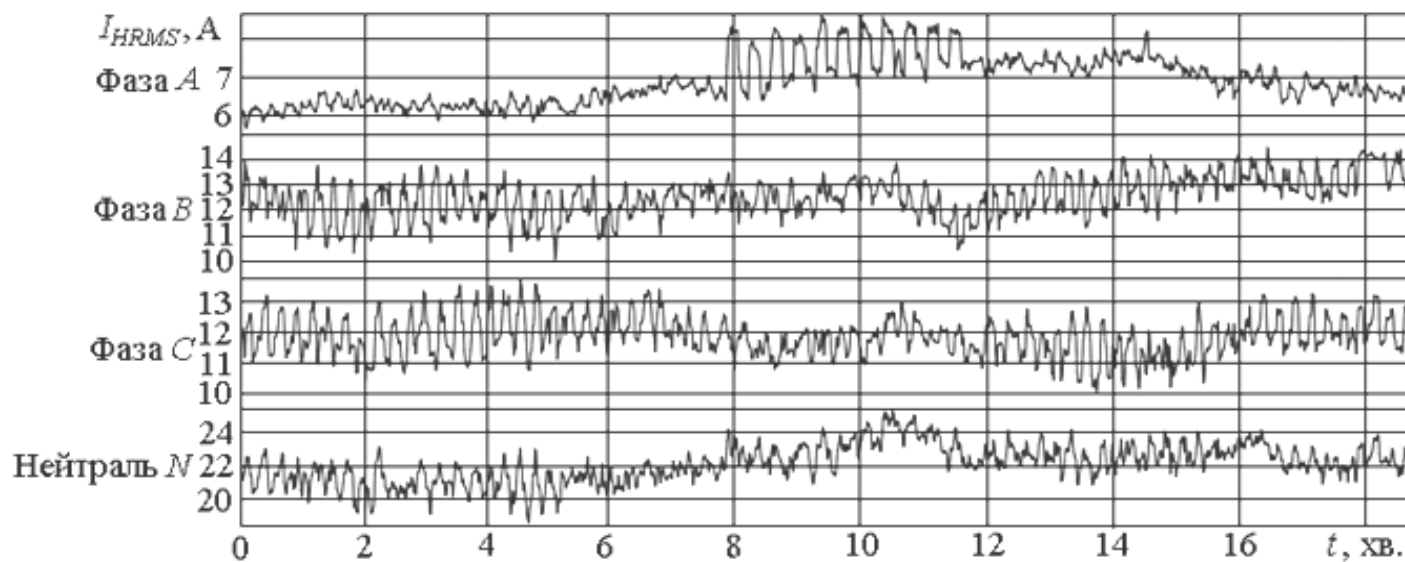


Рисунок 5.10 – Осцилограми HRMS-струмів за фазами *A*, *B*, *C* і нейтралі *N* навантаження кабелю на ввіді 144-квартирного будинку 15.03.2017 р.

Додаткове навантаження, тобто втрати в асинхронних двигунах, що зумовлене генеруванням вищих гармонік, визначаються за формулою так:

$$\Delta P_{\text{дв}}^{(n)} = \Delta P_{\text{м.ном}} \sum_{n=2}^m K_{I(n)}^2 \sqrt{n}, \quad (5.15)$$

де $\Delta P_{\text{м.ном}}$ – номінальні втрати в міді, кВт;

$K_{I(n)}$ – кратність струму n -ї гармоніки до першої;

Додаткове навантаження, тобто втрати в трансформаторах, що зумовлене генеруванням вищих гармонік, визначаються за формулою

$$\Delta P_{\text{т}}^{(n)} = 3 \sum_{n=2}^m I_{I(n)}^2 \eta_k k(n), \quad (5.16)$$

де η_k – опір короткого замикання трансформатора за промислової частоти;

$k(n)$ – коефіцієнт, що враховує збільшення опору КЗ за вищими гармоніками ($k_{(5)} = 2,1$, $k_{(7)} = 2,5$, $k_{(11)} = 3,2$, $k_{(13)} = 3,7$).

Значення RMS -струму 1-ї гармоніки за фазами A , B , C та нейтралі N живильного кабелю за вимірами становлять 104,5, 124,8, 106,1, 65,6 А відповідно.

Живильний кабель ААШв-1(3×95+1×35) напругою 0,4 кВ від внутрішньоквартальної понижувальної підстанції до ввідно-розподільного пристрою 144-квартирного будинку має довжину 60 м і в будинку, по підвалу і стоякам – кабель ААШв – 1(3×35+1×16) довжиною 250 м.

За попередніми розрахунками збільшення потужності, за рахунок генерації нелінійними ЕП вищих гармонік у живильному кабелі становить 7,6% відносно потужності за основної частоти.

Отримані результати дослідження є підґрунтям для оцінки впливу нелінійних ЕП житла на збільшення навантаження на електропроводку і в живильному кабелі житлового будинку через генерацію вищих гармонік.

Наявність гармонік у мережі впливає на вимірювальні прилади, комерційні показання лічильників, які розраховані для використання в колах із синусоїдним струмом [10, 25, 28, 64, 65].

При цьому, величина похибки показань залежить від частотної характеристики приладу.

Похибки вимірювання зменшуються до нуля зі збільшенням в електричній мережі субгармонік і зростають зі збільшенням частот вищих гармонік, які генеруються нелінійними навантаженнями.

Кількість електроенергії, що фіксується лічильником за час t :

– за сталою величиною нелінійного навантаження обчислюється так:

$$W_{\text{ліч.1}} = P_{n=1} (1 - \gamma) t, \quad (5.17)$$

де $P_{n=1}$ – потужність нелінійного навантаження за основної частоти;

γ – сума похибок лічильника за гармоніками, яка обчислюється так:

$$\gamma = \frac{\sum_{n=2}^{\infty} \Delta P_{n_i}}{P_{n=1}}, \quad (5.18)$$

де ΔP_{n_i} – похибка лічильника за потужністю за n_i -ї гармоніки;

– у разі сталого за величиною лінійного навантаження обчислюється так

$$W_{\text{ліч.1}} = P_{n=1} (1 + \gamma) t. \quad (5.19)$$

Таким чином, за використанням нелінійних побутових електроприладів може відбуватися комерційний «переоблік» або «недооблік» електроенергії лічильниками (таблиця 5.4) [10].

Таблиця 5.4 – Результати впливу вищих гармонік на комерційні показання лічильників

Побутовий електро-прилад	Тип лічильника	Клас точності, %	Спожита, електро-енергія ΔW , кВт·год	Похибка %	Коефіцієнт спотворння синусоїдності струму, %	Коефіцієнт спотворння синусоїдності напруги, %
Радіатор Delonghi KH 771120	CO-505	2	3,85	4,49	3,6	3,4
	CE201	1	3,79	2,86		
	НІК 2102-02.M2B	1	3,82	3,68		
	Elspec G4500	0,5	3,68448	—		
Тепловентилятор моделі S131	CO-505	2	4,06	5,36	4,3	3,8
	CE201	1	4,01	4,07		
	НІК 2102-02.M2B	1	4,02	4,33		
	Elspec G4500	0,5	3,85313	—		
Кондиціонер серії SENSEI	CO-505	2	9,70	8,6	25	3,9
	CE201	1	9,40	5,3		
	НІК 2102-02.M2B	1	9,50	6,4		
	Elspec G4500	0,5	8,9248	—		
Лампи КЛЛ, холодильник, пральна машина, телевізор, ПК	CO-505	2	3,76	0,94	7,1	5,0
	CE201	1	3,79	1,75		
	НІК 2102-02.M2B	1	3,8	2,02		
	Elspec G4500	0,5	3,72474	—		

Показання аналізатора якості електроенергії Elspec G4500, які використовувались у процесі дослідження, прийняті за базові.

Результати обчислення кореляції між спотворенням струму і напруги та комерційними похибками лічильників наведено в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Кореляційна матриця між спотворенням струму і напруги та комерційними показаннями лічильників різної конструкції

Лічильник СО-505		Лічильник СЕ201		Лічильник НІК 2102-02.М2В	
Ознака	Похибка	Ознака	Похибка	Ознака	Похибка
Струм	0,701199	Струм	0,708476	Струм	0,762463
Напруга	-0,64464	Напруга	-0,52731	Напруга	-0,5654

Таким чином, результати кореляційного аналізу впливу побутових електроприладів із нелінійними характеристиками на комерційні показання лічильників різної конструкції свідчать, що між ознаками й комерційними похибками існує помітний, навіть високий зв'язок.

Однак цей зв'язок найменший прямий за струмом для індукційного лічильника СО-505 і зворотній за напругою – для електронного лічильника СЕ201.

Висновки до розділу 5

1. Електромагнітна сумісність викликає глобальну проблему в системах електропостачання об'єктів цивільного призначення, оскільки вищі гармоніки в електричних мережах призводять до ряду негативних явищ, які недостатньо висвітлені в науковій літературі [50, 64, 65, 96].

2. Шляхом експериментального виміру аналізатором якості електроенергії отримано спектри струму і напруги основних електроприймачів житлового будинку, об'єктів цивільного призначення, які можуть використовуватися як інформаційна база для розрахунків систем електропостачання аналогічних об'єктів [9, 10].

3. Математичним моделюванням динаміки спектру струмів у групових мережах житла зі стандартним набором побутових електроприймачів визначено додаткове збільшення електричного навантаження від виникнення вищих гармонік, що генерують нелінійні побутові ЕП [9, 10], що дає можливість оцінити їх вплив та попередити перегрівання струмовідних частин.

4. Експериментально визначено збільшення електричного навантаження житлових будинків від виникнення вищих гармонік, яке становить близько 10% від потужності за основної гармоніки, що необхідно враховувати при розрахунках аналогічних систем електропостачання [9, 10, 31].

5. За результатами кореляційного аналізу впливу побутових електроприладів із нелінійними характеристиками на комерційні показання лічильників виявлено, що між ознаками й комерційними похибками лічильників різної конструкції існує помітний, навіть високий зв'язок, однак він найменший прямий за струмом для індукційного лічильника СО-505 і зворотній за напругою – для лічильника СЕ201 [10, 25, 28].

РОЗДІЛ 6

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ВИЩИХ ГАРМОНІК СОНЯЧНОЇ
ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ НА ВЕЛИЧИНУ ЕЛЕКТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ
ЦИВІЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ ТА СПОСОБИ ЙОГО ЗМЕНШЕННЯ

6.1 Експериментальна база та організація дослідження мережевої сонячної електростанції як джерела вищих гармонік

Експериментальна база дослідження ґрунтується на устаткуванні мережевої сонячної електростанції (МСЕС) розташованої на даху будинку з координатами $46^{\circ} 29' 08''$ північної широти, $30^{\circ} 44' 36''$ східної довготи.

Сонячна електростанція потужністю 9,5 кВт встановлена у 2016 році і у 2017 році потужність збільшена до 30 кВт.

Загальний вигляд панелей електростанції наведено на рисунку 6.1.



Рисунок 6.1 – Загальний вигляд панелей сонячної мережевої електростанції потужністю 30 кВт розташованої на даху

Сонячна панель TALESUN TP660P-260W полікристалева, потужність 260 Вт, напруга х. х. 37,8 В, номінальний струм 8,51 А, струм короткого замикання 9,16 А, робоча температура від -45°C до $+60^{\circ}\text{C}$.

Основні елементи МСЕС та схеми дослідження наведено на рисунку 6.2.



Рисунок 6.2– Основні елементи мережевої сонячної електростанції та схеми проведення дослідження

Дослідження виконувалося за допомогою аналізатора якості електричної енергії Elspec G4500 BLACKBOX Portable компанії Elspec Technologies (рисунок 6.3).



Рисунок 6.3 – Склад комплекту: а – пристрій G4500; б – ноутбук; в – програмне забезпечення; г, д – електричні проводи; е – гнучкі кліщі

Програмне забезпечення до цього аналізатора PQSCADA Investigator компанії Elspec Technologies ефективно обробляє значну кількість параметрів, які миттєво відображаються на моніторі ПК.

Інформація, яка поступає із однієї або декількох точок вимірювання, відображається на одній синхронізованій часовій вісі.

Накопичена в приладі інформація щодо виміряних параметрів електричної мережі може представлятися на моніторі у вигляді неперервних графіків або у цифровому варіанті в табличному редакторі Excel.

Мережевий інвертор HUAWEI SUN2000-36KTL (виробництво Китаю) потужністю 36 кВт, коефіцієнт корисної дії не менше 98,6%, робоча температура від -25 до $+60^{\circ}\text{C}$. Він містить 4 MPP трекера для нівелювання ефектів неоднорідності поля енергогенерування, інтегрований інтелектуальний пост-рінговий моніторинг 8-х стрінгів, пристрій захисного вимкнення, захист від перевантажень, перенапруги, короткого замикання, замикань на землю.

Сонячні панелі мережевої електростанції перетворюють енергію випромінювання сонця в постійний струм, який за допомогою інвертора перетворюється у змінний за напругою електроприймачів, як правило 0,38/0,22 кВ.

Інвертори вносять спотворення синусоїдності за напругою, яке можна спостерігати за допомогою аналізатора якості електроенергії Elspec G4500, що приєднується у коло до лічильника від МСЕС (рисунок 6.4).



Рисунок 6.4 – Вузол приєднання Elspec G4500 до вимірювального кола

Допустимі значення спотворень напруги, струму встановлено спеціальними стандартами для перетворювальних пристроїв, інверторів, що використовують для сонячних електростанцій.

Відповідно до ДСТУ ІЕС 62040 допускається загальний коефіцієнт гармонійних спотворень напруги THD для інверторів до 8%, який визначається за формулою

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{i \geq 2} U_i^2}}{U_1} \cdot 100\%, \quad (6.1)$$

де U_i – середньоквадратичне значення напруги i -ої гармоніки, U_1 – за основної гармоніки.

Значення індивідуальних коефіцієнтів спотворень n -ої напруги IHD інвертора визначається за формулою

$$IHD_n = \frac{U_n}{U_1} \cdot 100\%, \quad (6.2)$$

де U_n – середньоквадратичне значення напруги n -ої гармоніки.

Вимірювання цих коефіцієнтів для інвертора показав, що їх значення допустимі (рисунок 6.5).

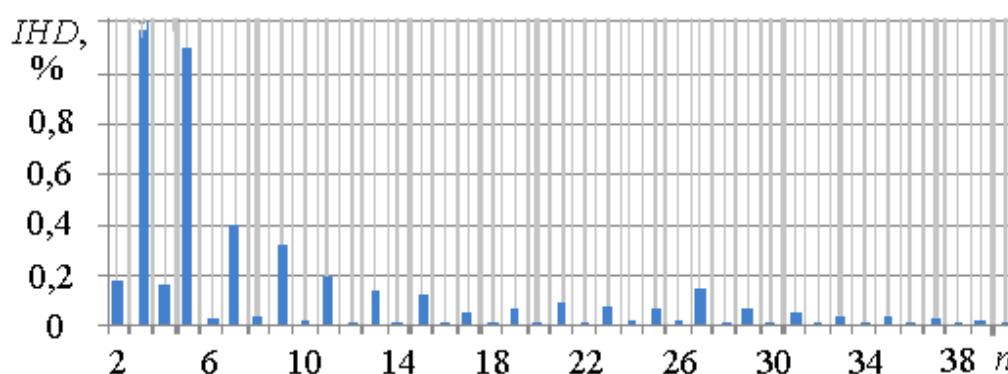


Рисунок 6.5 – Результат вимірювання спектру напруги на виході інвертора

Однак, при підключенні нелінійних ЕП до виходу інвертора, відбуватиметься подальше спотворення напруги, струму та збільшення витрати електроенергії в мережі [9, 31, 34, 57, 61, 99, 103, 159].

6.2 Метод визначення впливу вищих гармонік сонячної електростанції, електроприймачів з нелінійною характеристикою на розрахункове навантаження електричної мережі цивільних об'єктів

Наводиться метод визначення впливу струму вищих гармонік кондиціонера серії SENSEI ECO-і FTE-23MR на навантаження електричної мережі. Осцилограма та амплітудний спектр гармонік струму (за фоновим THD% за напругою близько 3%) , які генеруються цим побутовим кондиціонером , наведено на рисунках 6.6, 6.7.

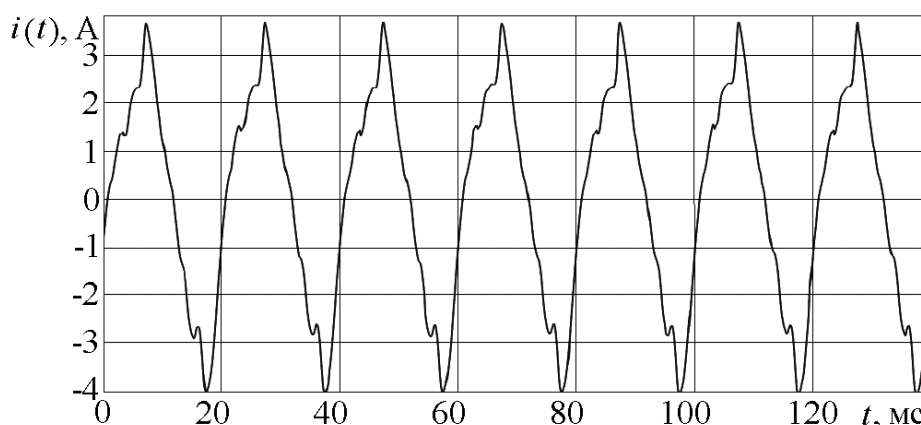


Рисунок 6.6 – Осцилограма струму навантаження кондиціонера

За різних особливостей генерування, розповсюдження по електричним мережам, своєї дії на електроустаткування гармоніки поділяють на парні та непарні, складові прямої послідовності (1, 4, 7 і т. д.), зворотної послідовності (2, 5, 8 і т. д.), гармоніки нульової послідовності. Із підвищенням частоти амплітуда гармонік та їхня дія змінюється, тому нормативними документами передбачається оцінювання ряду складових від 2 до 40-ї включно.

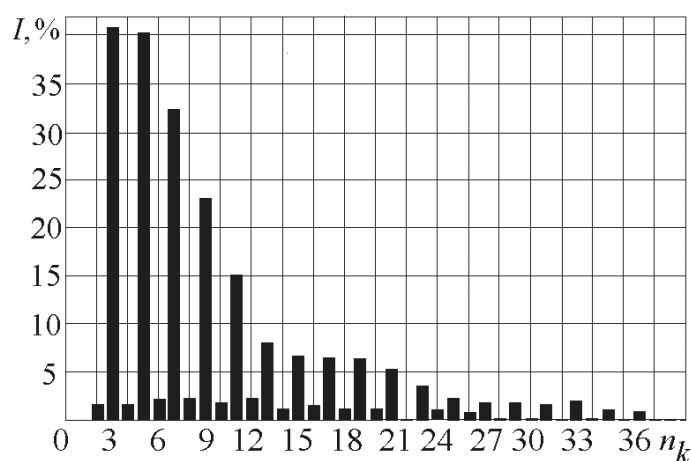


Рисунок 6.7 – Амплітудний спектр гармонік струму навантаження кондиціонера серії SENSEI ECO-і FTE-23MR

Наочне представлення розкладу його за рядом Фур'є на 1, 3, 5, 7, 9-у гармоніки наведено на рисунку 6.8.

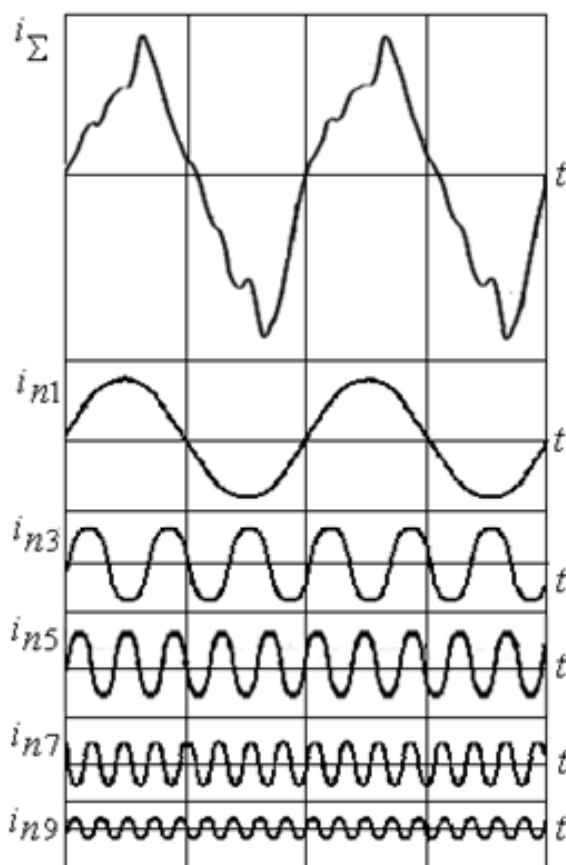


Рисунок 6.8 Наочне представлення спектру струму за рядом Фур'є кондиціонера серії SENSEI ECO-і FTE-23MR

За присутності вищих гармонік в електричній мережі коефіцієнт потужності, що позначається як PF (power factor), визначається за формулою

$$PF = \frac{P}{S}, \quad (6.3)$$

який не рівноцінний до $\cos\varphi$, що визначається за формулою

$$\cos\varphi = \frac{P_{n1}}{S_{n1}}, \quad 6.4$$

де P_{n1}, S_{n1} – активна та повна потужність за основної частоти (50 Гц).

Характер навантаження кондиціонера переважно індукційний, що відображено на осцилограмі на рисунку 6.9, за яким $\cos\varphi > PF$.

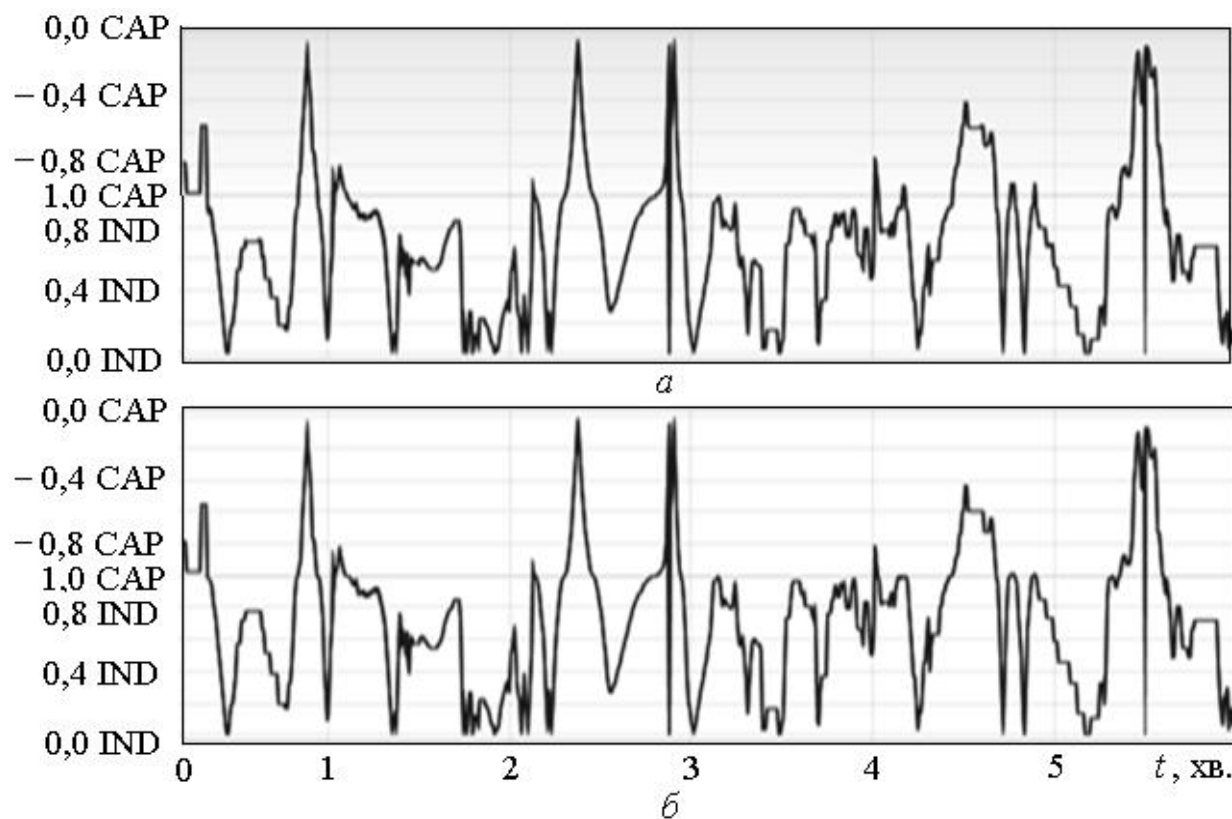


Рисунок 6.9 – Динаміка коефіцієнта PF (а) та $\cos\varphi$ (б) кондиціонера

Хрест-фактор або коефіцієнт амплітуди за струмом та напругою визначається так:

$$k_I = \frac{I_{\text{макс}}}{I_{\text{RMS}}}; \quad k_U = \frac{U_{\text{макс}}}{U_{\text{RMS}}} \quad (6.5)$$

Хрест-фактор для синусоїдного сигналу дорівнює $\sqrt{2}$, для спотвореного може бути як більшим, так і меншим за $\sqrt{2}$ (рисунок 6.10).

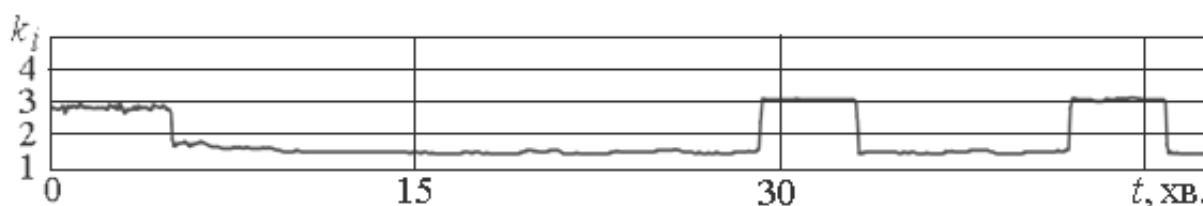


Рисунок 6.10 – Динаміка Хрест-фактора за струмом кондиціонера

Значний хрест-фактор нелінійних ЕП, який може досягати 4–5, може викликати помилкове спрацьовування захисних апаратів, пошкодження ізоляції.

Активна потужність нелінійних ЕП визначається за добутком відповідного порядку гармоніки за струмом і напругою та коефіцієнтом потужності між ними.

$$P = \sum_{n=1}^{40} U_n I_n \cos \varphi_n \quad (6.6)$$

Як правило, гармоніки вище 40-го порядку не враховуються, оскільки вони несуттєві і можуть бути знехтувані.

За відсутності гармонік активна потужність ЕП визначається так:

$$P = U_{n1} I_{n1} \cos \varphi_{n1} \quad (6.7)$$

За відсутності гармонік реактивна потужність ЕП визначається так:

$$Q = U_{n1} I_{n1} \sin \varphi_{n1}. \quad (6.8)$$

Повна потужність за наявності вищих гармонік

$$S^2 = \left(\sum_{n=1}^{40} U_n^2 \right) \cdot \left(\sum_{n=1}^{40} I_n^2 \right). \quad (6.9)$$

З урахуванням гармонік за різним порядком, діюче значення напруги, струму визначається за формулами

$$U_{RMS} = \sqrt{\sum_{n=1}^{40} U_n^2}; \quad (6.10)$$

$$I_{RMS} = \sqrt{\sum_{n=1}^{40} I_n^2}. \quad (6.11)$$

Якщо ЕП нелінійний, то діюче значення цього струму I_{RMS} , тобто розрахункове I_p , перевищує струм за основної частоти I_{n1} , через що теплові витрати електроенергії в провідниках збільшуються.

Як відомо, орієнтовна величина діючого значення активної потужності за наявності 1-ї та вищих n гармонік, обчислюється за формулою (6.6), яка дозволяє орієнтовно визначити навантажувальні режими (Вт) в електропроводці.

Наприклад, збільшення витрати електроенергії для умовної групи, виконаної мідним проводом перерізом $2,5 \text{ мм}^2$, довжиною 5 м , $\rho = 0,0074 \text{ Ом/м}$, від електричного щитка до кондиціонера, під впливом 1-ї (за вимірюванням

аналізатором якості електроенергії становила 3,5 А) та вищих, до 25-ї гармоніки, що наведені на рисунку 6.7, визначається так:

$$\left[L_{1.1} \cdot \begin{pmatrix} k_{1.3} \\ k_{1.5} \\ k_{1.7} \\ k_{1.9} \\ k_{1.11} \\ k_{1.13} \\ k_{1.15} \\ k_{1.17} \\ k_{1.19} \\ k_{1.21} \\ k_{1.23} \\ k_{1.25} \end{pmatrix} \right]^2 \cdot R_1 = \Delta P_{1.n}; \quad 3.5 \cdot \begin{pmatrix} 0.42 \\ 0.41 \\ 0.33 \\ 0.23 \\ 0.15 \\ 0.08 \\ 0.052 \\ 0.052 \\ 0.052 \\ 0.05 \\ 0.04 \\ 0.02 \end{pmatrix}^2 \cdot (0.00745) =$$

	0
0	0.023
1	0.022
2	0.014
3	$6.851 \cdot 10^{-3}$
4	$2.914 \cdot 10^{-3}$
5	$8.288 \cdot 10^{-4}$
6	$3.502 \cdot 10^{-4}$
7	$3.502 \cdot 10^{-4}$
8	$3.502 \cdot 10^{-4}$
9	$3.238 \cdot 10^{-4}$
10	$2.072 \cdot 10^{-4}$
11	$5.18 \cdot 10^{-5}$

За результатами попередніх розрахунків, додаткові витрати електроенергії складатимуть близько 7,6 %, порівняно з витратами за 1-ої гармоніки.

6.3 Метод графічного визначення зменшення електричного навантаження цивільних об'єктів через зрівнювання добових графіків

Актуальність проблеми зрівнювання графіків навантаження, а значить зменшення величини розрахункового навантаження, з точки зору енергетичного, економічного та екологічного ефекту, є очевидною для всіх країн світу, де є значна нерівномірність споживання електричної енергії протягом доби, а також при нестачі маневрових енергогенерувальних потужностей. Здійснення заходів щодо зрівнювання графіків навантаження потребує значно менших коштів, ніж введення у дію нових енергоблоків [10, 15, 35, 72, 73, 117, 123, 125, 126, 133–137, 146, 147, 169].

Необхідність регулювання графіків навантаження обґрунтована ще в 30-ті роки 20-го століття в роботах С.А. Кукель-Краєвського.

Як відомо, графіки навантаження енергосистеми формуються залежно від складу і режиму роботи ЕП промисловості, транспорту, будівництва, сільського господарства, об'єктів цивільного призначення тощо. Сукупність всіх наведених чинників формування конфігурації графіка не завжди відповідають ефективному варіантові, тому виникає необхідність в їх регулюванні, а саме – їх зрівнюванні шляхом перенесення роботи частини електроприймачів з годин максимуму (як правило, денного часу) на інший час (нічні години) протягом доби, коли навантаження в енергосистемі менше [67, 71, 84, 97, 107, 111, 161–164].

Прогностичне оцінювання ефекту зрівнювання графіка електричного навантаження розглядається на прикладі реальних даних електроспоживання об'єктів міста Одеси, яке характеризується провалом у нічні години (рисунок 6.11)

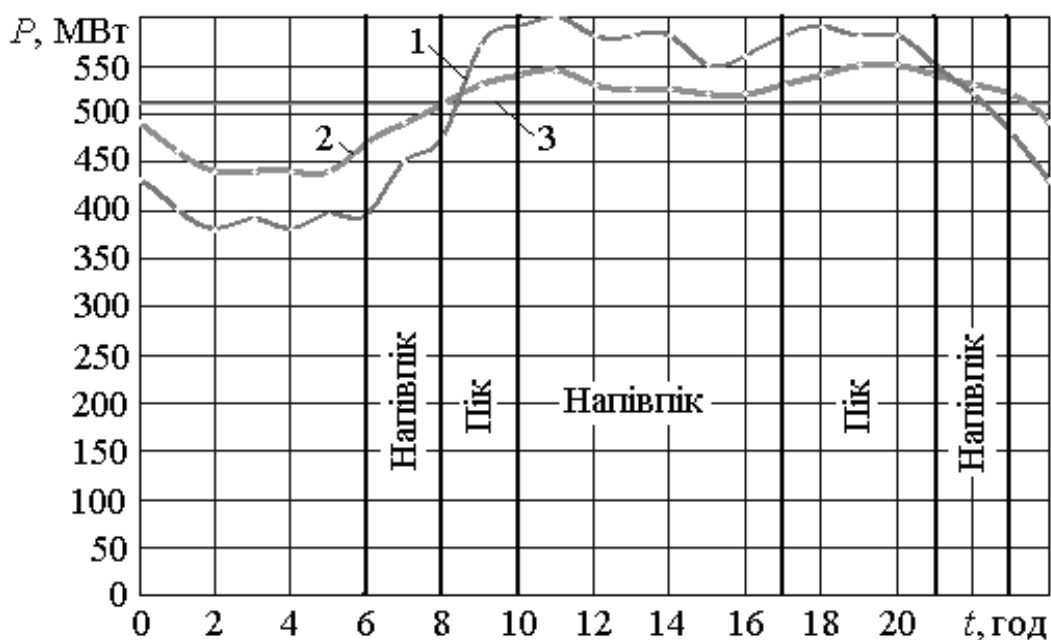


Рисунок 6.11 – Графіки навантаження міської мережі за зимову режимну добу: 1 – реальний; 2 – цільовий за зрівнюванням; 3 – ідеальний

Коефіцієнт нерівномірності добового графіка електричного навантаження визначається за формулою

$$\alpha = \frac{P_{\text{мін}}}{P_{\text{макс}}}, \quad (6.12)$$

де $P_{\text{мін}}$, $P_{\text{макс}}$ – мінімальне і максимальне електричне навантаження протягом доби.

За формулою (6.12) реальний коефіцієнт нерівномірності становить 0,63. Така нерівномірність навантаження негативно відбивається на використанні устаткування електричних станцій, зменшує їхній коефіцієнт корисної дії, особливо у літній період. Звідси – низький ступінь використання капітальних вкладень, низька ефективність використання енергоресурсів. З цього випливає необхідність у зрівнюванні графіка навантаження протягом доби (що зменшує максимальне навантаження) шляхом упорядкування режиму роботи потужних електричних споживачів-регуляторів міста, характеристики яких надані в таблиці 6.1.

Зменшення витрат електроенергії в електричній мережі за рахунок цільового зрівнювання графіка навантаження визначається за формулою [129–131]:

$$\delta W = \Delta W_{\text{н}} \left(1 - \frac{k_{\phi 2}^2}{k_{\phi 1}^2} \right), \quad (6.13)$$

де $\Delta W_{\text{н}}$ – електричні втрати в мережі за коефіцієнта форми $k_{\phi 1}$ до запровадження заходів із зрівнювання графіка навантаження;

$k_{\phi 1}$, $k_{\phi 2}$ – коефіцієнти форми графіка відповідно до і після запровадження заходів із зрівнювання графіка навантаження.

Таблиця 6.1 – Характеристика основних споживачів міста

Найменування споживачів	Значення максимуму відносно максимуму енергосистеми, %	
	Ранковий	Вечірній
1 Промисловість	19,5	10,6
2 Чорна металургія	1,7	1,9
3 Кольорова промисловість	1,5	1,3
4 Хімічна та нафтохімічна промисловість	0,6	0,5
5 Машинобудування і металооброблення	9,1	4,6
6 Лісова, деревообробна промисловість	0,3	0,2
7 Промисловість будівельних матеріалів	1,0	0,9
8 Скляна та порцелянова промисловість	0,1	0,1
9 Легка промисловість	1,1	0,9
10 Харчова промисловість	3,2	2,9
11 Інші промислові виробництва	2,1	1,9
12 Сільгоспспоживачі	0,1	0,1
13 Транспорт	3,0	2,9
14 Будівництво	1,0	1,0
15 Комунальне господарство	6,7	4,5
16 Світло, побут, невиробничі споживачі	48,8	61,0

Коефіцієнт форми графіка визначається за відомою формулою

$$k_{\phi} = \frac{1}{P_{\text{сер}}} \sqrt{\frac{\sum_i^2 p_i t_i}{T}}, \quad (6.14)$$

де $P_{\text{сер}}$ – середньодобове електричне навантаження за час T ;

$\sum_i^2 p_i t_i$ – середньоквадратичне електричне навантаження за час t_i .

Припускається, що заходи з цільового зрівнювання привели до форми добового графіка електричного навантаження, що наведений на рисунку 6.11, крива 2.

Визначивши значення k_{ϕ} до і після запровадження цих заходів і приймаючи середню величину втрат електроенергії 20 % від усієї споживаної електроенергії, отримаємо величину зменшення втрат електроенергії в міській електричній мережі близько 29 МВт·год.

Величина споживаної електричної енергії міста Одеси за зимову режимну добу (рисунок 6.1, крива 1) обчислюється інтерполюванням кубічними сплайнами дискретних значень електричного навантаження так:

$$W_{\text{доб}} = \int_0^{24} p1(t)dt, \quad (6.15)$$

де $p1(t)$ – динаміка активного електричного навантаження міста до зрівнювання графіка.

За (6.15) добове споживання електроенергії становить 12150 МВт·год.

Витрати палива на теплових електричних станціях із урахуванням нерівномірності графіка електричного навантаження визначається за формулою

$$\Delta G = \frac{P_{\text{мін}} T_{\text{макс}} q_0}{\alpha}, \quad (6.16)$$

де $P_{\text{мін}}$ – мінімальне електричне навантаження за добу;

q_0 – питома витрата палива на вироблення 1 кВт·год;

α – коефіцієнт нерівномірності графіка електричного навантаження.

За попередніми розрахунками за формулою (6.16) щодобове зменшення витрати палива на теплових електростанціях за рахунок цільового зрівнювання графіка становитиме близько 29,5 т у.п. та зменшення розрахункового навантаження Одеських мереж на 50 МВт.

6.4 Метод графічного визначення зменшення електричного навантаження через диференціювання тарифів на електроенергію за зонами доби

Як відомо, одним із ефективних заходів щодо стимулювання споживачів до зменшення розрахункового електричного навантаження є диференціювання за зонами доби тарифів на електроенергію [19, 56, 66, 68, 88].

НКРЕКП ввела в практику розрахунків зі споживачами зонні тарифи на електроенергію, які формуються шляхом множення на відповідні тарифні коефіцієнти.

Тризонний тариф на електроенергію направлений на зацікавленість споживачів у використанні позапікової та напівпікової електроенергії, оскільки коефіцієнт до тарифу за межами цих періодів протягом доби становить 0,4. Одночасно з цим відбуватиметься зрівнювання графіка і зменшення розрахункового навантаження в енергосистемі та економія енергоресурсів.

Величини «зелених» тарифів на електричну енергію, вироблену суб'єктами господарювання на об'єктах електроенергетики, що використовують альтернативні джерела енергії, стимулюють споживачів до їх запровадження, наслідками цього є економія енергоресурсів, за рахунок зміни режиму роботи потужних електроприймачів, та збереження навколишнього середовища [104–106, 119, 120, 127].

Зменшення втрат електроенергії в електричних мережах та економія витрати палива на електричних станціях від зрівнювання графіка навантаження приведе до позитивного екологічного ефекту – зменшенню шкідливих викидів у навколишнє середовище.

Враховуючи наведене, перенесення частини електричного навантаження на позапіковий час, за який тарифи нижчі, порівняно з тарифом у піковий час, економічний ефект складатиме різницю вартості C_1 споживаної електроенергії до запровадження диференційованих тарифів і вартості C_2 після їх запровадження, які визначаються за виразами:

$$C_1 = c_{\text{НЧ}} \left(\int_0^6 p1(t)dt + \int_{23}^{24} p1(t)dt \right) + c_{\text{НП}} \left(\int_6^8 p1(t)dt + \int_{10}^{17} p1(t)dt + \int_{21}^{23} p1(t)dt \right) + \\ + c_{\text{П}} \left(\int_8^{10} p1(t)dt + \int_{17}^{21} p1(t)dt \right), \quad (6.17)$$

$$C_2 = c_{\text{НЧ}} \left(\int_0^6 p2(t)dt + \int_{23}^{24} p2(t)dt \right) + c_{\text{НП}} \left(\int_6^8 p2(t)dt + \int_{10}^{17} p2(t)dt + \int_{21}^{23} p2(t)dt \right) + \\ + c_{\text{П}} \left(\int_8^{10} p2(t)dt + \int_{17}^{21} p2(t)dt \right), \quad (6.18)$$

де $c_{\text{НЧ}}$, $c_{\text{НП}}$, $c_{\text{П}}$ – вартість електроенергії за тарифними зонами «ніч», «напівпік», «пік».

За попередніми розрахунками щодобовий економічний ефект від запровадження диференційованих тарифів складатиме близько 276 тис. грн.

За попередніми розрахунками щодобові викиди парникових газів зменшаться на 78,7 т за рахунок зменшення втрат електроенергії в електричних мережах від запровадження диференційованих тарифів.

Енергетичний, економічний і екологічний ефекти від цільового зрівнювання графіка електричного навантаження міста через запровадження диференційованих тарифів на електричну енергію за режимну зимову добу наведені в таблиці 6.2.

Отримані результати розрахунків свідчать про необхідність запровадження диференційованих тарифів на електроенергію, які приводять до зменшення розрахункового навантаження та дають суттєвий економічний ефект.

Застосування дво-, тризонного тарифу на електроенергію стимулює населення до зменшення розрахункового електричного навантаження за рахунок денного та нічного тарифів (таблиця 6.3).

Таблиця 6.2 – Ефективність запровадження диференційованих тарифів на електричну енергію

Енергетичний ефект	Економічний ефект	Екологічний ефект
Економія 29,5 т у.п., зменшення навантаження на 50 МВт	276 тис. грн	Зменшення викидів парникових газів на 78,7 т

Таблиця 6.3 – Тарифи для населення, диференційовані за періодами часу

Період часу	нічний	денний	напівпіковий	піковий
Двотарифні тарифи, диференційовані за періодами часу				
Тарифні коефіцієнти	0,5	1	–	–
Тривалість періоду	8 год. (23:00 – 07:00)	16 год. (07:00 – 23:00)	–	–
Тризонні тарифи, диференційовані за періодами часу				
Тарифні коефіцієнти	0,4	–	1	1,5
Тривалість періоду	8 год. (23:00 – 07:00)	–	11 год. (07:00 – 08:00, 11:00 – 20:00, 22:00 – 23:00)	5 год. (08:00 – 11:00, 20:00 – 22:00)

Однак запровадження дво-, тризонних лічильників ще не стало для мешканців житлових будинків обов’язковим правилом.

Основним бар’єром на шляху до запровадження системи розрахунку за споживану електроенергію за диференційованим тарифом є:

- достатньо висока вартість для населення переобладнання приладів (лічильників) однотарифного обліку електроенергії на багатотарифний;
- недостатня обізнаність населення щодо переваг запровадження багатотарифних лічильників та щодо можливих режимів роботи електропобутових приладів за пільговим часом протягом доби.

Розрахунок ефективності запровадження диференційованих тарифів за графічним методом в середовищі MathCAD проводиться так.

Будується графік добового електричного навантаження, наприклад, багатоповерхового будинку (рисунок 6.12, крива 1).

Визначається вартість добової електроенергії за звичайного тарифу (наприклад, 1,68 грн / кВт·год) до перенесення роботи ЕП на нічні години

$$C_1 = \left(\int_0^{24} p_1(t) dt \right) \cdot 1,68 = 1205 \text{ грн.}$$

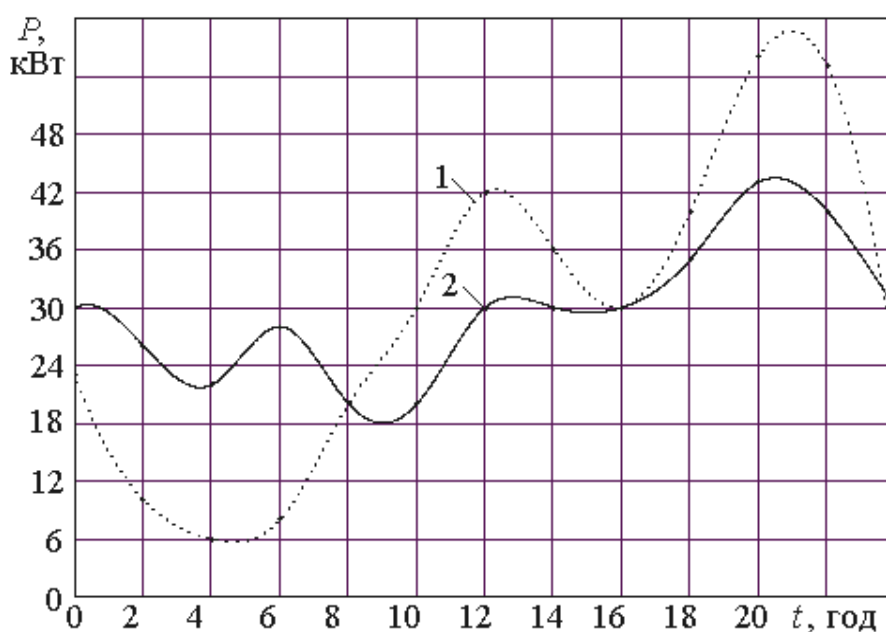


Рисунок 6.12 – Графіки навантаження багатоповерхового будинку:

1 – до перенесення роботи ЕП на нічні години; 2 – після перенесення

Зменшення вартості спожитої населенням електроенергії за рахунок перенесення часу роботи окремих побутових ЕП на години, як правило нічні, з меншим диференційованим тарифом, яку можна визначити за формулою

$$\Delta C_{\text{диф}} = cW - \sum c_i w_i, \quad (6.19)$$

де cW – вартість спожитої електроенергії за добу за недиференційованим тарифом;

$\sum c_i w_i$ – вартість спожитої електроенергії за добу за диференційованим тарифом.

Визначається вартість добової електроенергії за двозонного тарифу, за якого у нічний час вводиться коефіцієнт 0,5 його вартості до перенесення роботи ЕП на нічні години так:

$$C_2 = \left(\int_7^{23} p1(t) dt \right) \cdot 1,68 + \left(\int_{23}^{24} p1(t) dt \right) \cdot 1,68 \cdot 0,5 + \left(\int_0^7 p1(t) dt \right) \cdot 1,68 \cdot 0,6 = 1118 \text{ грн.}$$

Визначається вартість добової електроенергії за двозонним тарифом після зрівнювання графіка

$$C_3 = \left(\int_7^{23} p2(t) dt \right) \cdot 1,68 + \left(\int_{23}^{24} p2(t) dt \right) \cdot 1,68 \cdot 0,5 + \left(\int_0^7 p2(t) dt \right) \cdot 1,68 \cdot 0,5 = 1013 \text{ грн.}$$

Таким чином, за всіма обчисленими варіантами сплати за спожиту електроенергію, найдешевшим є варіант розрахунку за двозонним тарифом за зрівнюваним добовим графіком, який на 15,9% дешевший за розрахунки звичайним тарифом, при цьому розрахункове навантаження по житловому будинку зменшиться на 25,9%, відносно навантаження до перенесення роботи ЕП на нічні години.

Звичайно, що споживач отримує вигоду від зменшення сплати за спожиту електроенергію вночі. Енергогенерувальна компанія теж отримує вигоду від зрівнювання графіка електричного навантаження, оскільки в періоди до швидкого наростання навантаження, теплові електростанції збільшують витрати палива на генерацію 1 кВт·год електроенергії.

6.5 Заходи зі зменшення електричного навантаження через усунення вищих гармонік в системах електропостачання цивільних об'єктів

У науковій літературі широко висвітлюються питання зменшення спотворень синусоїдності струму в мережі [3, 4, 43, 65, 118, 132].

Як правило, вищі гармоніки генеруються нелінійними споживачами ЕП1, які спотворюють напругу в точці 1 приєднання споживача ЕП2 (рисунок 6.13).

Зменшення впливу нелінійного споживача ЕП1 на споживача ЕП2, відбувається у разі приєднання останнього окремою лінією безпосередньо до джерела живлення (точка 2).

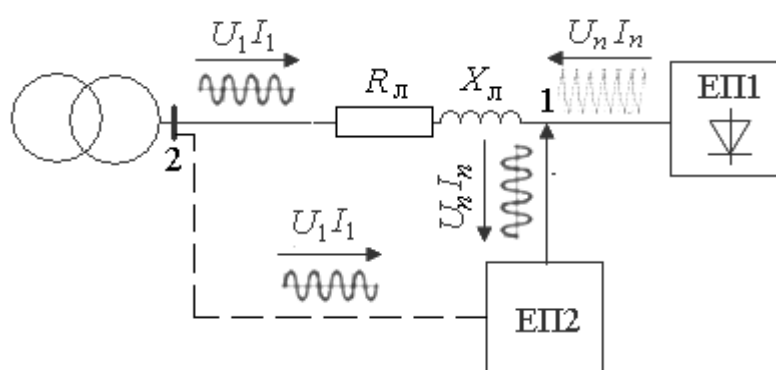


Рисунок 6.13 – Схема проходження вищих гармонік, що генерує нелінійний споживач ЕП1, до споживача ЕП2

Найбільш ефективною, однак значно дорожчою, є схема приєднання ЕП1 і ЕП2 окремими лініями до незалежних джерел живлення.

Застосування трансформаторів зі з'єднанням обмоток Δ/Y придушує вищі гармоніки 3-го порядку, група Δ/Z – 5-го порядку.

У випадку застосування дроселів збільшується опір лінії живлення частотних перетворювачів, що обмежує величину гармонійного струму.

Значно впливає на зменшення впливу гармонік схема заземлення $TN-S$ із розділенням провідників робочого N і PE захисного заземлення.

Система заземлення $TN-S$ (а) і $TN-C$ (б) наведені на рисунку 6.14.

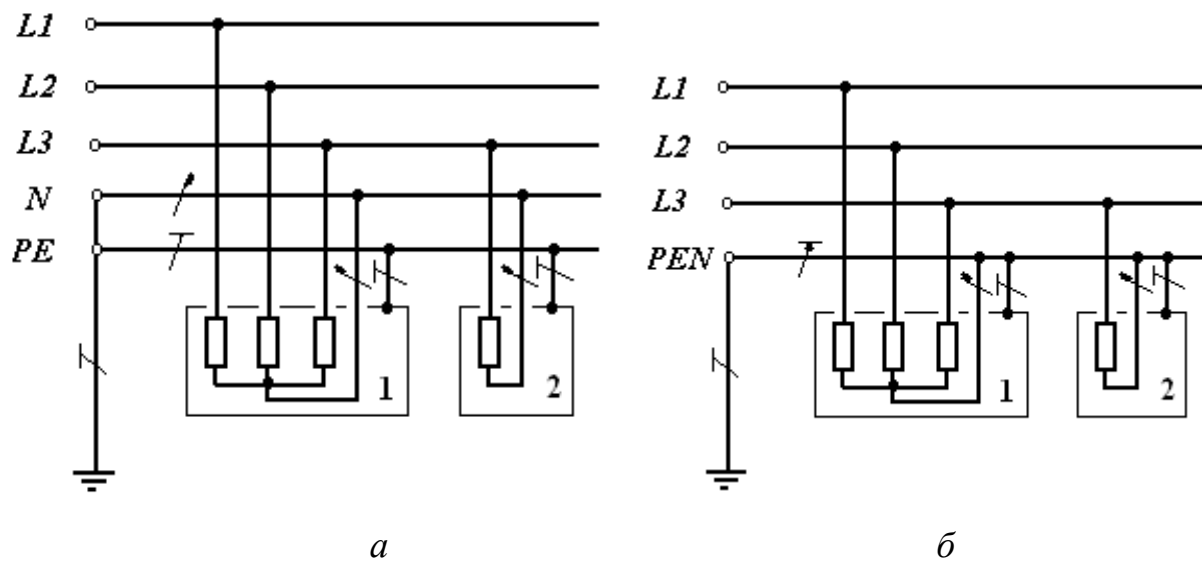


Рисунок 6.14 – Система заземлення $TN-S$ (а) і $TN-C$ (б)

За схемою $TN-C$ заземлювальний провідник PEN забезпечує захист під час замикання на корпус та проходження струмів небалансу а також гармонік вищого порядку, що може призвести до негативного впливу на роботу електронних пристроїв через різницю потенціалів між апаратами. Наведену схему $TN-C$ (б) не застосовують за наявності чутливих електроприймачів.

За присутності вищих гармонік рекомендується застосовувати схему $TN-S$, оскільки роздільні провідники N і PE забезпечують більш стабільну напругу в мережі.

Зменшення впливу гармонік на інші чутливі споживачі здійснюється шляхом застосування активних, пасивних, комбінованих LC -фільтрів, що налаштовані на певний порядок гармонік. Вони пригнічують їх і, тим самим, запобігають проникненню гармонік через електричні мережі до чутливих ЕП.

Схема з використанням пасивного фільтра вищих гармонік у системі електропостачання, що приєднується між нелінійним ЕП1 і лінійним ЕП2 наведена на рисунку 6.15.

Пасивний фільтр Φ налаштовується на пригнічення певної гармоніки, але при необхідності, паралельно приєднують фільтри, що спроможні усунути інші гармоніки.

Можливий варіант застосування замість пасивних фільтрів, ввімкнення комбінованих фільтрів, магнітних синтезаторів для захисту від спотворень, активних фільтрів, що генерують гармоніки протилежних за знаком, що значно покращують якість електроенергії.

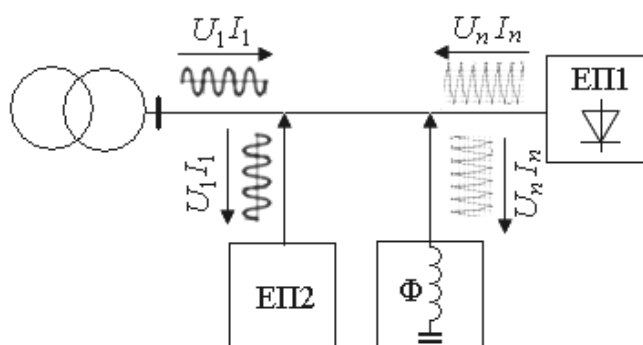


Рисунок 6.15 – Схема використання пасивного фільтра (Φ) вищих гармонік

Удосконалюється управління системами інверторів, які коригують роботу різних рядів модулів МСЕС. Підвищення якості електроенергії на виході інверторів здійснюється за рахунок застосування удосконалених систем широтно-імпульсної модуляції.

Для формування вихідної змінної напруги як узгоджувальні пристрої значну популярність здобули мережеві багаторівневі інвертори напруги, що виготовляються серійно. Основною перевагою багаторівневих інверторів перед однорівневими є покращена форма вихідної напруги, менші витрати електроенергії в силовій частині та покращена їх електромагнітна сумісність у системі електропостачання.

Зменшення впливу вищих гармонік може відбуватися за рахунок упорядкування роботи ЕП з нелінійними характеристиками.

Висновки до розділу 6

1. Дослідження режиму роботи мережевої сонячної електростанції полягало у виявленні спектру вищих гармонік за струмом і напругою інвертора, електроприймачів з нелінійними характеристиками та вплив їх на електричне навантаження об'єктів цивільного призначення, яке недостатньо висвітлено в науковій літературі [9, 10, 30].

2. Експериментальні дослідження проводилися на устаткуванні мережевої сонячної електростанції потужністю 30 кВт, які показали суттєвий вплив інвертора та кондиціонера на навантаження електропроводки від протікання вищих гармонік від 2 до 40-ї, що перевищує дію розрахункового струму за основної гармоніки на 7,6% [9, 10, 30].

3. Моделювання динаміки електричного навантаження за сплайн-інтерполяцією надає, з достатньою для практичних цілей точністю, величину зменшення щодобових витрат електроенергії в міській електричній мережі за рахунок цільового зрівнювання графіка навантаження, що становить близько 29 МВт·год, при цьому навантаження зменшиться на 50 МВт і щоденна економія палива становитиме близько 29,5 т у.п. [10, 15, 19, 33, 34, 91].

4. Показано, що запровадження двозонного лічильника та перенесення роботи окремих приймачів на нічні години, коли коефіцієнт на тариф за спожиту електроенергію становить 0,5, оплата за електроенергію становитиме на 15,9% дешевше за розрахунки за звичайним тарифом, при цьому розрахункове навантаження по житловому будинку зменшиться на 25,9%, відносно навантаження до перенесення роботи ЕП на нічні години [19, 22].

5. Зменшення спотворень синусоїдності струму сприятиме зменшенню розрахункового навантаження, тому застосовуються активні, пасивні LC-фільтри, ввімкнення магнітних синтезаторів, активних фільтрів, що генерують гармоніки протилежних за знаком, удосконалюється управління системами інверторів, які коригують роботу різних рядів модулів мережевої сонячної електростанції [64, 65].

РОЗДІЛ 7

МЕТОД ГРАФІЧНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ
ЗАСТОСУВАННЯ ГІБРИДНИХ СОНЯЧНИХ КОЛЕКТОРІВ ДЛЯ
ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ ЦИВІЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ

7.1 Загальні відомості щодо застосування гібридних сонячних колекторів для енергопостачання цивільних об'єктів

У наукових дослідженнях висвітлюється ефективність запровадження сьогоденішніх розробок відновлювальних джерел енергії. При цьому, поза достатньої уваги залишаються особливості перспективного розвитку технології їх виготовлення, прогнозованої вартості устаткування, монтажу, експлуатаційних витрат, динаміки «основних» та «зелених» тарифів на енергію. Урахування зазначених факторів надаватиме можливість виробникам планувати їх виробництво, а потенційним споживачам орієнтуватися в доцільності їх використання у перспективі, з огляду на швидкоплинність цін на енергетичному ринку відновлювальних джерел енергії.

Сьогодні все більше компаній вкладають інвестиції у будівництво відновлювальних джерел, що спроможні одночасно генерувати як електричну, так і теплову енергію. Такі гібридні сонячні колектори типу PVT за тривалий період експлуатації становитимуться надприбутковими. Разом із цим, вони сприяють і боротьбі з планетарним потеплінням клімату на Землі завдяки виробленню «чистої» енергії. В останні роки світова вартість сонячних колекторів поступово зменшується завдяки удосконаленню технології їх виготовлення, але разом із тим, тарифи як «основні» так і «зелені» на сонячну електричну та теплову енергію змінюються у часі. Нові напрями гібридної сонячної технології розвиваються для широкого спектру застосування, таких як промислові підприємства, об'єкти сільського господарства, житлові будинки. Роль їх зростає зі світовою тенденцією розвитку будинків із мінімальними шкідливими викидами у довкілля. Строки

окупності зазначеного відновлювального джерела живлення залежать від багатьох чинників, таких як їх вартість та монтаж, тарифів на електричну та теплову енергію, року введення в експлуатацію тощо.

7.2 Метод графічного прогнозування ефективності застосування гібридних сонячних колекторів для енергопостачання цивільних об'єктів

Сонячні гібридні колектори типу ATMOSFERA-F2PV являють собою набір комбінованого колектора в єдиній конструкції, який складається з фотоелектричного модуля, що генерує електричну енергію для ЕП, і теплової енергії для забезпечення гарячого водопостачання та доопалення приміщень.

Дослідження здійснювалося на прикладі енергоспоживання 9-поверхового 144-квартирного будинку, який складається з 4-х під'їздів, що містять по 36 квартир з газовими плитами (рисунок 7.1).



Рисунок 7.1 – Зовнішній вигляд 9-поверхового 144-квартирного будинку

Динаміку навантаження за фазами кабельного вводу будинку, що отримані з 21 год 50 хв. до 22 год 20 хв. та протягом доби аналізатором якості електроенергії Elspec G4500, наведено на рисунках 7.2, 7.3.



Рисунок 7.2 – Динаміка вечірнього електричного навантаження за фазами кабельного вводу 144-квартирного будинку за режимну добу

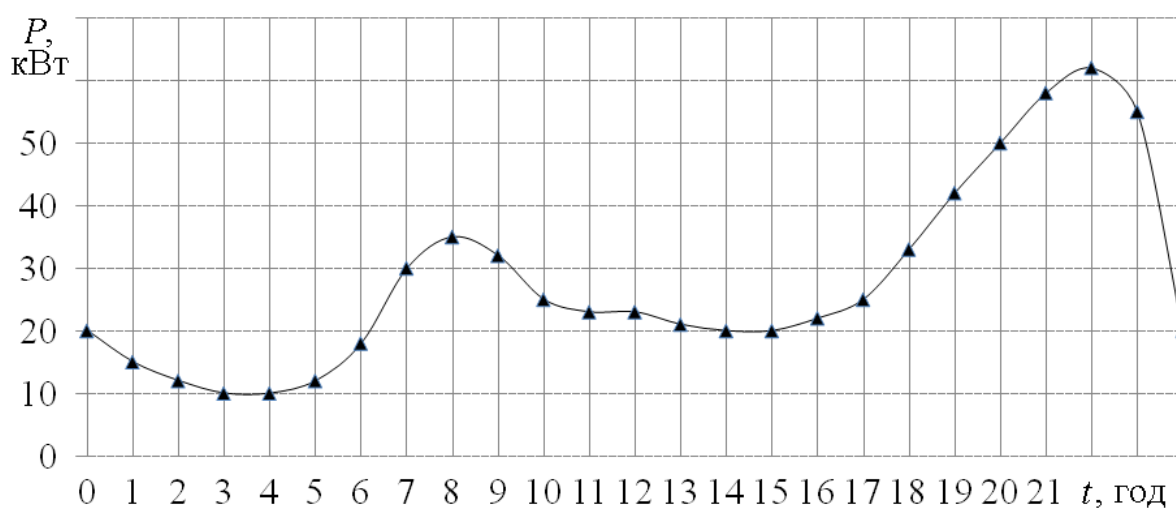


Рисунок 7.3 – Добовий графік електричного навантаження будинку

Генерована електрична енергія від фотоелектричного модуля гібридного сонячного колектора через мережевий інвертор спрямовується до ввідно-розподільного пристрою (ВРП) житлового будинку (рисунок 7.4).

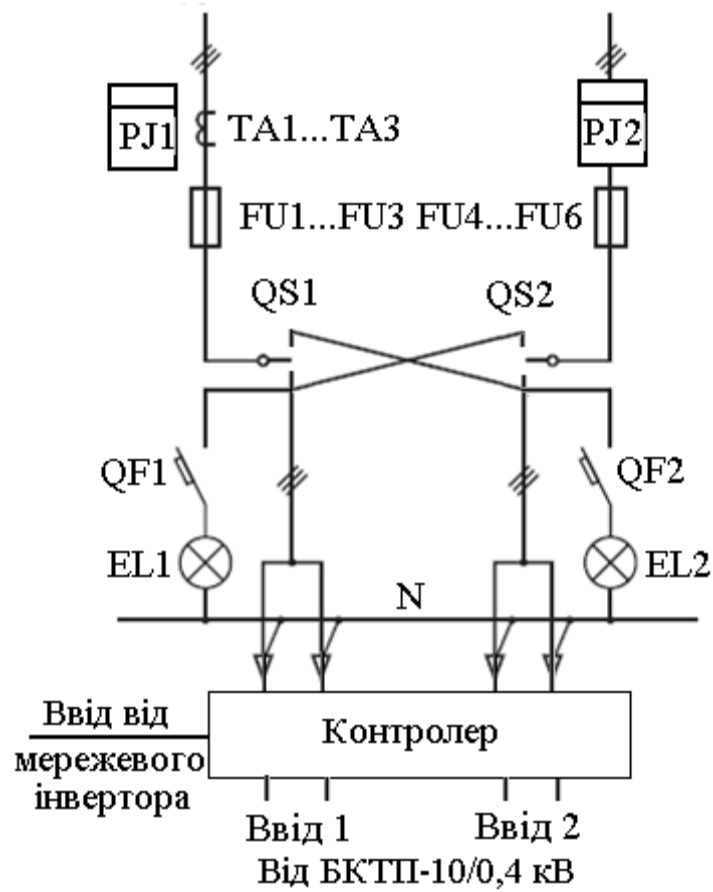


Рисунок 7.4 – Схема приєднання фотомодуля до ВРП житлового будинку

Добовий графік споживання гарячої води житлового будинку наведено на рисунок 7.5.

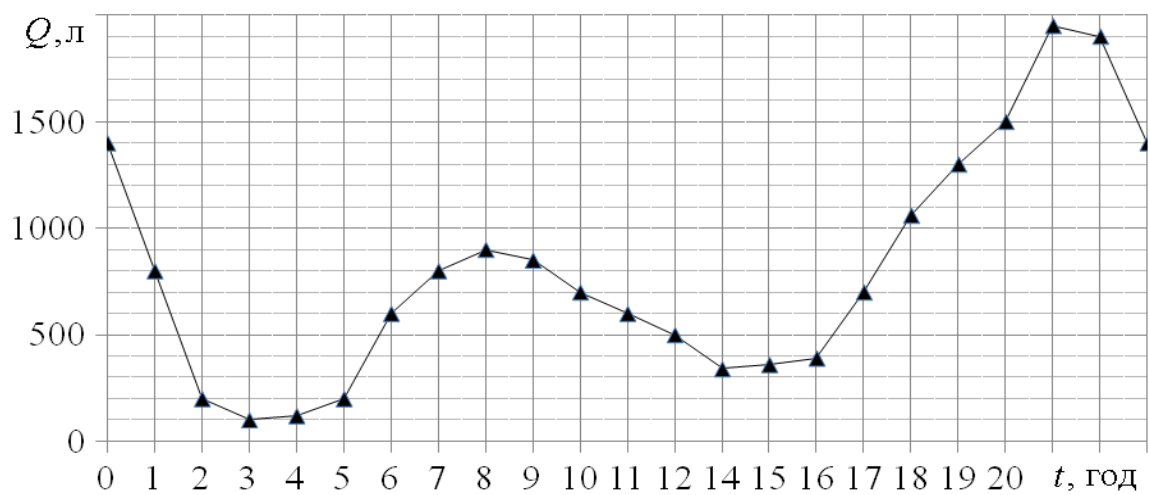


Рисунок 7.5 – Добовий графік споживання гарячої води житлового будинку

В якості джерела енергопостачання будинку вибирається гібридний сонячний колектор ATMOSFERA-F2PV (компанії «Сталекс», Україна), який містить полікристалічний фотоелектричний модуль і сонячний тепловий колектор (рисунок 7.6).



Рисунок 7.6 – Гібридний сонячний колектор ATMOSFERA-F2PV

Така конструкція спроможна перетворювати енергію сонячного випромінювання як в електричну для живлення ЕП, так і в теплову, що спрямовується для потреб гарячого водопостачання та підтримування системи доопалення приміщень житлового будинку.

Номінальна електрична потужність, що генерується фотоелектричною панеллю становить 300 Вт, теплової частини – 1037 Вт. Динаміка генерування ними енергії протягом літньої і зимової доби наведена на рисунках 7.7, 7.8.

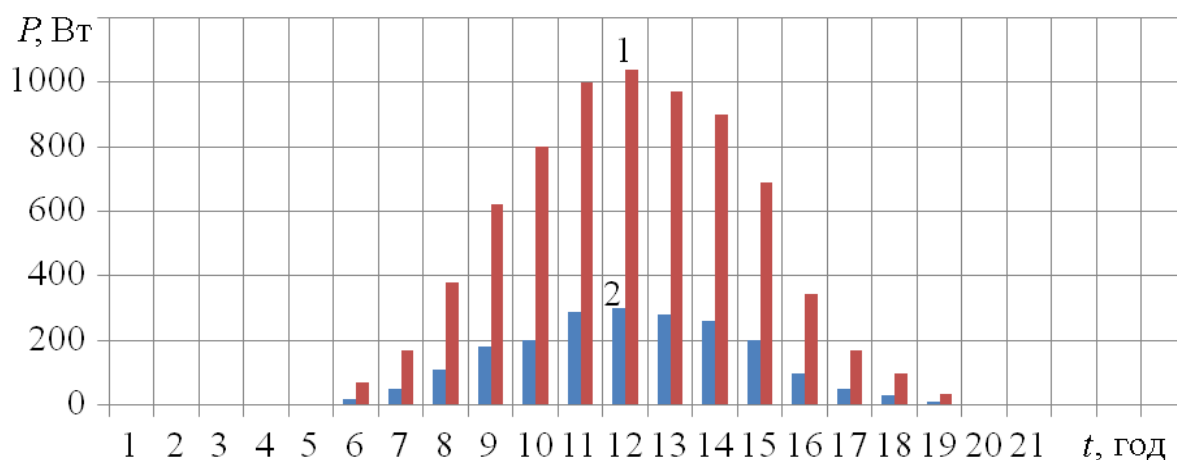


Рисунок 7.7 – Генерація гібридної сонячної панелі протягом літньої доби: 1 – теплової енергії; 2 – електричної енергії

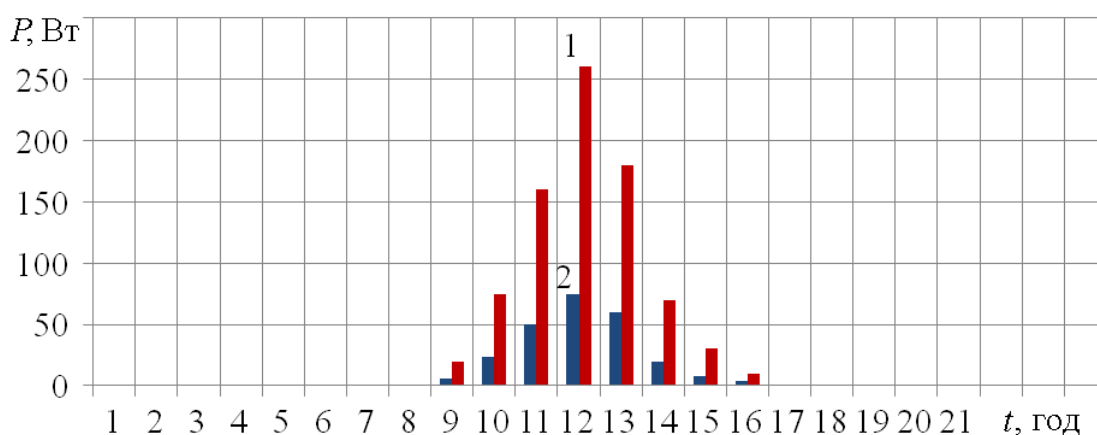


Рисунок 7.8 – Генерація гібридної сонячної панелі протягом зимової доби: 1 – теплової енергії; 2 – електричної енергії

Динаміка генерації теплової та електричної енергії гібридним сонячним колектором в Одеській області протягом року змінюється залежно від інтенсивності сонячного випромінювання (рисунок 7.9).

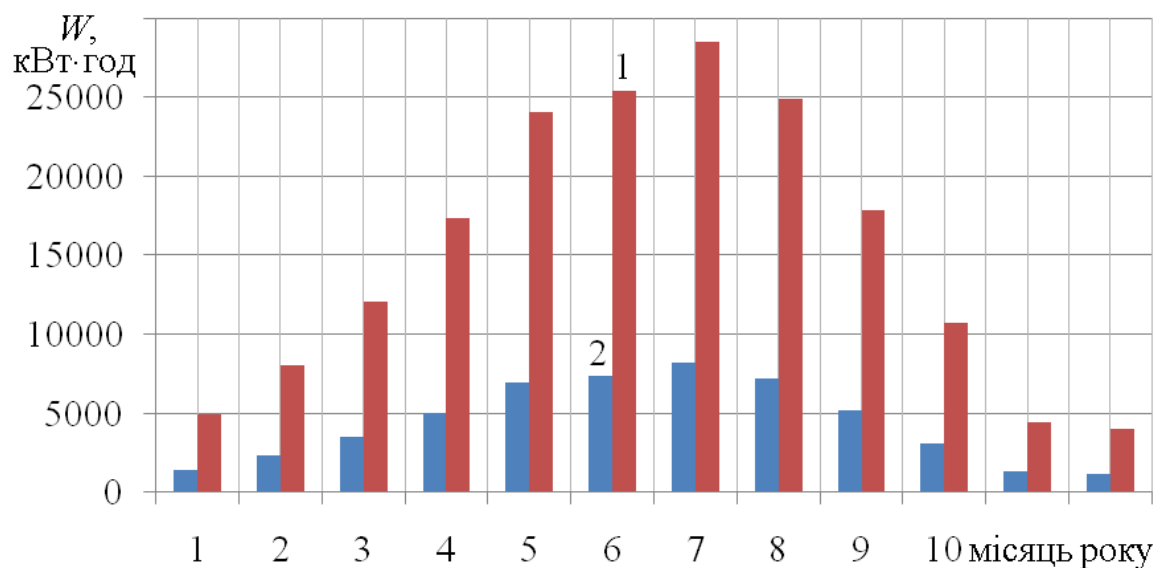


Рисунок 7.9 – Динаміка генерації енергії гібридним сонячним колектором протягом року: 1 – теплової та 2 – електричної енергії

Розрахунок і вибір сонячного колектора за електричного та теплового навантаження житлового будинку виконується за такою методикою.

Використовуючи дані вимірювання електричної потужності будинку будується, за прикладною програмою в середовищі MathCAD 15.0, модель динаміки розрахункового електричного навантаження 144-квартирного будинку (рисунок 7.3). За розрахунковим значенням цієї потужності вибирається максимальна потужність фотоелектричних панелей із генерацією у літній час. При цьому враховується кут нахилу з орієнтацію панелей на Сонце та особливості кліматичних умов регіону, де розташовується будинок.

Генерована теплова енергія від гібридного джерела за допомогою рідинного теплоносія спрямовується через спеціальні бойлерні конструкції ємкостей і тепловий пункт будинку в систему гарячого водопостачання та опалення.

Кількість електричної і теплової енергії, що споживаються будинком від гібридного джерела і міської мережі фіксуються відповідними лічильниками.

За технічними можливостями гібридних сонячних панелей визначається річна кількість генерованої електричної та теплової енергії так:

$$W_e = \int_0^{365} p_e(t) dt, \text{кВт} \cdot \text{год}; \quad (7.1)$$

$$W_T = \int_0^{365} p_T(t) dt, \text{кВт} \cdot \text{год}, \quad (7.2)$$

де W_e , W_T – річна кількість генерованої електричної та теплової енергії відповідно, кВт·год; $p_e(t)$, $p_T(t)$ – функція генерації електричної та теплової потужності протягом року відповідно, кВт.

За отриманими значеннями щорічної кількості генерованої енергії, її вартість, відповідно до динаміки тарифів за сонячну електричну та теплову енергію протягом терміну експлуатації, визначається так:

$$C_{\Sigma_{e.T}} = \sum_{i=1}^T c_{e,i} W_{e,i} + \sum_{i=1}^T c_{T,i} W_{T,i}, \text{ €}, \quad (7.3)$$

де $W_{e,i}$, $W_{T,i}$ – кількість генерованої за i -й рік електричної та теплової енергії відповідно, кВт·год; $c_{e,i}$, $c_{T,i}$ – тарифи за i -й рік на електричну та теплову енергію відповідно, €; T – строк експлуатації сонячного колектора.

За вихідними даними з 2010 р. і екстраполяцією трендів до 2045 р. прогнозовано ймовірнісну динаміку тарифів «основного» на електричну енергію і «зеленого» для дахових сонячних електростанцій потужністю до 100 кВт (рисунок 7.10).

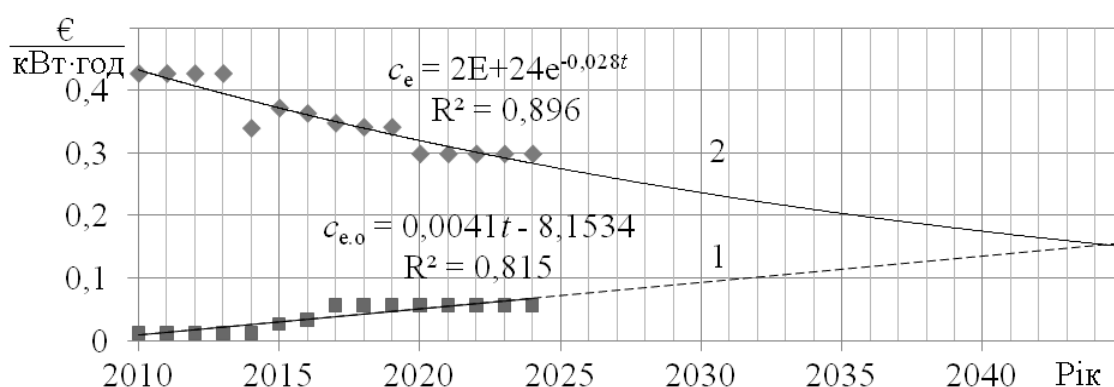


Рисунок 7.10 – Динаміка тарифів: 1 – «основного» на електроенергію;
2 – «зеленого» на сонячну електроенергію

Екстраполяцією трендів за лінійною функцією з 2029 до 2045 р. визначено ймовірнісну динаміку тарифу на гаряче водопостачання, що наведено на рисунку 7.11.

Вартість гібридних сонячних колекторів, через удосконалення конструкції та технології виготовлення, на енергоринку відновлювальних джерел енергії щорічно зменшується, ймовірнісна динаміка якої з 2019 до 2045 р. наведена на рисунку 7.12.

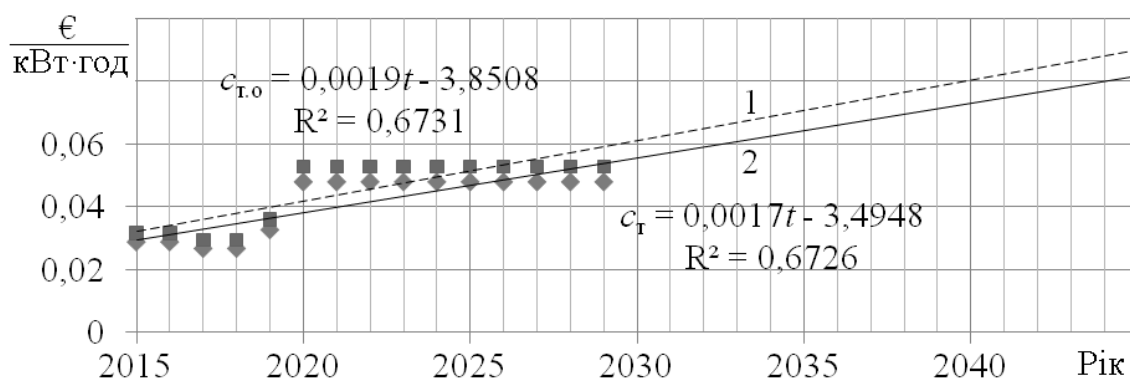


Рисунок 7.11 – Імовірна динаміка тарифів: 1 – «основного» на гаряче водопостачання; 2 – «зеленого» на сонячне гаряче водопостачання

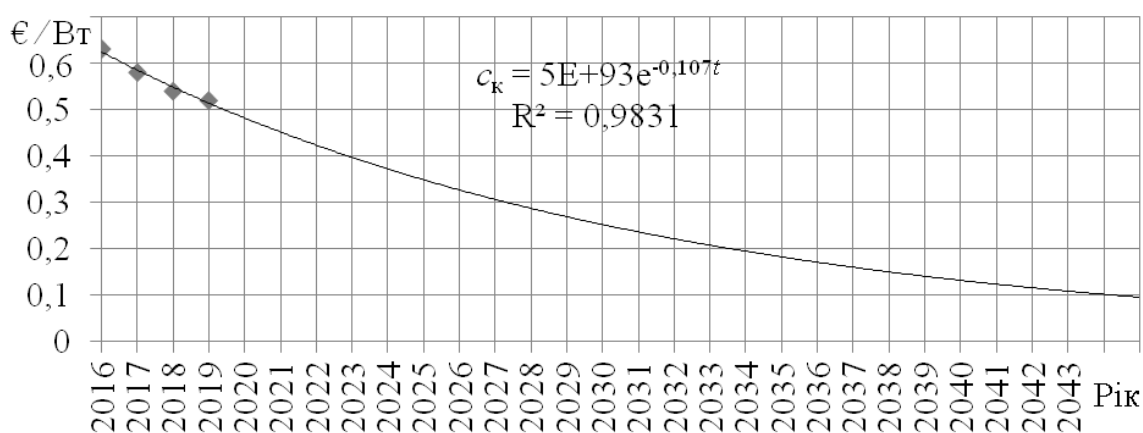


Рисунок 7.12 – Імовірна динаміка вартості гібридного сонячного колектора

Вартість гібридних сонячних колекторів визначається за формулою

$$C_{\text{г.с.к}} = c_{\text{п}} \cdot N_{\text{п}}, \quad (7.4)$$

де $c_{\text{п}}$ – вартість однієї панелі; $N_{\text{п}}$ – кількість сонячних панелей.

Кількість сонячних панелей $N_{\text{п}}$ для житлового будинку, яке вибирається за результатами виміру потужності за фазами живильного кабелю багатоквартирного будинку (рисунок 7.2), обчислюється так:

$$P_{\Sigma \text{ж.б}} = P_{\text{А}} + P_{\text{В}} + P_{\text{С}}, \quad (7.5)$$

$$N_{\Pi} = \frac{P_{\Sigma \text{ ж.б.}}}{p_{\Pi.е}}, \quad (7.6)$$

де $p_{\Pi.е}$ – потужність електрична однієї фотопанелі.

Вартість монтувальних та пуско-налаштувальних робіт гібридного сонячного колектора визначається так:

$$C_{\text{монт}} = 0,3C_{\text{г.с.к}}. \quad (7.7)$$

Капітальні витрати на встановлення колектора визначаються так:

$$K_{\text{г.с.к}} = C_{\text{г.с.к}} + C_{\text{монт}}. \quad (7.8)$$

Підсумковий щорічний прибуток від застосування гібридного сонячного колектора, що визначається за вартістю генерованої електричної $C_{\text{е.кол}}$ і теплової $C_{\text{т.кол}}$ енергії, визначається за формулою

$$R_{\Sigma \text{ е.т}} = C_{\text{е.кол}} + C_{\text{т.кол}}. \quad (7.9)$$

Витрати натурального палива на теплових електричних станціях для генерації певної кількості електроенергії визначається за формулою [14]

$$Q_{\text{ТЕС}} = \frac{W + \Delta W}{q_0}, \quad (7.10)$$

де W – кількість виробленої електроенергії, кВт·год;

ΔW – втрати електроенергії в електричних мережах, які можна приймати близько 10 % від кількості споживаної електроенергії об'єкта;

q_0 – питома витрата умовного палива на генерацію електроенергії, г/кВт·год.

Застосування гібридних сонячних колекторів, через генерацію «чистої» електричної та теплової енергії, унеможливує утворення викидів у навколишнє середовище. Кількість валового викиду j -ї забруднювальної речовини при спалюванні i -го виду палива на теплових електростанціях складатиме

$$E_{ji} = (W + \Delta W)c_{ji}, \quad (7.11)$$

де c_{ji} – показник емісії j -ї забруднювальної речовини при спалюванні i -го виду палива, г/кВт·год.

Розрахункова електрична потужність житлового будинку за рисунком 7.3 становить 60 кВт, за якої вибрано 200 панелей гібридного сонячного колектора, що за площею 400 м² вільно розташуються на даху житлового будинку площею 1200 м² (рисунок 7.13).

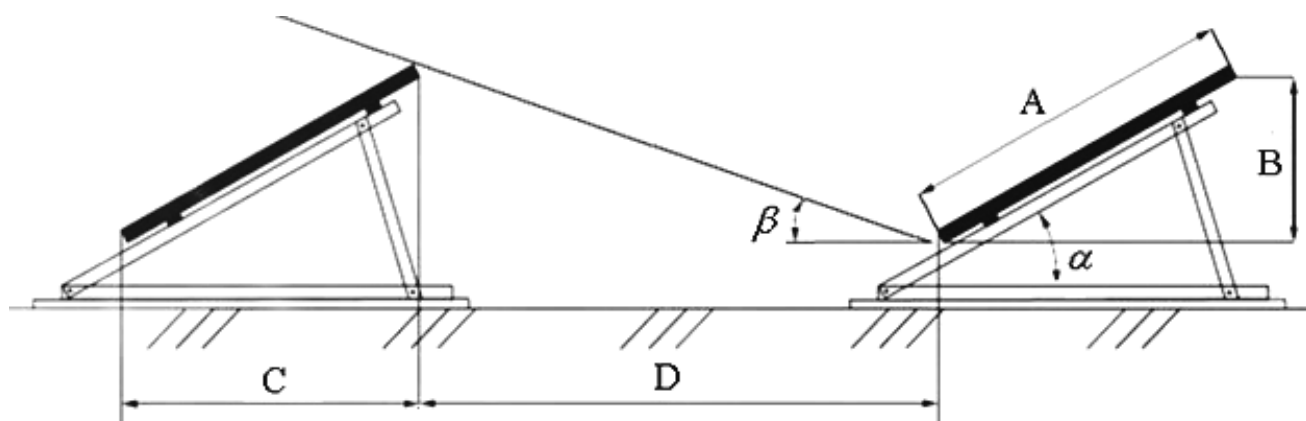


Рисунок 7.13 – Розташування рядно сонячних колекторів на даху будинку

За відомими формулами розраховуються кути нахилу панелей з орієнтацією на Сонце, відстань між рядами та інші параметри з метою отримання максимальної електричної та теплової енергії.

Наприклад, відстань між рядами визначається за формулою

$$D = \frac{A \sin [180 - (\alpha + \beta)]}{\sin \beta}. \quad (7.12)$$

Запропонована конструкція системи гарячого водопостачання та доопалення приміщень у холодну пору року розташовується на горищі житлового будинку. Від гібридного сонячного колектора система приєднується до теплового пункту житлового будинку. Конструкція складається з елементів, що наведені на рисунку 7.14.

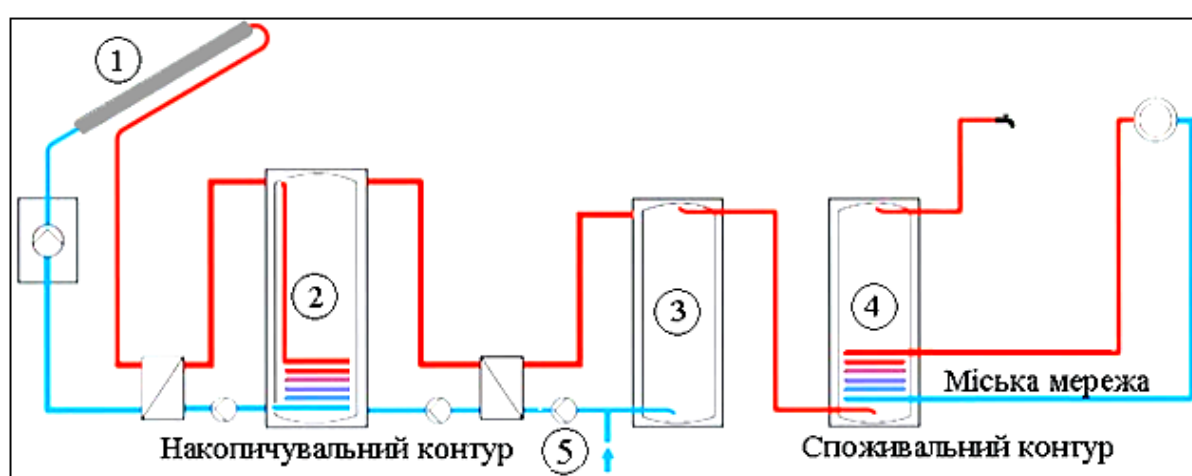


Рисунок 7.14 – Конструкція системи гарячого водопостачання будинку від гібридного сонячного колектора: 1 – гібридний сонячний колектор; 2 – бак накопичувач; 3 – попередній водонагрівач; 4 – водонагрівач; 5 – система холодного водопостачання

А саме, основного елемента (1) гібридного сонячного колектора, що перетворює світлову енергію в теплову і нагріває теплоносіє, який поступає в бак накопичувач (2). Із попереднього водонагрівача (3) вода попадає в водонагрівач (4), з якого гаряча вода споживається мешканцями та надлишок подається в міську мережу. Із системи холодного водопостачання (5) вода заповнює накопичувальний контур, в якому вона нагрівається від сонячного колектора. Зі споживального контуру гаряча вода використовується для різноманітних потреб.

7.3 Графічне визначення прогностної ефективності інвестиційного проєкту застосування гібридних сонячних колекторів для енергопостачання цивільних об'єктів

Ефективність інвестиційного проєкту визначається за такими показниками, як чиста поточна вартість NPV упровадження проєкту. Вона отримуватиметься шляхом дисконтування, тобто приведення грошових надходжень за майбутні періоди до їх теперішньої вартості. При цьому визначається окремо за кожний рік різниці всіх відтоків і притоку коштів, що накопичуватимуться за період експлуатації інноваційного проєкту і яка визначається так:

$$NPV = \sum_{t=0}^{25} \frac{R_t - B_t}{(1+k)^t}, \quad (7.13)$$

де R_t – прибуток за t -й рік;

B_t – річні витрати за t -й рік, які визначаються як різниця між річними капітальними K_t та експлуатаційними $C_{\text{екс}}$ витратами;

k – коефіцієнт дисконтування за відсоткової ставки банківських кредитів.

У разі позитивного значення NPV , інвестиційний проєкт вважається доцільним до запровадження, в іншому випадку – він збитковий (рисунки 7.15, 7.16).

За методом ітерацій визначається коефіцієнт дисконтування k , за якого значення NPV інвестиційного проєкту дорівнюватиме нулеві, тобто:

$$NPV = \sum_{t=0}^{25} \frac{R_t - B_t}{(1+k)^t} = 0. \quad (7.14)$$

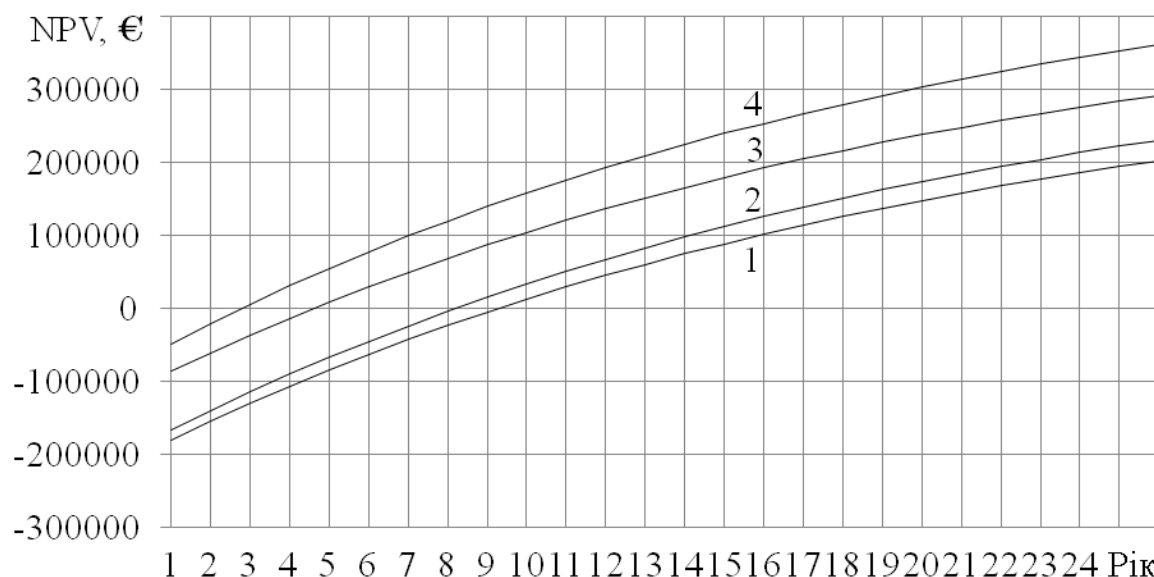


Рисунок 7.15 – Результат розрахунку за «зеленим» тарифом NPV проєкту, введеного в експлуатацію в: 1 – 2019 р.; 2 – 2020 р.; 3 – 2030 р.; 4 – 2040 р.

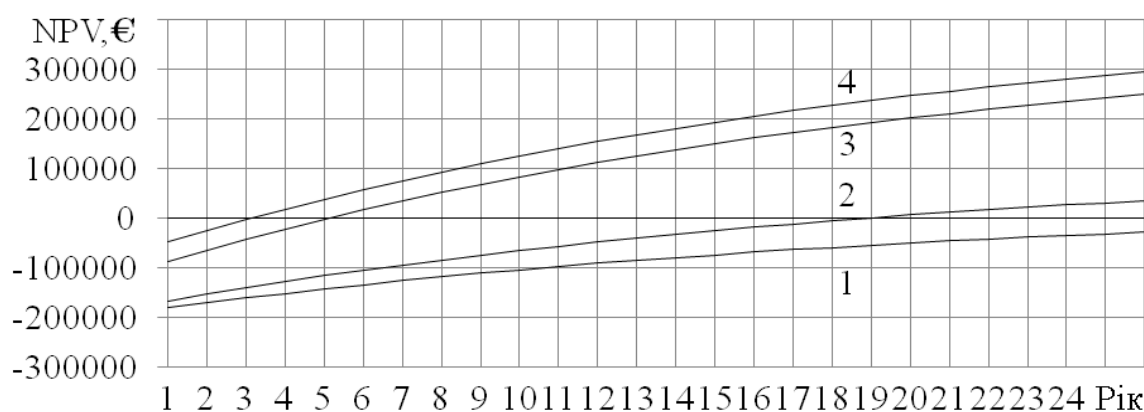


Рисунок 7.16 – Результат розрахунку за «основним» тарифом NPV проєкту, введеного в експлуатацію в: 1 – 2019 р.; 2 – 2020 р.; 3 – 2030 р.; 4 – 2040 р.

Внутрішня норма рентабельності IRR – це ставка дисконтування, за якої NPV дорівнює нулю, тобто, інвестиційний проєкт упровадження колектора вигідний, якщо IRR вище мінімального проценту ставки банківських кредитів.

Результат розрахунку внутрішньої норми прибутку (IRR) інвестиційного проєкту упровадження гібридного сонячного колектора для енергопостачання житлового будинку наведено на рисунку 7.17.

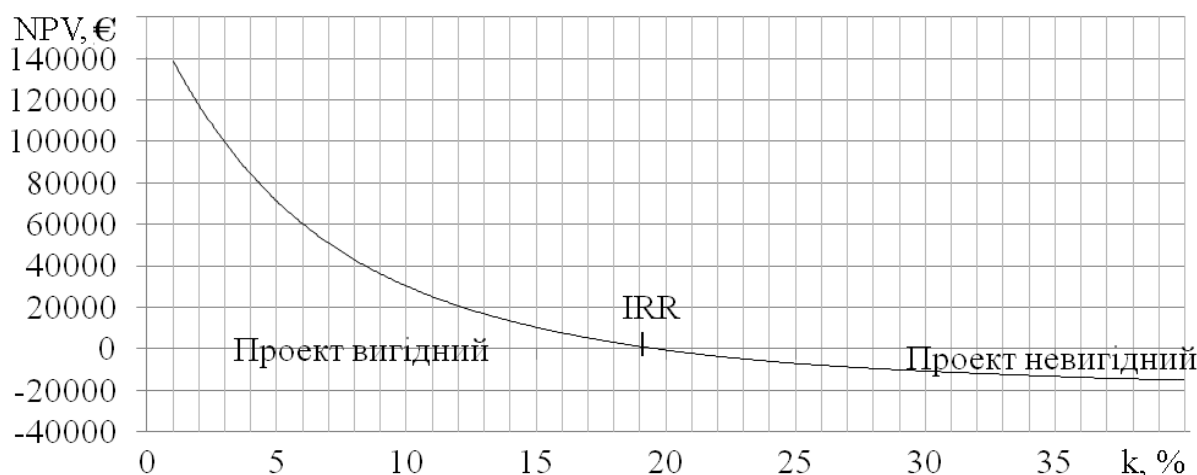


Рисунок 7.17 – Результат розрахунку внутрішньої норми прибутку *IRR* інвестиційного проєкту

Орієнтовні вкладення у проєкт і прибутки мешканців квартир, залежно від кількості кімнат та року реалізації проєкту, наведено на рисунках 7.18, 7.19.

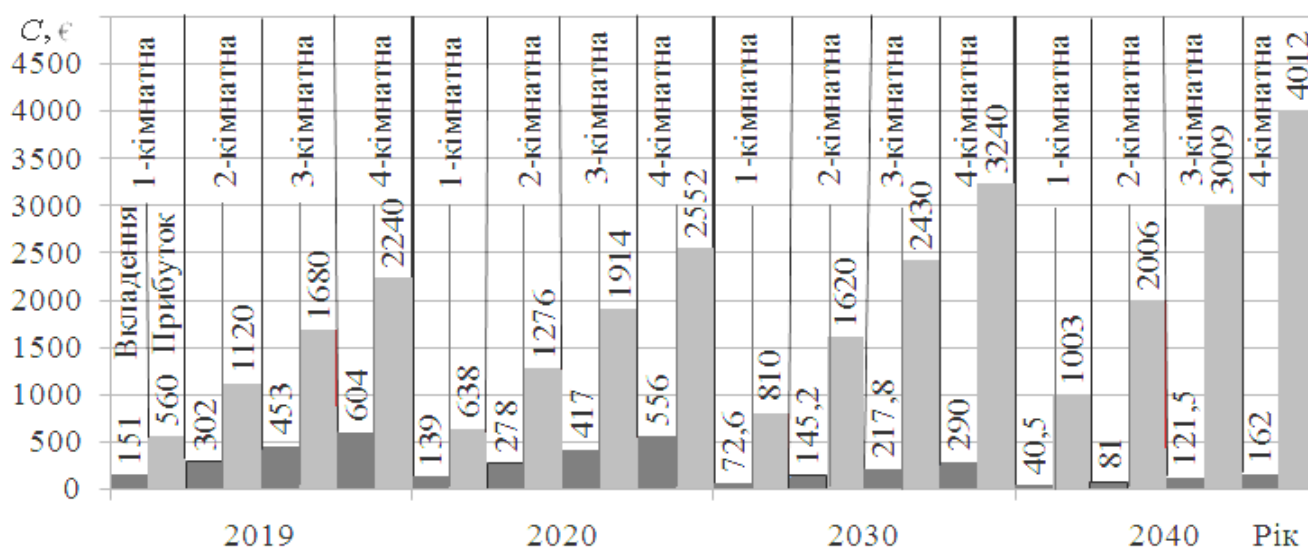


Рисунок 7.18 – Результат розрахунку вкладень і прибутку за «зеленим» тарифом на енергію для мешканців кожної квартири за період експлуатації гібридних сонячних колекторів введених у дію за відповідний рік

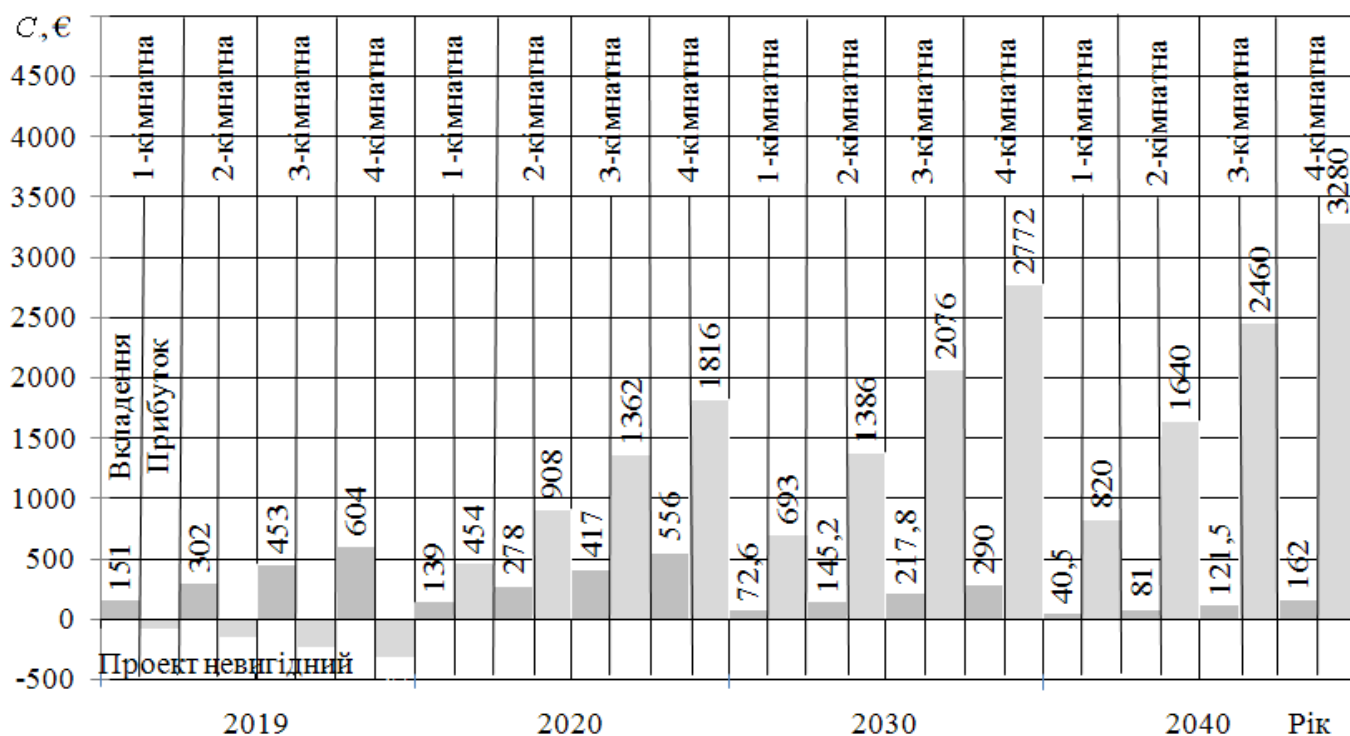


Рисунок 7.19 – Результат розрахунку вкладень і прибутку за «основним» тарифом на енергію для мешканців кожної квартири за період експлуатації гібридних сонячних колекторів введених у дію за відповідний рік

Разом із тим, достовірність результатів дослідження обмежується можливостями передбачуваності динаміки ринкових цін, що становить перешкодою на отриманні достовірного прогнозу ефективності запровадження запропонованого інвестиційного проєкту.

Отримані попередні результати свідчать про те, що прибутковість реалізації таких проєктів, без державної підтримки у вигляді «зелених» тарифів, дешевших кредитів, субсидій, компенсації вкладень мешканців по залученню інвестицій у запровадження відновлювальних джерел енергії, сьогодні утруднена.

Висновки до розділу 7

1. Запропонований метод дозволяє визначити енергетичну ефективність застосування гібридних сонячних колекторів за період експлуатації, тобто

заощадження традиційного викопного палива за рахунок генерації «чистої» енергії, у даному прикладі становитиме близько 19100 т у. п.

2. Запропонований метод дозволяє визначити економічну ефективність застосування гібридних сонячних колекторів за період експлуатації, тобто чиста приведена вартість та строки окупності даного інвестиційного проєкту, становитиме за роками їх введення в експлуатацію:

– за «зеленим» тарифом: 2019 р. – 201921 € та 8,3 року; 2020 р. – 230131 € та 7,3 року; 2030 р. – 291592 € та 3,7 року; 2040 р. – 361044 € та 2 роки;

– за «основним» тарифом: 2019 р. – проєкт не вигідний; 2020 р. – 163335 € та 18 років; 2030 р. – 249558 € та 4 роки; 2040 р. – 295342 € та 2 роки.

3. Запропонований метод дозволяє визначити екологічну ефективність застосування гібридних сонячних колекторів за період експлуатації, тобто запобігання викидів у навколишнє середовище, що утворюють парниковий ефект, який сприяє планетарному потеплінню клімату на Землі, становитиме у даному прикладі, близько 6355 т.

4. Таким чином, без державної підтримки, у вигляді «зелених» тарифів, дешевших кредитів, субсидій, компенсації вкладень мешканців по залученню інвестицій у запровадження відновлювальних джерел енергії, прибутковість реалізації таких проєктів сьогодні утруднена.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Результати аналітичного огляду наукової літератури, існуючих методів, нормативних документів щодо визначення електричного навантаження цивільних об'єктів дозволили виявити негативні фактори, які призводять до значних розходжень з його реальним значенням.

2. Створено концептуально новий підхід і розроблено метод розрахунку електричного навантаження цивільних об'єктів шляхом графічного синтезу

їхньої динаміки навантаження з використанням моделювання на основі теорії сплайнів, що дало можливість у 1,5–3,5 разів підвищити достовірність його визначення, порівняно з обчисленням за чинними нормативними показниками, що експериментально підтверджено на реальних об'єктах.

3. Доведена самоафінність структури електричного навантаження цивільних об'єктів та встановлено за методом R/S-аналізу ретроспективної інформації фрактальний принцип його формування, який дав можливість чисельно оцінити за показником Херста наявність довготривалої пам'яті та її глибини, трендостійкість, для виявлення кризових інтервалів часового ряду.

4. За методом моделювання динаміки електричного навантаження цивільних об'єктів з використанням математичного макромоделювання, який відрізняється від існуючих використанням дискретних макромоделей на базі ретроспективної інформації, що дозволило підвищити достовірність його прогнозу за інші методи.

5. З метою підвищення достовірності визначення електричного навантаження цивільних об'єктів, розроблено метод моделювання електричного навантаження житлових будинків та його прогнозування шляхом графічного синтезу осцилограм електроприймачів, результати якого експериментально підтверджено на реальних об'єктах.

6. Створено метод визначення питомого електричного навантаження на житло багатоповерхових будинків за моделлю математичного сподівання усереднених функцій, який на відміну від чинних нормативних документів дозволив підвищити точність його обчислення.

7. На базі удосконаленого методу оцінки впливу вищих гармонік, які генеруються нелінійними ЕП, джерелами відновлювальної енергії на електричне, теплове навантаження струмовідних частин, шляхом моделювання процесів в електричній мережі, дозволяє попереджувати критичні ситуації їх перегрівання.

8. Експериментально встановлено, що генерація вищих гармонік побутовими нелінійними електроприймачами, перетворювальними приладами ві-

дновлювальних джерел енергії суттєво впливають на розрахункове навантаження електричних мереж (залежно від технічних характеристик нелінійних ЕП на 7–10%), витрати електроенергії (3–11%), скорочують термін служби ізоляції (5–30%), підвищують температуру струмовідних частин за різними рівнями електропостачання цивільних об'єктів.

9. Розроблено метод оцінки енергетичної, економічної та екологічної ефективності застосування запропонованих методів та моделей достовірного визначення електричного навантаження з позитивним результатом на реальних системах електропостачання об'єктів цивільного призначення.

10. Розроблена прикладна програма в середовищі MathCad із використанням вбудованої функції «*cspline (t, p)*» дозволяє підвищити рівень достовірності величини розрахункового навантаження цивільних об'єктів, що експериментально підтверджено відповідними вимірюваннями у системах електропостачання.

11. Апробація математичної макромоделі електроспоживання житлового багатоквартирного будинку продемонструвала здатність моделі надавати адекватну інформацію і придатність її для практичного застосування, оскільки середньоквадратична похибка не перевищила 3,1%.

12. Результати дисперсійного аналізу впливу природних чинників на динаміку електричного навантаження дозволили виявити, що для фактора $T_{\text{сер}}$ розрахункове значення величини критерію Фішера $F_p^{T_{\text{сер}}} = 9,489$, а критична область утворюється правостороннім інтервалом $(4,0304; +\infty)$. Так як $F_p^{T_{\text{сер}}} = 9,489$ попадає в критичну область, то вважається, що температура виявила вплив на величину електричного навантаження міста.

Для фактора D розрахункове значення величини критерію Фішера $F_p^D = 2,324$, а критична область утворюється правостороннім інтервалом $(1,5919; +\infty)$. Так як $F_p^D = 2,324$ попадає в критичну область, то вважається,

що фактор тривалості світлого часу доби виявив вплив на величину електричного навантаження міста.

13. Результати кореляційного аналізу електричних навантажень об'єктів цивільного призначення залежно від параметрів навколишнього середовища дозволили визначити тісний зворотний зв'язок між температурою, тривалістю дня та електроспоживанням, оскільки коефіцієнт кореляції вище середнього значення 0,5, а інші чинники практично не впливають на його динаміку.

14. Математичним моделюванням спектру струмів у групових мережах напругою 220 В із приєднанням їх до однофазного вводу у квартиру визначено додаткове збільшення електричного навантаження (до 2,6% порівняно з потужністю за основної гармоніки) та житлового будинку (до 10%) від виникнення вищих гармонік, що генерують нелінійні побутові ЕП.

15. Кореляційний аналіз впливу побутових електроприладів із нелінійними характеристиками на комерційні показання лічильників різної конструкції показав, що між ознаками й комерційними похибками існує високий зв'язок, однак він найменший прямий за струмом для індукційного лічильника СО-505 і зворотній за напругою – для СЕ201.

16. Експерименти на базі устаткування мережевої сонячної електростанції потужністю 30 кВт показали суттєвий вплив інвертора та ЕП з нелінійними характеристиками на навантаження електропроводки від протікання вищих гармонік від 2 до 40-ї, що перевищує дію розрахункового струму за основною гармонікою (7,65%).

17. Шляхом моделювання динаміки електричного навантаження, визначено величину зменшення витрат електроенергії в Одеській міській електричній мережі за рахунок зрівнювання графіка навантаження на 29 МВт·год, при цьому електричне навантаження зменшиться на 50 МВт, економія палива становитиме близько 29,5 т у. п., щодобовий економічний ефект складатиме близько 276 тис. грн, щодобові викиди парникових газів зменшаться на 78,7 т.

18. Розрахунки показують, що енергетична ефективність застосування гібридних сонячних колекторів за період експлуатації, тобто заощадження

традиційного викопного палива за рахунок генерації «чистої» енергії, становитиме близько 19100 т у. п. Економічна ефективність за роками їх введення в експлуатацію: за «зеленим» тарифом: 2019 р. – 201921 €; 2020 р. – 230131 €; 2030 р. – 291592 €; 2040 р. – 361044 €; за «основним» тарифом: 2019 р. – проєкт не вигідний; 2020 р. – 163335 €; 2030 р. – 249558 €; 2040 р. – 295342 €. Екологічна ефективність становитиме близько 6355 т. Таким чином, за результатами дослідження прибутковість реалізації таких проєктів, без державної підтримки, у вигляді «зелених» тарифів, дешевших кредитів, субсидій, компенсації вкладень мешканців по залученню інвестицій у запровадження відновлювальних джерел енергії, сьогодні утруднена.

19. Отримані в роботі теоретичні та практичні результати оприлюднені в наукових журналах, упроваджуються у навчальний процес університету під час лекцій, лабораторних та практичних занять, курсового проєктування, кваліфікаційних робіт бакалаврів, науково-дослідних робіт магістрів, аспірантів.

20. Результати дисертаційної роботи впровадженні у наукові дослідження та проєктну практику АТ «Одесаобленерго», Південним РЕМ, ТОВ «С-інжиніринг», рекомендовані до впровадження Центром трансферу технологій ОНПУ, ТОВ «Електротехніка – нові технології», ТОВ «СТАР ЕНЕРЖІ», Науково-виробничою лабораторією «SOLAR PLEX» та ін.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Авраменко В.М. Методики і програмні засоби для забезпечення автоматичного диспетчерського керування електроенергетичними системами / В.М. Авраменко, В.О. Крилов, В.Л. Прихно, П.О. Черненко // Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України. – 2010. – вип. 26. – С. 31–38.
2. Bondarchuk A.S. Study into predicted efficiency of the application of hybrid solar collectors to supply energy to multiapartment buildings / A.S. Bondarchuk // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – Kh.: 2019. – № 4/8 (100), pp. 69–77. (Scopus).
3. Bondarchuk A.S., Randle O.O. Investment project on energy supply for residential neighborhood in the city from hybrid solar collectors / A.S. Bondarchuk, O.O. Randle // Polish Journal of Science (Warszawa, Poland), 2019, volume 1, number 18, pp. 57–63.
4. Bondarchuk A. S. A graphic method for the research into electrical load dynamics in residential apartments / A. S. Bondarchuk, P. D. Lezhniuk, // Computational Problems of Electrical Engineering. – Lviv: Lviv Polytechnic National University, 2017, volume 7, number 2, pp. 73–77.
5. Bondarchuk A.S. Research of the efficiency of hybrid solar collectors as sources of electrical and thermal energy for the housing microregion of the city / A.S. Bondarchuk, O.P. Hoholyuk, Iu.A. Shullie // Slovak international journal, 2018, volume 5, number 18, pp. 14–21.
6. Bondarchuk A.S. Comparative analysis of real dynamics of electric loading of housing microregion of city determined by modeling and normatives / A.S. Bondarchuk, O.P. Hoholyuk, Iu.A. Shullie // The scientific method, (Warszawa, Poland), 2018, volume 1, number 18, pp. 22–29.
7. Bondarchuk A.S. Utilization of waste mines as renewable energy accumulators / A.S. Bondarchuk // Scientific Bulletin of the National Mining University. – Dnipro .: National Mining University, 2017. – No. 6 – P. 79–84. (Scopus)

8. Bondarchuk A.S. Development of the graphical-analytic method for calculating the electrical load of civilian objects / A.S. Bondarchuk // *Eastern European Journal of Advanced Technologies* – Kh.: 2017. – No. 4. – P. 4–9. (Scopus).
9. Bondarchuk A. S. Investigation of the influence of higher harmonic curves on the calculated loading of the network solar electric station with 30 kW power / A. S. Bondarchuk // *Scientific Bulletin of National Mining University*. – Dnipro: Gerda, – 2018, № 1(163), pp. 74–80. (Scopus).
10. Бондарчук А. С. Внутрішньобудинкове електропостачання / А. С. Бондарчук. – К.: Освіта України, 2015. – 480 с.
11. Бондарчук А. С. Внутрішньоквартальне електропостачання / А. С. Бондарчук, В. Г. Рудницький. – Суми: Університетська книга, 2012. – 371 с.
12. Бондарчук А.С. Спосіб автоматичного програмованого коригування відліку часу / А.С. Бондарчук. Патент № 75278 України на винахід, МПК (2006) G04F 5/00. – № 20040807103; опубл. 15.03.2006 р. Бюл. № 3.
13. Бондарчук А.С. Підвищення енергоефективності Об'єднаної електроенергетичної системи України коригуванням сезонного відліку часу / А.С. Бондарчук // 3б. праць 6-ої Міжнародної науково-технічної конференції “Ефективність та якість електропостачання промислових підприємств”/ Під заг. ред. д.т.н., проф. І.В. Жежеленка. – Маріуполь: ПДТУ, 2008 р. – С. 183–186.
14. Бондарчук А.С. Метод моніторингу динаміки електроспоживання міста Одеси в період до виникнення і в умовах фінансово-економічної кризи / А.С. Бондарчук // *Труды Одесского политехн. ун-та*. – Одесса, 2009. – Вып. 1(31). – С. 76–79.
15. Бондарчук А.С. Прогностичне оцінювання енергетичного, економічного та екологічного ефекту зрівнювання графіка електричного навантаження міста Одеси / А.С. Бондарчук, В.В. Поносов // *Труды Одесского политехн. ун-та*. – Одесса, 2009. – Вып. 2(32). – С. 84–88.

16. Бондарчук А.С. Визначення оптимальної потужності міських трансформаторних підстанцій з урахуванням нестандартних добових графіків навантаження / А.С. Бондарчук // Електромашинобудування та електрообладнання. – К.: Техніка, 2009. – Вип. 74. – С. 48–52.
17. Бондарчук А.С. Дослідження динаміки електроспоживання міста Одеси в умовах економічної кризи. Тези / А.С. Бондарчук // Міжнародний багатогалузевий науково-технічний форум (Engineering Strategy is Innovation). Одеса: ОНПУ. – 2009. – 5 с.
18. Бондарчук А.С. Апріорний аналіз нормативних показників проєктування електрообладнання систем електропостачання житлових будинків / А.С. Бондарчук // Електромашинобудування та електрообладнання. – К.: Техніка, 2010. – Вип. 75. – С. 79–82.
19. Бондарчук А.С. Ефективність запровадження диференційованого тарифу на електроенергію для населення за умови використання сучасної електропобутової техніки / А.С. Бондарчук, Д.П. Низова // Труды Одесского политехн. ун-та. – Одесса, 2010. – Вып. 1(33). – С. 95–99.
20. Бондарчук А.С. Кореляційно-регресійний аналіз впливу регіональної зміни клімату на навантаження Одеських електричних мереж і довкілля // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – К.: Техніка, 2011. – № 02 (78). – С. 73–75.
21. Бондарчук А.С. Зіставлення теоретичного і реального розрахункового питомого електричного навантаження жител в умовах міста Одеси / А.С. Бондарчук, Д.П. Низова // Труды Одесского политехн. ун-та. – Одеса, 2011. – Вип. 1(35). – С. 78–81.
22. Бондарчук А.С. Прогнозування впливу регіонального потепління на енергоспоживання міста Одеси та на викиди парникових газів / А.С. Бондарчук, В.В. Алексєєва // Праці Одеського політехн. ун-ту. – Одеса, 2012. – Вип. 1(37). – С. 133–136.
23. Бондарчук А.С. Дослідження ефективності запровадження інтерактивної системи гарантованого електропостачання із застосуванням відновлюва-

- льних джерел енергії в Одеському регіоні. Зб. доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції «Проблеми енергоефективності та енергозбереження» / А.С. Бондарчук, А.О. Бондар. – Кіровоград: КНТУ, 2012. – С. 10–12.
24. Бондарчук А.С. Дослідження впливу компенсації реактивної потужності на динаміку втрат електричної енергії в лінії та трансформаторі ТП-10/04 кВ. Збірник тез доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих учених “Проблеми енергоефективності та енергозбереження” / А.С. Бондарчук, А.О., Нікішева А.С. – Кіровоград: КНТУ, 2012. – С. 12–15.
25. Бесараб О.М. Кореляційний аналіз впливу сучасних побутових електроприладів на комерційні показання лічильників / О. М. Бесараб, А. С. Бондарчук, Я. О. Соколов // Праці Одеського політехн. ун-ту. – Одеса, 2013. – Вип. 3(42). – С. 123–126.
26. Бондарчук А.С. Інтелектуальна система управління енергоспоживанням електроприймачів критичної групи від відновлювальних джерел енергії в Одеському регіоні. Збірник доповідей науково-практичної конференції “Інтелектуальні системи управління енергоспоживанням” / А.С. Бондарчук, А.О. Бондар. – Одеса, 2013. – С. 12–15.
27. Бондарчук А.С. Прогнозування за аналітичною моделлю тренда динаміки електроспоживання міста / А. С. Бондарчук // Праці Одеського політехнічного університету. – Одеса, 2014. – Вип. 4(43). – С. 159–161.
28. Бондарчук А.С. Дослідження впливу гармонік струму на показання електролічильників / А.С. Бондарчук, А. С. Романчук // Республіканська науково-практична конференція «Проблеми енергоефективності у житлово-комунальному господарстві», Одеса, 2014. – С. 14–18.
29. Бондарчук А.С. Облік та вимірювання в інтегрованій системі енергопостачання котеджу / А.С. Бондарчук, А. Ю.Когут // Республіканська науково-технічна конференція «Енергоефективність у житлово-комунальному господарстві», Одеса, 2014. – С. 15–19.

30. Бондарчук А.С. Прогнозна енергетична, економічна та екологічна ефективність запровадження мережевих сонячних електростанцій в ринкових умовах // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – К.: Наука і техніка, 2015. – № 20 (96). – С. 51–55.
31. Бондарчук А.С. Дослідження впливу струму вищих гармонік на втрати активної потужності в електричній мережі житлового будинку / А.С. Бондарчук, Є.П. Нечипорук // Електротехнічні та комп'ютерні системи. – К.: Наука і техніка, 2016. – № 20 (97). – С. 56–61.
32. Bozchalui, M. C. Optimal Operation of Residential Energy Hubs in Smart Grids [Text] / M. C. Bozchalui, S. A. Hashmi, H. Hassen, C. A. Canizares, K. Bhattacharya // IEEE Transactions on Smart Grid. – 2012. – Vol. 3, Issue 4. – P. 1755–1766. doi: 10.1109/tsg.2012.2212032pdf
33. Бурбело, М. Й. Системи електропостачання. Елементи теорії та приклади розрахунків [Текст] / М. Й. Бурбело, О. О. Бірюков, Л. М. Мельничук. – Вінниця: ВНТУ, 2011. – 204 с.
34. Бурбело М. Й. Стимулювання зменшення втрат в електричних мережах : монографія / М. Й. Бурбело, Л. М. Мельничук. – Вінниця : УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2008. – 110 с.
35. Буткевич О. Ф. Проблемно-орієнтований моніторинг режимів ОЕС України / О. Ф. Буткевич // Технічна електродинаміка. – 2007. – № 5. – С. 39–52.
36. Bunn, D.W. Comparative models for electrical load forecasting / D.W. Bunn, E.D. Farmer. – Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore: Jone & Sons, 1985. – 200 p.
37. Варецький Ю.О. Архітектура інтелектуальної системи моніторингу не-синусоїдних режимів електричної мережі / Ю.В. Варецький, Т.І. Наконечний, М.Д. Федонюк, В.О. Комар // Наукові праці ВНТУ [Онлайновий ресурс]. – 2011. – № 1.
38. Варецький, Ю.О. Проблеми експлуатації компенсувальних пристроїв в електричних мережах живлення шахт/ Ю.О. Варецький, О.Р.Пастух,

- В.М.Горбань. // Вісник Національного університету «Львівська політехніка» «Електроенергетичні та електромеханічні системи», 2017, № 870, С.16-22.
39. Varetsky, Y. Ferroresonant phenomena in medium voltage grids with voltage transformers/ Y. Varetsky // *Automatyka, Elektryka, Zakłócenia* [Dokument elektroniczny]. — *Czasopismo elektroniczne* . ISSN 2082-4149. 2018. vol. 9, nr 1, s. 42–49.
 40. Василега П. О. Електропостачання: Навч. посіб. / П. О. Василега. – Суми: Університетська книга, 2008. – 415 с.
 41. Говоров, П.П. Поліпшення математичної моделі розрахунку та прогнозування втрат електроенергії на основі нейронних мереж / П.П. Говоров, В.Л. Бакулевський // Вісник Вінницького політехнічного інституту. № 2, 2018. – С. 14-19.
 42. Говоров, П.П. Автоматизація керування режимами міських електричних мереж: монографія / П. П. Говоров, В. Ф. Харченко, В. П. Говоров. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 229 с.
 43. Говоров, Ф. П. Интеллектуальные гибкие системы управления режимами работы городских электрических сетей / Ф. П. Говоров, Е. В. Говорова, Э. С. Дюмин // *Управляемые электропередачи* : сб. ст. / Ин-т энергетики Академии наук Молдовы. – Кишинев (Молдова) : ИЭ АНМ, 2017. – № 8. – С. 162–191.
 44. Hoholyuk O. Macromodelling as an Approach to Short-Term Load Forecasting of Electric Power Systems Objects [Text] / O. Hoholyuk, Y. Kozak, T. Nakonechnyy, P. Stakhiv // *Computational problems of electrical engineering*. – 2017. – Vol. 7, № 1. – P. 25–31.
 45. Guo, Y. Optimal Power Management of Residential Customers in the Smart Grid [Text] / Y. Guo, M. Pan, Y. Fang // *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*. – 2012. – Vol. 23, Issue 9. – P. 1593–1606. doi: 10.1109/tpds.2012.25pdf

46. Гурский Д. А. Вычисления в MathCAD / Д. А. Гурский. – Мн: Новое знание, 2003. – 814 с.
47. ДБН В. 2.5-23-2010. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 164 с.
48. ДСТУ ІЕС 62040-3 1: 2005 Технічні вимоги до проектування систем гарантованого електропостачання електроприймачів критичної групи. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 164 с.
49. ДБН В. 2.5-28-2006 Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення. – К.: Мінрегіонбуд України, 2006. – 79 с.
50. Денисюк С. П. Аналіз електромагнітної сумісності елементів систем електропостачання при змінних параметрах генератора та навантажень [Текст] / Денисюк С. П., Рибіна О. Б., Дерев'янка Д. Г. // Спец. випуск Праць Ін-ту електродинаміки НАН України (Матеріали I Міжнародної конференції «Інтелектуальні енергетичні системи – ІЕС'10»), – К.: ІЕД НАНУ, 2010 – С. 32–43.
51. Денисюк С. П. Оптимізація режимів електропостачання в локальних системах з розосередженою генерацією / С. П. Денисюк, Д. Г. Дерев'янка, П. С. Колесник // Праці Ін-ту електродинаміки НАН України : зб. наук. пр. : Спец. випуск. – Ч. 2. – К. : ІЕД НАНУ, 2011. – С. 30–36.
52. Денисюк, С. П. ISO 50001: Цілі стандарту та особливості його впровадження в Україні [Текст] / С. П. Денисюк. – К.: СІК ГРУП, 2015. – 208 с.
53. Денисюк С. П. Оптимізація режимів електропостачання в локальних системах з розосередженою генерацією [Текст] / Денисюк С.П., Дерев'янка Д.Г., Колесник П.С. // Зб. пр. Ін-ту електродинаміки НАН України. Спец. вип. – 2011. – С. 30–37.
54. Дерев'янка Д. Г. Аналіз особливостей забезпечення стійкості та надійності систем з інтеграцією джерел розосередженої генерації / Д. Г. Дерев'янка, К. Ю. Суменко, В. Г. Процько // Енергетика. Екологія. Людина: матер. конференції – 2013. – С. 432–439.

55. Дерев'янюк Д. Г. Аналіз особливостей підключення розосередженої генерації при побудові систем Microgrid / Дерев'янюк Д. Г., Попик М.Ю. // Матеріали конференції «Енергетика. Екологія. Людина». – 2013. – С. 348–357.
56. Дерзский В. Г. Расчет потребления электроэнергии населением Украины / В.Г. Дерзский // Энергетика и электрификация. – 2002. – № 7. – С. 24–29.
57. Дерзський В. Г. Розрахунок втрат електроенергії в розподільних мережах / В. Г. Дерзський // Энергетика и электрификация. – 2005. – № 9. – С. 32 – 40.
58. ДБН В.2.5-28-2006 Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення. – К.: Мінрегіонбуд України, 2006. – 79 с.
59. Дупак О. Енергетика сьогодні [Електронний ресурс] / О. Дупак. – <http://me-press.kiev.ua/powertoday.htm>.
60. Дьяконов В. П. MATLAB 6. Учебный курс. / В. П. Дьяконов – Спб.: Питер, 2001. – 592 с.
61. Degeroote L. Fast harmonic simulation method for the analysis of network losses with converter-connected distributed generation [Text] / L. Degeroote, L. Vandeveld, B. Renders // Electric Power Systems Research. 2010. – № 80. С. 1332-1340. – DOI: 10.1016/j.epsr.2010.05.003.
62. Жежеленко И.В., Кротков Е.А., Степанов В.П. Методы вероятностного моделирования в расчетах характеристик электрических нагрузок потребителей. – М.: Энергоатомиздат, 2007. – 256 с.
63. Жежеленко И.В. Вероятностное моделирование интервалов осреднения электрических нагрузок / И.В. Жежеленко, В.П. Степанов, О.В. Быховская. –Электричество, 1986, № 9, С. 52–55.
64. Жежеленко, І. В. Електромагнітна сумісність у системах електропостачання [Текст] / І. В. Жежеленко, А. К. Шидловський, Г. Г. Півняк, Ю. Л. Сасенко. – Дніпропетровськ: НГУ, 2009. – 319 с.

65. Жежеленко И. В. Избранные вопросы несинусоидальных режимов в элек-трических сетях предприятий / И. В. Жежеленко, Ю. Л. Саенко, Т. К. Бараненко, А. В. Горпинич / – М.: Энергоатомиздат, 2007 – 267 с.
66. Жовтянський В. А. Результативність і проблемні питання енергозбереження в Україні: муніципальний розріз / В. А. Жовтянський // Управління енерговикористанням: Збірник доповідей / Під ред. А. В. Праховника. – К.: Альянс за збереження енергії, 2002. – С. 35–46.
67. Жовтянський В. А. Інформаційна система з енергозбереження в Україні на базі комп'ютерної мережі INTERNET / В. А. Жовтянський, Є. Є. Нікітін, С. І. Куркін // Енергетична безпека Європи. Погляд у 21 століття. – Київ: УЕЗ, 2000. – С. 178–180.
68. Замулко А. І. Енергоринок та тарифна політика України в сфері електроенергетики / А. І. Замулко, Є. М. Іншеков, В. Ф. Находов, // Управління енерговикористанням: Збірник доповідей / Під ред. А. В.Праховника. – К.: Альянс за збереження енергії, 2002. – С. 242–364.
69. Захарченко Н.И. Бизнес-статистика и прогнозирование в MS Excel. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 208 с.
70. Зорин В. В. Системы электроснабжения общего назначения / В. В. Зорин, В. В. Тисленко. – Чернигов : ЧГТУ, 2005. – 341 с.
71. Інтернет-бібліотека [Електронний ресурс] www.twirpx.com/
72. Калінчик В. П. Алгоритмічні методи управління електроспоживанням / В. П. Калінчик // Управління енерговикористанням: Збірник доповідей / Під ред. А. В. Праховника. – К.: Альянс за збереження енергії, 2002. – С. 404–411.
73. Калінчик В. П. Комплексне управління електричним навантаженням виробничих споживачів / В. П. Калінчик // Управління енерговикористанням: Збірник доповідей. – К.: Альянс за збереження енергії, 2002. – С. 204–212.
74. Калінчик В. П. Адаптивний підхід до прогнозування та управління електроспоживанням / В. П. Калінчик // Управління енерговикористанням:

- Збірник доповідей. – К.: Альянс за збереження енергії, 2002. – С. 425–429.
75. Katiraei, F. Accidental islanding of distribution systems with multiple distributed generation units of various technologies [Text] / Farid Katiraei, Tim Chang, Chase Sun. // Symposium Grid of the Future 2013. 2013. Boston, MA. Oct. 22. P. 1-20.
 76. Кириленко О. В. Інформатизація та інтелектуалізація систем керування в електроенергетиці: деякі підсумки за останні роки / О. В. Кириленко, О. Ф. Буткевич, С. П. Денисюк // Технічна електродинаміка. – 2007. – №3. – С. 51–58.
 77. Кириленко О.В. Керування режимом роботи електростанції з відновлюваними джерелами енергії в умовах зміни частоти в енергосистемі / В.В. Павловський, О.С. Яндульський, А.О. Стелюк // Технічна електродинаміка. — 2012. — № 4. — С. 52–57.
 78. Кириленко О. В. Особливості побудови систем технологічної підтримки оперативного персоналу електроенергетичних систем та електричних мереж / О. В. Кириленко, О. Ф. Буткевич // Технічна електродинаміка. – 2003. – № 4. – С. 54–61.
 79. Кириленко О. В. Технічні аспекти впровадження джерел розподільної генерації в електричних мережах. / Кириленко О. В., Павловський В. В., Лук'яненко Л. М. // Технічна електродинаміка. – 2011. – №1. – С. 46–51.
 80. Кириленко О. В. Проблеми інтеграції відновлюваних джерел електроенергії в «слабкі» електричні мережі / О. В. Кириленко, В. В. Павловський, Л. М. Лук'яненко, І. В. Трач // Техн. електродинаміка. – 2012. – № 3. – С. 25–26.
 81. Коновал В. С. Дослідження впливу вітрової електростанції на режимі роботи електричної мережі / В. С. Коновал, А. Ю. Кучинський, О. І. Горак. 2012. – С. 64–69.
 82. Кононюк А.Ю. Нейронні мережі і генетичні алгоритми / А.Ю. Кононюк. – К.: Корнійчук, 2008, – 446 с.

83. Коробко Б. П. Концепція стратегії довгострокового розвитку паливно-енергетичного комплексу України [Електронний ресурс] / Б. П. Коробко. – <http://www.kar.net/~res-ua/report.html>.
84. Крижанівський Є. І. Енергоефективність вуглеводневого палива: Монографія / Є. І. Крижанівський, Ю. Т. Разумний. – Дніпропетровськ: Національний гірничий Університет, 2005. – 99 с.
85. Круглов В. В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика / В. В. Круглов, В. В. Борисов. – М.: Телеком, 2001. – 382 с.
86. Лежнюк П. Д. Узгодження графіків генерування відновлюваних джерел енергії та електричного навантаження в локальній електричній системі / П. Д. Лежнюк, В. О. Комар, С. В. Кравчук // Енергетика та комп'ютерно-інтегровані технології в АПК, 2016. – С. 30–37.
87. Лежнюк П. Д. Визначення і прогнозування екстремальних навантажень електротехнічних комплексів у умовах ризику та невизначеності / П. Д. Лежнюк, Ю. А. Шулле // Вісник Вінницького політехнічного інституту, 2011. - № 4. – С. 107–110.
88. Lezhniuk P. D. Fractal analysis of dynamics of electric loading of civil objects/ P. D. Lezhniuk, A. S. Bondarchuk, Yu. A. Shullie // Sciences of Europe (Praha, Czech Republic). – 2018. – № 27 (27), volume 1, pp. 46–54.
89. Лежнюк П.Д. Оперативне прогнозування електричних навантажень систем електроспоживання з використанням їх фрактальних властивостей: монографія [Електронний ресурс] / П. Д. Лежнюк, Ю. А. Шулле. – Вінниця: ВНТУ, 2015. – 104 с.
90. Лежнюк П.Д. Автоматизоване управління енергосистемою з графічним представленням та аналізом інформації [Електронний ресурс] / П. Д. Лежнюк, С.В. Бевз, Ю.В. Томашевський. – Вінниця : ВНТУ, 2006. с. Режим доступу: URL: <http://bitstream/handle/123456789/8450/p073.pdf>
91. Лежнюк П.Д. Моделювання навантаження електричних мереж кубічними сплайнами в адаптивних САК з випередженням [Електронний ресурс] / П.Лежнюк, С. Вишневський, Н. Семенюк. Видавництво Націона-

- льного університету «Львівська політехніка», 2001. – С. 85–87. Режим доступу: URL: http://ena.lp.edu.ua:8080/bitstream/ntb/35062/1/17_85-87.
92. Лежнюк П. Д. Оптимізація функціонування розосереджених джерел енергії в локальних електричних системах енергії [Текст] / П. Д. Лежнюк, О. Є. Рубаненко, Ю. В. Малогулко // Вісник НТУ«Харківський політехнічний інститут». – 2014. – № 60 (1102). – С. 68–77.
 93. Лежнюк П.Д. Відновлювані джерела енергії в розподільних електричних мережах : монографія [Текст] / П. Д. Лежнюк, О. А. Ковальчук, О. В. Нікіторович, В. В. Кулик. – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 204 с.
 94. Лежнюк П. Д. Вплив сонячних електричних станцій на напругу споживачів 0,4 кВ [Текст] / П. Д. Лежнюк, О. Є. Рубаненко, І. О. Гунько // Енергетика: економіка технології, екологія. – 2015. № 3(51). С. 7–13.
 95. Лежнюк П.Д. Вплив інверторів СЕС на показники якості електричної енергії в ЛЕС [Текст] / П. Д. Лежнюк, О. Є. Рубаненко, І.О. Гунько // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. 2015. № 2. – С. 134–145.
 96. Лежнюк П. Д. Вплив ВДЕ на втрати активної потужності в ЛЕС [Текст] / П. Д. Лежнюк, О. О. Рубаненко, І.О. Гунько // Техніка, енергетика, транспорт АПК. – 2015. №3 (92). С. 84–90.
 97. Lezhniuk P.D. Application of macromodeling method as bases for forecasting electrical consumption of multiflat houses / P.D. Lezhniuk, A.S. Bondarchuk, O.P. Hoholiuk // Tekhnichna Elektrodynamika. 2019. No 6. Pp. 74–80.
 98. Lee, S. Joint Energy Management System of Electric Supply and Demand in Houses and Buildings [Text] / S. Lee, B. Kwon, S. Lee // IEEE Transactions on Power Systems. – 2014. – Vol. 29, Issue 6. – P. 2804–2812. doi: 10.1109/tpwrs.2014.2311827.
 99. Lukianenko L., Goncharenko I., Blonska O. Determination of the Optimal placement and Capacity of Distributed Generation // International Conference on intelligent Energy and Power Systems. – 2014. – Vol. 1. – P. 159–162.

100. Маліновський А. А. Основи електропостачання: Навч. посіб. / А. А. Маліновський, Б. К. Хохулін. – Л.: Львівська політехніка, 2005. – 324 с.
101. Мансуров В.З. Краткосрочное прогнозирование электрической нагрузки на основе нечеткой нейронной сети и ее сравнение с другими методами / В.З. Мансуров, Е.В. Бирюков // ИТПУ, 2006. – Т.309. № 6. – с. 153–158.
102. Mohammad Chehreghani Bozchalui Optimal Operation of Residential Energy Hubs in Smart Grids [Електронний ресурс] / Mohammad Chehreghani Bozchalui, Syed Ahsan Hashmi // Riverside. – 2012. Режим доступу: URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6338330/.pdf>
103. Masoud Farivar . Inverter VAR Control for Distribution Systems with Renewables / Masoud Farivar // Smart Grid Communications: IEEE International Conference. – 17–20 Oct., 2011. – P. 457–462.
104. Находов В. Ф. Методологія аналізу та корегування впливу диференційованих тарифів на конфігурацію графіків навантаження енергосистеми України / В. Ф. Находов, Т. В. Яроцька, А. О. Горбоненко // Вісник Вінницького політехнічного університету. –Вінниця: ВНТУ, 2011. – № 6. – С. 72–75.
105. НКРЕКП. Ціни та тарифи [Електронний ресурс] – www.nerc.gov.ua/
106. Новосельцев О. В. Механізм фінансування міських програм з енергозбереження / А. В. Новосельцев // Аспекти самоврядування. – 2004. – №2(23). – С. 2–11.
107. Новосельцев О. В. Системні питання формування оптимальних паливно-енергетичних балансів за умов конкуренції в енергетиці / О. В. Новосельцев // Проблеми загальної енергетики. – 2006. – №13. – С. 7–11.
108. Hubert, T. Modeling for Residential Electricity Optimization in Dynamic Pricing Environments [Text] / T. Hubert, S. Grijalva // IEEE Transactions on Smart Grid. – 2012. – Vol. 3, Issue 4. – P. 2224 – 2231. doi: 10.1109/tsg.2012.2220385 pdf .

109. Hippert H.S. Neural networks for short-term load forecasting: a review and evaluation / H.S. Hippert // *Power Systems? Ieee Transaction on*, vol. 16, no. 1, pp. 44–55, Feb. 2001.
110. Павловський В. В. Обмеження потужності відновлюваних джерел енергії за умовами приєднання до електричної мережі / В. В. Павловський, Л. М. Лук'яненко, І. С. Гончаренко, А. М. Захаров // *Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України*. – 2016. – Вип. 43. – С. 18–23.
111. Паливно-енергетичний комплекс України на порозі третього тисячоліття / під. ред. А. К. Шидловського. – К.: Українські енциклопедичні знання, 2001. – 400 с.
112. Паранчук Я.С. Алгоритмізація, програмування, числові та символічні обчислення в пакеті MathCAD: Навчальний посібник / Я.С. Паранчук, А.В. Маляр, Р.Я. Паранчук, І.Р. Головач. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2008. – 327 с.
113. Pedram Samadi. Tackling the Load Uncertainty Challenges for Energy Consumption Scheduling in Smart Grid [Електронний ресурс] / Pedram Samadi, Hamed Mohsenian-Rad // *Riverside*. – 2013. Режим доступу: URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6478861/.pdf>
114. Перхач В. С. Математичні задачі електроенергетики / В. С. Перхач. – Львів: Вища школа, 1989. – 464 с.
115. Півняк Г. Г. Альтернативна енергетика в Україні / Г.Г. Півняк, Ф.П. Шкрабець; Нац. гірн. ун-т. Дн.: НГУ, 2013. – 109 с.
116. Перетворювальна техніка [Електронний ресурс] – <http://dizelek.com.ua/>
117. Петерс Э. Фрактальный анализ финансовых рынков: применение теории хаоса в инвестициях и экономике / Э. Петерс. – М. : Интернет-трейдинг, 2004. – 304 с.
118. Patricio Salmeron and Salvador P. Litr'an, "A Control Strategy for Hybrid Power Filter to Compensate Four-Wires Three-Phase Systems", *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 25, No. 7, July 2010.

119. Праховник А. В. Бар'єри на шляху до ефективного енерговикористання в Україні / А. В. Праховник, Є. М. Іншеков // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2001. – № 1. – С. 4–7.
120. Праховник А.В. Управління енерговикористанням: проблеми, завдання та методи вирішення. Збірник доповідей за ред. проф. Праховника А. В. «Управління енерговикористанням». К.: Альянс за збереження енергії, 2001. – 565 с.
121. Праховник А. В. Энергосберегающие режимы электроснабжения горнодобывающих предприятий / А. В. Праховник, В. П. Розен, В. В. Дегтярев. – М.: Недра, 1985. – 232 с.
122. Праховник А. В. Ефективне використання енергетичних ресурсів та концентрація потоку енергії низькопотенціальних джерел / А. В. Праховник, Т. М. Базюк // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2013. – № 1. – С. 41–48.
123. Праховник А. В. Малая энергетика: распределенная генерация в системах электроснабжения / А. В. Праховник. – К.: Освіта України, 2007. – 464 с.
124. Прихно В. Л. Модели, методы и программные средства для анализа и прогнозирования электрических нагрузок и для решения задач оперативного управления ЭЭС / В. Л. Прихно, П. А. Черненко // Зб. наук. праць ІЕД НАНУ, Київ – 2007. № 18. – С. 26–33.
125. Проблемы глобальной энергетической безопасности // Энергетическая политика. – 2005. – № 3. – С. 65–67.
126. Проблема топливно-энергетических ресурсов в мире и Украине / В. С. Тополов, Л. Е. Хлапенков, А. А. Бортников // Уголь Украины. – 2004. – № 5. – С. 3–11.
127. Прокопенко В.В. Енергетичний аудит з прикладами та ілюстраціями: Навчальний посібник / В.В. Прокопенко, О.М. Закладний, П.В. Кульбачний. – К.: Освіта України, 2008. – 438 с.

128. Промислові агрегати безперебійного живлення [Електронний ресурс] – <http://esl.kiev.ua/ukrainian/ups-enpower-d.phppdf>
129. Разумний Ю. Т. Енергозбереження: Навч. посібник / Ю. Т. Разумний, В. Т. Заїка, Ю. В. Степаненко. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2005. – 166 с.
130. Разумний, Ю. Т. Ефективне використання електроенергії та палива [Текст] / Ю. Т. Разумний, А. В. Рухлов, Н. Ю. Рухлова. – Дніпропетровськ: НГУ, 2014. – 223 с.
131. Разумний Ю. Т. Аспекти вирішення проблеми нерівномірності споживання електричної енергії / Ю. Т. Разумний, А. В. Рухлов. – Дніпропетровськ: НГУ, 2012. – 95 с.
132. Renzhong X. Design and Research on the LCL Filter in Three-Phase PV Grid-Connected Inverters [Text] / X. Renzhong , X. Lie, Zh. Junjun. – Int. J. Computer and Electrical Engineering, Vol. 5, No. 3, 2013. – pp. 322–325.
133. Розен В.П. Енергетичний аудит об'єктів житлово-комунального господарства / В.П. Розен, О.І. Соловей, С.В. Бржестовський, А.В. Чернявський, П.В. Розен. – К.: ПП. ВКФ “Дельта Фокс”, 2007. – 224 с.
134. Розен В. П. Математична модель впливу енергетики на екологію / В. П. Розен, С. С. Калугін // Управління енерговикористанням: Збірник доповідей / Під ред. А. В.Праховника. – К.: Альянс за збереження енергії, 2002. – С. 156–166.
135. Розен В. П. Система підтримки прийняття рішень в енергозбереженні на промислових підприємствах / В. П. Розен, С. С. Калугін // Управління енерговикористанням: Збірник доповідей / Під ред. А.В.Праховника. – К.: Альянс за збереження енергії, 2002. – С. 199–203.
136. Розен В. П. Перспективи розвитку національної інформаційної мережі з енергозбереження України / В. П. Розен // Управління енерговикористанням: Збірник доповідей / Під ред. А. В. Праховника. – К.: Альянс за збереження енергії, 2002. – С. 460–462.

137. Розен В.П. Використання внутрішніх резервів технологічних процесів при керуванні режимами електроспоживання промислових підприємств / В.П. Розен, М.В. Прокопець // Автоматизація виробничих процесів: Все-укр. наук.-техн. журн. – 2006. – №1(22). – С.26–30.
138. Рубаненко О. Є. Вдосконалення математичного забезпечення комп'ютерних систем оптимізації режимів локальних електричних систем з відновлюваними джерелами енергії / О. Є. Рубаненко, О. Б. Бурикін, Ю. В. Малогулко // Науковий вісник Чернівецького університету. – 2014. – № 2 (5). – С. 85–93.
139. Рудницький В. Г. Внутрішньозаводське електропостачання / В. Г. Рудницький. – К.: Освіта України, 2013. – 287 с.
140. Рудницький В. Г. Внутрішньоцехове електропостачання / В. Г. Рудницький. – К.: Освіта України, 2016. – 384 с.
141. Сінчук І. О. Відновлювані та альтернативні джерела енергії / І. О. Сінчук, С. М. Бойко, О. Є. Мельник. — Кременчук : вид-во ПП Щербатих О. В., 2015. – 270 с.
142. Capasso A. A bottom-up approach to residential load modeling [Електронний ресурс] / A. Capasso, W. Grattieri, R. Lamedica // Rome. – 2015. Режим доступу: URL: <https://www.researchgate.net/publication/3264737/>.pdf
143. Samadi, P. Tackling the Load Uncertainty Challenges for Energy Consumption Scheduling in Smart Grid [Text] / P. Samadi, H. Mohsenian-Rad, V. W. S. Wong, R. Schober // IEEE Transactions on Smart Grid. – 2013. – Vol. 4, Issue 2. – P. 1007–1016. doi: 10.1109/tsg.2012.2234769pdf
144. Chernenko P.O. Enhancing the Effectiveness of Short-Term Forecasting of Electric Load of United Power System / P.O. Chernenko, O.V.Martynyuk // Tekhnichna electrodinamika. – 2012. – № 1. – P. 63–70.
145. Соколова Н.П. Моделювання та програмне забезпечення прогнозування споживання електричної енергії об'єктами аеропорту / Н. П. Соколова // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – Т. 2. – № 8 (68). – С. 8–12.

146. Соловей О. І. Енергетичний аудит / О. І. Соловей, В. П. Розен. – Черкаси: ЧДТУ, 2005. – 299 с.
147. Соловей О. І. Організаційні заходи з енергозбереження / О. І. Соловей, В. П. Розен, В. А. Побігайло // Управління енерговикористанням: Збірник доповідей / Під ред. А.В.Праховника. – К.: Альянс за збереження енергії, 2002. – С. 463–466.
148. Соломчак О.В Проблеми розрахунку та компенсації реактивної потужності в мережах з несинусоїдним (нелінійним) навантаженням / Соломчак О.В, Гладь І.В. // Енергетика та електрифікація. – 2008. – № 6. – С. 27–32.
149. Costanzo, G. T. A System Architecture for Autonomous Demand Side Load Management in Smart Buildings [Text] / G. T. Costanzo, G. Zhu, M. F. Anjos, G. Savard // IEEE Transactions on Smart Grid. – 2012. – Vol. 3, Issue 4. – P. 2157–2165. doi: 10.1109/tsg.2012.2217358pdf
150. Стахів П.Г. Метод розпаралелення задачі ідентифікації параметрів дискретних динамічних макромоделей на масивно-паралельних процесорах / П. Г. Стахів, І. П. Струбицька // Наукові нотатки. – 2010. – Вип. 27. – С. 300–305.
151. Стахів П.Г. Основи електроніки: функціональні елементи та їх застосування/ П. Г. Стахів [та ін.] . – Львів: Видавництво Національного ун-ту «Львівська політехніка», 2002. – 119 с.
152. Стахів П.Г. Підвищення ефективності алгоритмів побудови макромоделей об'єктів електроенергетичних систем / П. Г. Стахів, Ю. Я. Козак, О. П. Гоголюк // Технічна електродинаміка. – 2014. – № 5. С. 29–31.
153. Стахів П.Г. Адаптація макромоделей електротехнічних систем та їхніх складових до програмних засобів моделювання перехідних процесів / П.Г. Стахів, О.П. Гоголюк // Технічна електродинаміка. – 2012. – № 3. – С. 29–30.

154. Стогній Б. С. Інтелектуальні електричні мережі електроенергетичних систем та їхнє технологічне забезпечення / Б. С. Стогній, О. В. Кириленко, С. П. Денисюк // Техн. електродинаміка. – 2010. – № 6. – С. 44–50.
155. Sansawatt T. Integrating distributed generation using decentralised voltage regulation / T. Sansawatt, L. F. Ochoa, G. P. Harrison // IEEE Power and Energy Society General Meeting. – 2010 – P. 3–6.
156. Sungjin Lee, Beom Kwon, Sanghoon Lee. IEEE. (2014) Joint Energy Management System of Electric Supply and Demand in Houses and Buildings. Transactions on Power Systems, 29, 2804 – 2812. Seul.
157. Tanguy Hubert . Modeling for Residential Electricity Optimization in Dynamic Pricing Environments [Електронний ресурс] /, Santiago Grijalva // Atlanta. – 2012. Режим доступу: URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6377250/pdf>
158. Timbus, A. Evaluation of current controllers for distributed power generation system / A. Timbus, M. Lissner, R. Teodorescu, P. Rodriguez, F. Blaabjerg // IEEE Transactions on power electronics. – 2009. – V.24, № 3. – P. 654–664.
159. Turitsyn K. Local Control of Reactive Power by Distributed Photovoltaic Generators / K. Turitsyn, P. Sulc, S. Backhaus, M. Chertkov // Smart Grid Communications: First IEEE International Conference. – 2010. – P. 79–84.
160. Тульчин И. К. Электрические сети и электрооборудование жилых и общественных зданий / И. К. Тульчин, Г. И. Нудлер. М.: Энергоатомиздат, 1990. – 480 с.
161. Федер Е. Фрактали / Е. Федер ; пер. с англ. – М. : Мир, 1991. – 254 с.
162. Черкашина Г.І. Вирівнювання графіку електричного навантаження у побутовому секторі // Proceedings of the International Scientific and Practical Conference «Methodology of modern research (21-22 march, 2015) Abu Dhabi». – Dubai.: Rost Publishing, 2015. p.24–32.
163. Черкашина Г.И. Симметрирование режимов работы системы электро-снабжения бытового сектора // Энергетика. Энергосбережение. Энергоаудит.: –Харків : 2015. – №4. – С. 28–33.

164. Черкашина Г. И. Анализ характеристик электропотребления жилого дома / А.П. Лазуренко, Г.И. Черкашина // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ» – 2010. – №1. – С. 113–118.
165. Черненко П.А. Прогнозування добового графіка сумарного електричного навантаження електроенергетичної системи / П. А. Черненко, О.В. Мартинюк // Зб. наук. пр. ІЕД НАНУ, Київ – 2007 – № 18 – С. 57–65.
166. Черненко П.А. Прогнозирование суммарной нагрузки ЭЭС в экстремальных точках суточного графика / П.А. Черненко // Вісник націон.ун-ту “Львівська політехніка” № 596 – 2007. – С. 95–101.
167. Черненко П. О. Багаторівневе короткострокове прогнозування сумарного електричного навантаження енергооб’єднання / П. О. Черненко, О. В. Мартинюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2011. – № 2. – С. 74–80.
168. Черненко П. О. Підвищення ефективності короткострокового прогнозування електричного навантаження енергооб’єднання / П. О. Черненко, О. В. Мартинюк // Технічна електродинаміка. – 2012. – № 1. – С. 63–70.
169. Шидловський А.К. та ін. Енергетичні ресурси та потоки / А.К. Шидловський, О.В. Кириленко. – К.: Енциклопедичні знання, 2003. – 72 с.
170. Шидловський А. К. Паливно-енергетичний комплекс України в контексті глобальних електроенергетичних перетворень / А. К. Шидловський, Б. С. Стогній, М. М. Кулик. – К.: Українські енциклопедичні знання, 2004. – 468 с.
171. Шулле Ю. А. Прогнозування електричних навантажень з використанням г/s-аналізу часових рядів / Ю. А. Шулле // Вісник ВНТУ. – 2011. - № 6. – С. 53–56.
172. Шулле Ю. А. Прогнозування навантажень електротехнічних комплексів з використанням фрактального аналізу часових рядів / Ю. А. Шулле // V11 Міжнародна науково-практична конференція «Передові наукові розробки – 2011». – Прага. – 2011. С. 16–21.

173. Шулле Ю. А. Прогнозування електричних навантажень промислових підприємств з врахуванням фрактальних властивостей часового ряду спостережень / Ю. А. Шулле // XI Міжнародна конференція «Контроль і управління в складних системах». – 2012». Вінниця. – 2012. – С. 178–179.
174. Yuanxiong Guo. Optimal Power Management of Residential Customers in the Smart Grid [Електронний ресурс] / Yuanxiong Guo, Miao Pan, Yuguang Fang // Gainesville. – 2012. Режим доступу: URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6127869/pdf>.
175. Yi-Chung Hu. (2017). Electricity consumption prediction using a neural-network-based grey forecasting approach [Text] / Hu Yi-Chung // Journal of the Operational Research Society, 68, 10, 1259–1264.
176. Яндульський О. С. Оптимальне регулювання напруги в розподільній електричній мережі з джерелом розосередженого генерування з урахуванням їх належності одному власнику при використанні резерву активної потужності / О. С. Яндульський, Г. О. Труніна, А. Б. Нестерко // Вісник Кременчуцького національного університету. – 2015, № 2/91. – С. 50–54.

ДОДАТКИ

Додаток А

Експериментальні дані щодо моделювання електричного
навантаження жител 120-квартирного будинку з 17.10.2016 по 23.10.2016 р.

Таблиця А.1 – Дані погодинного електричного навантаження квартири № 1

Година доби	Понеділок	Вівторок	Середа	Четвер	П'ятниця	Субота	Неділя
1	1 760	420	460	1 810	1 700	970	1 470
2	1 610	70	350	1 570	1 210	90	660
3	190	70	70	220	150	80	130
4	80	80	120	70	130	80	80
5	80	80	450	70	80	80	320
6	80	290	100	80	70	290	80
7	1 670	80	100	290	100	80	90
8	1 620	610	1 010	190	460	90	110
9	900	1 980	2 000	1 460	1 240	1 230	360
10	830	940	1 880	1 680	1 750	1 610	640
11	70	50	610	1 530	1 210	1 760	1 070
12	100	30	70	1 150	70	1 450	360
13	430	30	60	70	60	310	70
14	90	30	60	60	90	240	510
15	60	250	60	60	190	240	830
16	70	40	280	60	390	370	160
17	320	40	60	280	60	720	800
18	230	50	60	60	70	990	1 890
19	550	460	60	60	70	1 230	2 140
20	1 000	640	280	230	480	400	2 110
21	530	560	1 340	1 310	1 020	620	2 300
22	820	550	950	1 860	1 970	1 610	1 280
23	1 490	1 780	490	1 910	1 850	1 670	1 410
24	1 710	640	730	1 450	1 630	1 360	1 680

Таблиця А.2 – Дані погодинного електричного навантаження квартири № 2

Година доби	Понеділок	Вівторок	Середа	Четвер	П'ятниця	Субота	Неділя
1	120	60	520	720	140	110	560
2	30	20	30	290	30	30	460
3	30	20	30	20	140	20	350
4	30	20	30	10	30	150	10
5	30	30	30	20	20	30	30
6	20	30	20	30	160	30	30
7	10	30	10	30	20	30	30
8	170	30	170	30	20	130	30
9	70	20	40	10	50	80	130
10	300	30	310	40	440	350	40
11	80	190	50	300	50	70	40
12	50	220	60	30	360	40	280
13	70	60	860	100	180	60	60
14	210	60	70	50	360	190	90
15	90	100	680	50	60	50	190
16	90	170	340	40	40	400	40
17	570	190	550	120	40	200	70
18	180	150	210	180	160	130	160
19	150	170	220	260	530	290	90
20	220	170	520	120	210	330	900
21	320	590	510	200	210	110	220
22	190	170	110	230	390	180	420
23	980	200	140	390	200	470	230
24	160	550	270	140	170	220	260

Таблиця А.3 – Дані погодинного електричного навантаження квартири № 3

Година доби	Понеділок	Вівторок	Середа	Четвер	П'ятниця	Субота	Неділя
1	430	430	530	430	470	300	300
2	250	350	320	310	290	220	240
3	200	270	280	270	290	210	210
4	210	280	280	280	290	210	260
5	220	280	280	280	300	220	240
6	200	270	270	270	330	220	190
7	450	270	400	270	460	220	210
8	370	250	560	400	480	200	210
9	530	370	440	350	440	190	200
10	160	270	220	240	200	250	370
11	180	270	260	250	200	360	460
12	180	270	230	220	200	290	380
13	180	270	210	210	270	360	490
14	180	280	210	210	250	340	420
15	170	280	200	200	200	310	520
16	170	270	210	210	210	310	420
17	180	270	210	210	200	350	380
18	180	270	200	200	200	490	570
19	1 640	1 290	420	440	210	470	690
20	1 260	820	700	570	210	430	710
21	730	1 450	730	580	200	570	1 210
22	450	470	470	550	480	410	870
23	390	400	400	540	640	450	650
24	410	430	470	690	460	360	500

Таблиця А.4 – Дані погодинного електричного навантаження квартири № 4

Година доби	Понеділок	Вівторок	Середа	Четвер	П'ятниця	Субота	Неділя
1	530	1 110	920	720	700	450	440
2	180	460	710	350	450	380	640
3	300	200	170	310	390	320	370
4	280	310	330	90	110	430	570
5	230	120	90	300	310	100	340
6	160	260	190	110	190	90	100
7	420	170	240	300	140	340	320
8	330	90	500	120	540	100	80
9	300	310	160	90	340	110	340
10	270	90	240	340	690	310	110
11	450	130	330	110	610	210	130
12	270	580	140	430	590	110	420
13	280	1 280	250	150	810	210	430
14	630	1 430	480	460	400	430	1 400
15	400	1 300	260	630	500	280	640
16	580	480	630	630	310	620	480
17	300	270	450	610	550	430	570
18	370	440	270	510	200	300	590
19	670	540	780	590	420	460	550
20	1 010	350	900	750	250	850	660
21	1 700	750	590	530	600	660	550
22	1 440	500	830	800	410	600	790
23	1 450	710	1 200	860	650	770	590
24	1 370	450	1 450	750	470	520	580

Таблиця А.5 – Дані погодинного електричного навантаження квартири № 5

Година доби	Понеділок	Вівторок	Середа	Четвер	П'ятниця	Субота	Неділя
1	250	60	60	1 430	610	60	50
2	60	50	80	1 440	200	60	40
3	70	440	480	180	140	80	60
4	60	140	60	50	70	200	40
5	1 060	290	870	1 060	60	130	490
6	270	1 040	520	290	400	520	270
7	40	40	40	130	160	40	100
8	40	40	40	60	120	40	100
9	40	40	40	40	120	50	70
10	50	40	40	40	140	50	50
11	540	40	420	530	350	290	60
12	40	510	220	60	790	310	570
13	40	40	50	40	550	650	40
14	40	440	50	40	160	180	100
15	110	1 230	930	50	130	170	460
16	1 190	60	1 330	690	130	120	50
17	210	110	740	840	520	150	50
18	210	110	230	320	150	470	40
19	170	160	210	1 180	130	390	40
20	380	1 440	210	200	240	140	920
21	1 490	680	120	150	180	700	190
22	540	140	380	360	720	130	110
23	140	140	1 530	370	80	1 270	120
24	100	90	1 490	780	490	920	80

Таблиця А.6 – Дані погодинного електричного навантаження квартири № 6

Година доби	Понеділок	Вівторок	Середа	Четвер	П'ятниця	Субота	Неділя
1	120	340	360	340	520	350	450
2	40	330	270	310	290	280	80
3	40	380	240	200	230	240	40
4	40	300	290	540	90	230	40
5	40	320	240	370	30	250	40
6	40	260	230	340	30	340	40
7	40	40	230	320	30	230	40
8	40	40	430	260	30	190	100
9	40	40	190	340	30	130	230
10	40	40	240	270	100	320	130
11	40	40	300	160	30	210	310
12	40	40	230	130	30	130	140
13	170	40	220	130	30	130	140
14	170	40	220	130	30	140	180
15	340	40	220	130	30	130	270
16	190	40	220	130	30	260	240
17	320	40	220	260	40	500	210
18	330	40	370	510	450	360	500
19	330	570	450	530	490	390	320
20	350	360	320	240	490	410	420
21	500	390	320	230	450	530	410
22	290	480	330	230	430	470	460
23	300	400	330	230	650	290	570
24	330	400	320	320	450	280	510

Таблиця А.7 – Дані погодинного електричного навантаження квартири № 7

Година доби	Понеділок	Вівторок	Середа	Четвер	П'ятниця	Субота	Неділя
1	60	40	0	0	50	100	50
2	40	40	20	40	10	60	0
3	10	20	30	0	40	100	40
4	30	0	0	50	0	50	10
5	20	50	50	0	50	30	10
6	0	0	0	30	0	20	30
7	300	40	20	10	70	10	0
8	100	90	40	10	130	40	50
9	40	10	20	170	60	50	0
10	30	40	50	20	90	80	100
11	90	0	40	60	90	30	480
12	30	50	40	10	40	130	1 470
13	50	0	50	70	90	40	1 440
14	0	60	60	80	80	90	1 090
15	50	60	100	120	130	40	50
16	0	30	20	70	30	70	30
17	110	100	80	100	110	30	120
18	70	60	80	80	90	90	30
19	80	100	120	390	130	90	90
20	110	110	120	1 490	60	90	30
21	110	130	130	1 480	160	130	90
22	130	180	120	1 300	60	90	70
23	0	80	110	160	80	130	110
24	60	80	30	130	70	30	10

Таблиця А.8 – Дані погодинного електричного навантаження квартири № 8

Година доби	Понеділок	Вівторок	Середа	Четвер	П'ятниця	Субота	Неділя
1	570	1 100	900	730	710	480	440
2	190	480	700	330	480	350	640
3	300	210	180	330	370	340	370
4	290	320	330	80	120	450	570
5	250	110	90	320	300	110	340
6	180	260	190	100	190	90	100
7	430	160	230	300	150	350	320
8	340	90	490	110	540	110	80
9	300	320	160	100	350	90	340
10	260	90	250	340	680	320	110
11	460	140	320	110	610	200	130
12	260	590	140	410	580	130	420
13	280	1 290	240	170	830	210	430
14	640	1 440	490	460	410	440	1 400
15	390	1 290	260	650	520	290	640
16	580	480	640	630	300	620	480
17	310	270	450	610	560	440	570
18	360	450	280	520	210	320	590
19	690	540	750	570	440	450	550
20	1 020	360	910	760	230	850	660
21	1 700	760	590	530	610	670	550
22	1 550	510	840	810	410	590	790
23	1 470	710	1 300	880	670	780	590
24	1 380	460	1 350	720	460	500	580

Таблиця А.9 – Дані погодинного електричного навантаження квартири № 9

Година доби	Понеділок	Вівторок	Середа	Четвер	П'ятниця	Субота	Неділя
1	1 540	1 540	210	1 490	1 600	1 520	1 370
2	1 530	1 310	70	450	470	650	440
3	1 060	250	70	110	60	140	160
4	230	120	70	90	60	90	130
5	140	140	70	90	70	80	110
6	160	140	70	100	80	120	120
7	140	990	70	280	80	100	160
8	850	790	80	170	90	1 250	340
9	550	540	50	120	380	750	180
10	1 380	2 680	140	690	410	260	490
11	1 840	2 470	630	1 110	1 030	1 370	1 170
12	2 050	2 210	2 930	2 040	830	1 680	440
13	1 140	860	3 410	840	770	1 280	780
14	270	440	2 310	390	600	570	220
15	1 610	210	1 300	300	240	430	70
16	1 480	650	630	610	420	430	130
17	1 790	1 740	390	390	480	850	580
18	1 120	2 100	620	410	250	760	1 460
19	1 670	410	740	1 600	1 180	460	1 150
20	1 050	680	390	1 650	1 320	420	940
21	1 100	620	1 090	1 420	470	1 230	820
22	1 300	700	1 680	1 480	1 080	1 790	750
23	1 680	1 400	1 570	790	1 030	1 590	1 610
24	1 770	1 600	1 160	1 260	1 420	1 460	1 520

Таблиця А.10 – Дані погодинного електричного навантаження квартири № 10

Година доби	Понеділок	Вівторок	Середа	Четвер	П'ятниця	Субота	Неділя
1	60	80	40	30	100	100	60
2	40	30	40	30	80	60	70
3	20	30	30	10	20	50	30
4	20	40	30	30	10	20	30
5	30	20	20	30	40	20	50
6	30	30	130	60	30	40	30
7	130	80	210	280	150	190	30
8	180	150	220	230	180	260	30
9	180	100	110	150	220	230	130
10	70	110	60	210	80	70	90
11	120	100	40	120	110	100	120
12	100	120	40	160	100	80	100
13	110	90	100	130	70	100	110
14	90	30	140	200	80	110	30
15	70	50	100	130	100	100	90
16	50	70	100	110	100	110	90
17	70	150	120	150	290	110	110
18	240	330	310	220	350	220	230
19	370	230	240	270	310	240	350
20	250	280	260	260	250	440	230
21	250	230	210	310	320	400	210
22	270	290	310	340	470	250	290
23	230	210	70	100	1 040	250	330
24	160	60	80	80	210	100	170

Таблиця А.11 – Дані погодинного електричного навантаження квартири № 11

Година доби	Понеділок	Вівторок	Середа	Четвер	П'ятниця	Субота	Неділя
1	310	50	50	90	270	40	100
2	190	50	50	40	200	40	90
3	140	50	50	50	50	50	50
4	140	50	40	50	50	40	50
5	150	40	50	40	50	40	50
6	150	60	40	50	50	50	50
7	220	240	200	160	210	40	180
8	300	240	300	370	250	40	190
9	230	60	190	250	110	170	220
10	260	120	90	60	140	400	350
11	100	120	90	50	200	890	950
12	50	60	160	160	300	810	280
13	180	160	150	150	160	470	50
14	150	150	150	220	150	390	50
15	150	330	140	120	140	230	40
16	180	280	150	130	410	340	60
17	370	840	260	160	270	590	420
18	400	430	400	280	390	630	420
19	360	370	360	190	540	710	330
20	340	340	280	270	470	530	310
21	350	360	240	390	340	610	300
22	330	320	100	390	330	310	280
23	180	310	100	600	260	130	140
24	50	260	100	380	90	100	50

Таблиця А.12 – Дані погодинного електричного навантаження квартири № 12

Година доби	Понеділок	Вівторок	Середа	Четвер	П'ятниця	Субота	Неділя
1	740	750	890	750	840	820	700
2	770	780	890	750	840	770	840
3	770	780	890	760	840	830	850
4	770	780	900	770	840	840	840
5	770	770	900	770	850	840	840
6	760	760	900	760	830	840	840
7	740	1140	840	730	780	830	830
8	800	320	770	720	690	810	830
9	1040	660	520	510	680	760	700
10	220	640	260	670	680	480	430
11	690	560	270	520	430	300	250
12	280	710	270	80	50	210	140
13	40	720	50	70	40	280	40
14	50	720	50	240	110	300	40
15	210	720	130	220	220	630	390
16	380	720	280	600	700	720	580
17	350	730	440	740	730	730	460
18	710	750	780	850	810	740	700
19	690	680	880	560	370	760	1060
20	690	730	800	720	740	760	330
21	710	720	850	900	800	740	730
22	730	740	860	690	790	770	750
23	750	740	860	850	810	790	1230
24	750	760	870	630	820	800	370

Додаток Б

Таблиця Б.1 – Вхідні апріорні дані щодо макромодельовання, фрактального R/S-аналізу електричного навантаження 216-квартирного будинку з 01.10.2017 р. по 25.10.2018 р.

Дата	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
01.10.2017	40	31	27	24	23	25	33	36	54	61	61	52	55	54	55	60	64	71	73	86	96	87	64	32
02.10.2017	41	32	27	25	24	32	58	61	53	57	44	44	42	50	52	46	47	53	63	84	83	79	72	32
03.10.2017	50	34	31	28	27	41	58	59	56	53	47	49	40	48	48	47	49	60	71	78	81	81	70	29
04.10.2017	44	34	32	32	30	42	63	72	60	53	44	47	49	43	46	52	56	64	73	78	86	83	71	32
05.10.2017	46	35	33	37	34	43	58	68	58	53	47	41	46	48	48	43	53	62	71	82	88	91	76	31
06.10.2017	39	27	24	25	27	37	57	66	65	60	57	49	47	50	45	43	54	69	61	67	75	73	63	27
07.10.2017	41	37	31	27	32	29	36	44	52	62	63	64	63	65	64	65	74	84	82	82	77	71	71	37
08.10.2017	62	40	31	31	30	33	36	47	63	71	75	72	66	71	67	77	76	82	92	94	94	91	79	33
09.10.2017	49	33	28	26	26	39	58	70	64	55	52	53	43	46	47	58	58	57	67	76	83	93	79	32
10.10.2017	49	34	34	32	31	44	63	70	63	63	57	48	43	47	43	46	50	60	71	87	84	86	86	33
11.10.2017	47	34	30	28	31	38	66	73	60	54	52	50	49	51	44	50	53	55	74	82	83	92	67	30
12.10.2017	46	37	29	29	29	39	52	65	67	60	50	54	53	48	47	54	51	57	65	85	85	82	71	31
13.10.2017	47	34	28	27	28	37	62	72	68	62	50	42	49	53	55	50	62	66	79	76	80	87	76	26
14.10.2017	44	35	29	29	27	32	37	52	63	69	67	60	62	63	61	57	61	62	74	79	77	74	62	27
15.10.2017	43	35	32	27	30	31	32	46	53	63	58	64	68	58	65	72	65	72	77	81	80	74	71	28
16.10.2017	48	34	31	27	30	30	37	49	62	77	75	79	69	64	70	72	66	72	78	91	92	101	81	31
17.10.2017	41	33	32	30	27	35	64	73	71	63	55	52	51	49	49	55	50	59	57	71	84	83	80	35
18.10.2017	47	33	27	27	28	37	63	77	70	65	48	42	55	50	54	46	53	63	74	77	85	81	82	33
19.10.2017	41	29	29	28	28	31	59	70	62	59	49	51	44	45	43	45	51	53	76	82	80	89	79	34
20.10.2017	49	34	27	27	29	40	60	67	58	55	50	50	51	51	52	52	61	65	75	79	75	84	75	31
21.10.2017	49	30	26	30	24	29	38	47	57	60	67	61	61	55	59	60	71	73	74	78	74	72	70	34
22.10.2017	52	37	29	29	26	28	37	38	61	74	71	74	71	71	70	71	71	73	95	103	91	95	84	36
23.10.2017	55	39	34	28	28	39	63	77	65	64	57	52	53	55	51	49	59	73	82	99	104	95	82	32
24.10.2017	47	37	30	30	28	38	61	73	68	63	61	64	55	61	66	61	62	77	92	94	97	99	87	44
25.10.2017	53	39	34	34	37	45	76	84	73	65	58	54	62	62	67	67	65	75	100	109	122	120	104	44
26.10.2017	67	45	41	39	32	45	69	85	69	67	65	67	67	58	58	67	67	76	96	107	108	108	97	46

Продовження таблиці Б.1																								
Дата	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
27.10.2017	60	48	39	37	36	46	65	75	75	67	61	57	47	54	57	59	61	78	91	96	101	106	97	49
28.10.2017	49	52	43	37	36	37	47	54	53	69	77	87	86	81	76	80	78	82	92	101	91	97	102	93
29.10.2017	45	66	51	41	39	40	51	65	81	80	72	68	68	66	70	88	100	111	103	108	111	100	78	35
30.10.2017	47	39	34	35	35	48	70	83	84	81	71	74	72	65	67	67	80	93	104	118	122	111	97	41
31.10.2017	63	49	43	41	43	55	79	84	77	86	79	75	75	70	75	83	86	104	124	119	115	120	110	47
01.11.2017	72	54	47	51	46	61	80	88	85	77	75	78	71	71	70	73	83	97	117	121	125	130	117	51
02.11.2017	68	56	50	48	49	55	77	91	87	83	74	64	62	67	64	64	82	89	97	101	104	106	98	42
03.11.2017	53	40	36	36	37	50	68	73	76	64	59	61	61	57	61	66	68	78	85	92	92	92	78	35
04.11.2017	54	36	32	32	33	38	49	60	61	76	72	70	69	64	69	61	69	84	91	88	90	92	86	40
05.11.2017	55	41	35	31	32	35	40	50	65	75	73	67	59	62	71	69	82	108	112	103	101	103	88	33
06.11.2017	46	38	32	28	35	44	70	81	68	57	54	54	56	52	53	58	65	77	86	95	97	95	93	33
07.11.2017	47	39	34	36	39	47	66	75	70	68	54	58	57	54	55	60	73	75	96	96	102	104	93	39
08.11.2017	50	30	32	32	30	39	64	80	68	56	57	51	58	51	50	59	68	80	92	88	86	94	83	35
09.11.2017	44	33	32	32	32	46	69	71	65	63	57	58	58	52	53	55	63	76	85	85	79	82	77	39
10.11.2017	50	35	27	27	27	40	59	71	71	59	54	51	55	56	47	50	74	76	84	82	93	82	69	32
11.11.2017	42	37	32	27	29	39	38	54	63	69	76	73	75	64	64	66	71	84	87	89	85	88	78	31
12.11.2017	48	37	33	31	31	37	39	52	66	73	66	60	60	71	65	69	78	91	88	101	103	94	79	33
13.11.2017	47	32	28	29	29	38	60	72	69	55	61	57	57	62	55	60	57	72	84	76	87	85	74	31
14.11.2017	40	29	25	27	26	35	54	71	64	57	47	47	46	52	55	58	61	75	79	81	86	88	83	33
15.11.2017	47	32	24	25	26	35	59	71	69	70	73	60	53	60	57	58	60	81	87	91	88	93	82	36
16.11.2017	45	32	24	24	26	39	57	77	62	54	29	25	18	45	34	34	35		54	55	58	65	83	37
17.11.2017	53	39	39	35	35	43	74	81	81	76	70	64	63	65	71	72	90	90	93	105	92	96	86	37
18.11.2017	58	41	36	29	33	46	64	68	87	82	73	74	80	83	85	84	91	96	86	94	92	86	83	39
19.11.2017	59	49	43	39	38	40	42	59	74	88	94	92	94	95	98	101	102	104	122	127	118	119	99	43
20.11.2017	61	47	41	39	42	58	74	92	73	40	37	89	72	68	62	66	82	101	102	105	112	121	109	44
21.11.2017	68	52	46	49	43	52	77	95	78	83	69	66	77	73	72	75	84	105	112	119	120	115	92	43
22.11.2017	59	42	39	38	42	48	70	79	74	71	59	54	51	58	54	61	70	83	89	91	89	91	80	39
23.11.2017	45	30	30	28	27	44	64	79	74	71	61	55	59	58	54	59	67	82	84	87	90	90	75	32

Продовження таблиці Б.1																								
Дата	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
24.11.2017	49	32	24	26	28	44	58	73	63	65	66	56	56	55	50	51	64	77	83	90	87	85	68	38
25.11.2017	46	35	28	26	27	32	42	47	70	77	70	67	67	73	68	73	82	84	79	83	88	83	70	33
26.11.2017	44	35	28	26	26	30	38	49	67	72	75	79	72	74	69	82	82	91	94	92	102	102	91	38
27.11.2017	50	36	28	25	27	38	61	76	68	65	60	62	65	57	68	64	67	81	84	91	88	90	78	33
28.11.2017	41	27	30	27	30	39	54	79	67	67	64	59	58	56	55	55	62	72	81	83	88	92	78	36
29.11.2017	50	36	27	26	29	40	58	69	66	64	58	58	63	57	34	34	39	44	50	51	50	47	38	19
30.11.2017	26	24	21	21	24	22	29	34	27	28	27	25	31	31	30	48	84	104	114	110	103	98	82	35
01.12.2017	51	35	30	26	35	39	53	67	71	74	64	60	62	65	55	60	65	82	82	84	89	88	78	33
02.12.2017	45	33	31	28	27	28	39	49	71	79	79	68	73	72	67	71	78	81	86	82	86	80	64	32
03.12.2017	54	44	34	29	34	34	33	43	67	74	76	73	73	70	77	78	88	95	96	93	101	103	89	41
04.12.2017	52	37	29	26	25	37	60	74	66	61	65	62	55	57	55	61	70	80	84	82	94	96	76	35
05.12.2017	45	30	27	24	27	37	54	70	60	65	66	61	60	61	59	60	76	88	87	92	83	84	82	36
06.12.2017	47	32	27	24	25	42	65	72	66	73	70	52	47	53	57	52	64	81	90	87	83	80	74	32
07.12.2017	46	29	27	23	26	34	54	64	68	65	62	58	57	63	56	59	69	80	86	86	83	84	73	29
08.12.2017	47	32	25	25	27	32	32	32	28	28	26	27	27	29	29	33	39	46	46	46	44	42	50	33
09.12.2017	60	41	31	29	30	33	46	64	95	98	97	84	90	80	74	79	84	92	91	86	89	81	74	35
10.12.2017	49	34	29	27	28	33	34	47	63	72	70	78	75	73	77	84	89	80	90	96	110	103	80	37
11.12.2017	46	34	28	30	29	37	58	67	77	70	65	67	69	70	56	62	73	79	80	82	86	88	77	35
12.12.2017	50	37	27	23	23	39	63	70	69	68	62	66	63	57	53	60	64	73	78	86	92	83	71	36
13.12.2017	49	32	27	26	30	38	56	74	69	59	58	55	51	46	49	52	59	80	82	78	80	81	77	38
14.12.2017	50	36	32	27	28	39	59	66	66	64	66	59	54	47	56	72	72	84	89	80	86	92	79	36
15.12.2017	52	36	31	25	27	40	49	71	72	66	60	50	53	50	52	54	71	79	87	80	78	79	69	32
16.12.2017	53	37	30	31	29	29	42	46	73	88	92	85	70	74	87	86	86	81	84	87	81	78	71	32
17.12.2017	55	39	34	30	28	31	38	42	61	84	75	75	82	81	81	87	93	95	91	97	100	97	85	43
18.12.2017	49	41	33	29	26	39	57	64	71	63	64	65	57	62	56	57	63	70	81	87	88	90	82	36
19.12.2017	55	34	25	30	29	42	53	70	75	69	64	53	57	51	56	64	69	68	76	84	81	88	84	36
20.12.2017	46	31	30	29	32	36	60	73	69	67	64	55	69	55	50	59	66	71	78	95	95	88	90	40
21.12.2017	50	36	28	29	30	40	56	65	79	74	60	58	64	64	53	60	71	81	89	90	94	86	77	34

Продовження таблиці Б.1																								
Дата	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
22.12.2017	49	33	27	27	31	42	54	63	78	74	59	56	58	57	58	61	68	76	87	93	89	81	70	31
23.12.2017	46	37	32	31	33	31	36	51	69	85	79	85	75	78	77	79	86	92	92	85	91	86	78	39
24.12.2017	55	44	37	29	30	36	39	47	66	81	85	81	84	82	76	69	82	88	83	88	94	88	84	39
25.12.2017	52	41	37	34	32	31	42	49	66	86	96	82	81	75	71	80	83	104	104	104	93	98	80	39
26.12.2017	50	38	31	28	33	40	57	71	72	81	70	64	67	65	64	65	67	73	83	95	97	93	84	40
27.12.2017	47	35	30	28	32	40	58	72	76	73	64	60	58	63	61	72	76	82	85	94	93	92	90	40
28.12.2017	51	39	30	25	30	43	51	66	72	76	66	56	64	70	67	69	72	81	87	89	99	90	82	37
29.12.2017	53	40	32	27	32	42	51	63	71	78	76	63	71	73	71	73	75	88	85	98	80	77	74	35
30.12.2017	54	39	28	26	31	31	38	50	69	92	92	95	92	88	79	90	94	98	102	111	108	99	86	43
31.12.2017	76	56	40	34	32	34	39	52	74	101	105	98	98	94	91	100	109	125	134	121	112	101	94	47
01.01.2018	69	56	46	43	41	36	35	35	47	59	72	81	68	68	65	62	66	84	85	77	78	77	73	35
02.01.2018	64	49	37	29	29	36	49	50	57	73	77	76	72	67	62	67	70	71	86	95	89	85	76	33
03.01.2018	54	33	27	31	31	37	50	56	64	72	64	56	59	66	60	66	69	80	91	82	95	80	74	32
04.01.2018	54	39	33	29	28	40	51	58	61	64	71	67	67	71	73	68	67	80	95	90	92	92	77	42
05.01.2018	53	41	32	29	29	39	59	60	73	73	49	64	66	66	67	64	71	94	89	95	84	95	79	34
06.01.2018	47	40	32	31	30	30	37	44	73	88	95	88	89	81	82	94	91	101	96	87	76	74	71	37
07.01.2018	58	40	34	30	33	30	37	43	51	68	73	79	77	77	68	62	75	77	77	71	69	78	74	33
08.01.2018	47	40	34	33	30	34	43	41	57	76	84	88	80	81	77	75	66	76	82	86	88	81	75	36
09.01.2018	59	39	32	26	29	36	52	62	65	69	65	64	63	61	56	58	56	75	80	92	93	94	87	39
10.01.2018	52	39	30	27	28	38	51	66	61	64	65	64	66	67	62	63	66	75	85	88	91	94	80	37
11.01.2018	55	37	28	28	30	38	51	54	57	61	59	56	66	62	58	67	77	82	79	79	81	86	85	39
12.01.2018	46	34	34	29	26	36	54	59	63	69	67	63	71	67	62	65	76	84	84	88	91	84	67	32
13.01.2018	48	42	35	26	27	30	43	46	62	78	80	79	74	75	82	83	93	91	86	72	78	84	71	38
14.01.2018	56	40	30	25	27	29	32	42	62	71	74	86	79	77	79	76	80	88	93	105	99	93	87	42
15.01.2018	55	40	31	30	30	45	50	61	77	73	64	65	66	76	70	57	63	73	89	92	94	93	85	35
16.01.2018	50	35	32	27	30	38	58	59	65	65	71	71	62	63	63	68	67	85	95	89	88	84	73	34
17.01.2018	58	37	31	30	33	41	56	68	65	74	76	74	70	59	57	66	69	80	89	87	102	97	78	33
18.01.2018	56	41	34	30	30	40	49	59	59	66	65	70	74	78	72	72	71	90	102	93	88	89	75	36

Продовження таблиці Б.1																								
Дата	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
19.01.2018	53	43	32	31	35	40	53	57	61	65	64	54	65	63	62	66	64	78	83	81	78	78	71	32
20.01.2018	54	39	25	26	27	33	37	50	71	81	76	80	74	87	82	76	88	91	90	85	91	86	79	36
21.01.2018	53	43	39	29	29	31	42	47	69	86	90	76	78	68	69	75	95	89	92	104	99	105	89	38
22.01.2018	53	42	33	30	28	43	58	76	73	74	69	68	79	76	71	70	56	75	88	84	95	91	83	39
23.01.2018	50	38	32	25	35	35	54	75	76	77	69	58	62	66	68	59	67	88	89	89	92	90	87	41
24.01.2018	56	40	34	33	33	43	63	69	74	81	75	69	65	71	57	56	54	75	84	92	94	94	85	35
25.01.2018	52	35	32	31	29	40	60	77	79	78	62	56	60	56	52	64	69	85	83	84	88	101	86	38
26.01.2018	51	38	32	29	27	42	66	76	70	79	90	64	63	69	63	64	72	84	90	89	93	85	75	34
27.01.2018	56	41	32	28	30	32	41	47	66	85	79	69	77	80	76	71	80	81	84	85	84	79	81	41
28.01.2018	58	43	36	28	31	32	41	47	72	87	97	83	85	83	80	86	93	89	100	112	117	108	87	42
29.01.2018	62	43	32	27	28	40	68	73	81	74	75	61	59	68	62	59	59	83	91	101	98	102	86	38
30.01.2018	54	36	28	27	30	40	64	77	76	70	69	66	67	73	72	67	64	83	99	96	104	114	84	34
31.01.2018	47	36	31	29	34	43	63	75	82	76	57	64	58	60	61	61	59	75	99	95	96	106	88	40
01.02.2018	51	38	30	25	28	39	62	78	84	66	67	63	70	68	63	64	64	86	96	99	108	104	99	44
02.02.2018	49	37	29	27	29	40	66	87	75	80	70	62	66	66	67	69	66	82	95	89	90	101	75	33
03.02.2018	51	41	30	29	28	38	45	55	74	86	93	85	77	74	85	77	80	92	92	87	89	93	82	40
04.02.2018	54	36	35	29	32	37	41	48	62	93	94	80	82	95	88	86	93	95	106	122	111	104	103	45
05.02.2018	58	38	29	28	33	39	55	79	77	70	64	60	66	65	64	68	77	91	91	97	102	103	86	37
06.02.2018	50	34	29	28	30	43	65	77	74	75	74	65	55	61	55	60	69	84	91	92	92	96	84	36
07.02.2018	45	40	29	28	30	44	67	80	69	68	69	61	61	60	68	59	63	78	81	90	96	103	85	38
08.02.2018	47	37	31	30	32	38	62	80	78	74	66	61	57	53	56	61	64	79	95	98	107	99	92	43
09.02.2018	50	39	30	31	29	34	65	77	83	83	78	57	58	62	57	68	77	80	86	96	99	95	87	37
10.02.2018	53	38	34	29	29	33	48	53	77	80	86	91	78	73	76	81	79	87	101	97	89	89	83	40
11.02.2018	64	45	37	32	29	34	40	44	69	87	90	91	96	85	81	79	84	91	103	104	114	105	89	37
12.02.2018	55	40	34	33	35	44	60	74	70	73	72	57	53	57	64	67	70	79	84	84	93	105	92	45
13.02.2018	54	38	34	33	29	37	65	78	73	74	74	60	70	64	69	69	62	77	98	98	101	101	86	40
14.02.2018	59	34	32	29	32	39	61	75	77	80	68	67	62	62	62	65	70	88	89	95	103	96	80	35
15.02.2018	56	38	33	30	34	40	64	69	67	66	64	71	65	67	64	68	71	76	89	91	84	83	70	35

Продовження таблиці Б.1																								
Дата	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
16.02.2018	44	38	33	30	31	40	63	74	73	70	59	72	66	65	68	66	70	77	86	83	91	91	78	39
17.02.2018	57	39	34	31	31	34	41	51	72	92	97	84	84	89	89	93	94	99	92	96	93	97	87	42
18.02.2018	59	47	34	32	32	35	43	52	73	91	89	80	74	72	59	68	69	81	101	108	100	106	93	41
19.02.2018	59	40	33	31	33	41	54	75	75	68	73	69	73	71	65	61	66	78	85	94	86	87	76	35
20.02.2018	49	39	30	30	30	41	59	74	79	72	63	64	66	68	69	65	64	71	92	96	87	85	78	37
21.02.2018	49	34	31	28	30	37	54	76	79	70	69	67	63	59	62	64	67	70	81	84	95	91	81	43
22.02.2018	52	39	30	30	30	40	58	78	84	75	71	64	72	64	61	71	75	76	83	104	102	92	78	36
23.02.2018	53	41	33	26	30	41	63	81	73	67	67	57	64	64	71	67	65	74	87	88	85	84	73	34
24.02.2018	55	40	31	26	30	31	34	51	73	89	98	94	89	85	78	80	83	90	88	88	80	81	79	38
25.02.2018	55	39	31	31	33	35	40	51	73	90	94	93	90	86	85	90	84	84	92	109	116	101	85	39
26.02.2018	52	36	30	31	34	42	56	80	71	69	67	71	73	63	71	61	58	75	83	86	96	98	86	37
27.02.2018	50	41	32	33	35	42	58	79	79	82	73	69	73	75	74	73	75	84	94	98	104	94	80	40
28.02.2018	57	42	36	34	41	45	61	74	72	73	73	79	68	68	66	70	80	98	108	113	102	99	87	39
01.03.2018	56	38	36	35	36	44	66	70	74	78	84	84	82	88	85	76	83	85	89	99	115	110	85	35
02.03.2018	49	39	33	31	34	45	65	83	81	74	70	68	71	68	66	77	87	83	92	96	94	90	85	41
03.03.2018	52	36	32	31	34	38	53	69	80	80	85	84	81	81	74	80	86	83	89	92	88	90	81	37
04.03.2018	58	45	35	32	34	35	44	54	73	86	98	89	86	88	81	81	81	83	103	120	120	108	92	41
05.03.2018	52	37	33	30	33	44	69	84	88	80	75	73	62	65	61	67	68	75	97	100	105	89	85	37
06.03.2018	45	39	34	30	32	43	72	84	74	70	62	61	65	64	62	60	57	70	84	98	96	94	88	38
07.03.2018	55	37	36	30	35	41	66	77	74	70	67	67	66	63	60	68	74	76	89	85	85	87	78	34
08.03.2018	60	41	30	32	32	32	42	64	84	89	93	91	90	78	74	79	77	81	83	86	88	75	77	38
09.03.2018	53	38	33	31	28	35	49	63	70	79	78	83	69	69	71	79	71	73	87	92	81	78	75	34
10.03.2018	48	45	36	30	29	32	42	55	76	78	87	80	86	89	72	79	78	72	76	92	91	87	78	32
11.03.2018	56	41	39	31	31	32	35	55	65	77	90	78	77	82	81	86	82	88	98	103	99	110	96	36
12.03.2018	50	40	30	29	30	38	62	73	71	71	75	61	57	63	58	66	63	69	88	88	90	93	79	31
13.03.2018	46	33	32	27	30	36	65	75	76	73	65	59	60	53	55	66	78	75	88	92	91	83	80	37
14.03.2018	56	39	32	28	31	39	64	71	70	69	64	64	59	57	56	67	60	69	79	87	90	84	74	36
15.03.2018	49	39	28	33	31	38	65	76	69	64	62	51	57	59	61	66	72	76	82	87	96	97	72	32

Продовження таблиці Б.1																								
Дата	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
16.03.2018	50	32	29	29	31	42	60	73	61	69	65	61	60	59	58	63	64	68	82	93	98	97	80	31
17.03.2018	42	36	29	33	28	29	42	58	76	86	85	75	87	83	77	81	85	90	96	97	99	95	76	34
18.03.2018	47	34	32	28	29	31	44	56	70	86	82	75	84	82	77	75	88	95	87	96	95	95	89	41
19.03.2018	53	41	31	30	28	35	59	73	74	75	68	66	72	69	71	69	62	69	91	92	87	92	81	34
20.03.2018	44	31	27	27	30	39	65	72	69	65	61	61	62	63	64	72	73	83	94	90	91	87	78	30
21.03.2018	48	38	28	27	33	44	72	79	77	72	61	60	71	62	60	63	72	77	82	84	94	101	78	35
22.03.2018	43	35	30	28	29	41	69	75	76	64	59	56	55	52	55	60	67	73	86	96	95	90	83	40
23.03.2018	53	39	31	29	30	42	68	83	70	59	60	56	63	63	63	75	87	77	86	84	81	79	73	31
24.03.2018	51	40	32	32	27	37	51	60	84	101	87	79	71	73	75	80	76	86	84	85	97	85	72	33
25.03.2018	52	37	16	34	32	39	42	59	75	80	77	81	75	75	78	80	79	87	101	95	102	92	40	
26.03.2018	52	40	31	29	32	39	60	73	79	80	73	66	74	69	69	76	70	75	84	88	92	96	80	36
27.03.2018	55	40	36	33	34	38	57	65	70	75	68	71	65	70	61	65	62	76	82	97	98	96	83	39
28.03.2018	58	38	29	28	30	42	58	68	75	77	67	62	59	57	66	60	54	68	79	82	93	90	79	36
29.03.2018	55	33	30	30	31	36	49	61	75	76	66	66	68	71	71	64	63	76	84	78	90	97	79	32
30.03.2018	44	32	35	33	33	43	53	59	70	71	74	69	69	62	56	70	78	76	81	84	94	96	85	34
31.03.2018	49	38	35	31	29	34	42	52	70	82	87	85	73	85	81	71	73	70	83	94	88	81	76	32
01.04.2018	56	48	37	29	29	38	36	50	59	70	72	65	72	76	81	75	72	78	81	93	105	106	90	35
02.04.2018	48	39	31	30	26	41	63	79	75	63	58	62	61	59	62	63	66	74	77	81	100	106	94	42
03.04.2018	49	37	29	31	34	44	67	81	73	67	63	56	59	65	63	60	64	75	81	90	105	105	93	41
04.04.2018	55	39	30	30	33	39	74	82	69	71	70	63	61	63	70	67	72	80	92	99	107	112	88	35
05.04.2018	54	42	35	29	31	42	74	91	76	74	70	67	74	66	66	90	80	88	96	110	121	126	113	52
06.04.2018	68	47	44	37	36	51	81	83	67	62	68	66	65	59	68	70	70	75	75	84	97	102	92	42
07.04.2018	62	40	33	39	40	36	50	67	84	85	81	82	84	77	71	68	80	81	79	84	105	94	97	41
08.04.2018	57	45	37	39	46	41	51	56	66	71	80	73	68	64	59	56	59	55	63	68	83	86	76	32
09.04.2018	49	36	30	31	29	31	38	52	72	78	70	74	68	65	64	68	75	69	75	90	96	98	81	34
10.04.2018	53	37	29	26	27	38	70	77	70	62	55	51	56	59	56	59	63	69	70	91	103	96	80	33
11.04.2018	49	38	27	28	34	44	65	80	68	55	52	56	50	59	54	62	59	57	75	85	91	93	91	36
12.04.2018	48	34	30	36	34	41	69	80	72	68	62	58	60	59	57	57	63	75	79	88	85	97	83	37

Продовження таблиці Б.1																								
Дата	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
13.04.2018	55	34	27	25	29	39	66	74	70	67	55	51	52	55	53	54	57	61	63	83	89	82	78	36
14.04.2018	43	33	28	28	29	33	45	63	70	75	77	63	67	67	71	62	71	73	88	87	95	94	82	36
15.04.2018	50	40	33	31	28	31	48	61	85	80	65	60	61	61	61	63	69	59	64	75	89	102	88	38
16.04.2018	52	35	27	29	30	39	63	82	72	62	59	57	49	53	62	66	67	68	79	75	78	90	82	32
17.04.2018	42	30	27	27	27	34	57	76	66	65	55	50	56	62	50	58	56	64	69	76	93	98	78	34
18.04.2018	50	33	25	29	28	36	67	70	68	63	63	65	63	65	57	55	56	66	70	79	101	94	80	36
19.04.2018	48	30	26	25	28	37	64	81	69	61	55	52	51	46	47	55	59	67	74	82	89	102	75	33
20.04.2018	52	32	27	25	27	35	65	81	72	65	59	62	59	63	55	57	54	60	72	77	90	92	82	31
21.04.2018	51	37	30	29	30	30	46	60	83	88	66	64	66	68	65	60	57	71	72	76	86	84	77	31
22.04.2018	46	32	30	29	26	31	39	48	62	73	70	76	69	65	64	74	82	65	74	90	94	100	91	37
23.04.2018	50	33	33	27	30	38	58	74	72	69	62	54	57	51	52	51	54	71	74	74	91	97	82	32
24.04.2018	45	29	27	27	25	35	62	80	70	62	59	52	49	51	52	50	58	61	71	78	84	88	77	34
25.04.2018	41	35	29	27	26	41	61	68	67	62	50	51	54	51	51	54	58	56	63	78	85	86	81	35
26.04.2018	48	33	30	29	31	39	62	78	71	72	63	53	58	50	45	45	50	63	69	78	78	87	75	33
27.04.2018	41	30	25	29	27	34	63	70	61	67	50	48	51	52	52	48	56	59	64	68	81	83	81	33
28.04.2018	45	30	28	25	28	33	46	64	62	84	66	64	64	58	65	60	64	71	72	75	73	77	75	34
29.04.2018	49	33	25	24	25	27	42	52	63	72	70	65	62	54	57	50	55	61	68	65	71	74	65	30
30.04.2018	44	28	23	25	26	36	52	64	76	73	66	65	68	65	64	56	55	62	69	70	70	74	73	31
01.05.2018	46	29	27	27	26	29	45	47	65	84	75	59	59	50	54	53	60	63	74	74	81	86	70	30
02.05.2018	46	37	34	29	29	35	62	70	59	53	56	50	53	46	47	46	49	56	64	62	78	87	73	27
03.05.2018	39	29	29	31	26	38	60	67	61	59	48	47	46	52	48	46	54	59	68	68	77	82	70	30
04.05.2018	45	32	28	30	24	37	61	68	64	63	49	44	51	49	48	48	52	53	54	64	73	85	72	32
05.05.2018	42	33	28	28	28	32	49	63	68	63	56	60	63	56	55	57	58	56	71	72	79	87	77	32
06.05.2018	50	37	28	25	30	29	35	46	62	79	66	61	66	66	63	62	73	76	77	72	79	87	74	29
07.05.2018	40	31	29	25	25	36	55	62	60	53	51	54	48	44	46	50	57	61	64	66	73	75	64	29
08.05.2018	47	30	27	27	27	32	58	62	55	57	46	46	50	57	50	50	54	63	69	72	79	83	69	30
09.05.2018	45	31	28	25	26	30	38	48	71	75	60	63	71	59	61	59	62	64	69	72	77	83	76	30
10.05.2018	44	35	27	25	29	35	57	60	55	55	48	59	55	52	49	54	54	60	59	61	71	74	72	33

Продовження таблиці Б.1																								
Дата	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
11.05.2018	41	29	26	25	25	38	52	61	57	54	53	45	58	49	47	58	58	52	61	68	72	72	72	31
12.05.2018	44	35	26	24	26	30	42	48	64	69	59	62	66	58	61	69	68	62	65	65	74	78	74	28
13.05.2018	43	31	30	25	28	28	42	47	57	56	62	62	59	67	62	63	72	68	63	77	86	94	88	34
14.05.2018	46	32	26	26	25	38	51	64	57	61	51	53	50	51	47	50	50	58	59	70	75	86	75	28
15.05.2018	44	30	27	22	26	32	53	60	65	60	49	48	44	42	50	50	52	54	59	67	81	80	78	34
16.05.2018	46	35	27	25	27	36	52	65	53	56	51	54	49	51	49	48	46	51	60	69	75	90	78	31
17.05.2018	39	30	26	24	25	33	51	59	65	52	50	49	57	49	52	53	55	63	70	69	70	74	64	31
18.05.2018	41	32	29	27	24	33	56	62	74	58	55	50	47	52	48	49	56	61	58	66	74	80	68	31
19.05.2018	44	31	27	29	30	30	34	51	62	75	78	64	68	66	67	58	58	56	58	63	68	69	61	27
20.05.2018	46	35	30	28	24	29	39	41	57	65	66	60	65	58	66	58	64	73	69	71	81	89	72	31
21.05.2018	46	33	29	26	27	35	61	72	61	51	47	42	46	46	52	46	47	57	57	62	65	79	76	33
22.05.2018	46	30	27	26	26	35	62	65	55	58	56	45	48	50	52	49	56	67	67	68	73	82	76	33
23.05.2018	42	30	25	24	23	43	59	60	58	53	46	45	48	50	48	47	51	58	61	61	72	94	86	36
24.05.2018	44	36	28	26	26	38	53	60	58	54	44	47	48	52	52	52	45	56	60	59	63	86	83	34
25.05.2018	43	28	29	26	27	39	47	73	62	56	48	43	50	52	56	46	55	55	57	65	64	78	69	29
26.05.2018	54	38	32	26	32	36	42	55	63	60	68	70	64	64	65	66	62	63	64	78	77	77	69	32
27.05.2018	40	34	27	28	28	31	35	49	50	57	53	51	58	63	57	53	52	55	59	62	54	56	58	28
28.05.2018	39	32	32	28	26	32	36	43	51	60	55	60	61	61	58	58	55	68	69	59	68	85	73	32
29.05.2018	48	34	31	26	30	41	57	65	57	54	46	43	53	53	49	55	57	56	62	68	63	73	74	31
30.05.2018	46	37	29	26	26	37	52	54	56	54	54	44	44	50	52	49	51	56	60	60	69	78	76	36
31.05.2018	45	34	29	26	28	42	53	59	57	56	53	49	47	49	53	49	44	50	64	68	67	77	70	32
01.06.2018	42	28	25	27	28	36	54	61	57	60	43	49	51	49	52	52	59	54	56	62	66	70	68	31
02.06.2018	41	32	27	29	27	31	39	54	68	65	65	58	56	60	60	58	61	57	58	62	61	69	72	35
03.06.2018	46	31	27	24	23	30	37	45	56	60	68	57	58	57	59	57	56	63	69	63	66	82	78	33
04.06.2018	44	27	29	24	28	33	51	56	56	59	48	44	44	52	48	50	45	58	56	67	66	81	70	32
05.06.2018	48	34	33	27	27	40	54	60	56	45	26	27	26	30	29	27	29	33	38	74	84	88	78	32
06.06.2018	43	30	28	26	25	38	49	62	64	49	45	45	45	51	62	48	52	55	55	64	62	69	68	33
07.06.2018	41	32	26	27	25	38	52	57	53	48	46	42	43	45	53	50	47	56	55	63	72	79	74	29

Продовження таблиці Б.1																								
Дата	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
08.06.2018	40	29	27	24	28	40	54	59	48	45	45	47	49	46	49	45	50	60	64	62	56	66	64	28
09.06.2018	39	31	28	25	25	31	39	38	54	57	47	46	56	52	49	48	46	54	58	57	55	57	61	25
10.06.2018	40	35	30	23	22	27	33	44	58	61	52	51	51	54	58	62	63	62	64	66	69	71	61	25
11.06.2018	37	29	27	25	25	35	50	56	52	48	47	42	45	47	44	46	44	50	58	58	57	70	65	29
12.06.2018	39	32	27	24	26	36	51	48	43	46	46	44	45	41	43	47	50	59	57	59	70	69	66	27
13.06.2018	42	33	25	23	24	33	52	49	47	44	44	45	50	49	49	52	57	56	63	65	67	67	68	31
14.06.2018	46	32	28	29	25	39	50	52	47	50	41	43	46	44	46	47	46	61	63	62	67	67	68	34
15.06.2018	42	35	29	27	28	34	51	49	55	45	41	43	50	48	52	50	57	59	64	64	69	74	72	34
16.06.2018	43	35	30	30	27	30	39	49	50	51	53	61	55	55	57	53	54	55	60	66	68	65	62	28
17.06.2018	48	35	31	27	25	29	32	44	56	50	57	54	48	55	54	58	61	62	62	64	73	76	70	26
18.06.2018	45	34	30	30	30	34	46	49	55	56	51	49	53	49	51	53	53	57	59	66	65	73	68	31
19.06.2018	43	37	29	26	27	33	46	51	46	49	40	46	50	49	43	45	49	52	70	72	74	79	67	31
20.06.2018	39	35	27	27	26	37	52	55	54	49	39	45	49	52	56	52	58	64	62	69	74	82	70	32
21.06.2018	43	37	31	27	28	39	52	51	53	43	49	55	53	54	52	56	56	60	64	67	74	85	75	32
22.06.2018	44	36	32	30	31	41	50	50	50	50	44	49	55	57	50	50	51	63	67	67	70	70	67	29
23.06.2018	46	37	32	30	29	38	44	44	50	54	51	55	52	54	51	53	58	60	68	67	59	70	61	27
24.06.2018	40	30	29	23	25	26	32	45	56	53	50	55	57	47	51	51	51	53	58	67	63	73	70	28
25.06.2018	45	31	29	28	27	32	44	48	52	45	47	51	50	50	46	49	51	52	54	60	55	68	64	30
26.06.2018	42	27	28	26	28	36	47	46	46	42	43	53	52	47	44	46	45	54	60	65	64	68	69	28
27.06.2018	39	28	25	25	29	32	44	50	48	47	43	45	50	51	48	53	48	51	56	55	58	69	67	31
28.06.2018	41	30	28	26	27	28	36	41	48	55	57	62	58	64	65	66	61	65	68	73	62	71	74	32
29.06.2018	47	35	31	32	30	30	34	40	56	60	54	49	50	60	58	54	62	68	65	71	67	65	64	29
30.06.2018	43	35	29	25	26	31	36	47	45	64	60	57	53	55	57	59	60	67	69	68	59	71	66	30
01.07.2018	49	36	32	30	24	26	34	41	53	59	57	55	57	61	62	56	61	63	68	58	68	71	68	28
02.07.2018	36	28	28	28	26	31	46	50	49	47	46	45	45	48	50	46	49	57	57	59	60	72	65	30
03.07.2018	36	28	26	25	26	32	48	50	49	45	44	44	49	52	46	46	44	47	52	55	65	82	74	33
04.07.2018	48	34	27	25	24	31	50	50	45	49	49	52	50	57	54	44	48	50	52	62	69	76	65	27
05.07.2018	38	32	27	26	26	34	43	49	49	51	49	48	53	55	53	51	48	50	61	56	59	68	70	29

Продовження таблиці Б.1																								
Дата	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
06.07.2018	39	30	31	24	25	34	52	52	48	48	47	44	47	58	51	50	51	52	65	67	62	73	66	32
07.07.2018	45	31	33	24	29	33	39	46	48	53	50	54	59	67	59	55	64	54	57	64	66	69	71	34
08.07.2018	53	35	30	26	28	29	32	42	51	48	50	51	55	61	67	59	60	58	71	76	82	78	67	34
09.07.2018	45	35	26	25	28	40	50	49	48	51	46	49	56	57	57	49	47	55	62	65	76	85	76	35
10.07.2018	49	34	30	28	26	34	46	49	44	51	51	50	59	57	56	56	53	55	64	71	86	80	71	35
11.07.2018	43	37	27	29	28	41	51	46	52	56	56	56	65	67	59	65	60	59	74	81	72	83	77	35
12.07.2018	52	38	36	31	30	33	46	52	50	58	56	56	67	69	69	63	69	74	79	75	80	86	79	37
13.07.2018	51	39	32	32	32	41	54	52	58	59	60	58	66	70	70	64	66	74	68	63	72	78	81	36
14.07.2018	50	33	32	30	31	31	37	46	54	62	66	57	63	68	68	66	65	66	68	72	78	79	76	36
15.07.2018	47	40	33	28	31	30	41	48	55	63	60	58	60	65	62	57	64	68	65	66	73	78	80	34
16.07.2018	43	35	30	27	28	32	52	50	54	51	51	50	53	56	59	57	55	62	65	61	63	80	74	35
17.07.2018	47	34	29	28	30	35	48	48	53	54	54	55	53	59	56	55	58	66	63	64	65	79	76	33
18.07.2018	51	37	28	26	30	37	48	49	56	52	49	55	60	59	55	57	59	61	74	65	75	77	62	31
19.07.2018	44	32	29	29	29	37	51	55	61	53	45	43	56	56	60	57	59	57	66	68	63	82	73	34
20.07.2018	48	37	34	27	30	34	45	53	53	55	43	49	59	57	62	52	57	58	61	73	78	80	79	37
21.07.2018	51	43	33	35	32	31	41	45	54	62	63	60	59	65	68	63	68	78	80	80	79	84	78	36
22.07.2018	47	37	34	31	28	28	36	49	56	60	60	61	65	62	64	66	71	71	80	87	85	80	77	33
23.07.2018	43	33	30	30	31	36	44	53	60	64	54	57	51	62	69	68	66	76	74	79	86	85	86	38
24.07.2018	49	37	32	31	31	39	49	52	62	56	51	56	65	73	64	77	71	73	80	80	89	85	82	36
25.07.2018	45	33	32	31	31	33	45	55	62	60	60	56	60	64	61	58	58	69	72	70	78	82	81	34
26.07.2018	52	35	28	27	28	34	46	47	55	55	51	56	60	53	61	61	59	69	74	78	76	83	78	32
27.07.2018	48	34	30	29	31	35	50	48	52	61	61	57	58	54	54	57	63	57	60	68	69	82	73	29
28.07.2018	45	35	31	30	29	31	38	47	59	65	60	66	71	77	68	69	71	74	82	83	76	67	63	34
29.07.2018	61	43	37	34	32	30	38	48	56	58	58	65	72	75	71	66	69	78	73	77	84	93	89	35
30.07.2018	50	39	35	33	32	38	46	52	55	59	59	63	69	71	71	62	71	79	75	75	82	92	86	35
31.07.2018	52	43	35	31	32	38	45	49	54	61	60	63	65	72	76	76	69	69	76	77	90	100	83	36
01.08.2018	50	42	38	34	34	36	44	50	52	59	64	60	70	73	67	65	67	65	74	75	83	87	76	35
02.08.2018	49	38	31	33	31	40	49	54	59	60	58	58	64	61	71	65	68	67	69	74	80	84	80	34

Продовження таблиці Б.1																								
Дата	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
03.08.2018	50	41	32	32	30	38	48	47	53	60	56	51	60	71	59	62	62	79	74	78	82	85	72	33
04.08.2018	50	38	30	31	34	37	42	51	58	65	65	68	68	71	70	81	78	76	82	81	84	81	77	36
05.08.2018	52	42	37	33	31	32	33	45	56	71	71	69	73	76	77	77	77	77	75	83	89	86	76	36
06.08.2018	55	40	35	33	30	35	47	56	58	69	61	66	64	72	71	71	66	79	80	78	89	102	86	37
07.08.2018	50	41	35	33	34	33	45	54	58	62	55	53	61	68	68	71	72	71	71	81	84	90	82	34
08.08.2018	45	33	32	31	28	35	48	50	62	54	55	53	61	63	60	61	60	64	63	66	78	97	78	34
09.08.2018	44	35	32	31	27	30	45	53	58	62	51	53	50	52	58	57	58	70	65	65	75	77	79	37
10.08.2018	54	36	34	30	27	35	45	51	55	67	56	48	52	56	59	59	61	59	57	70	83	85	72	34
11.08.2018	49	37	33	32	30	30	35	50	50	57	63	58	62	68	62	65	62	62	62	68	66	78	76	32
12.08.2018	49	38	30	28	25	31	33	43	52	65	59	60	66	67	60	74	65	66	75	76	82	93	83	35
13.08.2018	46	37	33	33	28	34	47	57	61	63	59	58	64	64	63	62	73	73	67	72	91	98	79	33
14.08.2018	52	37	31	30	29	32	45	52	56	60	59	59	65	65	66	62	61	63	66	74	87	100	89	37
15.08.2018	52	39	35	32	30	33	51	55	61	57	55	53	60	70	63	61	66	67	66	72	83	92	82	36
16.08.2018	50	43	38	33	29	34	50	55	54	55	52	59	70	67	70	72	66	78	74	81	103	104	85	32
17.08.2018	54	40	35	34	34	36	55	60	61	64	57	57	70	73	76	73	75	78	72	86	98	101	90	41
18.08.2018	53	48	43	39	34	38	47	52	62	66	68	67	70	86	89	86	79	77	75	85	88	86	76	34
19.08.2018	47	40	38	33	29	33	39	44	56	57	59	58	57	69	72	69	66	79	77	76	76	78	80	35
20.08.2018	51	37	34	33	32	32	48	57	58	59	54	54	62	63	58	62	58	63	65	68	81	83	74	34
21.08.2018	47	37	33	31	29	34	45	55	55	51	48	49	56	56	63	63	58	68	66	75	82	82	68	30
22.08.2018	40	31	30	27	27	30	45	52	58	56	51	55	60	64	63	62	58	59	64	69	88	85	78	30
23.08.2018	42	35	33	29	27	35	50	57	53	44	43	49	47	49	55	51	66	68	60	65	83	83	69	29
24.08.2018	45	33	27	28	25	31	43	45	54	58	61	51	58	63	68	59	55	65	65	73	76	70	65	27
25.08.2018	47	35	32	28	29	30	41	47	53	56	61	54	60	65	62	60	56	68	64	72	83	79	74	30
26.08.2018	44	32	29	29	30	33	37	50	53	66	59	55	55	61	60	59	62	60	65	80	83	75	68	29
27.08.2018	44	31	27	30	28	32	41	52	52	56	51	53	50	53	59	59	61	66	61	69	76	74	63	27
28.08.2018	40	30	28	27	27	33	51	47	50	43	38	43	52	61	59	56	57	63	67	65	76	74	73	30
29.08.2018	45	35	30	31	28	32	44	45	44	52	42	43	53	54	63	57	59	60	60	70	72	77	65	30
30.08.2018	43	34	31	28	28	32	43	47	51	47	47	48	50	51	56	55	53	60	65	67	70	73	61	28

Продовження таблиці Б.1																								
Дата	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
31.08.2018	45	39	28	27	28	33	39	50	54	53	54	50	53	55	60	63	65	73	71	67	81	81	70	31
01.09.2018	48	37	35	30	31	31	38	58	46	51	47	56	57	60	72	72	69	68	71	69	71	62	63	26
02.09.2018	48	34	31	31	30	32	38	41	44	52	53	62	63	65	65	70	67	71	66	70	88	84	71	28
03.09.2018	39	35	30	28	30	36	49	53	47	49	46	44	50	56	54	52	54	58	59	65	72	72	59	28
04.09.2018	37	31	30	30	28	37	53	56	49	50	40	40	43	51	51	56	53	58	60	69	81	78	68	26
05.09.2018	35	30	28	27	30	32	45	49	46	40	43	45	45	47	47	53	52	60	59	68	70	67	58	23
06.09.2018	36	29	26	24	26	31	52	55	48	44	41	38	44	44	46	46	43	52	56	60	65	70	60	22
07.09.2018	35	28	28	24	28	35	41	56	44	48	42	44	44	48	48	45	49	52	53	63	64	59	54	24
08.09.2018	36	30	25	24	24	29	37	46	50	54	54	48	46	46	50	53	51	50	53	63	74	67	58	23
09.09.2018	45	32	26	27	25	25	28	35	45	59	55	54	53	48	49	52	52	53	69	63	70	69	63	27
10.09.2018	35	27	25	23	29	28	50	52	55	50	45	46	41	47	42	41	48	50	52	62	74	67	62	25
11.09.2018	37	27	24	29	27	34	40	62	51	45	42	40	41	39	45	52	44	54	59	69	77	70	57	24
12.09.2018	37	29	24	22	26	27	45	49	45	48	39	39	45	47	49	52	46	46	53	59	69	67	62	27
13.09.2018	35	33	29	26	28	33	45	53	43	41	38	40	52	43	41	44	44	51	54	65	78	72	61	24
14.09.2018	35	29	28	27	28	34	44	51	52	48	43	39	39	48	52	48	47	50	57	61	71	70	52	25
15.09.2018	37	32	29	27	32	28	31	50	53	56	54	50	52	48	52	50	48	53	61	66	66	62	56	24
16.09.2018	40	30	27	25	28	29	29	36	47	60	56	49	51	52	51	45	55	57	62	72	82	73	64	25
17.09.2018	42	26	28	27	25	31	53	58	58	57	44	46	47	42	36	42	46	52	53	63	74	72	54	20
18.09.2018	35	26	25	23	28	32	49	50	47	47	44	42	44	31	46	44	43	51	50	63	69	72	64	29
19.09.2018	36	29	27	23	25	32	45	55	51	47	41	40	44	40	41	48	48	54	58	65	67	73	60	24
20.09.2018	37	30	22	24	23	32	48	48	52	45	37	46	42	40	39	42	43	46	56	68	73	81	63	26
21.09.2018	32	28	26	25	25	34	52	61	54	45	37	42	51	47	48	48	44	50	57	60	74	66	55	26
22.09.2018	43	27	26	25	28	28	37	47	52	55	57	61	58	56	49	52	57	50	48	57	64	71	61	24
23.09.2018	41	32	30	27	26	28	29	42	50	49	59	57	54	54	55	52	58	64	65	74	79	77	65	24
24.09.2018	41	28	24	23	25	35	46	56	55	47	47	41	42	39	46	46	49	59	69	83	73	71	58	27
25.09.2018	32	24	27	24	26	35	45	57	52	54	47	46	58	49	43	46	58	53	64	73	74	75	68	27
26.09.2018	34	26	25	27	27	33	50	59	57	58	47	44	47	43	44	43	50	52	64	74	75	74	77	36
27.09.2018	43	31	29	27	28	33	54	58	51	50	44	40	47	46	41	44	44	51	59	85	81	77	64	26

Продовження таблиці Б.1																								
Дата	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
28.09.2018	41	30	29	27	29	37	52	55	56	56	47	44	42	43	46	50	56	62	72	79	85	73	66	30
29.09.2018	44	26	24	25	25	26	35	46	63	67	63	64	59	58	59	61	73	73	71	73	63	54	57	30
30.09.2018	45	32	28	28	27	29	35	44	64	60	57	53	52	52	54	62	61	67	63	74	88	84	72	33
01.10.2018	40	35	27	27	29	36	50	63	65	59	52	51	48	48	41	43	50	59	63	80	84	79	71	30
02.10.2018	33	26	21	25	28	37	52	61	54	54	43	47	47	49	44	50	51	59	69	75	81	78	61	25
03.10.2018	44	31	27	24	28	35	59	61	59	56	49	44	49	52	46	47	49	59	64	80	85	79	66	27
04.10.2018	41	28	28	26	30	43	57	61	58	54	48	44	45	48	48	49	58	57	70	79	84	80	68	25
05.10.2018	38	31	27	24	29	37	55	68	63	53	58	50	51	47	51	51	46	60	63	74	75	79	66	27
06.10.2018	40	33	28	27	31	39	36	40	60	75	62	62	63	58	56	59	61	73	72	73	80	73	67	29
07.10.2018	50	35	30	32	34	35	39	43	65	64	62	64	58	51	57	58	62	67	78	93	90	77	64	32
08.10.2018	42	35	30	28	30	43	60	67	60	57	51	53	52	58	50	55	53	53	59	83	87	88	71	25
09.10.2018	48	37	31	28	30	45	50	75	64	59	51	46	48	49	42	45	47	57	74	93	92	96	65	26
10.10.2018	40	31	27	33	33	41	59	67	58	60	57	60	61	48	46	46	46	51	69	82	87	85	76	27
11.10.2018	38	29	30	26	30	38	57	74	64	63	50	49	48	45	46	52	53	62	68	75	92	84	66	26
12.10.2018	42	32	27	26	33	38	57	62	62	56	52	58	52	47	49	53	60	60	66	83	82	78	66	31
13.10.2018	49	31	26	26	27	30	39	52	64	68	64	67	64	63	64	75	67	69	79	84	84	78	70	28
14.10.2018	45	34	30	29	29	33	32	45	65	77	71	68	63	59	56	60	62	64	74	73	80	78	65	30
15.10.2018	43	35	29	29	32	33	36	47	63	82	80	70	75	72	67	62	69	66	83	92	94	87	67	29
16.10.2018	43	35	29	31	30	36	63	68	66	61	55	47	48	45	44	50	56	59	67	82	84	83	68	30
17.10.2018	44	33	28	27	28	38	50	59	54	56	52	50	49	46	43	51	44	51	65	82	83	82	68	29
18.10.2018	41	33	26	25	28	44	62	60	64	53	48	40	48	49	51	49	46	51	59	68	86	83	74	29
19.10.2018	37	29	27	28	30	37	58	64	52	53	53	47	52	46	52	48	50	54	62	74	84	75	66	29
20.10.2018	41	33	29	28	30	32	45	46	61	61	57	59	62	65	61	65	68	77	85	79	86	74	68	29
21.10.2018	49	35	32	33	31	34	38	42	59	72	71	69	68	57	58	68	67	77	97	92	99	91	75	29
22.10.2018	47	38	34	27	31	40	57	65	55	55	53	57	51	52	57	52	52	63	81	82	83	85	67	27
23.10.2018	43	35	31	28	31	40	56	67	59	56	55	48	52	51	48	45	55	65	83	90	99	90	70	35
24.10.2018	52	34	27	28	32	37	55	70	54	61	61	56	54	60	56	52	54	66	84	89	97	96	77	37
25.10.2018	44	41	31	30	33	40	46	61	60	61	65	65	60	60	56	65	56	65	84	95	105	97	100	60

Додаток В
Експериментальна база даних щодо технічних характеристик нелінійних електроприймачів
об'єктів цивільного призначення

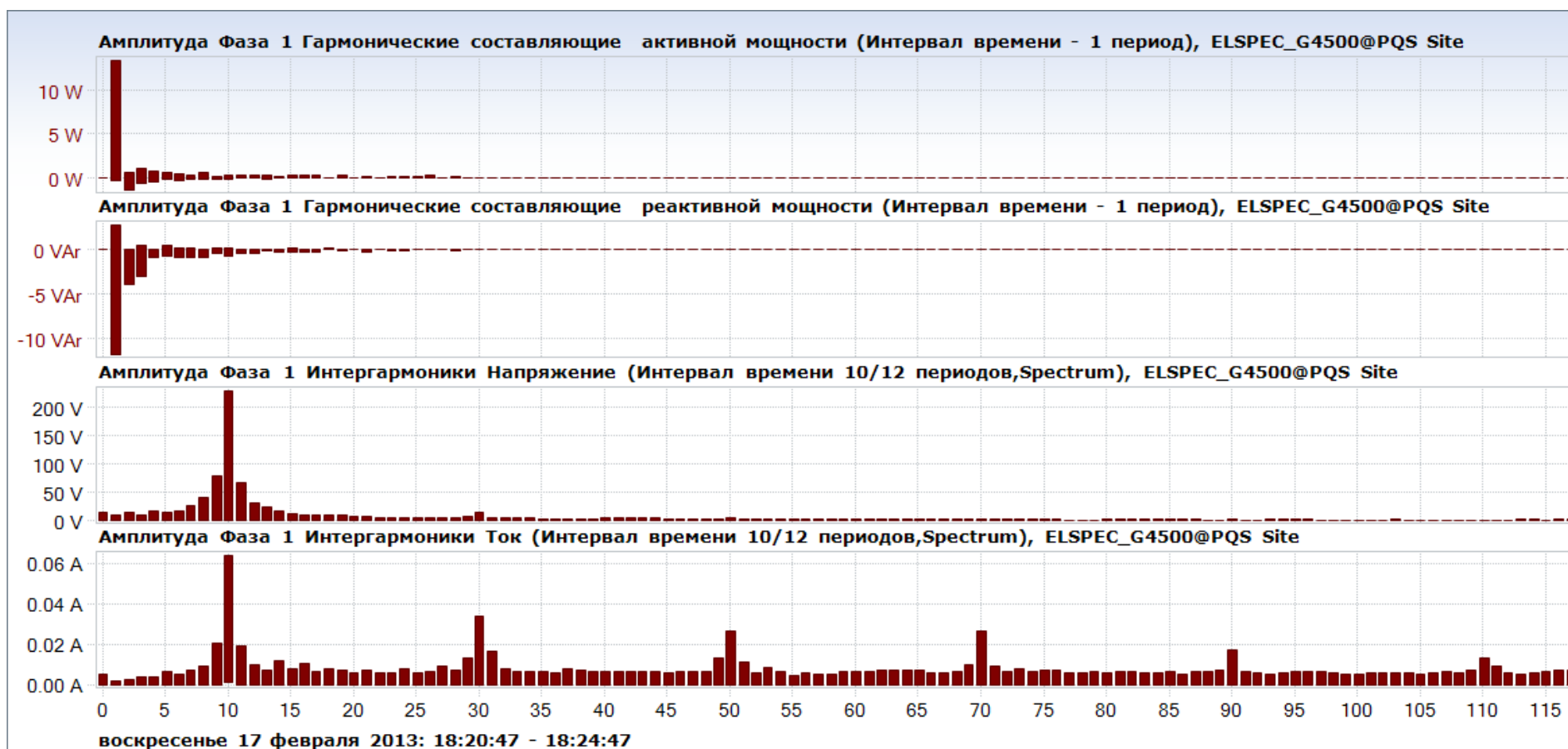


Рисунок В.1 – Амплітудний спектр гармонійних складових СВД-ламп Navigator серії NLL 3x5 Вт

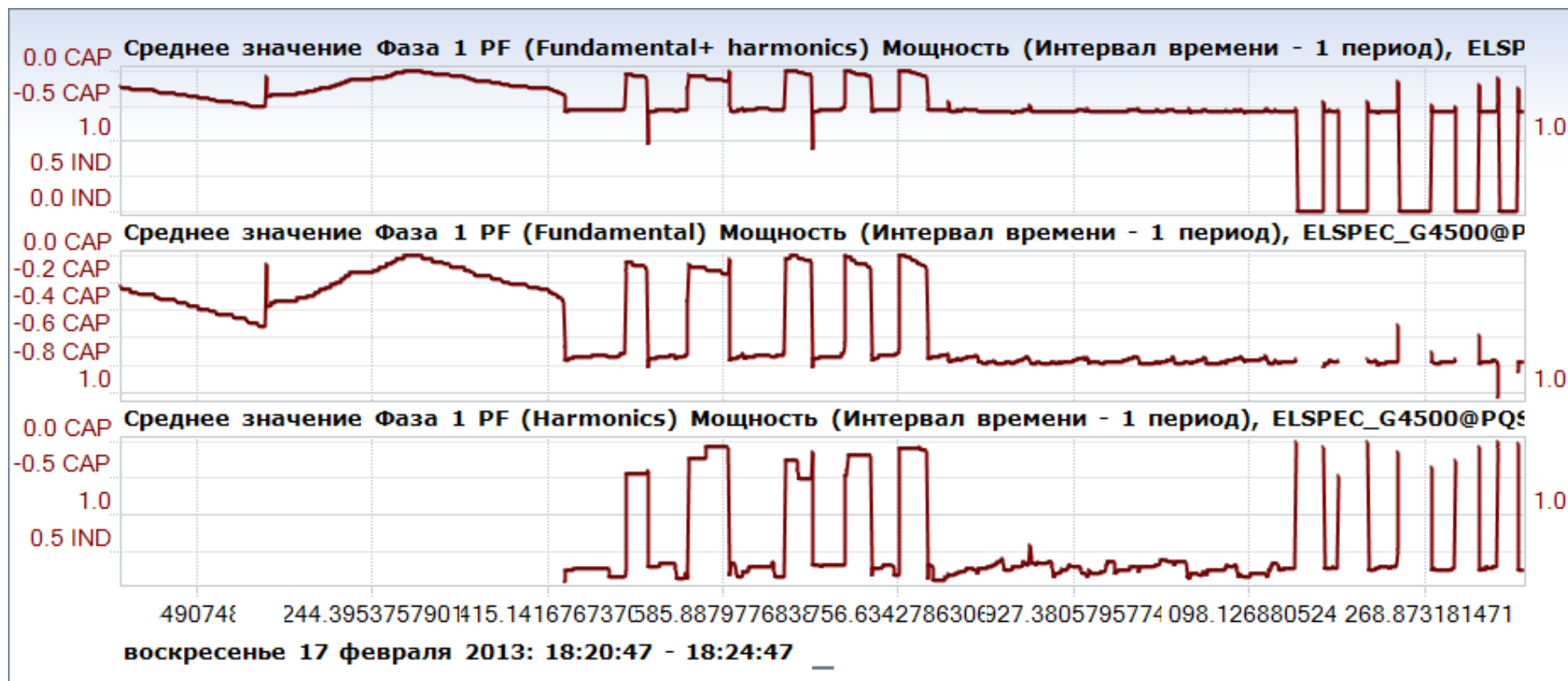


Рисунок В.2 – Средние значения PF для СВД-ламп Navigator серии NLL 3x5 Вт

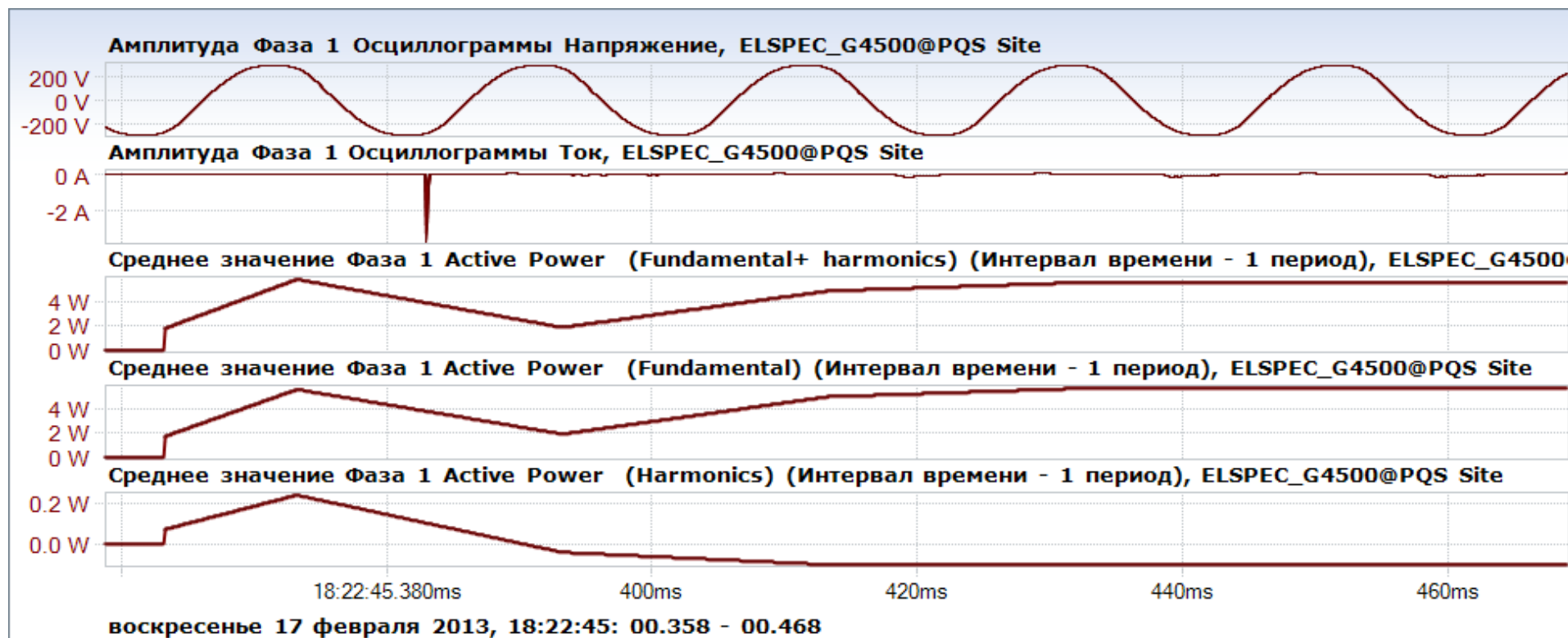


Рисунок В.3 – Осцилограммы напруги, струму та середнє значення потужності
СВД-ламп Navigator серії NLL 3x5 Вт

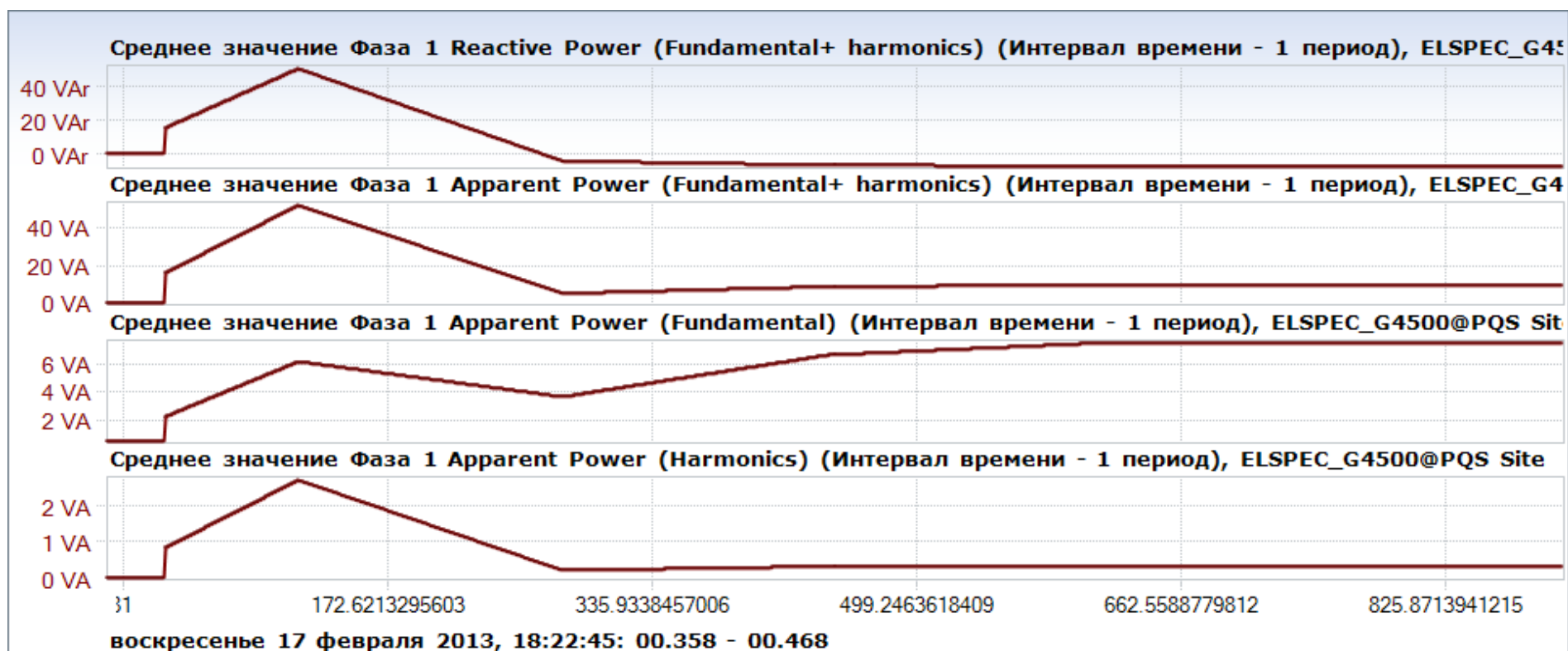


Рисунок В.4 – Середні значення потужності для СВД-ламп Navigator серії NLL 3x5 Вт

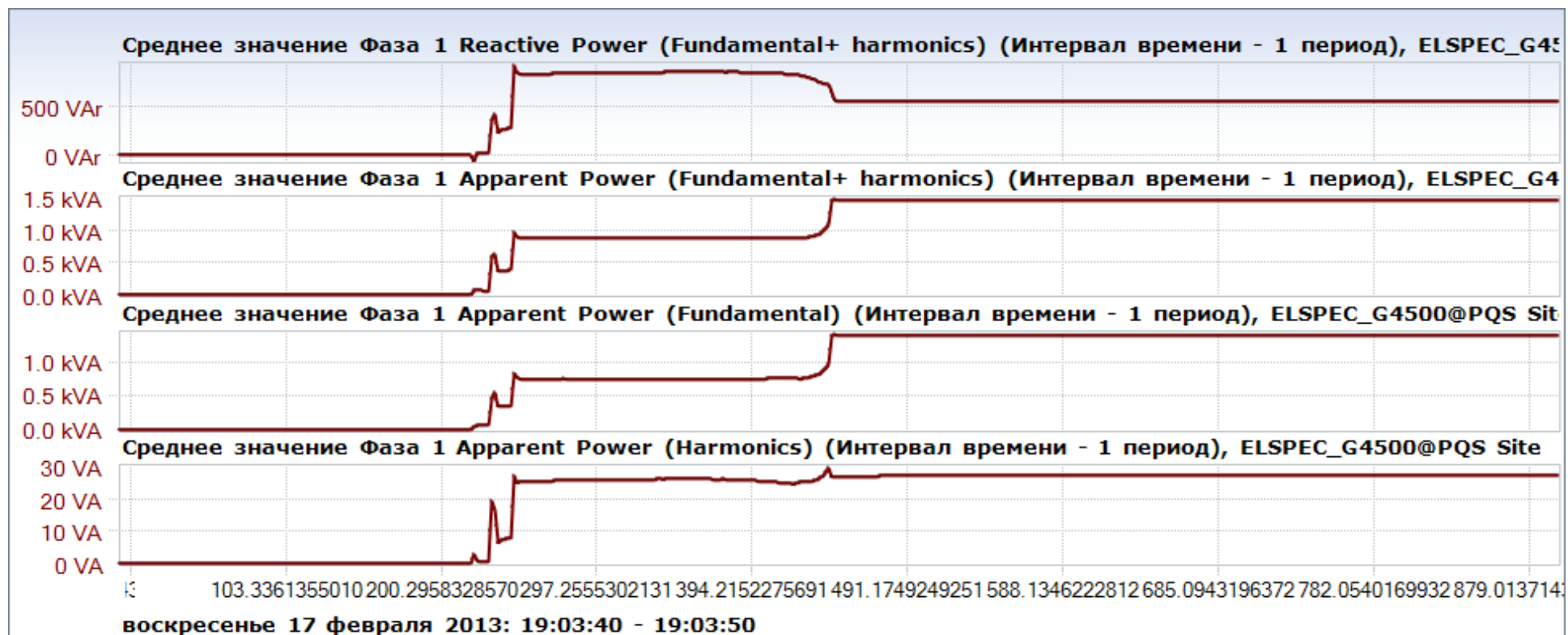


Рисунок В.5 – Середні значення потужності для мікрохвильової печі Samsung CE287GNR

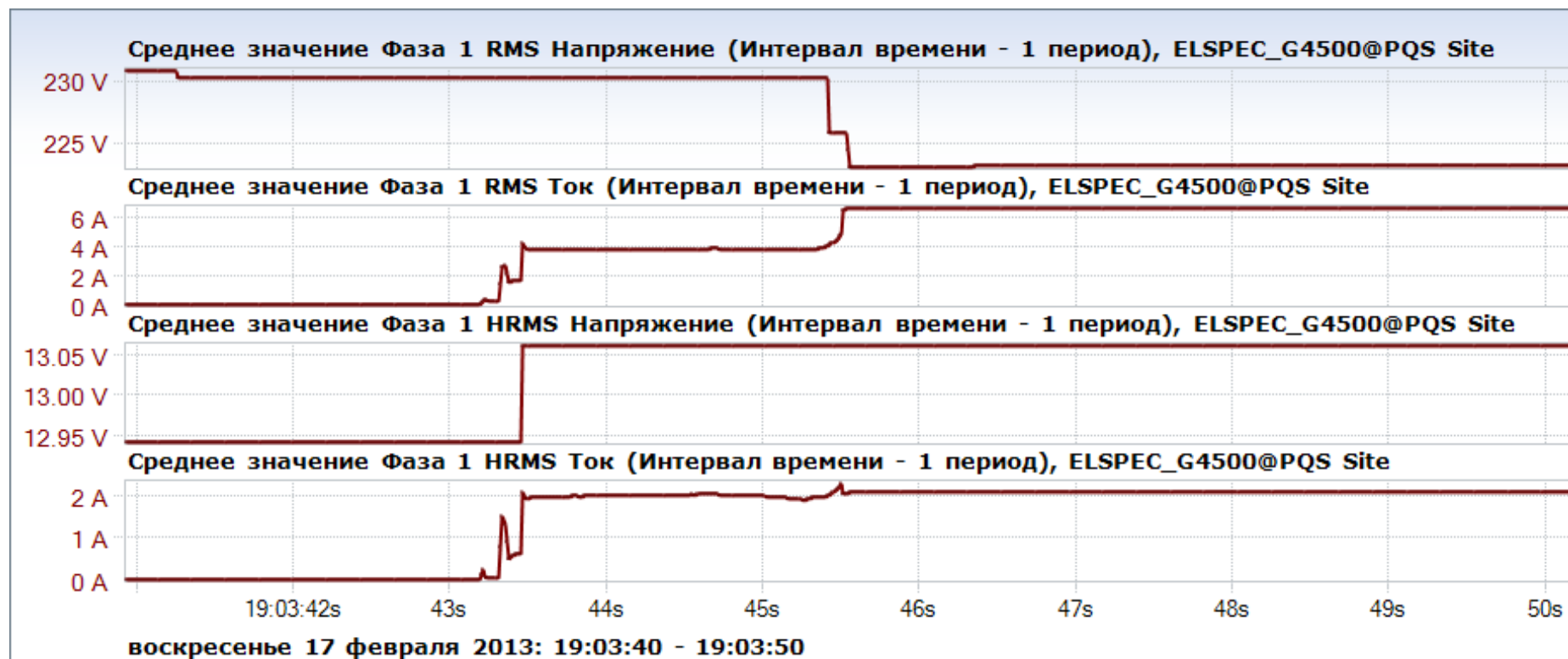


Рисунок В.6 – Середні значення напруги, струму для мікрохвильової печі Samsung CE287GNR

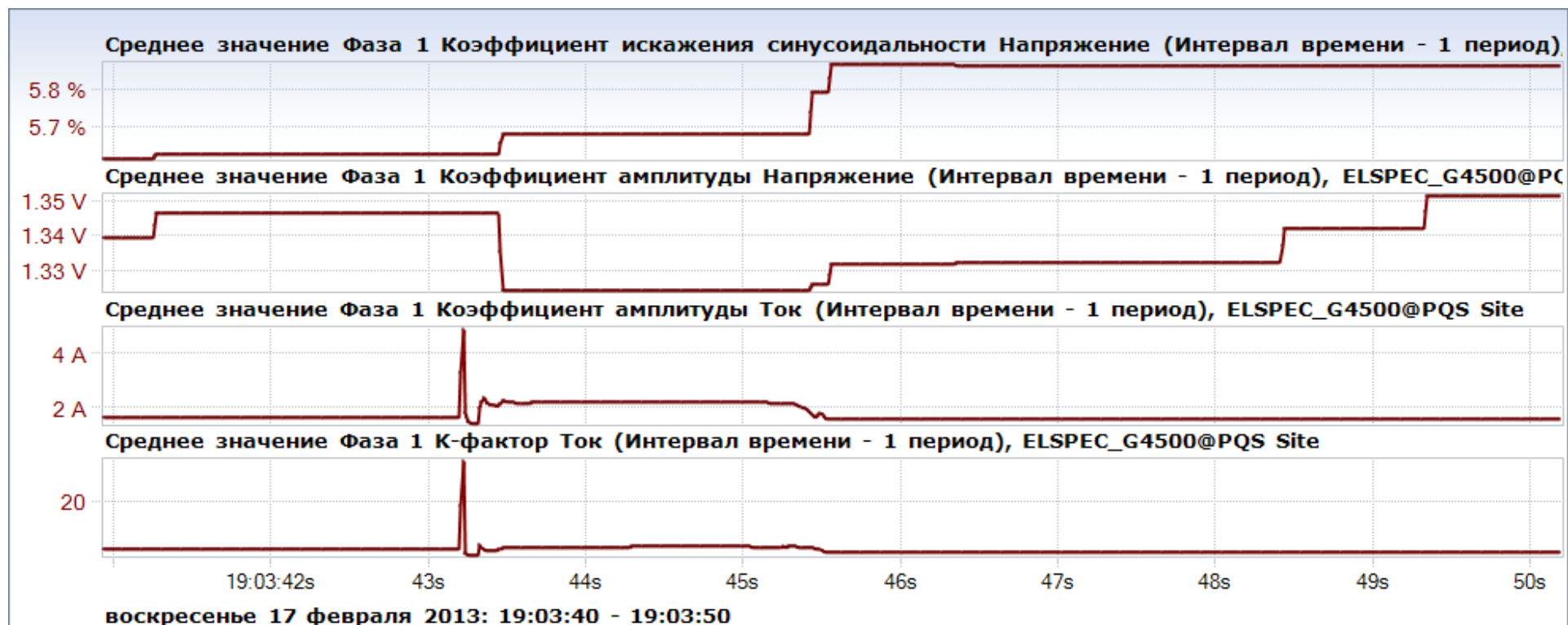


Рисунок В.7 – Середні значення коефіцієнтів спотворення, амплітуди, Х-фактора для мікрохвильової печі Samsung CE287GNR

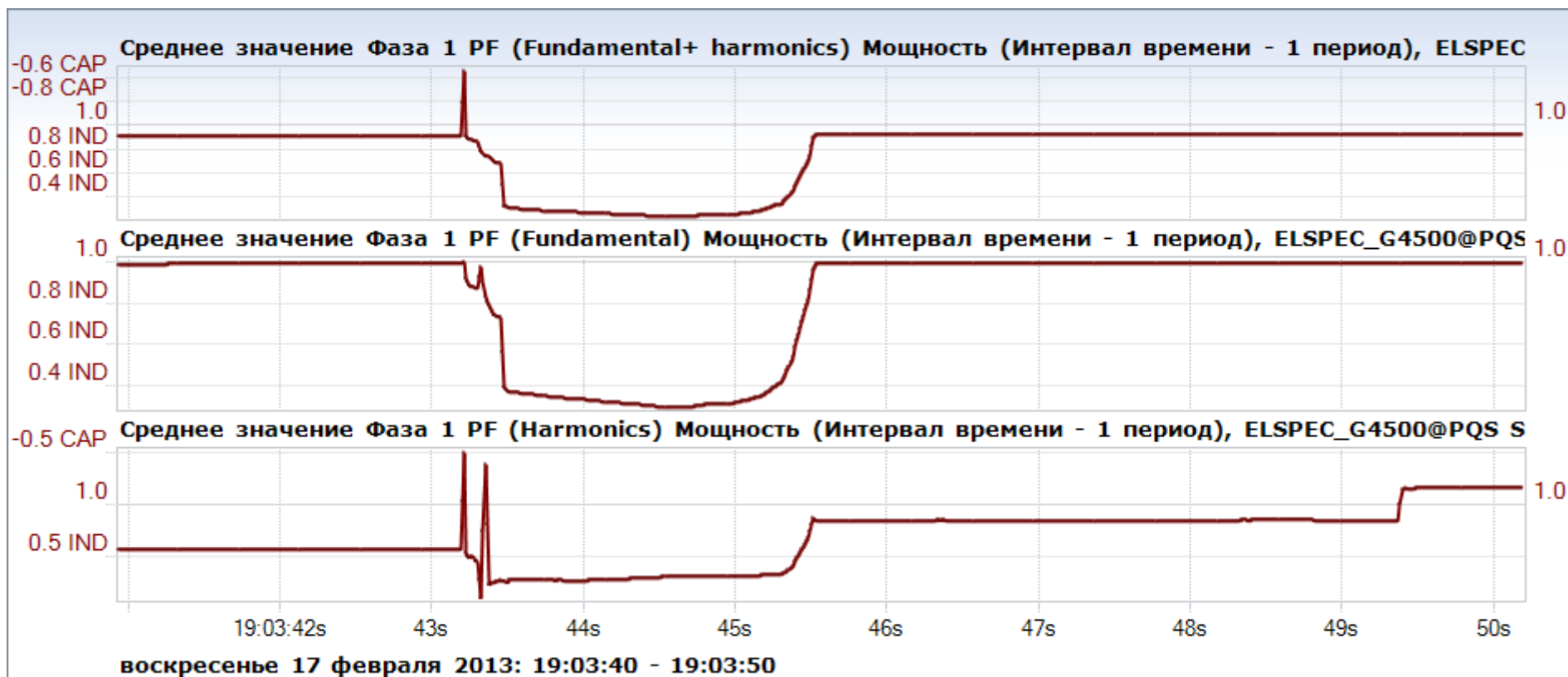


Рисунок В.8 – Середні значення PF для мікрохвильової печі Samsung CE287GNR



Рисунок В.9 – Середні значення гармонік для мікрохвильової печі Samsung CE287GNR

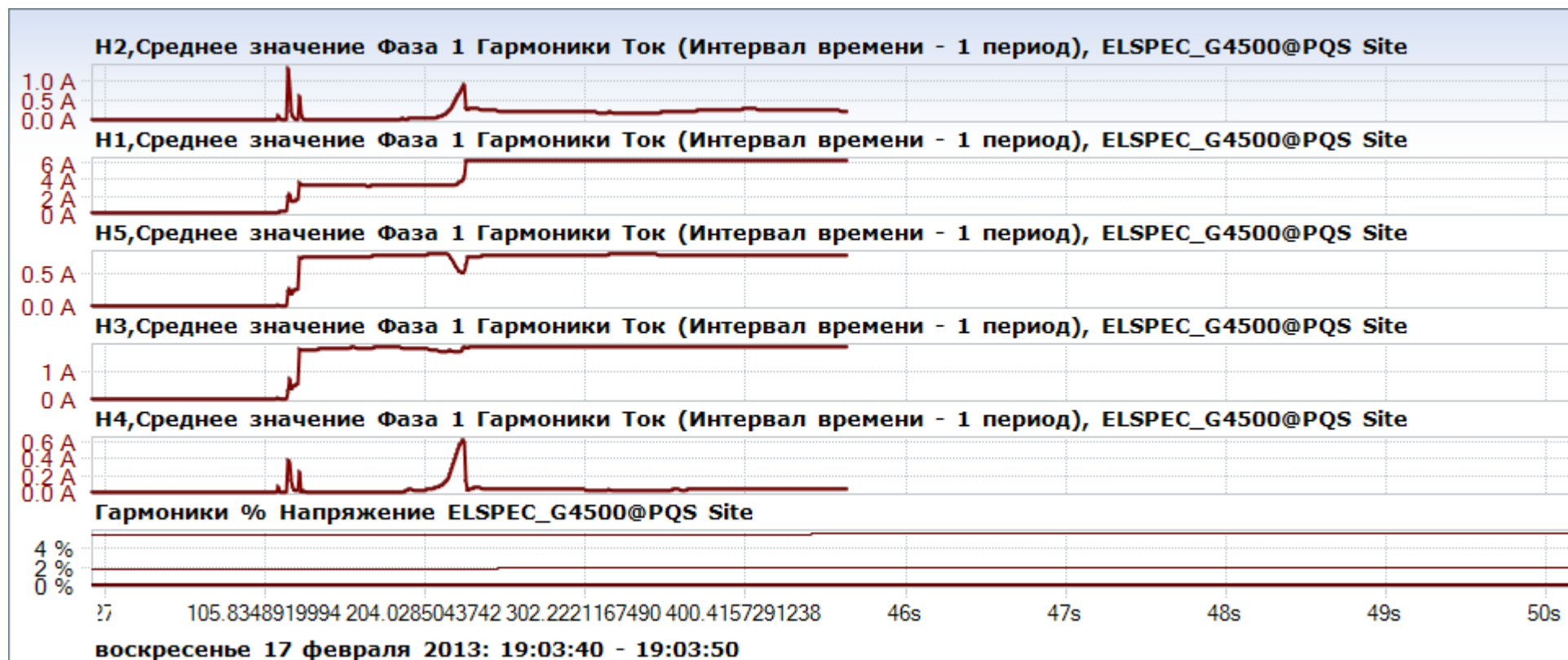


Рисунок В.10 – Середні значення гармонік струму для мікрохвильової печі Samsung CE287GNR



Рисунок В.11 – Середні значення гармонійних складових активної потужності для мікрохвильової печі Samsung CE287GNR



Рисунок В.12 – Середні значення гармонійних складових потужностей для мікрохвильової печі Samsung CE287GNR

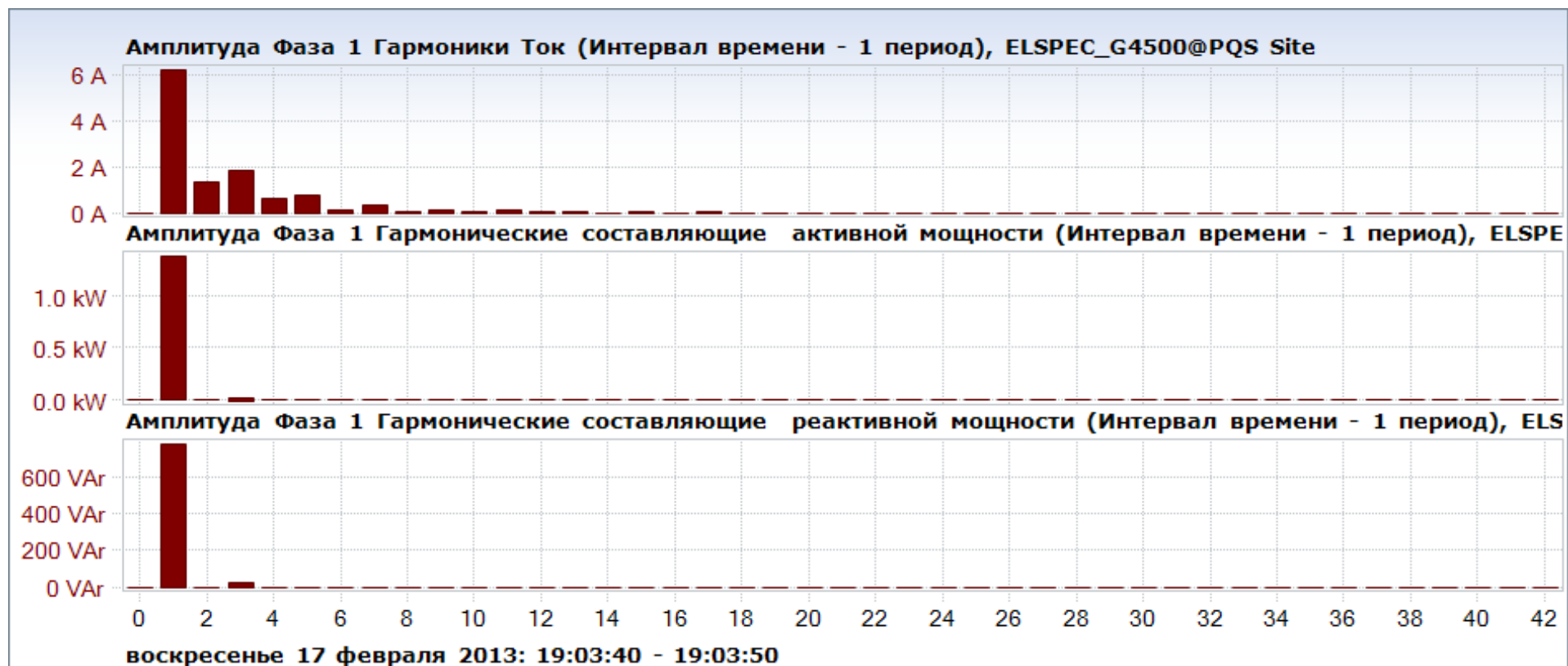


Рисунок В.13– Амплітудний спектр гармонічних складових потужності
мікрохвильової печі Samsung CE287GNR

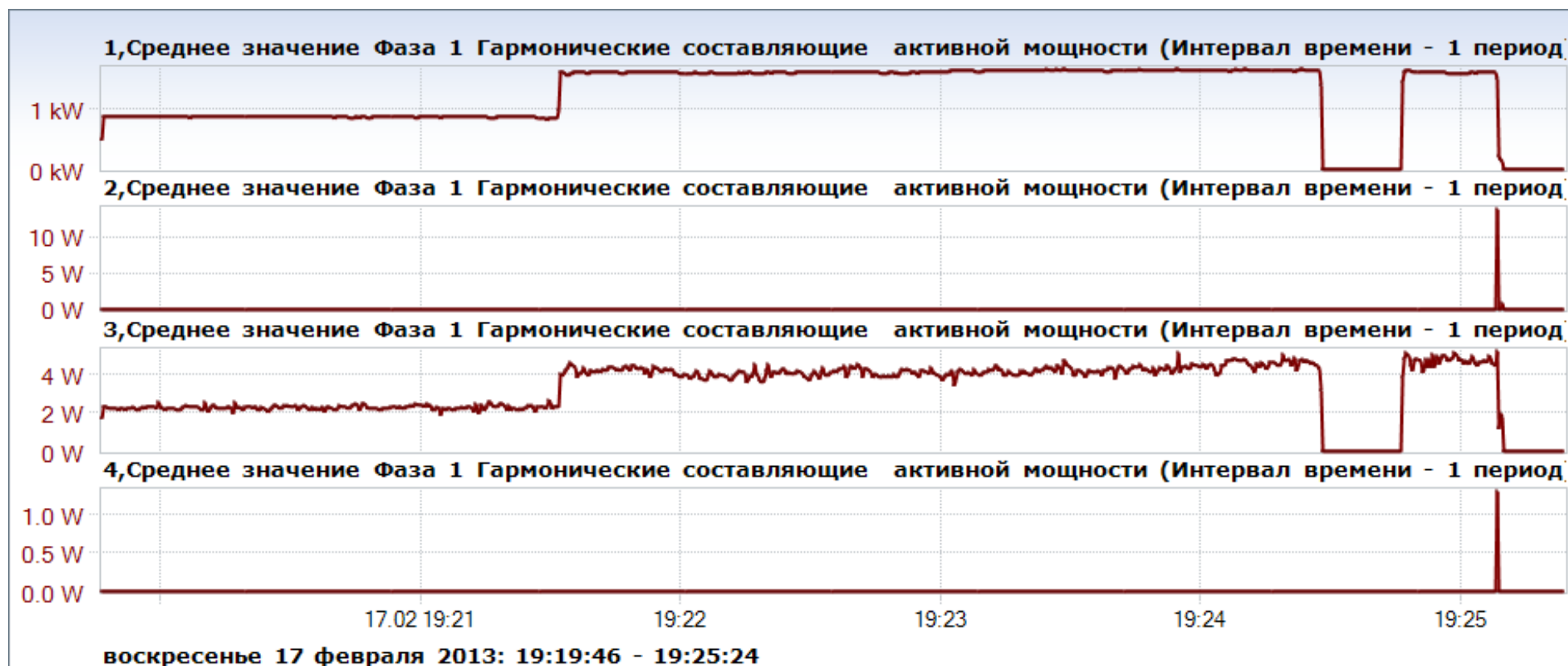


Рисунок В.14– Середні значення гармонійних складових активної потужності
для тепловентилятора моделі S131

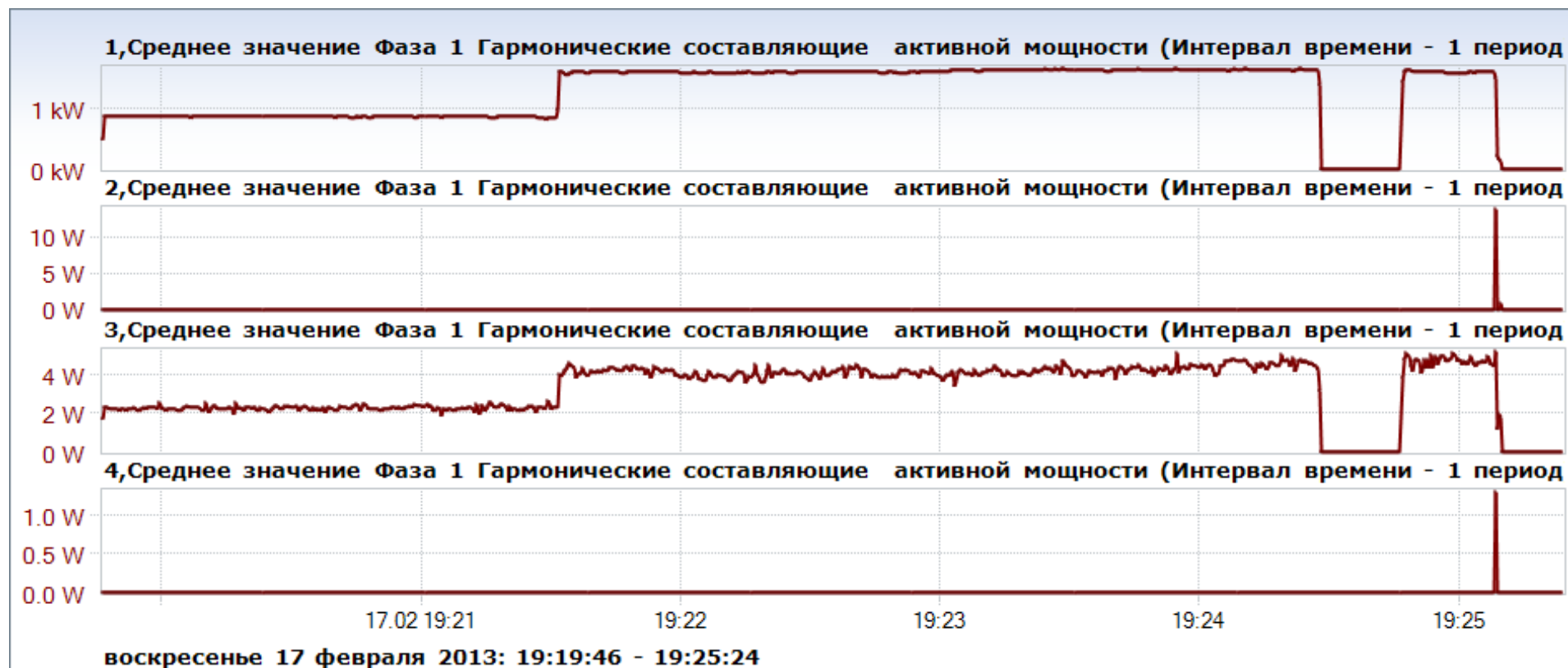


Рисунок В.15– Гармонійні складові реактивної потужності для тепловентилятора моделі S131



Рисунок В.16– Гармонійні складові напруги для тепловентилятора моделі S131

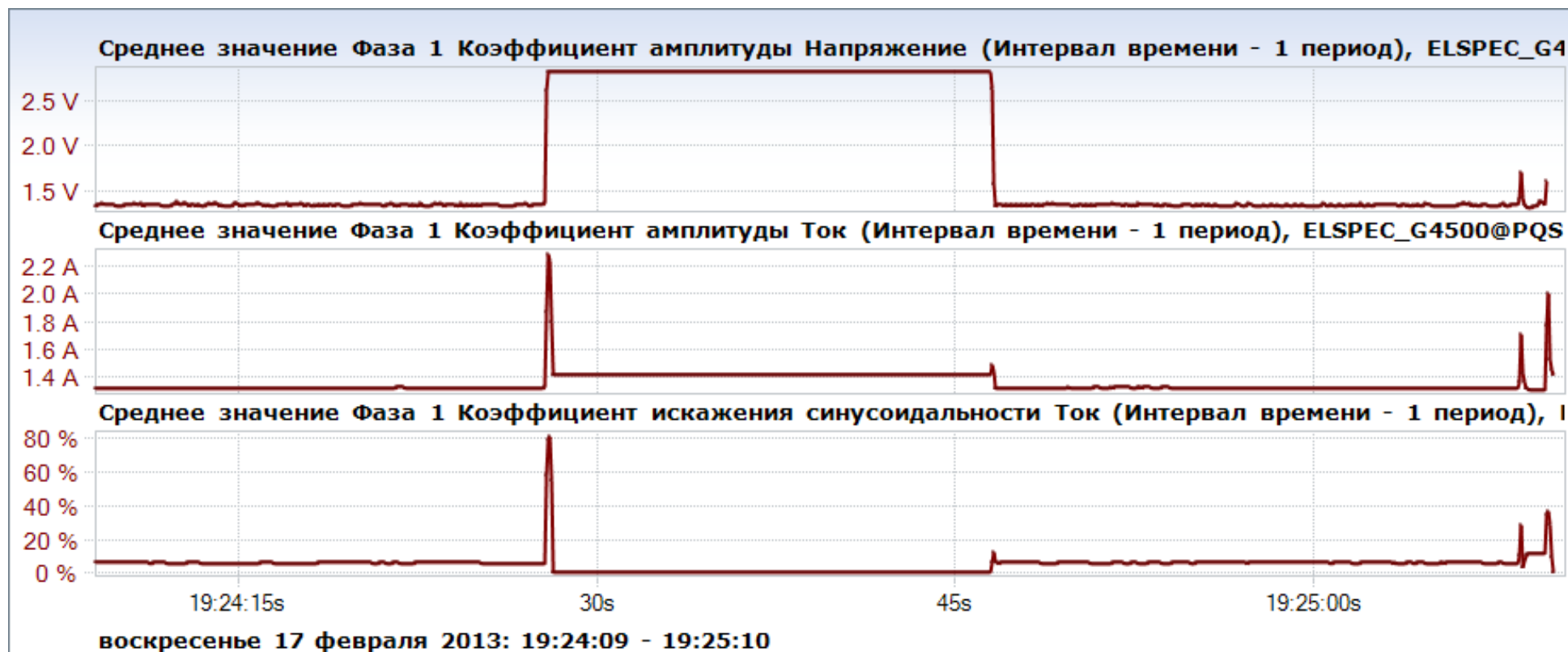


Рисунок В.17– Коефіцієнти амплітуди, спотворення напруги, струму для тепловентилятора моделі S131



Рисунок В.18– Амплітудний гармонійний спектр струму, напруги тепловентилятора моделі S131



Рисунок В.19 – Амплітудний гармонійний спектр потужності кондиціонера Sensei ECO-i FTE-23MR

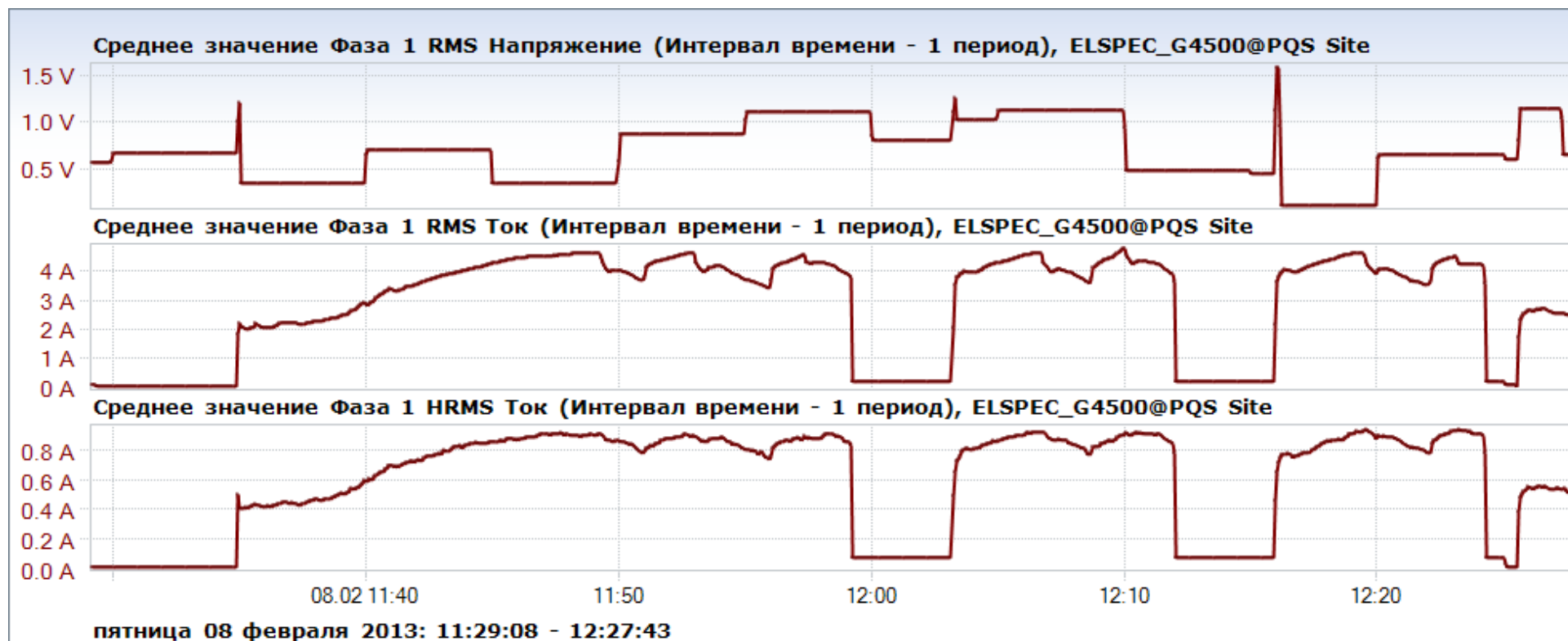


Рисунок В.20 – Середні значення RMS, HRMS напруги, струму кондиціонера Sensei ECO-і FTE-23MR



Рисунок В.21 – Середні значення коефіцієнтів спотворення синусоїдності напруги, струму кондиціонера Sensei ECO-і FTE-23MR



Рисунок В.22 – Середні значення коефіцієнтів спотворення, амплітуди, Х-фактора струму кондиціонера Sensei ECO-i FTE-23MR

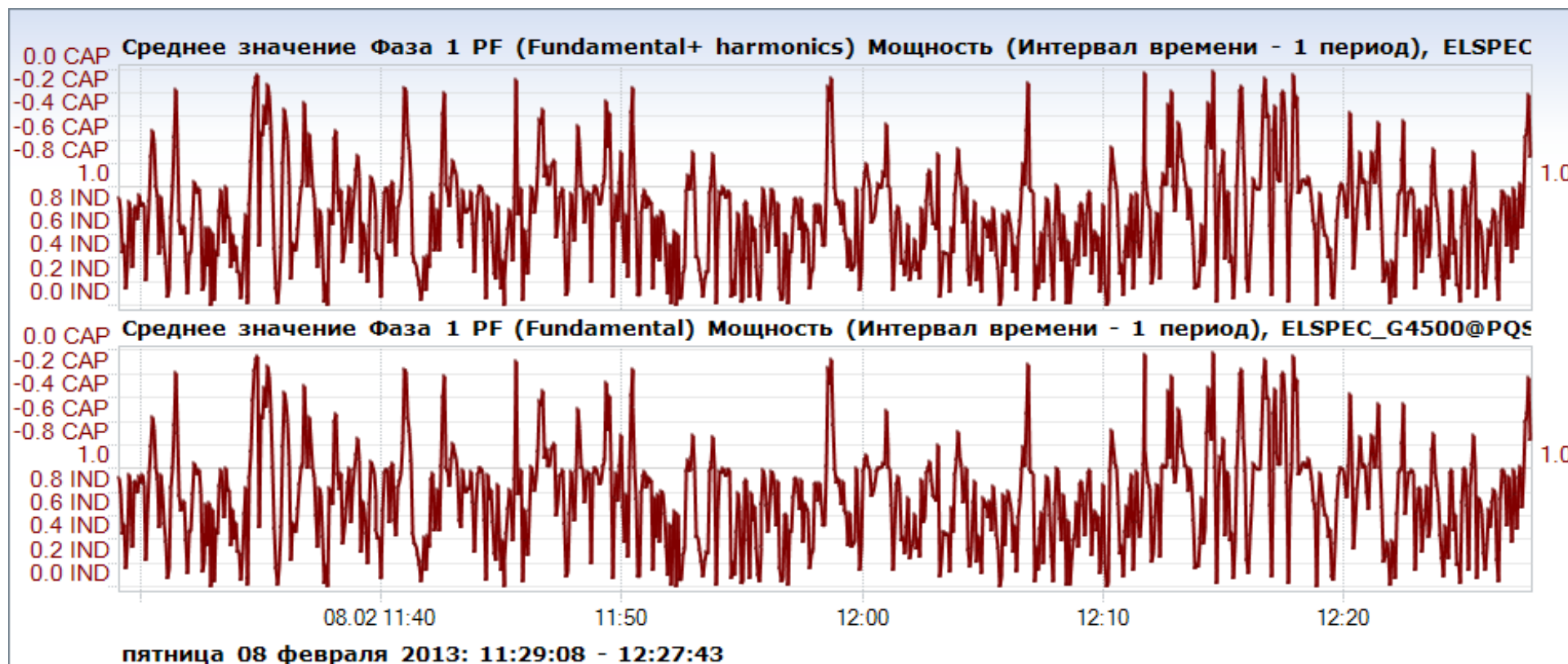


Рисунок В.23 – Середні значення коефіцієнтів PF кондиціонера Sensei ECO-i FTE-23MR

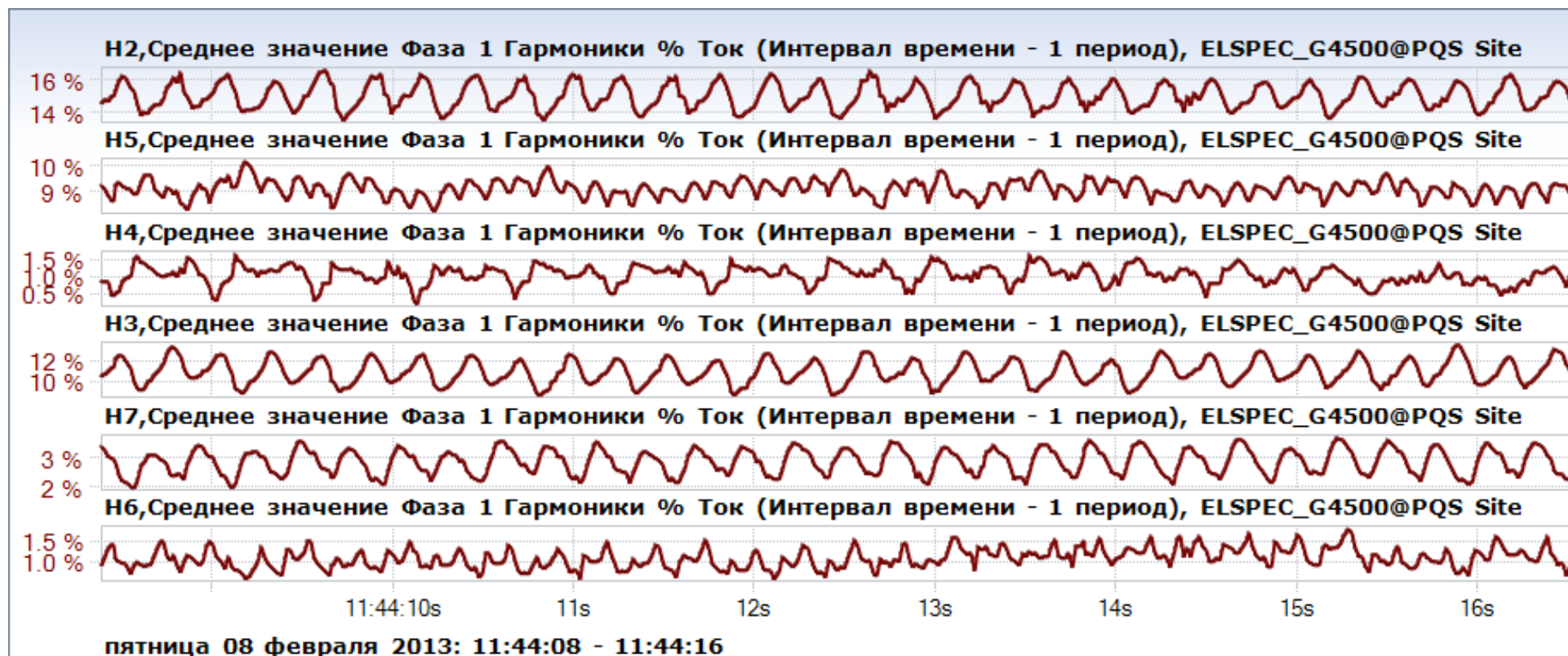


Рисунок В.24 – Середні значення гармонійного складу струму кондиціонера Sensei ECO-i FTE-23MR

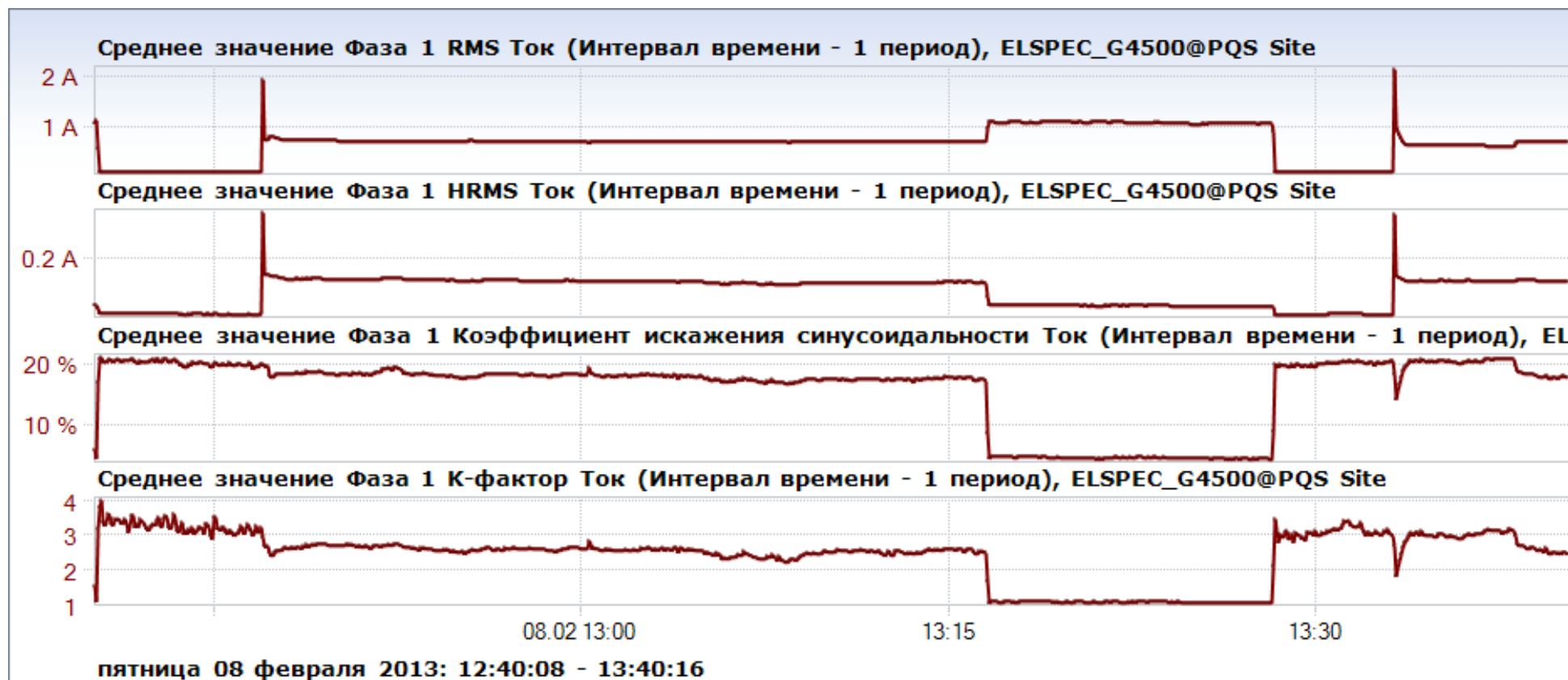


Рисунок В.25 – Середні значення коефіцієнтів RMS, HRMS, X- фактора струму
холодильника ARC 4020 фірми Whirlpool

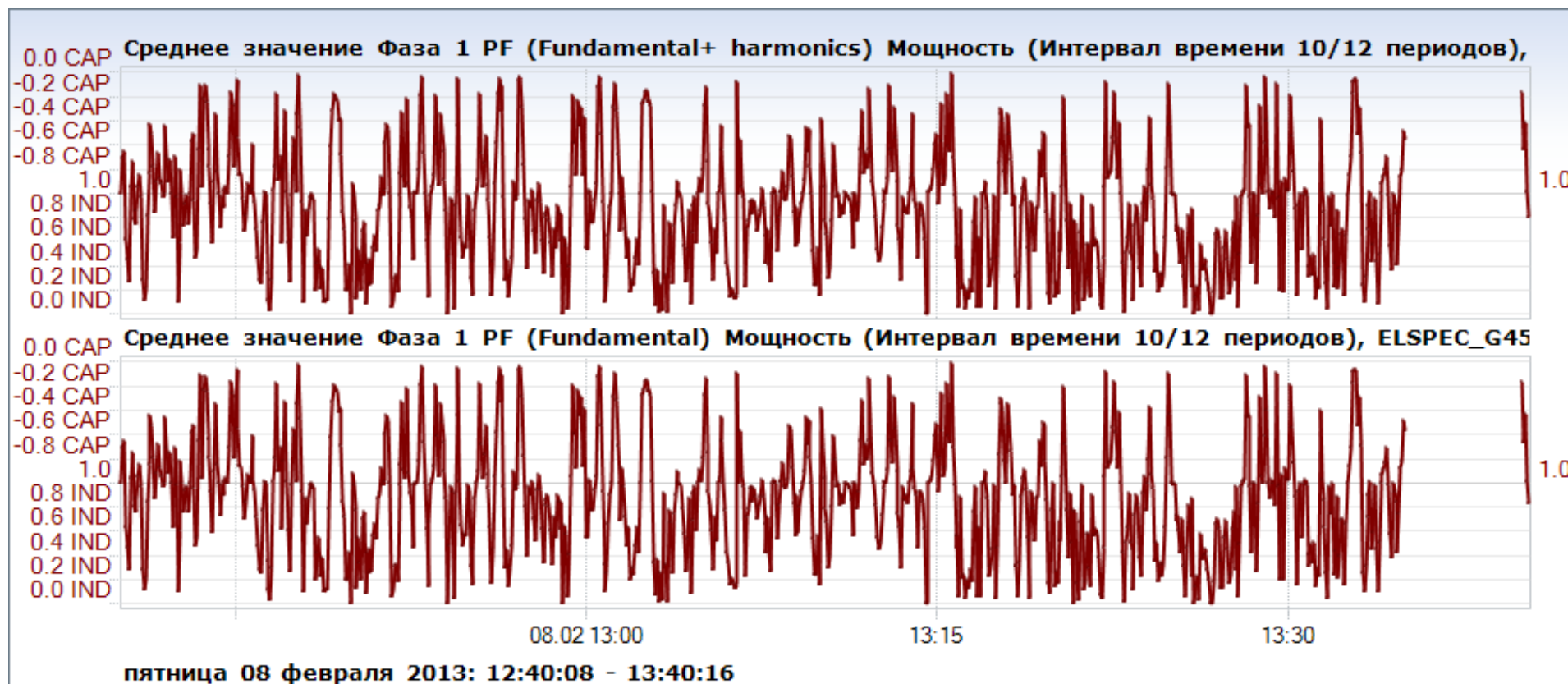


Рисунок В.26 – Середні значення PF холодильника ARC 4020 фірми Whirlpool



Рисунок В.27 – Ампліудний гармонійний спектр струму холодильника ARC 4020 фірми Whirlpool



Рисунок В.28 – Амплітудний гармонійний спектр струму пральної машини Elektrolux

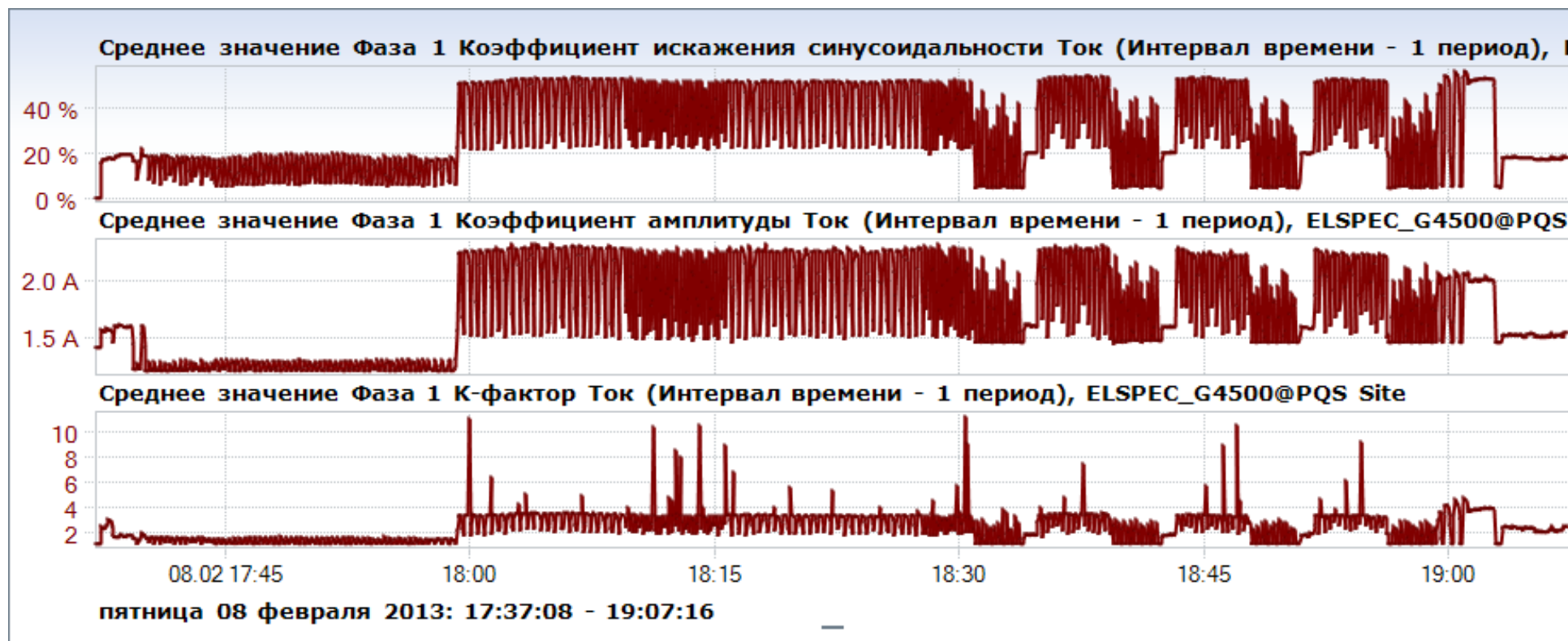


Рисунок В.29 – Середні значення коефіцієнтів спотворення, амплітуди, Х-фактора струму
пральної машини Elektrolux

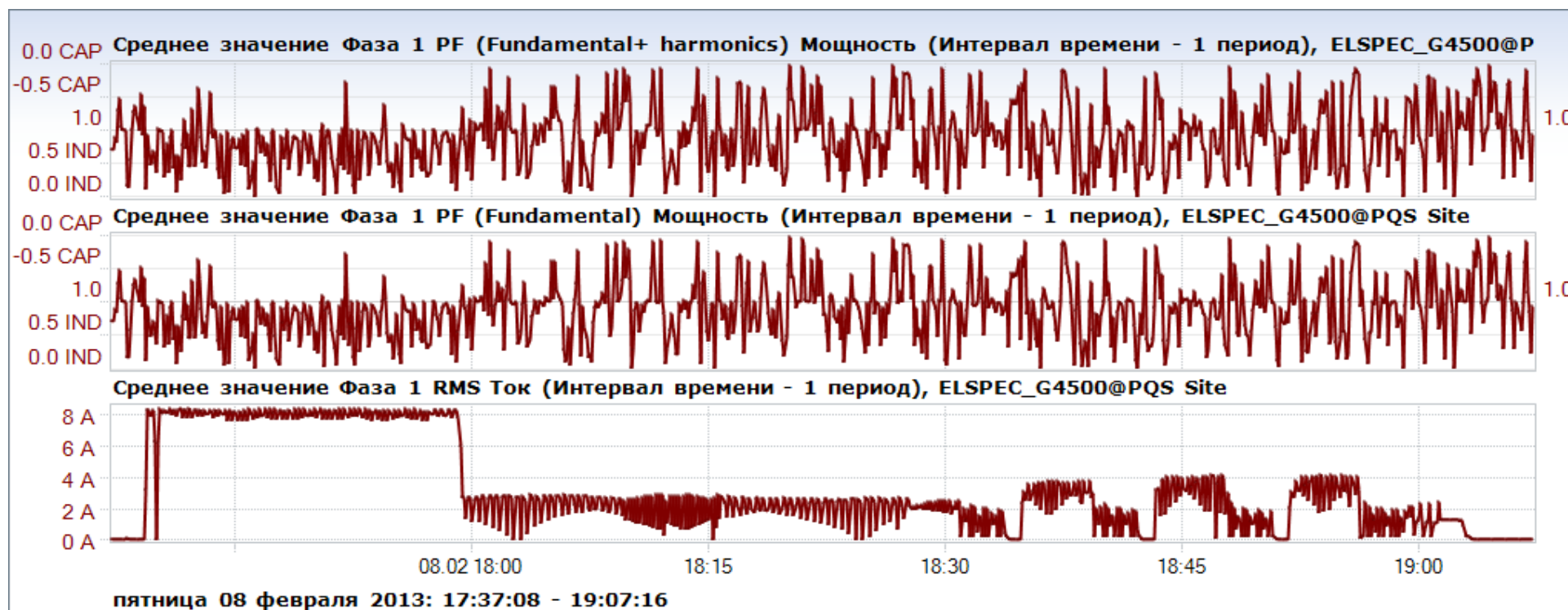


Рисунок В.30 – Середні значення PF, RMS струму пральної машини Elektrolux

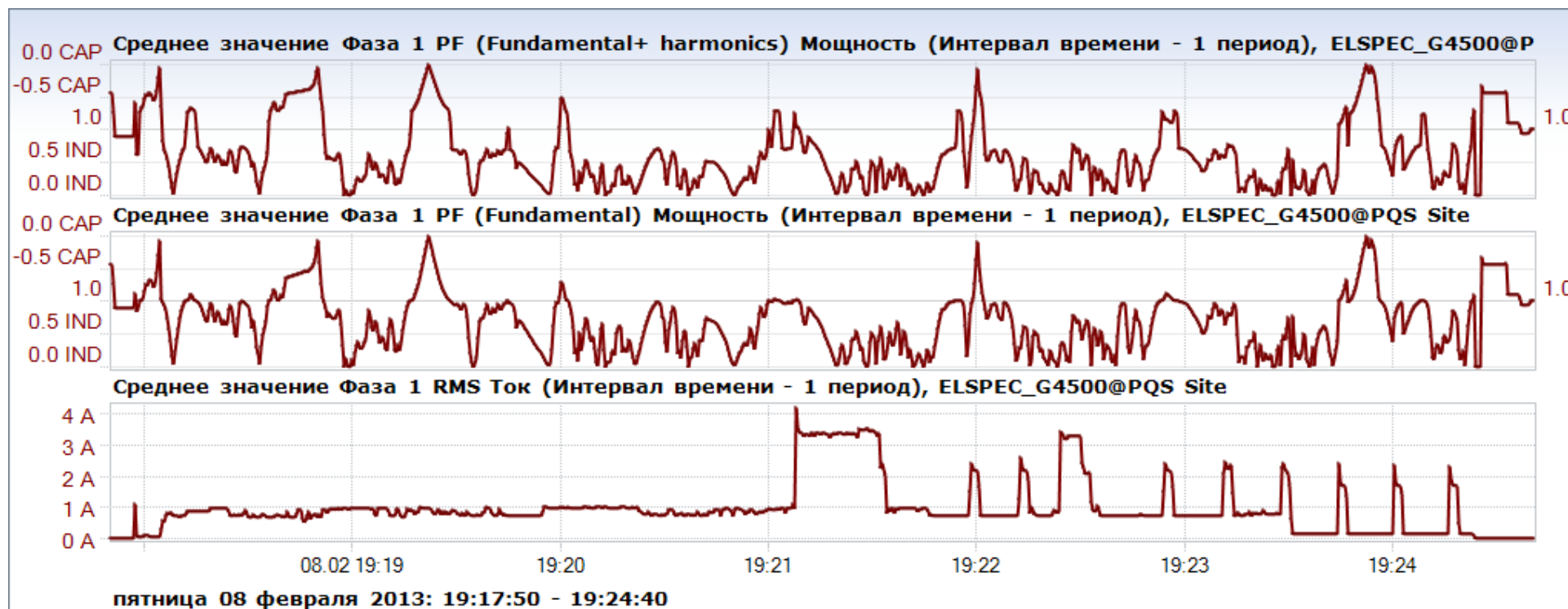


Рисунок В.31 – Середні значення PF, RMS струму монітора SAMSUNG SyncMaster 920N, сканера Mustek Bear Paw Scan Express 1248 UB, принтера Xerox Phaser 3117 під час ввімкнення, друку

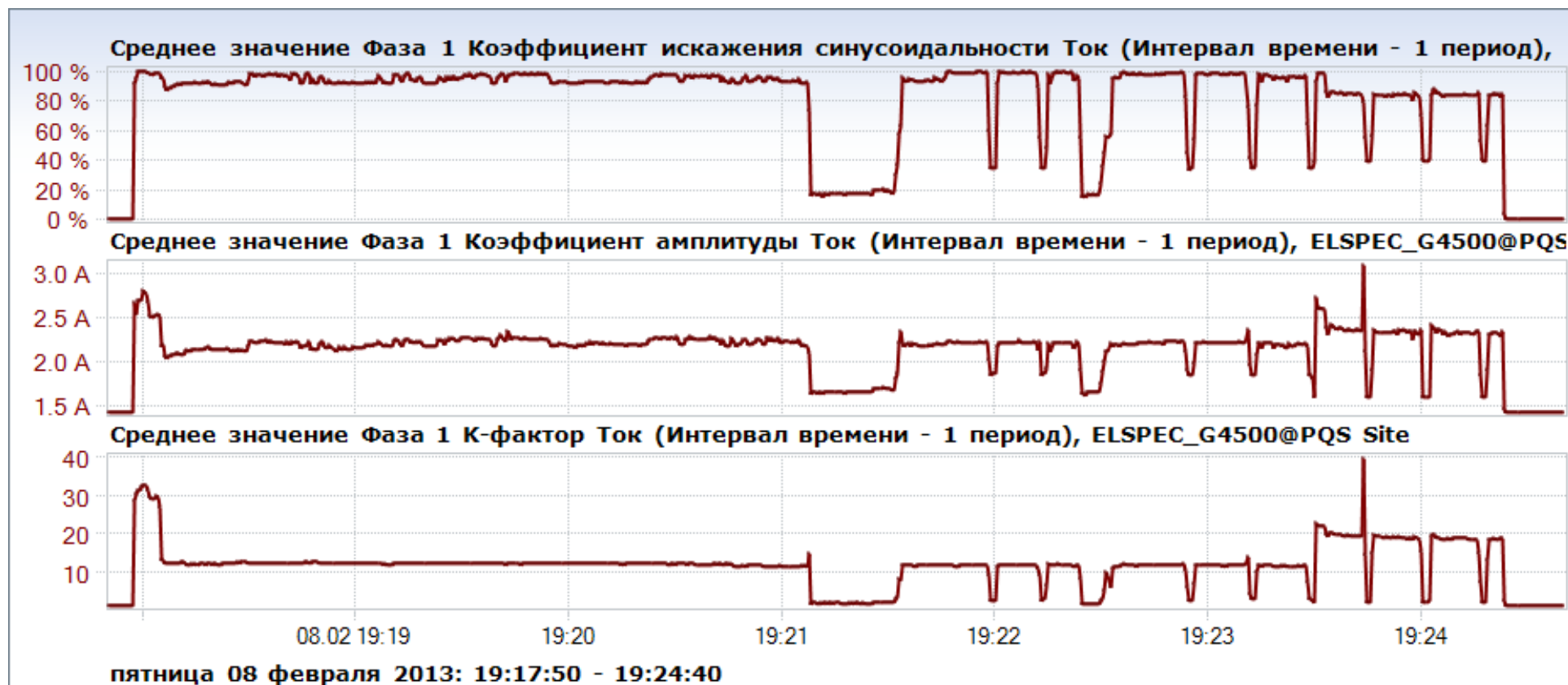


Рисунок В.32 – Середні значення спотворення, амплітуди, Х-фактора струму монітора SAMSUNG SyncMaster 920N, сканера Mustek Bear Paw Scan Express 1248 UB, принтера Xerox Phaser 3117 під час ввімкнення, друку

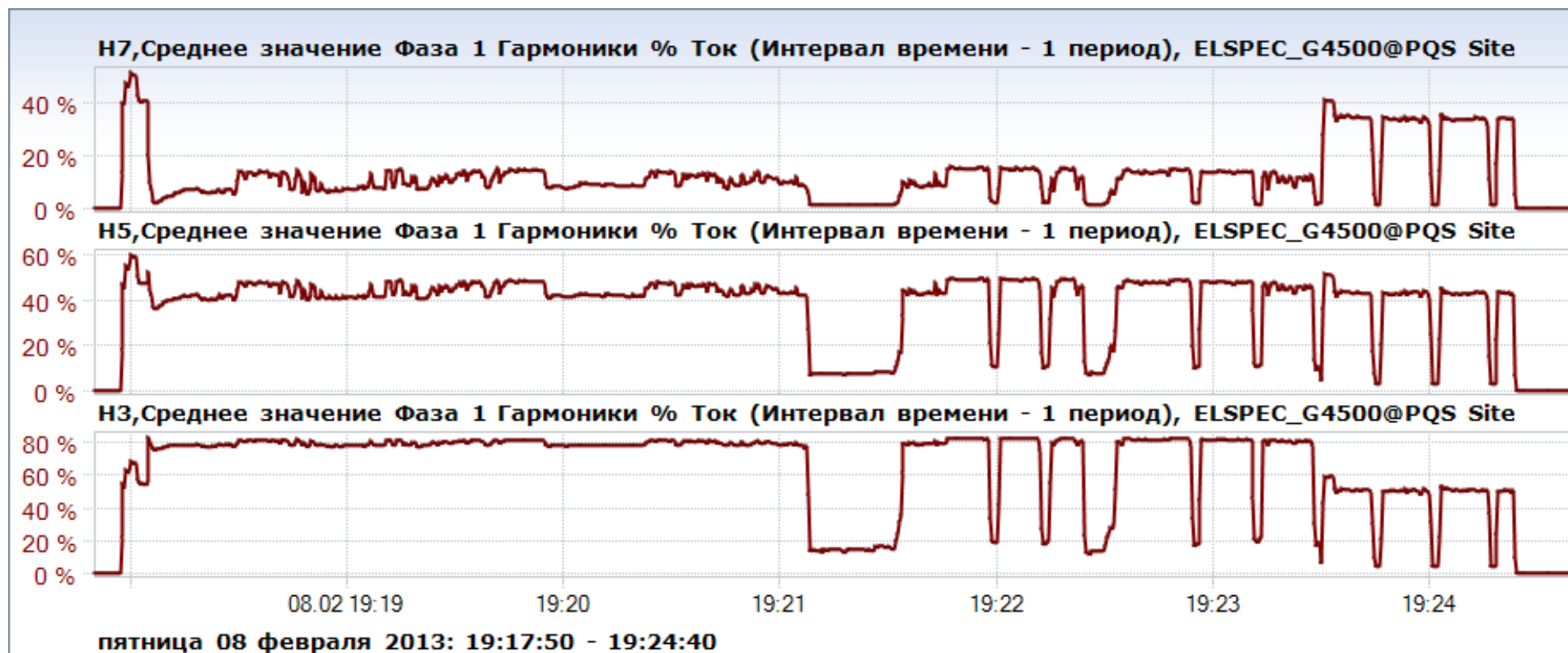


Рисунок В.33 – Середні значення гармонік струму монітора SAMSUNG SyncMaster 920N, сканера Mustek Bear Paw Scan Express 1248 UB, принтера Xerox Phaser 3117 під час ввімкнення, друку



Рисунок В.34 – Амплітудний гармонійний спектр струму монітора SAMSUNG SyncMaster 920N, сканера Mustek Bear Paw Scan Express 1248 UB, принтера Xerox Phaser 3117 під час ввімкнення, друку

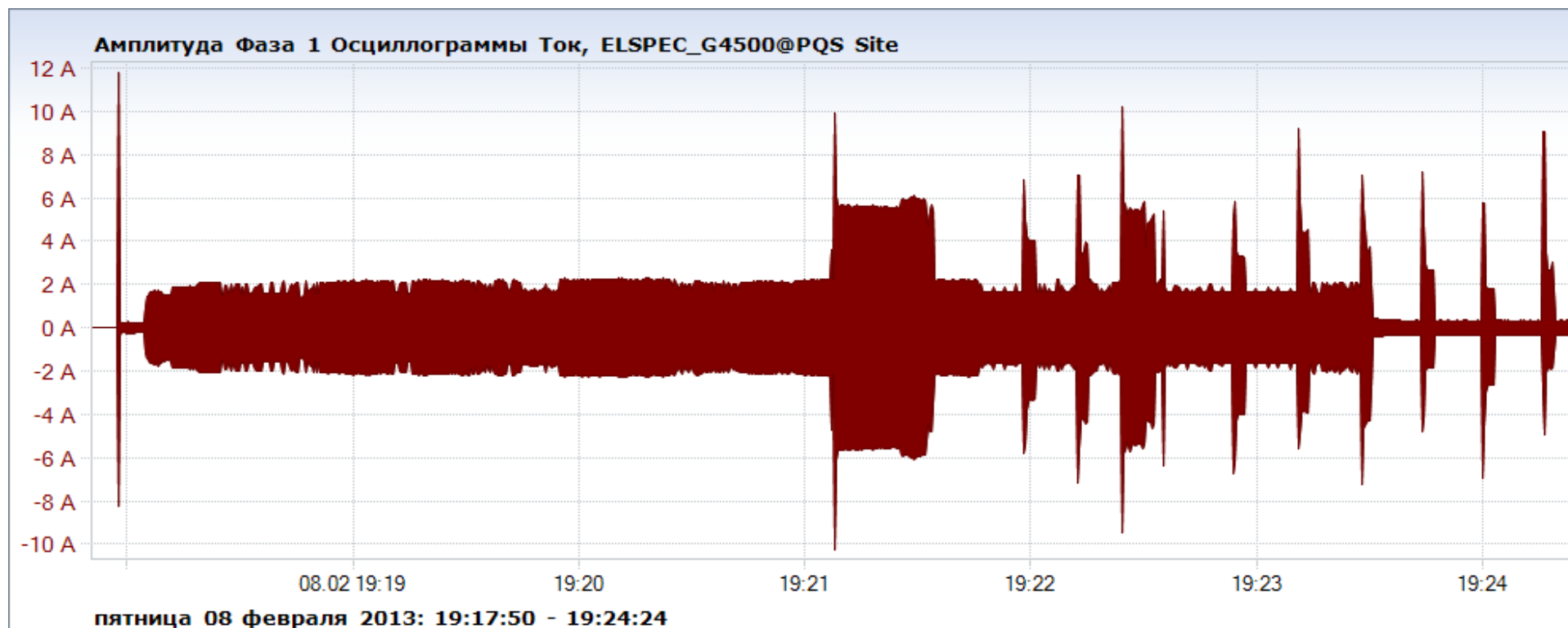


Рисунок В.35 – Осцилограмма струму монітора SAMSUNG SyncMaster 920N,
сканера Mustek Bear Paw Scan Express 1248 UB, принтера Xerox Phaser 3117 під час ввімкнення, друку

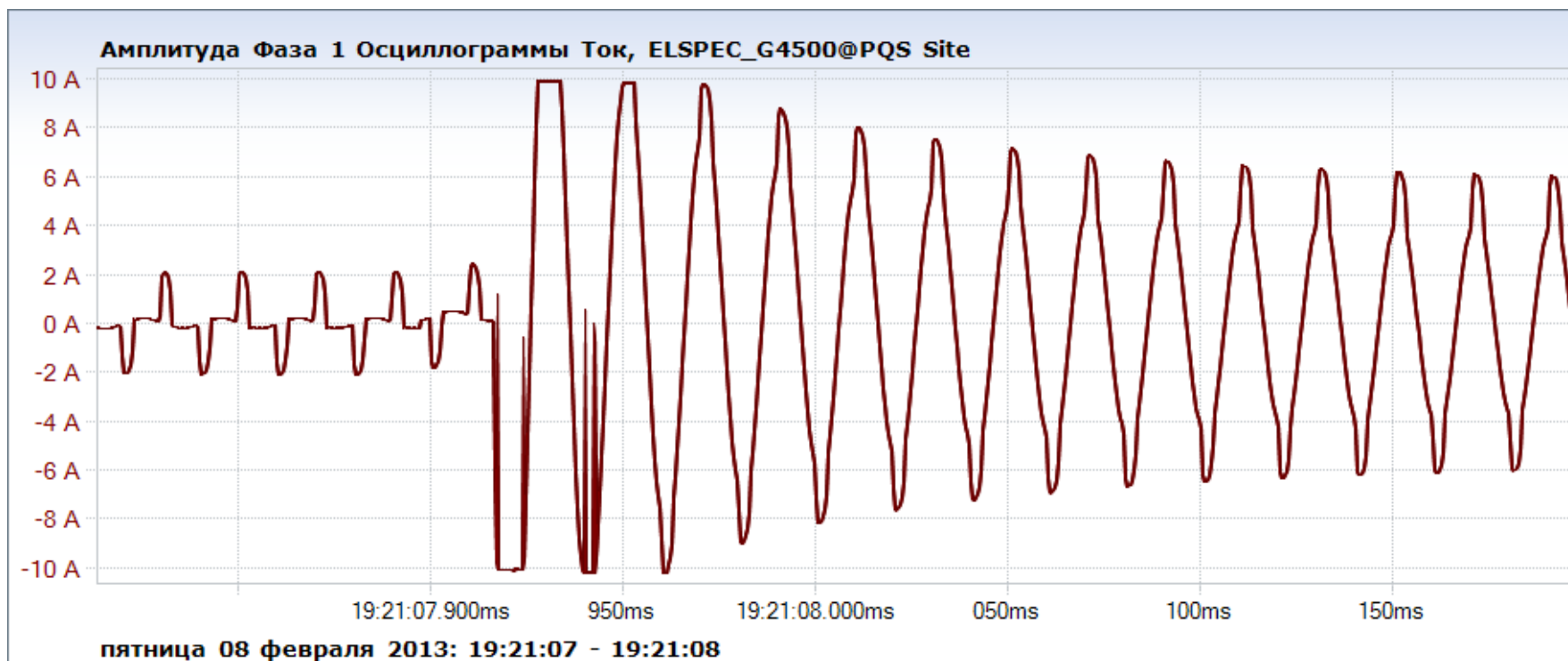


Рисунок В.36 – Осцилограмма струму монітора SAMSUNG SyncMaster 920N, сканера Mustek Bear Paw Scan Express 1248 UB, принтера Xerox Phaser 3117 під час ввімкнення, роботи

Експериментальні дані щодо аналізу електричного навантаження
9-поверхового 144-квартирного будинку

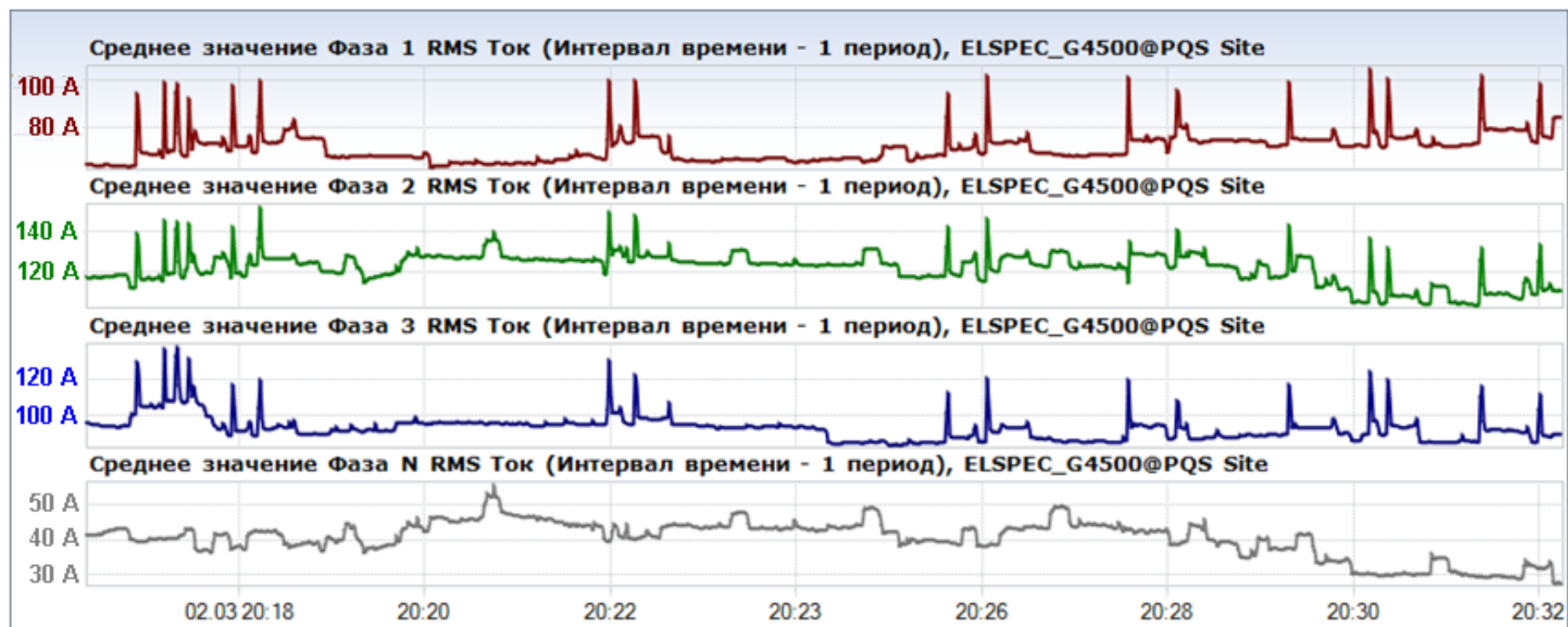


Рисунок Г.1 – Осцилограми струму за фазами А, В, С і нейтралі N
9-поверхового житлового будинку

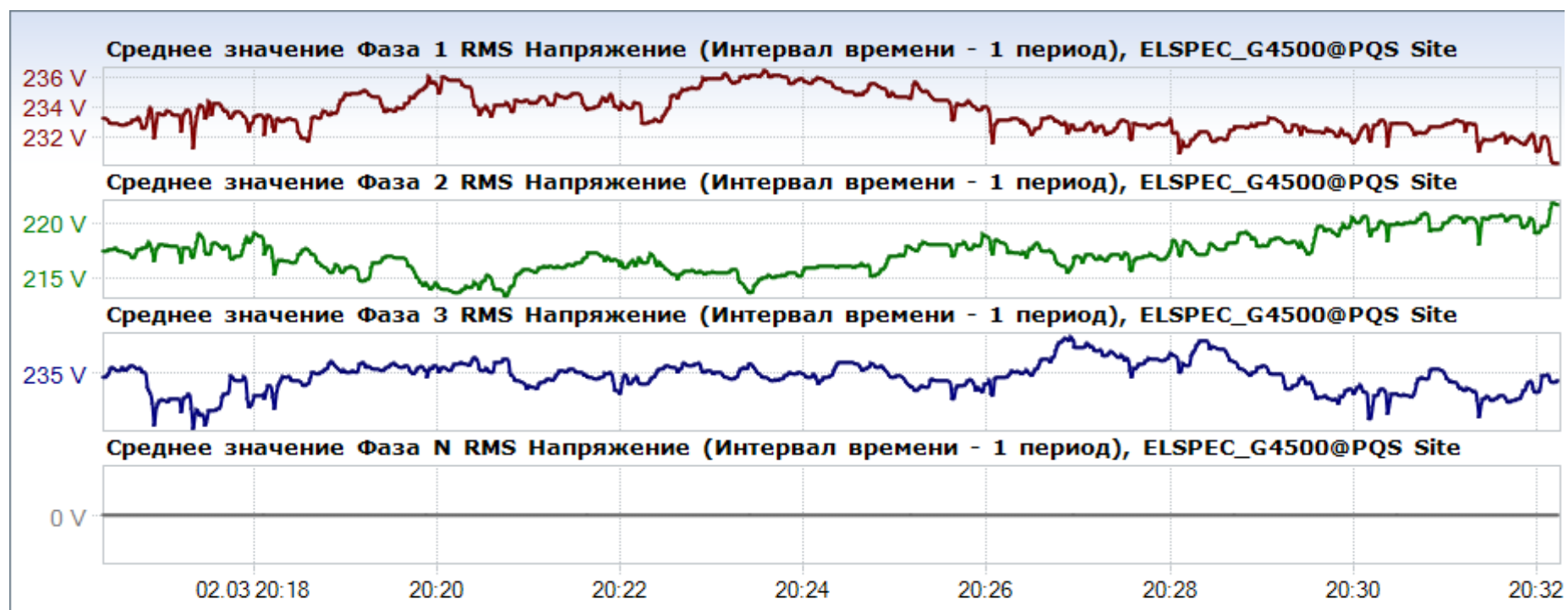


Рисунок Г.2 – Середні значення RMS напруги за фазами А, В, С і нейтралі N
9-поверхового житлового будинку

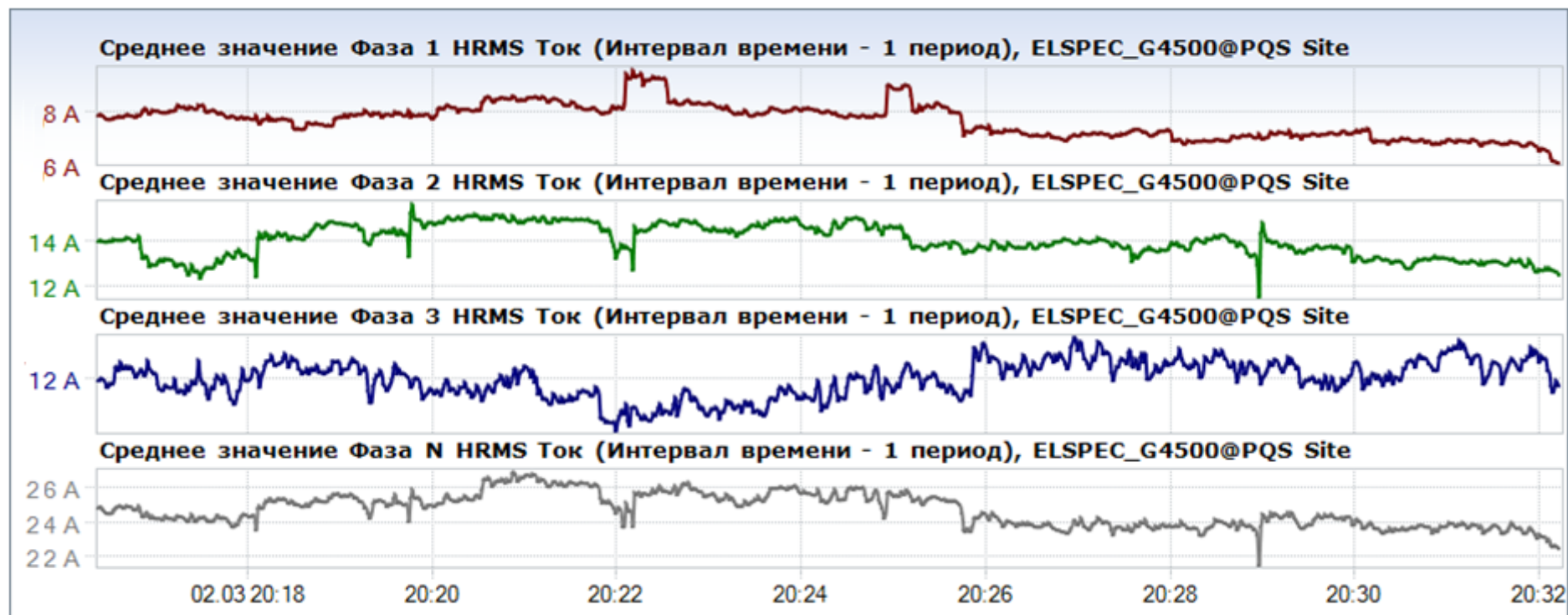


Рисунок Г.3 – Осцилограмми напруги за фазами А, В, С і нейтралі N
9-поверхового житлового будинку

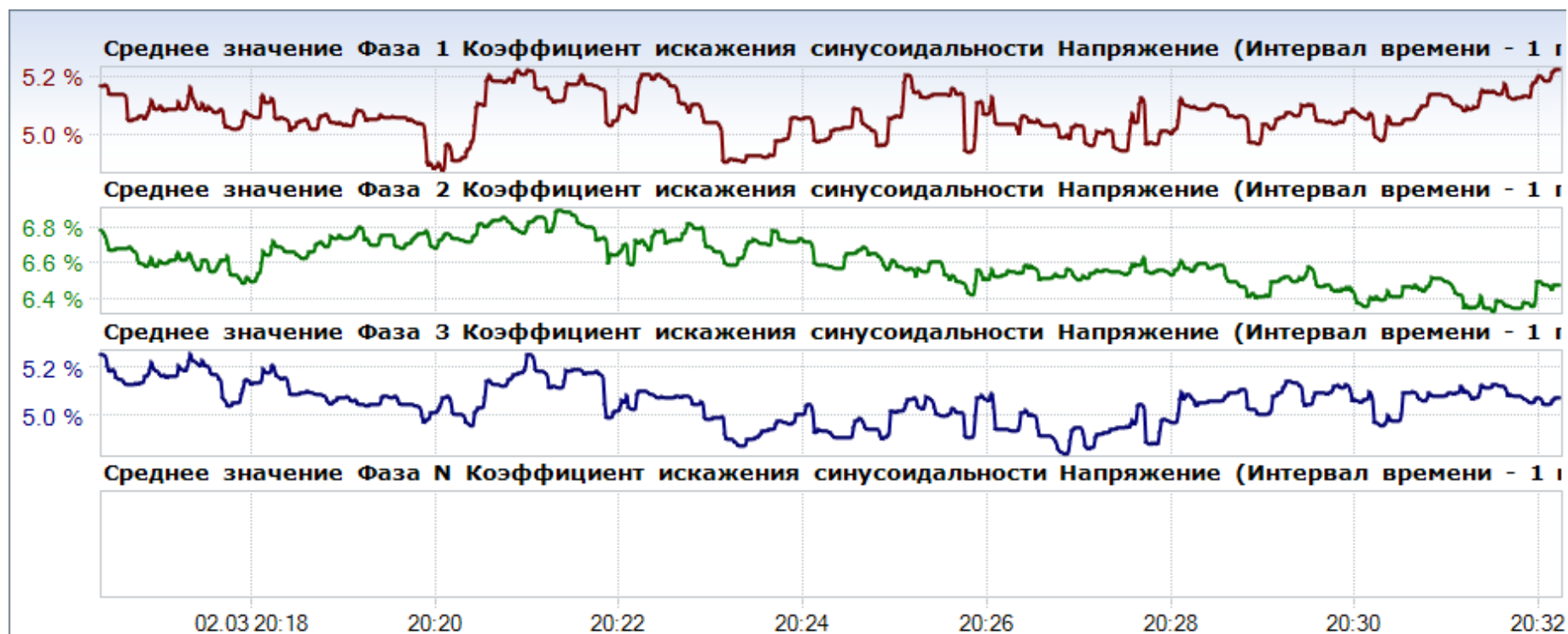


Рисунок Г.4 – Середні значення коефіцієнта спотворення напруги за фазами А, В, С і нейтралі N
9-поверхового житлового будинку

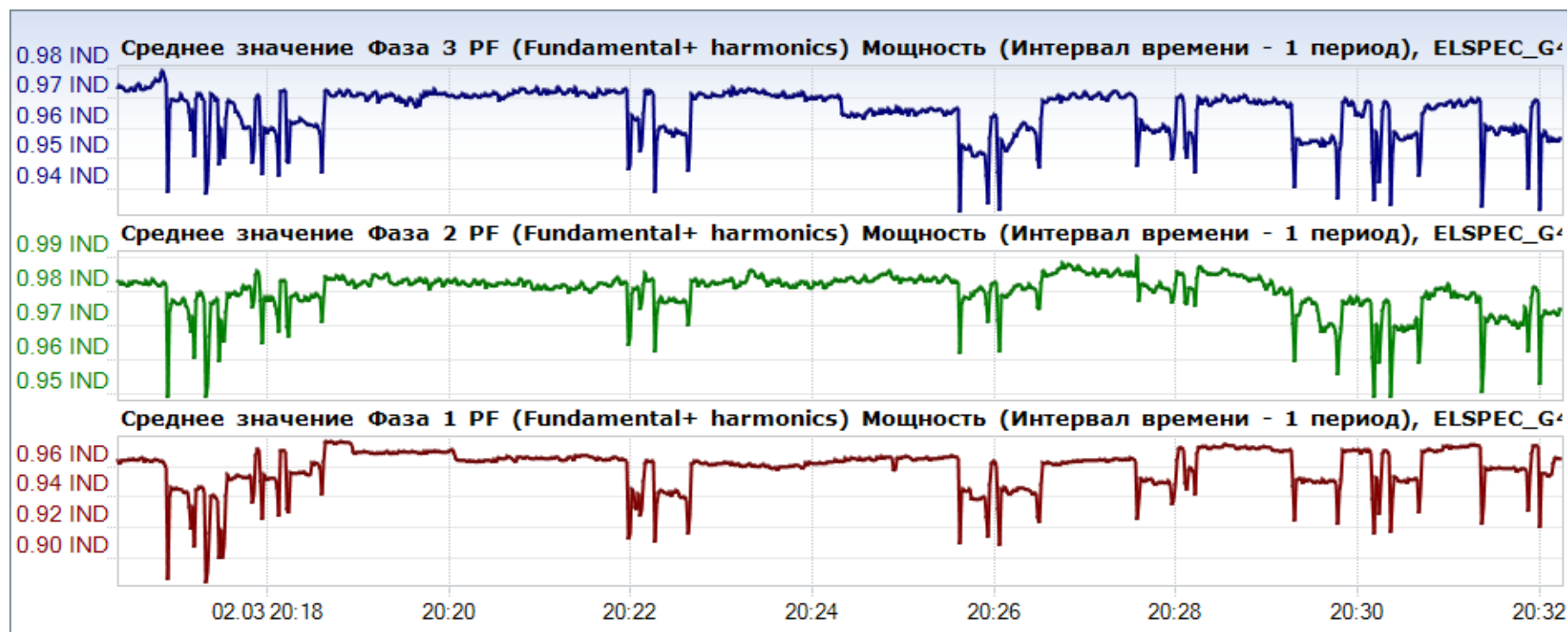


Рисунок Г.5 – Середні значення PF за фазами А, В, С
9-поверхового житлового будинку

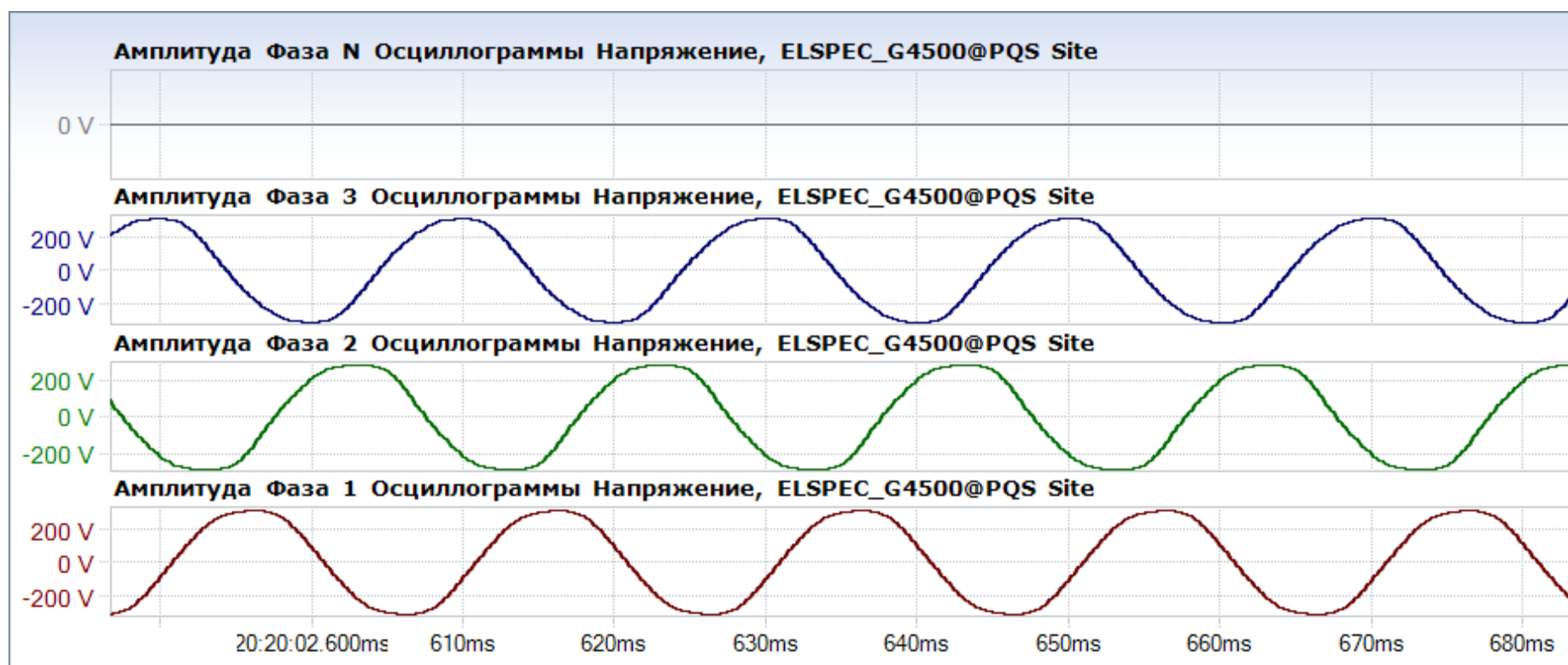


Рисунок Г.6 – Осцилограмми напруги за фазами А, В, С і нейтралі N
9-поверхового житлового будинку

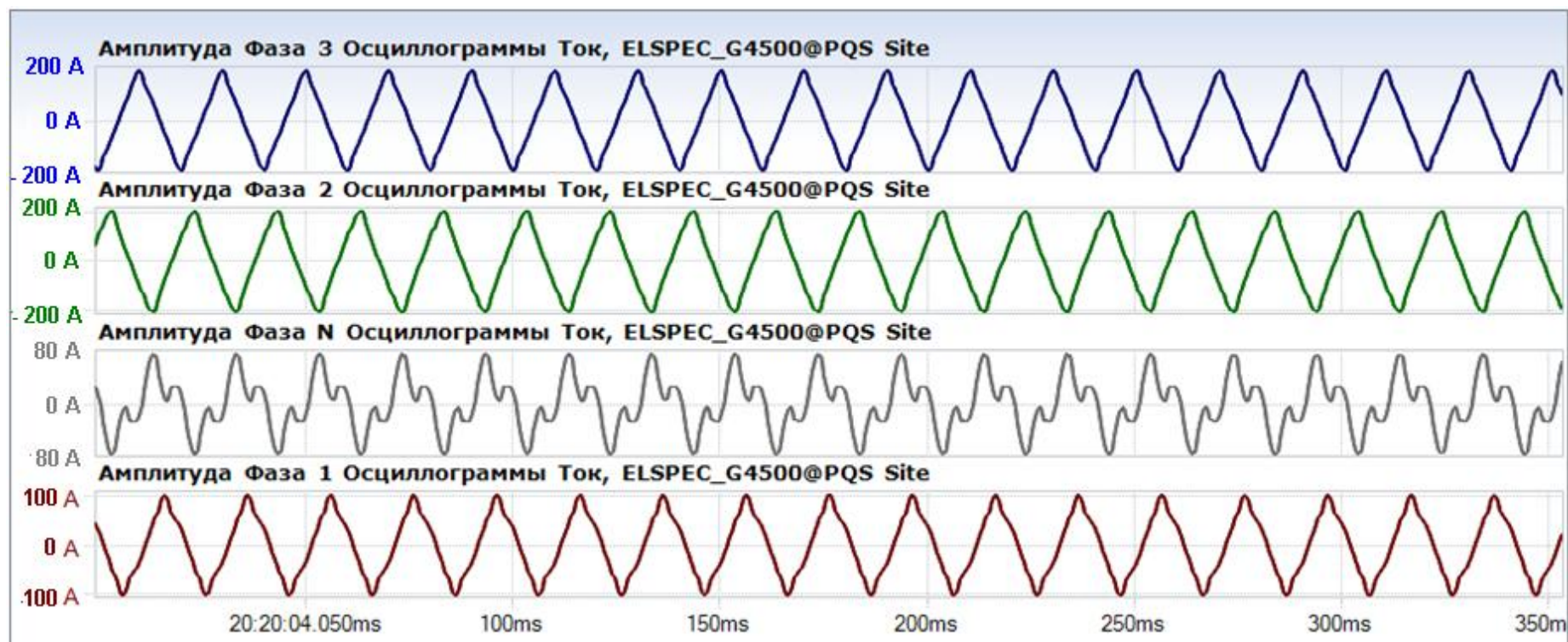


Рисунок Г.7 – Осцилограми струму за фазами А, В, С і нейтралі N
9-поверхового житлового будинку

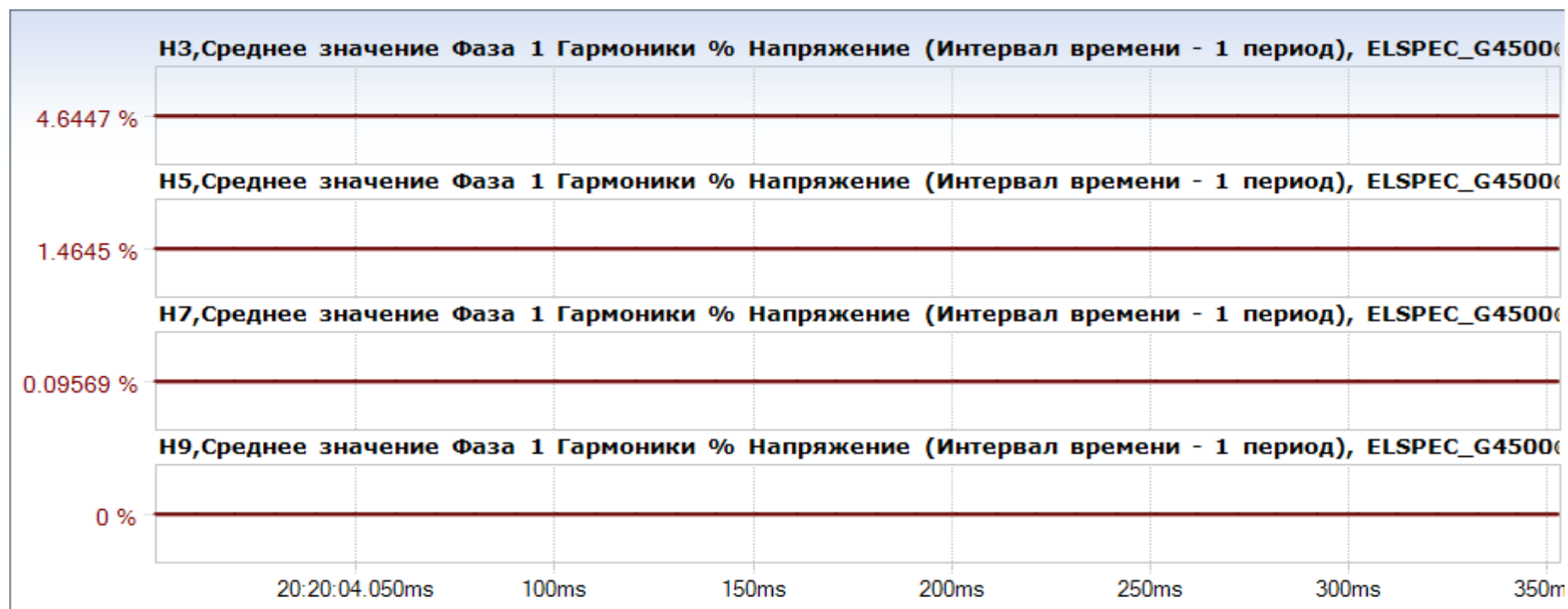


Рисунок Г.8 – Середні значення 3, 5, 7, 9-ої гармонік за напругою
9-поверхового житлового будинку

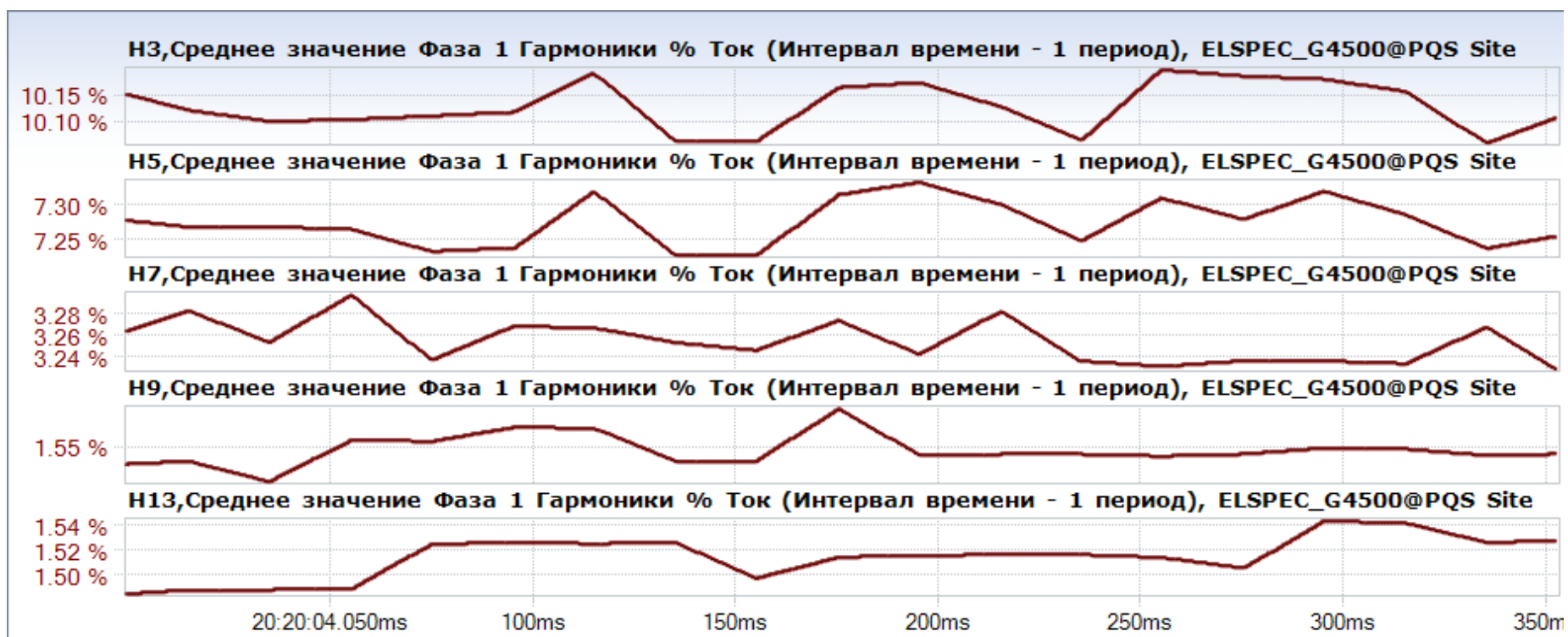


Рисунок Г.9 – Середні значення 3, 5, 7, 9, 13-ої гармонік за струмом
9-поверхового житлового будинку

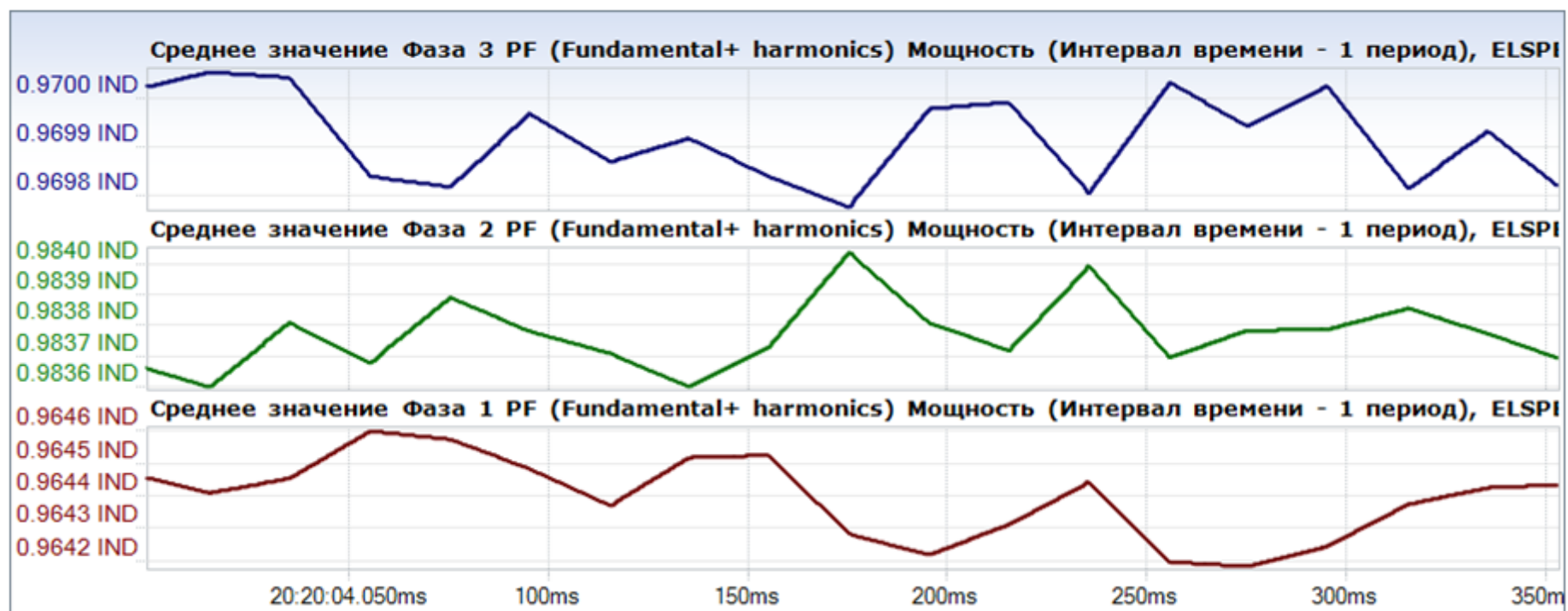


Рисунок Г.10 – Середні значення PF електричного навантаження
9-поверхового житлового будинку

Додаток Д

Зведені відомості замірів активної і реактивної потужності
об'єктів цивільного призначення м. Одеса

Сводная ведомость
результатов замеров активной и реактивной электрической нагрузки
за « 17 » июля 2009г.
по ООО "МЕТРО Кеш Експресс Украина" Торговельний центр
(наименование потребителя, ведомственная принадлежность, отрасль)

Присоединенная мощность трансформаторов 2 × 800 = 1600 кВА
Присоединенная мощность высоковольтных синхронных двигателей — кВт
Присоединенная мощность компенсирующих установок 2 × 100 = 200 кВАр
Разрешенная мощность из ТУ 1300 кВт

Время суток час	Почасовая активная нагрузка кВт	Почасовое потребление реактивной мощности, кВАр	Почасовая генерация реактивной мощности, кВАр	Почасовая реактивная мощность включен. батарей статических конденсаторов, кВАр
1	2	3	4	5
00.00-01.00	742	177		
01.00-02.00	739	203		
02.00-03.00	729	176		
03.00-04.00	723	180		
04.00-05.00	726	193		
05.00-06.00	625	128		
06.00-07.00	648	113		
07.00-08.00	689	119		
08.00-09.00	823	146		
09.00-10.00	824	139		
10.00-11.00	817	141		
11.00-12.00	817	140		
12.00-13.00	820	153		
13.00-14.00	815	149		
14.00-15.00	808	148		
15.00-16.00	797	142		
16.00-17.00	803	160		
17.00-18.00	801	188		
18.00-19.00	795	178		
19.00-20.00	772	187		
20.00-21.00	821	201		
21.00-22.00	839	187		
22.00-23.00	745	145		
23.00-24.00	726	154		
Потребление электроэнергии за сутки	активная электроэнергия Asут.= 18.444,0 (кВт·час)	реактивная электроэнергия Rсут.= 3.847,0 (кВАр·час)	реактивная электроэнергия Rг.сут.= (кВАр·час)	

Главный энергетик

(лицо ответственное за электрохозяйство)

Криштофов А.Н.

(Ф.И.О.)

А.Н.К.

(подпись)

Указание по заполнению ведомости:

Рисунок Д.1 – Зведена відомість електричного навантаження
торговельного центру

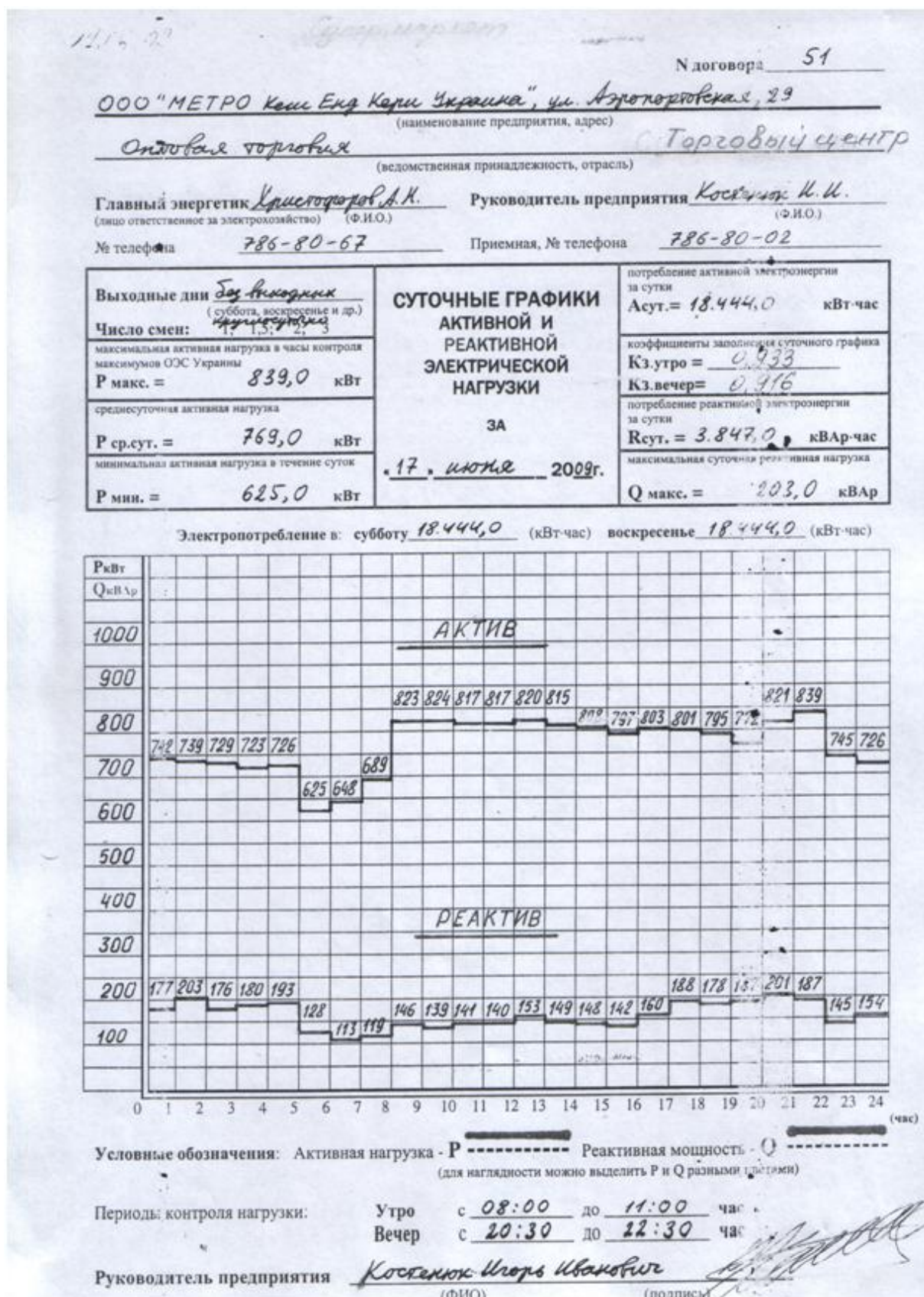


Рисунок Д.2 – Добові графіки електричного навантаження
торговельного центру

Сводная ведомость
результатов замеров активной и реактивной электрической нагрузки
 за «17» июня 2009г.
 по фирма «Вега» ООО
 (наименование потребителя, ведомственная принадлежность, отрасль)

Присоединенная мощность трансформаторов 21630 кВА
 Присоединенная мощность высоковольтных синхронных двигателей — кВт
 Присоединенная мощность компенсирующих установок 200 кВАр
 Разрешенная мощность из ТУ 630 кВт

Время суток час	Почасовая активная нагрузка кВт	Почасовое потребление реактивной мощности, кВАр	Почасовая генерация реактивной мощности, кВАр	Почасовая реактивная мощность включен. батарей статических конденсаторов, кВАр
1	2	3	4	5
00.00-01.00	286	55	2	
01.00-02.00	277	48	6	
02.00-03.00	244	53	3	
03.00-04.00	269	52	5	
04.00-05.00	296	60	7	
05.00-06.00	204	37	4	
06.00-07.00	351	58	3	
07.00-08.00	460	97	0	
08.00-09.00	501	104	0	
09.00-10.00	561	113	0	
10.00-11.00	534	127	0	
11.00-12.00	564	158	0	
12.00-13.00	620	121	0	
13.00-14.00	515	139	0	
14.00-15.00	557	150	0	
15.00-16.00	548	149	0	
16.00-17.00	504	133	0	
17.00-18.00	498	142	0	
18.00-19.00	483	145	0	
19.00-20.00	491	136	0	
20.00-21.00	449	113	0	
21.00-22.00	423	97	0	
22.00-23.00	414	100	0	
23.00-24.00	380	68	0	
Потребление электроэнергии за сутки	активная электроэнергия Асут.= 10473 (кВт-час)	реактивная электроэнергия Рсут.= 2505 (кВАр-час)	реактивная электроэнергия Рг.сут.= 30 (кВАр-час)	

Главный энергетик
 (лицо ответственное за электрохозяйство)

Жаботинский В.В.
 (Ф.И.О.)

[подпись]
 (подпись)

Указание по заполнению ведомости:

В графах 2, 3, 4 и 5 указывать величину мощности в целых числах, а при наличии нескольких приборов учета электроэнергии указывать суммарную величину мощности в целых числах.

Рисунок Д.3 – Зведена відомість електричного навантаження
 фірми «Вега»

N договора 52

Фирма «Вега» ООО ч.п. Гастемира 50
(наименование предприятия, адрес)

(ведомственная принадлежность, отрасль)

Главный энергетик Матвеев В.В. Руководитель предприятия Круковенко В.А.
(лицо ответственное за электрохозяйство) (Ф.И.О.) (Ф.И.О.)

№ телефона 773-86-29 Приемная, № телефона _____

Выходные дни _____ (суббота, воскресенье и др.) Число смен: 1; 1.5; <u>3</u> максимальная активная нагрузка в часы контроля максимумов ОЭС Украины P макс. = _____ кВт среднесуточная активная нагрузка P ср.сут. = _____ кВт минимальная активная нагрузка в течение суток P мин. = _____ кВт	СУТОЧНЫЕ ГРАФИКИ АКТИВНОЙ И РЕАКТИВНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ЗА <u>14 июля 2009г.</u>	потребление активной электроэнергии за сутки Асут. = 10473 кВт·час коэффициенты заполнения суточного графика Kз.утро = 0.778 Kз.вечер = 0.972 потребление реактивной электроэнергии за сутки Reут. = 2605 кВАр·час максимальная суточная реактивная нагрузка Q макс. = _____ кВАр
--	---	--

Электропотребление в: субботу 10473 (кВт·час) воскресенье 10473 (кВт·час)

P кВт

Q кВАр

(час)

Условные обозначения: Активная нагрузка - **P** ----- Реактивная нагрузка - **Q** -----
(для наглядности можно выделить цветом значимые моменты)

Периоды контроля нагрузки: Утро с 8:00 час до 20:30 час
Вечер с 20:30 час до 24:00 час

Руководитель предприятия Круковенко В.А.
(Ф.И.О.)

М.П. _____

Рисунок Д.4 – Добові графіки електричного навантаження
фірми «Вега»

Сводная ведомость
результатов замеров активной и реактивной электрической нагрузки
 за «17» июня 2009.

по ООО ССК «Магнолия» Санаторий
 (наименование потребителя, ведомственная принадлежность, отрасль)

Присоединенная мощность трансформаторов 2х630 кВА
 Присоединенная мощность высоковольтных синхронных двигателей — кВт
 Присоединенная мощность компенсирующих установок — кВАр
 Разрешенная мощность из ТУ 360 кВт

Время суток час	Почасовая активная нагрузка кВт	Почасовое потребление реактивной мощности кВАр	Почасовая генерация реактивной мощности кВАр
1	2	3	4
00.00-01.00	66	51	
01.00-02.00	74	48	
02.00-03.00	50	44	
03.00-04.00	29	47	
04.00-05.00	29	52	
05.00-06.00	66	48	
06.00-07.00	97	58	
07.00-08.00	99	46	
08.00-09.00	73	90	
09.00-10.00	157	79	
10.00-11.00	192	74	
11.00-12.00	143	79	
12.00-13.00	170	89	
13.00-14.00	120	71	
14.00-15.00	104	52	
15.00-16.00	91	72	
16.00-17.00	92	61	
17.00-18.00	78	57	
18.00-19.00	100	70	
19.00-20.00	112	53	
20.00-21.00	46	18	
21.00-22.00	52	30	
22.00-23.00	59	27	
23.00-24.00	83	27	
Потребление электроэнергии за сутки	А _{сут.} = 2182 (кВт·час)	Ре _{сут.} = 1343 (кВАр·час)	генерация реактивной мощности за сутки R _{г.сут.} = (кВАр·час)

Главный энергетик

(лицо ответственное за электрохозяйство)

Татарбенко А.А.

(Ф.И.О.)

(подпись)

Указание по заполнению ведомости:

В графах 2, 3 и 4 указывать величину мощности в целых числах, а при наличии нескольких приборов учета электроэнергии указывать суммарную величину мощности в целых числах.

Рисунок Д.5 – Зведена відомість електричного навантаження
 санаторія «Магнолія»

N договора 36

ООО СОК "Магнолія" 2. Орска Пр. Бульвар 63/65
(наименование предприятия; адрес)

Санаторий
(ведомственная принадлежность, отрасль)

Главный энергетик Тимофеев А.А. Руководитель предприятия Джамалов Д.З.
(лицо ответственное за электрохозяйство) (Ф.И.О.) (Ф.И.О.)

№ телефона 746-58-34 Приемная, № телефона 746-12-15

Выходные дни (суббота, воскресенье и др.) Число смен: 1; 1,5; 2; 3 максимальная активная нагрузка в часы контроля максимума ОЭС Украины P макс. = <u>192</u> кВт среднесуточная активная нагрузка P ср.сут. = <u>100</u> кВт минимальная активная нагрузка в течение суток P мин. = <u>29</u> кВт	СУТОЧНЫЕ ГРАФИКИ АКТИВНОЙ И РЕАКТИВНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ЗА «<u>17</u>» <u>июня</u> <u>2009</u>г.	потребление активной электроэнергии за сутки Асут. = <u>2182</u> кВт·час коэффициенты заполнения суточного графика Кз.утро = <u>0,474</u> Кз.вечер = <u>1,748</u> потребление реактивной электроэнергии за сутки Qсут. = <u>1543</u> кВАр·час максимальная суточная реактивная нагрузка Q макс. = <u>90</u> кВАр
---	--	---

Электропотребление в: субботу 2182 (кВт·час) воскресенье 2182 (кВт·час)

РкВт

QкВАр

210

200

190

180

170

160

150

130

120

110

100

90

80

70

60

50

40

30

20

10

(час)

Условные обозначения: Активная нагрузка - P — Реактивная мощность - Q

(для наглядности можно выделить P и Q разными линиями)

Периоды контроля нагрузки: Утро с 8.00 до 16.00 час
Вечер с 20.30 до 22.30 час

Руководитель предприятия Джамалов Д.З. (Ф.И.О.) (подпись)

Рисунок Д.6 – Добові графіки електричного навантаження
санаторія «Магнолія»

Сводная ведомость результатов замеров активной и реактивной электрической нагрузки

за « 17 » июня 2009 г.

по ООО «Крок за кроком плюс» Гостиничная
(наименование потребителя, ведомственная принадлежность, отрасль)

Присоединенная мощность трансформаторов 2x630 кВА
Присоединенная мощность высоковольтных синхронных двигателей — кВт
Присоединенная мощность компенсирующих установок — кВАр
Разрешенная мощность из ТУ — кВт

Время суток час	Почасовая активная нагрузка кВт	Почасовое потребление реактивной мощности, кВАр	Почасовая генерация реактивной мощности, кВАр	Почасовая реактивная мощность включен. батарей статических конденсаторов, кВАр
1	2	3	4	5
00.00-01.00	30			
01.00-02.00	30			
02.00-03.00	32			
03.00-04.00	36			
04.00-05.00	38			
05.00-06.00	38			
06.00-07.00	124			
07.00-08.00	98			
08.00-09.00	140			
09.00-10.00	146			
10.00-11.00	144			
11.00-12.00	140			
12.00-13.00	126			
13.00-14.00	100			
14.00-15.00	124			
15.00-16.00	62			
16.00-17.00	78			
17.00-18.00	62			
18.00-19.00	46			
19.00-20.00	44			
20.00-21.00	36			
21.00-22.00	36			
22.00-23.00	32			
23.00-24.00	30			
Потребление электроэнергии за сутки	активная электроэнергия Aсут. = 1792 (кВт-час)	реактивная электроэнергия Rсут. = (кВАр-час)	реактивная электроэнергия Rг.сут. = (кВАр-час)	

Главный энергетик
(лицо ответственное за электрохозяйство)

Шевцов В.В.

(Ф.И.О.)

[Подпись]
(подпись)

Указание по заполнению ведомости:

В графах 2, 3, 4 и 5 указывать величину мощности в целых числах, а при наличии нескольких приборов

Рисунок Д.7 – Сводная ведомость электрического навантаження готелю

N договора 23

ООО "Крок за кроком нлюс"
(наименование предприятия, адрес)
г. Одесса, ул. Генуэзская, 249
(ведомственная принадлежность, отрасль)

Главный энергетик Шевцов В.В. (Ф.И.О.)
Руководитель предприятия Градковский А.И. (Ф.И.О.)

№ телефона 7605-137 Приемная, № телефона 7605-325

Выходные дни <u>суббота, воскресенье</u> (суббота, воскресенье и др.) Число смен: <u>1; 1.5; 2; 3</u> максимальная активная нагрузка в часы контроля максимумов ОЭС здания P макс. = 146 кВт среднесуточная активная нагрузка P ср.сут. = 75 кВт минимальная активная нагрузка в течение суток P мин. = 30 кВт	СУТОЧНЫЕ ГРАФИКИ АКТИВНОЙ И РЕАКТИВНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ЗА <u>17</u> <u>июня</u> <u>2009</u> г.	потребление активной электроэнергии за сутки Aсут. = 1792 кВт·час коэффициенты заполнения суточного графика Kз.утро = 0.511 Kз.вечер = 2.074 потребление реактивной электроэнергии за сутки Rсут. = — кВАр·час максимальная суточная реактивная нагрузка Q макс. = — кВАр
---	---	---

Электропотребление в: субботу 1200 (кВт·час) воскресенье 1100 (кВт·час)

РкВт
QкВАр

Условные обозначения: Активная нагрузка - P ————— Реактивная мощность - Q —————
(для наглядности можно выделить P и Q разными цветами)

Периоды контроля нагрузки: Утро с 8⁰⁰ до 14⁰⁰ час
Вечер с 20⁰⁰ до 22⁰⁰ час

Руководитель предприятия Градковский А.И. (ФИО) А.И. Градковский (подпись)

М.П.

Рисунок Д.8 – Добові графіки електричного навантаження готелю

**Сводная ведомость
результатов замеров активной и реактивной электрической нагрузки**

за "17" декабря 2008 г.

по ЗАО "ФОЗЗИ-ЮГ" Французский бульвар, 16

(наименование потребителя, ведомственная принадлежность, отрасли)

Присоединенная мощность трансформаторов _____ кВА
 Присоединенная мощность высоковольтных синхронных двигателей _____ кВт
 Присоединенная мощность компенсирующих установок 70 кВАр
 Разрешенная мощность из ТУ 214 кВт

Время суток час	Почасовая активная нагрузка кВт	Почасовое потребление реактивной мощности, кВАр	Почасовая генерация реактивной мощности, кВАр	Почасовая реактивная мощность включен. батарей статических конденсаторов, кВАр
1	2	3	4	5
00.00-01.00	93	26	0,0	
01.00-02.00	86	26	0,0	
02.00-03.00	84	32	0,0	
03.00-04.00	92	37	0,0	
04.00-05.00	92	25	0,0	
05.00-06.00	94	25	0,0	
06.00-07.00	96	23	0,0	
07.00-08.00	104	23	0,0	
08.00-09.00	124	39	0,0	
09.00-10.00	114	34	0,0	
10.00-11.00	122	33	0,0	
11.00-12.00	130	40	0,0	
12.00-13.00	124	38	0,0	
13.00-14.00	135	26	0,0	
14.00-15.00	130	34	0,0	
15.00-16.00	121	39	0,0	
16.00-17.00	126	31	0,0	
17.00-18.00	123	37	0,0	
18.00-19.00	102	38	0,0	
19.00-20.00	104	26	0,0	
20.00-21.00	96	25	0,0	
21.00-22.00	94	24	0,0	
22.00-23.00	89	24	0,0	
23.00-24.00	87	23	0,0	
Потребление электроэнергии за сутки	активная электроэнергия Асут.=2562 (кВт.час)	реактивная электроэнергия Рсут.= 728 (кВАр.час)	реактивная электроэнергия Рг.сут.= 0 (кВАр.час)	

Главный энергетик
(лицо ответственное за электрохозяйство)

Данилко И.П.
(Ф.И.О.)

(подпись)

Указание по заполнению ведомости:

В графе 2,3,4и5 указывать величину мощности в целых числах, а при наличии нескольких приборов учета электроэнергии указывать суммарную величину мощности в целых числах.

Рисунок Д.9 – Зведена відомість електричного навантаження супермаркету

ДОДАТОК Е

Упровадження результатів дисертаційної роботи

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Проректор
з наукової та науково-педагогічної роботи
Одеського національного
політехнічного університету,
д-р техн. наук, професор

Дмитришин Д. В.

2019 р.

АКТ

впровадження у навчальний процес результатів дисертаційної роботи
за темою: «Методи і моделі визначення електричного навантаження цивільних
об'єктів з використанням графічного і макромодельовання та фрактальних властивостей»
доцента Бондарчука Анатолія Сергійовича

Члени комісії у складі директора Інституту електромеханіки та енергоменеджменту професора Бойка А. О., завідувача кафедрою Електропостачання та енергетичного менеджменту доцента Бесараба О. М. склали цей акт про те, що в Одеському національному політехнічному університеті для студентів спеціальності 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка на основі отриманих результатів дисертаційної роботи доцента Бондарчука А.С. впроваджено у навчальний процес дисципліни «Особливості електропостачання об'єктів житлово-комунального господарства», «Електропостачання цивільних об'єктів» та розроблено дисертантом навчальні посібники з грифом МОН України «Внутрішньоквартальне електропостачання», «Внутрішньобудинкове електропостачання», за якими читаються лекції, проводяться лабораторні, практичні заняття, курсове, дипломне проектування, новизною яких є таке:

– метод розрахунку електричного навантаження цивільних об'єктів шляхом графічного синтезу динаміки його складових з використанням моделювання на основі теорії сплайнів, який дозволив, порівняно з обчисленням за чинними нормативними показниками, у 1,5–3,5 рази підвищити достовірність його визначення, що підтверджено експериментально на реальних об'єктах;

– метод визначення питомого електричного навантаження жител багатопверхових будинків мікрорайону міста за моделлю математичного сподівання усереднених функцій, який на відміну від чинних нормативних документів, дозволив результати обчислення наблизити з похибкою до 2–5 % його реального значення;

– метод оцінки впливу вищих гармонік, які генеруються електроприймачами з нелінійними характеристиками, на електричне, теплове навантаження струмовідних частин шляхом моделювання за сплайн-інтерполяцією процесів в електричній мережі, що дозволяє передбачати перегрівання елементів систем електропостачання цивільних об'єктів.

Директор
Інституту електромеханіки
та енергоменеджменту,
д-р техн. наук, професор

Бойко А. О.

Завідувач кафедри
Електропостачання та
енергетичного менеджменту,
канд. техн. наук, доцент

Бесараб О. М.

**ЦЕНТР ТРАНСФЕРУ ТЕХНОЛОГІЙ
ОДЕСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО ПОЛІТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

ЦЕНТР ТРАНСФЕРА ТЕХНОЛОГІЙ ОДЕССКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
CENTER FOR TECHNOLOGY TRANSFER OF ODESSA NATIONAL POLYTECHNIC UNIVERSITY
Україна, 65044, м. Одеса, пр. Шевченка, 1, к. №4 ауд. 411, тел. +38 048 705 83 10,
e-mail: ctt@opu.ua, сайт: ctt.opu.ua, <http://www.opu.ua>

Дата: 04.05.2018 р.

РЕКОМЕНДАЦІЯ

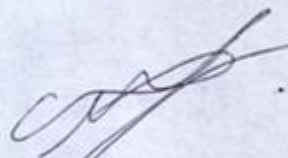
щодо використання результатів дисертаційної роботи за темою:
**«МЕТОДИ І МОДЕЛІ ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ
ЦИВІЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ГРАФІЧНОГО І
МАКРОМОДЕЛЮВАННЯ ТА ФРАКТАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ»**

канд. техн. наук, доцента Бондарчука А. С.

Дисертаційна робота доцента Бондарчука А. С. за темою «Методи і моделі визначення електричного навантаження цивільних об'єктів з використанням графічного і макромодельовання та фрактальних властивостей» є актуальною за своєї направленості на використання енергоефективної технології щодо широкого використання відновлювальних джерел енергії для електропостачання цивільних об'єктів, таких як мережеві сонячні електростанції, гібридні сонячні колектори, що здатні одночасно генерувати як електричну так і теплову енергію, віртуальні електростанції та інтегровані, розосередженні системи електропостачання, які визначають енергетику майбутнього з мінімальною антропогенною дією на довкілля.

Методи та моделі запропоновані в дисертації, щодо визначення розрахункового навантаження з урахуванням дії вищих гармонік, які генерують нелінійні електроприймачі цивільних об'єктів, відновлювальні джерела енергії, суттєво підвищують точність обчислення реального навантаження електричних мереж об'єктів цивільного призначення і придатні до практичного використання, що підтверджено експериментально.

Директор ЦТТ ОНПУ



Климчук О.А.

ДОВІДКА-РЕКОМЕНДАЦІЯ

щодо впровадження результатів дисертаційної роботи
к.т.н., доцента Бондарчука Анатолія Сергійовича за темою:
«Методи і моделі визначення електричного навантаження цивільних
об'єктів з використанням графічного і макромодельовання,
фрактальних властивостей»

Дисертаційна робота Бондарчука А. С. має науково-практичне значення, оскільки результати дослідження щодо розрахункового навантаження об'єктів цивільного призначення та експлуатації мережевих сонячних електростанцій свідчать про таке:

– експерименти, що проводилися автором дисертаційної роботи на базі устаткування мережевої сонячної електростанції потужністю 30 кВт, яка спроектована і змонтована ТОВ «СТАР ЕНЕРЖІ» та функціонує в місті Одеса, підтвердили суттєвий вплив мережевого інвертора, нелінійних електроприймачів на величину електричного навантаження від протікання вищих гармонік, що перевищує дію розрахункового струму за основної гармоніки;

– методи і моделі визначення електричного навантаження цивільних об'єктів з використанням графічного і макромодельовання, фрактальних властивостей, які запропоновані в дисертації, та отримані результати експериментів надають можливість підвищити точність обчислення і рекомендуються до впровадження при проектуванні систем електропостачання об'єктів цивільного призначення та врахувати додаткове навантаження на струмовідні частини від генерування вищих гармонік джерел відновлювальної енергії, нелінійних електроприймачів, таких як кондиціонери, персональні комп'ютери, електронна техніка та ін.

Директор
ТОВ «СТАР ЕНЕРЖІ»



М. М. Пархоменко



НВЛ Solar plex

65000, м. Одеса, ул. Чорноморського казатства, 253.

e-mail: solarsimbio@gmail.com

тел.+38 (048) 7724690

(067) 1245974

ДОВІДКА

щодо впровадження результатів дисертаційної роботи
канд. тех. наук, доцента Бондарчука Анатолія Сергійовича за темою:
«Методи і моделі визначення електричного навантаження цивільних
об'єктів з використанням графічного і макромодельовання,
фрактальних властивостей»

1 Методи і моделі визначення розрахункового навантаження об'єктів цивільного призначення з використанням графічного і макромодельовання, фрактальних властивостей значно підвищують точність обчислення, порівняно з існуючими методами.

2 Отримані результати наукової роботи надають можливість при проектуванні систем електропостачання об'єктів цивільного призначення врахувати особливості навантаження на електричні мережі через генерування вищих гармонік нелінійними електроприймачами, мережевими інверторами фотоелектричних модулів, в тому числі і гібридними сонячними колекторами, що постійно модернізуються нашою науково-виробничою лабораторією.

3 Додаткове підвищення розрахункового навантаження на електричні мережі та електрообладнання, через наявність інверторів відновлювальних джерел та таких нелінійних електроприймачів як персональні комп'ютери, кондиціонери, електронні прилади, що суттєво спотворюють синусоїдність струму, напруги в електричній мережі, що в дисертаційній роботі підтверджено експериментально, рекомендується до впровадження при виборі електроустаткування систем електропостачання.

Все зазначене підкреслює науково-практичну цінність отриманих результатів дисертаційної роботи канд. тех. наук, доцента Бондарчука А. С.

В. о. директора
науково-виробничої
лабораторії «Solar plex»
канд. біол. наук,
ст. наук. спів.

БС

О. А. Багірова

ДОВІДКА-РЕКОМЕНДАЦІЯ

щодо впровадження результатів дисертаційної роботи
канд. тех. наук, доцента Бондарчука Анатолія Сергійовича за темою:
«Методи і моделі визначення електричного навантаження цивільних об'єктів
з використанням графічного і макромодельовання,
фрактальних властивостей»

Дисертаційна робота Бондарчука А. С. містить ряд науково-практичних результатів, які полягають в такому:

1. Експериментально досліджено технічні характеристики основних електроприймачів цивільних об'єктів, які проводилися автором за допомогою аналізатора якості електричної енергії Elspec G4500, які служитимуть інформаційною базою для розрахунку електричного навантаження систем електропостачання.

2. Запропоновані автором методи і моделі з використанням графічного і макромодельовання, фрактальних властивостей підвищують точність визначення розрахункового електричного навантаження цивільних об'єктів, порівняно з існуючими методами, що експериментально підтверджено.

3. Екстраполяцією апроксимуючих функцій вибірок електричних навантажень, які отримано за інформацією автоматизованої системи комерційного обліку, виконано уточнення питомих навантажень об'єктів цивільного призначення, що має важливе значення для розробки систем електропостачання.

4. Визначено вплив вищих гармонік нелінійних електроприймачів цивільних об'єктів, джерел відновлювальної енергетики на величину розрахункового навантаження, порівняно з навантаженням за основної гармоніки, що знаходитиме практичне застосування для розрахунків систем електропостачання.

Заступник директора
ТОВ «Електротехніка –
нові технології»,
д-р техн. наук, професор



В. В. Римша



«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Заступник генерального
директора з науки
ТОВ «С-Інжиніринг»

Семенюг О. М.

2019 р.

АКТ

впровадження ТОВ «С-Інжиніринг» у своїх дослідженнях, проектах результатів дисертаційної роботи за темою: «Методи і моделі визначення електричного навантаження цивільних об'єктів з використанням графічного і макромодельовання та фрактальних властивостей» доцента Бондарчука Анатолія Сергійовича

Члени комісії у складі начальника ЄТЛ Філенко С.В., начальника відділу технічного контролю Лобанкової О.О., склали цей акт щодо впровадження ТОВ «С-Інжиніринг» таких результатів дисертаційної роботи доцента Бондарчука А. С. у дослідженнях та розробках систем електропостачання промислових та житлово-комунальних об'єктів:

– складена електронна база даних щодо особливостей окремих електроприймачів з нелінійними характеристиками промислових та житлово-комунальних об'єктів, отриманих за допомогою високоточного аналізатора якості електричної енергії Elspec G4500, використання якої підвищує рівень достовірності обчислення розрахункового навантаження об'єктів;

– метод оцінки впливу вищих гармонік, які генеруються електроприймачами з нелінійними характеристиками, на електричне навантаження струмовідних частин шляхом моделювання за сплайн-інтерполяцією процесів в електричній мережі, що підтверджено вимірами аналізатором якості електричної енергії Elspec G4500 в реальних системах електропостачання від сонячної електростанції;

– розроблений дисертантом метод розрахунку електричного навантаження цивільних об'єктів шляхом графічного синтезу динаміки його складових з використанням моделювання на основі теорії сплайнів, який дозволив, порівняно з обчисленням за чинними нормативними показниками, у 1,5–3,5 рази підвищити достовірність його визначення, що підтверджено вимірами аналізатором якості електричної енергії Elspec G4500 на реальних об'єктах.

Начальник ЄТЛ

Начальник ВТК

Філенко С.В.

Лобанкова О.О.



АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО
«Одесаобленерго»

вул. Миколи Боровського, 28 Б м. Одеса, 65031
Тел.(048) 705-22-59; факс (048) 705-20-79
Код ЄДРПОУ 00131713
E-mail: kanc@od.energy.gov.ua



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«Одессаоблэнерго»

ул. Николая Боровского, 28,Б г. Одесса, 65031
Тел.(048) 705-22-59; факс (048) 705-20-79
Код ЕГРПОУ 00131713
E-mail: kanc@od.energy.gov.ua

ДОВІДКА-РЕКОМЕНДАЦІЯ

щодо впровадження результатів дисертаційної роботи
канд. тех. наук, доцента Бондарчука Анатолія Сергійовича за темою:
«Методи і моделі визначення електричного навантаження цивільних об'єктів
з використанням графічного і макромодельовання, фрактальних властивостей»

Результати, що отримані в дисертаційній роботі доцента Бондарчука А.С. мають
вагоме науково-практичне значення, оскільки вони ґрунтуються на такому:

1. Дослідження щодо електричного навантаження житлового мікрорайону проводили-
ся автором на підставі реальної інформації АСКОВ з подальшою обробкою даних математи-
чними методами і моделями, результати яких виявилися адекватними до реальних процесів.

2. Методи і моделі визначення розрахункового електричного навантаження житлових
будинків з використанням графічного і макромодельовання, фрактальних властивостей пока-
зали значно вищу точність обчислення й які рекомендуються до впровадження в практику
проектування аналогічних систем електропостачання.

3. Особливістю результатів дисертаційної роботи є й в тому, що при обчисленні роз-
рахункового електричного навантаження цивільних об'єктів урахується вплив вищих гар-
монік на його величину та на якість електричної енергії.

Головний інженер
Південного району
електричних мереж



О. В. Савранський

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
 Керівник технічного департаменту
 АТ «Одесаобленерго»
 Песков С. А.



11 2019 р.

АКТ

упровадження підприємством АТ «Одесаобленерго» результатів дисертаційної роботи доц. Бондарчука А. С. за темою: «Методи і моделі визначення електричного навантаження цивільних об'єктів з використанням графічного і макромодельовання та фрактальних властивостей» у проектну практику, аналізу режимів роботи цивільних об'єктів міста Одеси

Настоящим актом підтверджується впровадження підприємством АТ «Одесаобленерго» у проектну практику та аналізу режимів роботи цивільних об'єктів результатів дисертаційної роботи доцента Бондарчука А.С. за темою: «Методи і моделі визначення електричного навантаження цивільних об'єктів з використанням графічного і макромодельовання та фрактальних властивостей», а саме:

– метод підвищення рівня точності у 1,5–3,5 разу, порівняно з визначенням за нормативними документами, розрахункового електричного навантаження об'єктів цивільного призначення шляхом синтезу за теорією сплайнів їх графіків навантаження, що підтверджено вимірами в системах електропостачання житлового мікрорайону міста;

– уточнене, за результатами дисертаційної роботи та натурних вимірів у системах електропостачання житлового мікрорайону міста, визначення питомого електричного навантаження жител багатоповерхових будинків житлового мікрорайону, що наближає результати обчислення з похибкою до 2–5 % від реального.

Впровадження підприємством АТ «Одесаобленерго» результатів дисертаційної роботи доц. Бондарчука А.С. у проектну практику та аналізу режимів роботи цивільних об'єктів дозволяє економити капітальні витрати на спорудження та кошти на експлуатацію систем електропостачання.

Начальник відділу
 технічного розвитку РЕМ

Начальник ВКБ

О.О.Бурлаков

О. Костинюк