

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

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Готович Володимир Анатолійович

УДК 519.21+620.9:519.246.8

ДИСЕРТАЦІЯ
**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І СТАТИСТИЧНЕ
ОЦІНЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ШТАТНОГО РЕЖИМУ
ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ОРГАНІЗАЦІЙ**

01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи
(шифр і назва спеціальності)

05 «Технічні науки»
(галузь знань)

Подається на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

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

(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник:
доктор технічних наук, професор
Щербак Леонід Миколайович

***Ідентичність всіх примірників дисертації
ЗАСВІДЧУЮ:***
*Вчений секретар спеціалізованої вченої ради
/Б. Г. Шелестовський/*

Тернопіль – 2019

АНОТАЦІЯ

Готович В.А. Математичне моделювання і статистичне оцінювання характеристик штатного режиму електроспоживання організацій. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 01.05.02 «Математичне моделювання та обчислювальні методи» (05 – Технічні науки). – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя МОН України, Тернопіль, 2019.

Спеціалізована вчена рада Д58.052.01 при Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя МОН України.

Дисертацію присвячено розв'язанню актуальної наукової задачі математичного моделювання і статистичного оцінювання характеристик режиму електроспоживання організацій для забезпечення штатного режиму споживання електроенергії в топології електромережі (сукупності територіально розподілених електроспоживачів різної потужності) організації.

Об'єктом дослідження є процес електроспоживання організації.

Предметом дослідження є математична модель, методи статистичного опрацювання реалізацій штатного режиму процесу електроспоживання організації на основі даних вимірювань.

В **першому розділі** на основі проведеного аналітичного огляду стану та тенденцій розвитку електроенергетичної галузі, характерних як для України так і для світу показано, що актуальною на сьогоднішній день залишається задача забезпечення коректного функціонування електрообладнання в межах передбачених умов роботи (неформально, в межах штатного режиму). Актуальність даної задачі зумовлена, зокрема, високим ступенем залежності багатьох процесів як виробничого характеру так і сфери життєзабезпечення суспільства від коректності функціонування електрообладнання. Задача забезпечення коректного функціонування електрообладнання значною мірою полягає в забезпеченні надійного електропостачання. Надійне

електропостачання, в свою чергу, забезпечується контролем якості електроенергії. Крім цього, забезпечення коректного функціонування мережі споживачів є неможливим на сьогоднішній день без застосування спеціальних засобів моніторингу їх стану – автоматизованих систем, в основі роботи яких лежить відповідне інформаційне забезпечення.

Сформульовано означення поняття штатного режиму процесу електроспоживання організації та наведено задачі по його забезпеченню, які полягають в контролі якості електроенергії на вході електромережі організації та контролі величини електроспоживання топології електромережі організації.

Сформульовано означення топології мережі організації як сукупності територіально розподілених споживачів електроенергії різної потужності, які входять в склад електромережі організації.

Показано роль автоматизованих систем в задачах контролю та обліку електроенергії при забезпеченні штатного режиму. Актуальність задачі забезпечення надійності функціонування мережі електроспоживачів організації у штатному режимі зумовлює актуальність задач розробки інформаційного та апаратного забезпечення сучасних засобів контролю штатного режиму роботи організації, а по суті – автоматизованих систем.

Наведено один із можливих варіантів поділу на категорії споживачів електроенергії організації відповідно до вимог діючих нормативних документів.

В **другому розділі** основну увагу присвячено розробці моделі процесу електроспоживання організації на основі стохастичного підходу та сучасних досягнень теорії математичного моделювання випадкових процесів.

Наведено особливості процесу електроспоживання як характеристики топології мережі електроспоживачів організації та основні із відомих на сьогодні математичних моделей випадкових процесів, які застосовуються при дослідження процесів електроспоживання.

Розроблено та запропоновано метод побудови конструктивної моделі процесу електроспоживання організації на основі даних вимірювань. Метод

включає в себе обґрунтований вибір:

1. Статистичного методу декомпозиції на складові компоненти часового ряду як реалізації процесу електроспоживання;
2. Статистичного методу виявлення миттєвих моментів розладу в часі статистичних характеристик, виділених в результаті декомпозиції компонент процесу.

Наведено приклад застосування методу на основі опрацювання конкретної реалізації процесу електроспоживання організації – корпусу №1 ТНТУ імені Івана Пулюя. При цьому реалізацію процесу електроспоживання розбито на окремі фрагменти (сезони), які відповідають різним режимам роботи топології споживачів університету. Це дало можливість побудувати загальну модель процесу електроспоживання на річному інтервалі спостереження, з метою подальшого її застосування в складі апаратно-програмного комплексу моніторингу штатного режиму процесу електроспоживання організації.

Третій розділ присвячено розробці інформаційного забезпечення розв'язання задач моделювання реалізацій електричної напруги із різними значеннями характеристик якості електроенергії. На основі нормативних документів наведено основні показники якості електроенергії та типові приклади спотворення якості електроенергії, які полягають у відхиленнях від норми амплітуди та частоти сигналу електричної напруги. Сформульовано задачу контролю якості електроенергії на вході електромережі організації як підзадачу загальної задачі моніторингу штатного режиму електроспоживання топології мережі електроспоживачів організації. Запропоновано нову загальну модель електричної напруги, яка враховує всі можливі спотворення амплітуди та частоти сигналу напруги і реалізує фізичну модель як штатних так і нештатних режимів подачі напруги електропостачання на вхід електромережі організації. На основі застосування середовища Simulink програмного пакету MATLAB та розробленої конструктивної моделі електричної напруги розроблено метод і його комп'ютерну реалізацію моделювання реалізацій електричної напруги із різними

значеннями характеристик якості електроенергії. Дані реалізації пропонується використовувати при відлагодженні електровимірювального обладнання. Також запропоновано структуру бази даних для збереження результатів моделювання електричної напруги. Наведено типові результати проведеного комп'ютерного моделювання.

В **четвертому розділі** на основі результатів попередніх розділів роботи та аналізу відомих автоматизованих систем запропоновано проект апаратно-програмного комплексу моніторингу штатного режиму процесу електроспоживання організації з функціями контролю величини електроспоживання топології електромережі та контролю характеристик якості електроенергії.

На основі нормативних документів сформульовано загальні вимоги до комплексу, запропоновано структуру комплексу та наведено основні його складові – апаратне та інформаційне забезпечення. В основі інформаційного забезпечення комплексу пропонується використати:

1. Алгоритми (методу “Гусениця-SSA” для декомпозиції реалізації процесу електроспоживання на компоненти; методу PELT для сегментації часового ряду процесу електроспоживання; обробки реалізацій, що відповідають окремим сегментам процесу електроспоживання; моделювання реалізацій електричної напруги).

2. Бази даних (для збереження результатів вимірювань процесу електроспоживання, значень характеристик якості електроенергії, результатів моделювання електричної напруги).

3. Програмне забезпечення (реалізує наведені вище алгоритми).

Наукова новизна отриманих в роботі результатів полягає у:

1. Вперше запропонована загальна модель процесу електроспоживання організації у вигляді багатокомпонентного випадкового процесу з моментами розладу, який формується топологією електроспоживачів кожної організації на поточних і тривалих інтервалах часу і яка, на відміну від відомих моделей,

описує дії фізично обґрунтованих факторів формування процесу: трендової, періодичних і стохастичної компонент.

2. Отримав подальший розвиток метод створення моделей процесу електроспоживання організації на основі результатів вимірювань з використанням сучасних статистичних методів декомпозиції і виявлення моментів розладу даних динаміки як часових рядів.

3. Вперше обґрунтована модель електричної напруги електропостачання яка, на відміну від відомої моделі у вигляді гармонічного коливання із незмінними в часі амплітудою та частотою, враховує випадковий характер динаміки спотворень амплітуди і частоти коливання.

4. На основі обґрунтованої моделі розроблено метод комп'ютерного моделювання реалізацій електричної напруги із заданими видами спотворень амплітуди і частоти коливання при розв'язанні задачі контролю якості електроенергії.

5. Отримав подальший розвиток статистичний метод контролю штатного режиму процесу електроспоживання організації на поточних і тривалих інтервалах спостереження.

Практичне значення отриманих в роботі результатів полягає у:

1. Розроблене програмне забезпечення статистичного опрацювання даних вимірювань процесу електроспоживання організації та комп'ютерного моделювання реалізацій електричної напруги представляє собою єдиний комплекс алгоритмів, програм і баз даних для вирішення практичних задач по забезпеченню штатного режиму.

2. Розроблено інформаційне забезпечення і створено базу даних результатів комп'ютерного моделювання реалізацій електричної напруги для тестових випробувань вимірювального обладнання характеристик якості електроенергії.

3. Запропоновано один із можливих варіантів реалізації та алгоритму роботи мікропроцесорного пристрою оцифрування напруги, який пропонується

використовувати в якості первинного вимірювального пристрою в складі апаратно-програмного комплексу.

4. Обґрунтовано і запропоновано для реалізації один із можливих варіантів структури апаратно-програмного комплексу моніторингу штатного режиму процесу електроспоживання організації з використанням типового лічильника електроенергії і розробленого програмного забезпечення.

Ключові слова: електроспоживання, виявлення моментів розладу, контроль динаміки електроспоживання, характеристики штатного режиму, характеристики якості електроенергії, штатний режим.

Список публікацій здобувача

Праці, в яких опубліковано основні наукові результати:

1. Gotovych, V., Nazarevych, O., Shcherbak, L. Mathematical modeling of the regular-mode electric power supply and electric power consumption processes of the organization. *Scientific Journal of the TNTU*. № 3 (91) 2018. Pp. 134–142. **(індексується в Index Copernicus, Google Scholar)**.
2. Nazarevych, O., Gotovych, V., Shymchuk, G. Information Technology for Monitoring of Municipal Gas Consumption, Based on Additive Model and Correlated for Weather Factors. *Journal of Information and Computing Science*. England, UK. 2016. Pp. 180–187. **(індексується в Google Scholar)**.
3. Волошко А. В., Готович В. А., Назаревич О. Б. Основи створення бази реалізацій сигналів для дослідження характеристик якості електроенергії. *Моделювання та інформаційні технології*. Збірник наукових праць Ін-т проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова. 2016. В. 77. С. 33–40. **(індексується в Google Scholar)**.
4. Готович В. А., Марценко С. В., Щербак Л. М. Створення мобільного апаратно-програмного пристрою моніторингу характеристик якості електроенергії. Збірник наукових праць Ін-т проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова. 2014. В. 70. С. 98–105. **(індексується в Google Scholar)**.
5. Готович В. А., Марценко С. В., Щербак Т. Л. Задача контролю динаміки характеристик якості електроенергії. *Моделювання та інформаційні технології*. Збірник наукових праць Ін-т проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова 2013. В. 70. С. 109–113. **(індексується в Google Scholar)**.
6. Готович В. А., Назаревич О. Б. Застосування методу «Гусениця-SSA» для аналізу річного часового ряду електронавантаження організації. *Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка: Зб. наук. пр. К.: "Век+"*. 2015. № 63. С. 123–129. **(індексується в DOAJ, РИНЦ, Google Scholar)**.
7. Готович В. А., Назаревич О. Б., Шимчук Г. В., Щербак Т. Л. Статистичний аналіз процесу газоспоживання міста на річному інтервалі спостереження.

Моделювання та інформаційні технології. Збірник наукових праць. Ін-т проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова. 2016. В. 76. С. 44–51. **(індексується в Google Scholar)**.

8. Готович В. А. Статистичний аналіз процесу електроспоживання організації на тривалих інтервалах спостереження. *Моделювання та інформаційні технології*. Збірник наукових праць. Ін-т проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова. 2018. В. 82. С. 27–33. **(індексується в Google Scholar)**.

Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

9. Готович В. А., Марценко С. В. Застосування вейвлет-перетворення для оцінювання характеристик якості електроенергії. *Актуальні задачі сучасних технологій: збірник тез доповідей IV Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів, 25-26 листопада 2015 року*. Т. II, 2015. С. 14–15.

10. Готович В. А., Марценко С. В. Інформаційно-вимірювальна система дослідження якості електроенергії. Матеріали II науково-технічної конференції. *Інформаційні моделі, системи та технології*. ТНТУ ім. І. Пулюя 25 квітня 2012 р. Тернопіль. С. 28.

11. Готович В. А., Марценко С. В. Мобільний апаратно-програмний пристрій моніторингу характеристик якості електроенергії. Матеріали IV науково-технічної конференції. *Інформаційні моделі, системи та технології*. ТНТУ ім. І. Пулюя 15-16 травня 2014 р. Тернопіль. С. 19.

12. Готович В. А., Марценко С. В. Статистична оцінка характеристик якості електричної енергії. *Моделювання: збірник тез доповідей XXXI науково-технічної конференції*. Ін-т проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова, 11-12 січня 2012 р. К.: 2012. С. 31.

13. Готович В. А., Марценко С. В. Створення інформаційної системи поточного моніторингу якості електричної напруги на базі мікроконтролера.

Моделювання: збірник тез доповідей XXXII науково-технічної конференції. Ін-т проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова, 9-10 січня 2013 р. К.: 2013. С. 10.

14. Готович В. А., Назаревич О. Б. Інформаційна технологія моніторингу якості електропостачання організації. Матеріали XIX наукової конференції ТНТУ ім. І. Пулюя 18-19 травня 2016. Тернопіль. С. 83–84.

15. Готович В. А., Назаревич О. Б., Шимчук Г. В. Комплексний моніторинг споживання енергоресурсів міста з використанням технології OLAP. *Актуальні задачі сучасних технологій*: збірник тез доповідей V Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів, 17-18 листопада 2016 року. Т. II. 2016. С. 26.

16. Готович В. А., Щербак Л. М. Застосування методу “Гусениця-SSA” для аналізу часового ряду електронавантаження. *Моделювання*: збірник тез доповідей XXXIII науково-технічної конференції. Ін-т проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова, 15-16 січня 2015 р. К.: 2015. С. 20.

17. Готович В. А., Щербак Л. М. Прецезійний мікропроцесорний пристрій оцифрування напруги. *Моделювання*: збірник тез доповідей XXXIII науково-технічної конференції. Ін-т проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова, 15-16 січня 2014 р. К.: 2014. С. 22.

18. Орнатський Д. П., Щербак Л. М., Готович В. А., Кармазін О. В. Структура автономного засобу контролю характеристик якості електроспоживання. Матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції. *Авіа-2013*. НАУ 21-23 травня 2013 р. Т. I. К.: 2013. С. 1.57–1.60.

19. Щербак Л. М., Готович В. А., Марценко С. В. Поточний моніторинг характеристик якості електроенергії. Збірка тез Шостої Міжнародної науково-практичної конференції «*Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2013)*» (27-29 травня 2013 р., Київ). К.: НАУ. 2013. С. 47–48.

ANNOTATION

Gotovych V.A. Mathematical modeling and statistical estimation of characteristics of the regular mode of organizations` power consumption. – Qualification scientific manuscript.

The thesis for the Scientific Degree of Candidate of Technical Science (doctor of philosophy) in the specialty 01.05.02 «Mathematical modeling and computational methods» (05 – Technical science). – Ternopil Ivan Puluj National Technical University of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Ternopil, 2019.

Specialized academic council D58.052.01 at the Ternopil Ivan Puluj National Technical University of the Ministry of Education and Science of Ukraine.

The thesis is devoted to solving the topical scientific problem of mathematical modeling and statistical estimation of characteristics of electric power consumption of organizations in order to provide a regular mode of electric power consumption in the topology of the organization's network (aggregate of geographically distributed electric power consumers with different power).

The object of research is the process of electric power consumption of the organization.

The subject of the study is a mathematical model, methods of statistical analysis of implementations of the regular mode of the process of electric power consumption of the organization based on measurement results.

In **the first chapter**, on the basis of the conducted analytical review of the state and trends of the development of the electric power industry, characteristic for Ukraine and for the world, it has been shown that the task of ensuring the correct functioning of electrical equipment within the foreseen working conditions (informally, within the regular mode) is still relevant up to now. The actuality of this task is conditioned, in particular, by the high degree of dependence of many processes, both on the production nature and on the life support of society from the correctness of the functioning of the electrical equipment. The task of ensuring the correct functioning of electrical equipment to a large extent is to provide reliable electricity supply. Reliable electricity

supply, in turn, is provided by monitoring the quality of electricity. In addition, ensuring the correct functioning of the consumer network is impossible nowadays without using special means of monitoring their state – automated systems, based on which the appropriate information support lies.

The definition of the concept of the stable mode of the process of the company's electric power consumption is formulated and the tasks for its maintenance are formulated, which consist in the control of the quality of electricity at the input of the power grid of the organization and control of the electric power consumption value of the organization's grid topology.

The definition of the organization's grid topology as a set of geographically distributed electricity consumers of various capacities is formulated.

The role of automated systems in the tasks of monitoring and accounting of electric power during the provision of the regular mode is shown. The actuality of the task of ensuring the reliability of the functioning of the network of electric consumers of the organization in the regular mode determines the relevance of the tasks of developing information and hardware support of modern means for control of the regular mode of operation of the organization, and in essence - automated systems.

One of the possible variants of division into categories of electricity consumers of the organization is presented in accordance with the requirements of the existing normative documents.

In **the second chapter**, the main attention is devoted to the development of a model of the process of electric power consumption of the organization based on a stochastic approach and modern achievements of the theory of mathematical modeling of random processes.

The peculiarities of the process of electric power consumption as characteristics of the network topology of the organization's electric consumers and the main of the mathematical models of random processes known today that are used in the study of the processes of electric power consumption are presented.

The method of construction of a constructive model of the process of electric

power consumption of an organization based on measurement data is developed and proposed. The method includes a well-founded choice:

1. The statistical method of decomposition into components of the time series as a realization of the process of electric power consumption;
2. The statistical method of detecting the instantaneous moments of the disorder in time of statistical characteristics, allocated as a result of the decomposition of the components of the process.

An example of the method application based on the processing of a specific implementation of the electric power consumption process of the organization – the building №1 of the Ternopil Ivan Puluj National Technical University is given. At the same time implementation of the process of electric power consumption is divided into separate fragments (seasons), which correspond to different modes of operation of the topology of consumers of the university. This made it possible to construct a general model of the process of electric power consumption on the annual interval of observation, with a view to its further application as part of the complex for monitoring of the regular mode of the company's electric power consumption process.

The third chapter is devoted to the development of information support for solving the problems of modeling the implementation of electrical voltage with different values of the characteristics of the quality of electricity. Based on the normative documents, the main indicators of electricity quality and typical examples of distortion of the quality of electricity, which consists of deviations from the norm of amplitude and frequency of the electric voltage signal are given. The task of controlling the quality of electricity at the input of the grid of the organization is formulated as a subtask of the general task of monitoring the regular mode of electric power consumption of the topology of the network of electric consumers of the organization. A new general model of electric voltage is proposed which takes into account all possible distortions of the amplitude and frequency of the voltage signal and implements the physical model of both regular and non-regular modes of supplying power supply voltage to the input of the electrical grid of the organization. Based on

the use of the Simulink environment of the MATLAB software package and the developed design model of the electric voltage, a method and its computer realization of simulation of electric voltage implementations with different values of power quality characteristics have been developed. They are proposed for use when debugging the electrical measuring equipment. Also, the structure of the database to preserve the results of the simulation of the electric voltage is proposed. The typical results of computer simulation conducted are presented.

In **the fourth chapter**, based on the results of the previous chapters of the work and analysis of known automated systems, a project of hardware and software complex for monitoring the regular mode of the company's electric power consumption process with the functions of controlling the topology's electric power consumption and monitoring the quality characteristics of the electric power is proposed.

On the basis of normative documents, general requirements for the complex are formulated, the structure of the complex is proposed and its main components are presented, that is hardware and information support. As the basis of information support of the is proposed to use:

1. Algorithms ("Caterpillar-SSA" method for decomposition of the implementation of the process of electric power consumption on components; PELT method for segmentation of the time series of the process of electric power consumption; processing implementations corresponding to separate segments of the process of electric power consumption; modeling of electrical voltage implementations).

2. Databases (in order to save the results of measurements of the process of electric power consumption, values of characteristics of the quality of electricity, results of simulation of electric voltage).

3. Software (implements the above algorithms).

The scientific novelty of the results obtained in the work are:

1. For the first time a general model of the company's electric power consumption process is proposed in the form of a multicomponent random process with

change points that is formed by the topology of each organization's electric power consumers at current and long intervals of time and which, unlike the known models, describes the actions of physically substantiated process formation factors: trend, periodic and stochastic component.

2. The method for creating models of the company's electric power consumption process based on measurement results has been further developed, using modern statistical methods of decomposition and identifying the change points of the dynamics of time series.

3. For the first time, a model of electric power supply voltage is grounded which, in contrast to the well-known model in the form of harmonic oscillation with constant amplitude and frequency in time, takes into account the random nature of amplitude distortion dynamics and frequency of oscillation.

4. On the basis of the substantiated model, a method of computer simulation of electrical voltage realizations with predetermined types of amplitude distortion and oscillation frequency in solving the problem of electricity quality control was developed.

5. A statistical method of controlling the regular mode of the company's electric power consumption at the current and long intervals of time has further developed.

The practical values of the results obtained in the work are:

1. The developed software for statistical processing of measurement results of the process of electric power consumption of the organization and computer simulation of electrical voltage implementations is a integral set of algorithms, programs and databases for solving practical problems.

2. Was being created the information support and has been developed a database of results of computer simulation of electric voltage implementations for tests of measuring equipment of electric power quality characteristics.

3. One of the possible variants of implementation and algorithm of operation of the microprocessor device for voltage digitization as the measuring device as the part of the hardware and software complex is proposed.

4. It was substantiated and proposed for realization of one of the possible variants of the structure of the hardware-software complex monitoring of the regular mode of the process of electricity consumption of the organization using a typical electricity meter and developed software.

Key words: electric power consumption, change points detection, control of power consumption dynamics, regular mode characteristics, electric power quality characteristics, regular mode.

ЗМІСТ

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ..... | 21 |
| ВСТУП | 23 |
| РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОБОТИ МЕРЕЖІ СПОЖИВАЧІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ОРГАНІЗАЦІЇ В ШТАТНОМУ РЕЖИМІ..... | 30 |
| 1.1. Основні напрямки розвитку електроспоживання | 30 |
| 1.2. Характеристики штатного режиму електроспоживання організацій | 34 |
| 1.2.1. Забезпечення коректного функціонування мережі електроспоживачів організації..... | 34 |
| 1.2.2. Штатний режим електроспоживання організації | 35 |
| 1.2.3. Складові забезпечення характеристик динаміки електроспоживання організацій для штатного режиму | 36 |
| 1.3. Автоматизовані системи забезпечення штатного режиму | 40 |
| 1.3.1. Завдання та архітектура АСОЕ..... | 40 |
| 1.3.2. Електролічильники та їх роль в складі АСОЕ | 43 |
| 1.4. Топологія мережі споживачів електроенергії в організаціях вищих навчальних закладів | 44 |
| 1.4.1. Загальний поділ споживачів за надійністю електропостачання | 44 |
| 1.4.2. Поділ споживачів електроенергії університету | 46 |
| 1.5. Постановка завдань дослідження дисертації | 48 |
| 1.6. Висновки до першого розділу..... | 49 |
| РОЗДІЛ 2. МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ НА ОСНОВІ ДАНИХ ВИМІРЮВАНЬ І ПРИКЛАД ЇХ ВИКОРИСТАННЯ | 51 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1. Особливості процесу електроспоживання як характеристики роботи топології електромережі організації | 51 |
| 2.1.1. Чинники формування процесу електроспоживання..... | 51 |
| 2.1.2. Енергетичні характеристики процесу електроспоживання..... | 53 |
| 2.2. Математичне моделювання в задачах дослідження процесу електроспоживання | 58 |
| 2.2.1. Математична модель електроспоживання як об'єкт дослідження | 58 |
| 2.2.2. Відомі математичні моделі процесу електроспоживання..... | 59 |
| 2.3. Метод побудови моделі та конструктивна адитивна стохастична модель процесу електроспоживання організації на основі даних вимірювань | 66 |
| 2.3.1. Методологія побудови математичних моделей стохастичних сигналів на основі даних вимірювань..... | 66 |
| 2.3.2. Статистичний метод побудови конструктивної моделі процесу електроспоживання організації на основі даних вимірювань | 68 |
| 2.3.3. Стохастична багатокomпонентна модель з розкладкою процесу електроспоживання | 69 |
| 2.3.4. Конструктивна адитивна стохастична модель процесу електроспоживання | 73 |
| 2.3.5. Обґрунтування методу виділення компонент моделі процесу електроспоживання організації..... | 74 |
| 2.3.6. Метод сегментації часового ряду процесу електроспоживання організації..... | 76 |
| 2.4. Верифікація конструктивної адитивної моделі на основі статистичного опрацювання даних вимірювань конкретного процесу електроспоживання організації..... | 78 |
| 2.4.1. Формування даних вимірювань процесу електроспоживання організації як часового ряду | 78 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.4.2. Результати виділення компонент конструктивної моделі процесу електроспоживання організації..... | 79 |
| 2.4.3. Виявлення часових моментів розладу процесу електроспоживання організації..... | 81 |
| 2.4.4. Результати побудови моделей компонент процесу електроспоживання на виділених сегментах | 83 |
| 2.5. Висновки до другого розділу | 89 |
| РОЗДІЛ 3. ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОДЕЛЮВАННЯ РЕАЛІЗАЦІЙ ЕЛЕКТРИЧНОЇ НАПРУГИ З РІЗНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ЇХ ЯКОСТІ | 91 |
| 3.1. Характеристики якості електроенергії як предмет досліджень | 91 |
| 3.1.1. Поняття якості електроенергії | 91 |
| 3.1.2. Характеристики якості електричної енергії | 93 |
| 3.1.3. Типові приклади спотворення електричної напруги..... | 100 |
| 3.2. Задача контролю штатного режиму електропостачання організації..... | 102 |
| 3.3. Загальна та конструктивна математичні моделі електричної напруги | 103 |
| 3.4. Метод і його комп'ютерна реалізація формування бази даних реалізацій електричної напруги із заданими спотвореннями | 106 |
| 3.4.1. Методика формування бази даних реалізацій електричної напруги ... | 106 |
| 3.4.2. Приклади реалізацій електричної напруги із спотвореннями як тестові при випробуваннях вимірювального обладнання | 110 |
| 3.4.3. Структура бази даних результатів моделювання реалізацій електричної напруги | 112 |
| 3.5. Висновки до третього розділу..... | 115 |
| РОЗДІЛ 4. ВАРІАНТ СТВОРЕННЯ АПАРАТНО-ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ МОНІТОРИНГУ ШТАТНОГО РЕЖИМУ ПРОЦЕСУ | |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ НА ОСНОВІ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ..... | 117 |
| 4.1. Вимоги до АСОЕ рівня організації | 117 |
| 4.1.1. Загальні вимоги | 117 |
| 4.1.2. Вимоги до лічильників електроенергії в складі АСОЕ..... | 120 |
| 4.1.3. Вимоги до приладів обліку в складі АСОЕ..... | 122 |
| 4.1.4. Вимоги до каналів і протоколів зв'язку між приладами обліку, локальним та центральним устаткуванням збору даних | 123 |
| 4.2. Структура апаратно-програмного комплексу моніторингу штатного режиму електроспоживання організації..... | 124 |
| 4.2.1. Основні складові елементи апаратно-програмного комплексу | 124 |
| 4.2.2. Вимірювальний модуль оцифрування напруги | 126 |
| 4.2.3. Підсистема обліку електроенергії | 130 |
| 4.3. Інформаційне забезпечення апаратно-програмного комплексу | 133 |
| 4.3.1. Загальна схема взаємодії елементів інформаційного забезпечення | 133 |
| 4.3.2. Алгоритми..... | 135 |
| 4.3.3. Програмне забезпечення | 136 |
| 4.3.4. Бази даних | 137 |
| 4.4. Висновки до четвертого розділу | 138 |
| ВИСНОВКИ..... | 139 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... | 141 |
| ДОДАТКИ..... | 158 |

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

АПК – апаратно-програмний комплекс

АСДК – автоматизована система диспетчерського керування

АСОЕ – автоматизована система обліку електроенергії

АЦП – аналого-цифровий перетворювач

БД – база даних

ЛПВП – лінійний періодичний випадковий процес

ПЕ – процес електроспоживання

ПЗ – програмне забезпечення

ПКВП – періодично корельований випадковий процес

СКВ – середнє квадратичне відхилення

СІС – стохастичний інформаційний сигнал

СУБД – система управління базами даних

ТЕС – теплова електростанція

СІ (SI, фр. *Système International d'Unités*) – Міжнародна система одиниць вимірювання

$f_{ном}$ – номінальне значення частоти електромережі живлення, Гц.

$K_{U(n)}$ – коефіцієнт n -ї гармонічної складової напруги, % U_1

K_U – сумарний коефіцієнт гармонічних складових напруги, %

K_{2U} – коефіцієнт несиметрії напруг по зворотній послідовності, %

K_{0U} – коефіцієнт несиметрії напруг по нульовій послідовності, %

PELT (англ. *The pruned exact linear time*) – статистичний метод пошуку точок розладу статистичних характеристик часових рядів

R – множина раціональних чисел

SMART (англ. Self-Monitoring, Analysis and Reporting Technology), Smart Grid – самоконтролююча, аналізуюча та звітуюча технологія, концепція електричної мережі, яка містить в своєму складі різноманітні оперативні та енергоощадні засоби

SSA (англ. Singular Spectral Analysis) – статистичний метод сингулярно-спектрального аналізу, також відомий як метод “Гусениця” (в роботі “Гусениця-SSA”)

T – інтервал часу спостереження сигналу як реалізації деякого процесу

$U_{ном}$ – номінальна напруга, В, кВ

$U_{поз}$ – погоджена напруга, В, кВ

U_0 – напруга, рівна номінальній або погодженій напрузі, В, кВ

U_1 – значення основної гармонічної складової напруги, В, кВ

Δt_n – тривалість провалу (переривання) напруги, с.

$\xi(\omega, t)$ – загальне позначення випадкового процесу

δf – відхилення частоти, Гц.

$\delta U_{(-)}$ – від’ємне відхилення напруги, %, U_0

$\delta U_{(+)}$ – додатне відхилення напруги, % U_0

ω – елементарна подія

Ω – простір елементарних подій

ВСТУП

Актуальність теми. Дослідженням в галузі електроенергетики присвячено значну кількість наукових публікацій багатьох відомих вчених. Так, проблеми ефективності та якості електропостачання, якості електроенергії, забезпечення електромагнітної сумісності споживачів висвітлено в працях Жаркіна А. Ф., Жежеленка І. В., Кузнецова В. Г., Тесика Ю. Ф., Alexander Kusko. Проблеми надійності та ефективності функціонування електроенергетичних об'єктів і систем, надійності електропостачання, енергозбереження висвітлено в працях Кириленка О. В., Курінного Е. Г., Шидловського А. К. Розробці та застосуванню математичних моделей в електроенергетиці присвячено праці Марченка Б. Г., Праховника А. В., Приймака М. В., Сегеди М. С. Розробці інформаційних систем моніторингу, управління та діагностики присвячено дослідження Баранова Г. Л., Мисловича М. В., Стогнія Б. С. та багатьох ін.

Незважаючи на вагомий напрацювання поколінь дослідників, на сьогоднішній день в умовах зростання рівня споживання людством електроенергії внаслідок широкого використання електрообладнання в різноманітних сферах діяльності, актуальною була та залишається задача забезпечення коректного функціонування цього обладнання в межах передбачених умов роботи (неформально, в межах штатного режиму). Актуальність даної задачі зумовлена високим ступенем залежності багатьох процесів як виробничого характеру так і сфери життєзабезпечення суспільства від коректності функціонування електрообладнання. Вихід параметрів функціонування електрообладнання за межі передбачених умов роботи (неформально, робота в нештатному режимі) підвищує ймовірність виходу з ладу як окремих електроспоживачів, так і цілих технологічних ліній. Наслідками цього є перевитрати енергії та сировини, аварії, випуск бракованої продукції, додаткові витрати на ремонт високовартісного обладнання, моральні та матеріальні збитки тощо.

Задача забезпечення коректного функціонування електрообладнання значною мірою полягає в забезпеченні надійного електропостачання. Надійне електропостачання, в свою чергу, забезпечується контролем якості електроенергії, яка подається енергопостачальною організацією. Крім цього, забезпечення коректного функціонування мережі споживачів є неможливим без застосування спеціальних засобів моніторингу їх стану. На сьогоднішній день моніторинг стану електромереж здійснюється за допомогою автоматизованих систем під загальною назвою АСОЕ (Автоматизовані Системи Обліку Електроенергії). В основі їх роботи лежить відповідне інформаційне забезпечення: математичні моделі, алгоритми, методи та програмне забезпечення статистичної обробки накопичених даних вимірювання.

Моніторинг стану електромереж здійснюється, переважно, на рівні крупних об'єктів (енергосистем, галузей, територіальних одиниць (місто, регіон)). На рівні окремих організацій подібного роду моніторинг майже не проводиться і таким дослідженням присвячено відносно мало публікацій. Розв'язання задачі забезпечення коректного функціонування (в штатному режимі) мережі електроспоживачів організації дозволить підвищити загальну стабільність та ефективність функціонування організації.

Зважаючи на наведене вище, актуальною є задача розробки адекватних та ефективних математичних моделей як основи інформаційного забезпечення автоматизованих інформаційних систем, призначених для вирішення задач забезпечення штатного режиму електроспоживання організацій.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертацію виконано відповідно до наукових досліджень, які проводилися в ТНТУ імені Івана Пулюя на замовлення міністерства освіти і науки України у рамках науково-дослідної роботи (№ держ. реєстр. 0117U002241): «Класи інформаційних технологій в проектах “Розумне місто”» (особистий внесок здобувача – розроблено математичну модель та програмне забезпечення для вирішення задач забезпечення штатного режиму процесу електроспоживання

організації як складову частину інформаційної технології).

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є математичне моделювання і статистичне оцінювання характеристик режиму електроспоживання організацій для забезпечення штатного режиму споживання електроенергії в топології мережі організації.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати задачі:

1. На основі результатів вирішення науково-технічних задач аналізу динаміки і характеристик процесів електроспоживання різних організацій обґрунтувати актуальність і завдання дослідження дисертації.

2. Розробити загальну модель процесу електроспоживання, яка б дозволила врахувати різні режими роботи топології споживачів організації і виділити енергетичні компоненти процесу.

3. На основі даних вимірювань та загальної моделі процесу електроспоживання розробити конструктивну модель процесу електроспоживання на поточних та тривалих інтервалах спостереження.

4. Обґрунтувати математичну модель електричної напруги електропостачання, яка б дозволила врахувати всі можливі варіанти спотворень характеристик напруги при вирішенні задачі контролю характеристик якості електроенергії.

5. Сформулювати базу даних вимірювань процесу електроспоживання організації, обґрунтувати методи і розробити програмне забезпечення статистичного опрацювання даних вимірювань.

6. Розробити програмне забезпечення комп'ютерного моделювання реалізацій електричної напруги із спотвореннями якості електроенергії і створити базу даних для збереження результатів моделювання.

7. На основі отриманих результатів запропонувати проект апаратно-програмного комплексу моніторингу штатного режиму процесу електроспоживання організації.

Об'єкт дослідження: процес електроспоживання організації.

Предмет дослідження: математична модель, методи статистичного опрацювання реалізацій штатного режиму процесу електроспоживання організації на основі даних вимірювань.

Методи дослідження. При розв'язанні задач дослідження використано методи теорії випадкових процесів і математичної статистики, обчислювальної математики, цифрового опрацювання сигналів, теоретичної електротехніки, теорії вимірювань.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Вперше запропонована загальна модель процесу електроспоживання організації у вигляді багатокomпонентного випадкового процесу з моментами розладу, який формується топологією електроспоживачів кожної організації на поточних і тривалих інтервалах часу і яка, на відміну від відомих моделей, описує дії фізично обґрунтованих факторів формування процесу: трендової, періодичних і стохастичної компонент.

2. Отримав подальший розвиток метод створення моделей процесу електроспоживання організації на основі результатів вимірювань з використанням сучасних статистичних методів декомпозиції і виявлення моментів розладу даних динаміки як часових рядів.

3. Вперше обґрунтована модель електричної напруги електропостачання яка, на відміну від відомої моделі у вигляді гармонічного коливання із незмінними в часі амплітудою та частотою, враховує випадковий характер динаміки спотворень амплітуди і частоти коливання.

4. На основі обґрунтованої моделі розроблено метод комп'ютерного моделювання реалізацій електричної напруги із заданими видами спотворень амплітуди і частоти коливання при розв'язанні задачі контролю якості електроенергії.

5. Отримав подальший розвиток статистичний метод контролю штатного режиму процесу електроспоживання організації на поточних і тривалих інтервалах спостереження.

Практичне значення отриманих результатів:

1. Розроблене програмне забезпечення статистичного опрацювання даних вимірювань процесу електроспоживання організації та комп'ютерного моделювання реалізацій електричної напруги представляє собою єдиний комплекс алгоритмів, програм і баз даних для вирішення практичних задач по забезпеченню штатного режиму.

2. Розроблено інформаційне забезпечення і створено базу даних результатів комп'ютерного моделювання реалізацій електричної напруги для тестових випробувань вимірювального обладнання характеристик якості електроенергії.

3. Запропоновано один із можливих варіантів реалізації та алгоритму роботи мікропроцесорного пристрою оцифрування напруги, який пропонується використовувати в якості первинного вимірювального пристрою в складі апаратно-програмного комплексу.

4. Обґрунтовано і запропоновано для реалізації один із можливих варіантів структури апаратно-програмного комплексу моніторингу штатного режиму процесу електроспоживання організації з використанням типового лічильника електроенергії і розробленого програмного забезпечення.

Результати дисертації впроваджено в:

а) ТЗОВ Тернопільське конструкторське бюро радіозв'язку «Стріла» при розробці методів прогнозування споживання електроенергії в умовах функціонування енергоринку України;

б) навчальний процес ТНТУ імені Івана Пулюя.

Особистий внесок здобувача. Основні наукові та практичні результати, що становлять суть дисертаційної роботи, отримані автором самостійно. У працях, опублікованих в співавторстві, автору дисертації належать: [13] – розроблено узагальнену та конструктивну моделі електричної напруги електропостачання, загальну багатокomпонентну та конструктивну дискретну моделі процесу електроспоживання; [23] – запропоновано варіант реалізації

інформаційної технології моніторингу споживання енергоресурсів на прикладі газоспоживання міста; [40] – розроблено методологічну базу моделювання електричної напруги з різними зразками погіршення якості електроенергії та базу даних для збереження результатів моделювання; [55, 58, 66, 105] – запропоновано варіант апаратної частини мікропроцесорного пристрою для збору даних якості електроенергії, структуру АСКОЕ рівня організації із функціями поточного моніторингу характеристик якості електроенергії; [56, 59, 142] – обґрунтовано актуальність задачі контролю динаміки характеристик якості електроенергії; [61, 65] – обґрунтовано вибір методу “Гусениця-SSA” для статистичної обробки часових рядів електроспоживання; [64] – апробовано математичну модель процесу електроспоживання у вигляді кусково-періодичного випадкового процесу; [53] – застосовано апарат вейвлет-перетворення для оцінювання характеристик якості електроенергії; [54, 57, 62] – запропоновано проект інформаційної технології моніторингу якості електропостачання організації; [63] – обґрунтовано актуальність задачі побудови інформаційної технології комплексного моніторингу споживання енергоресурсів на базі сховищ даних.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на наступних конференціях: II, IV науково-технічна конференція “Інформаційні моделі, системи та технології” ТНТУ імені Івана Пулюя (м. Тернопіль, 2012, 2014 рр.); XXXI, XXXII, XXXIII, XXXIV науково-технічна конференція “Моделювання” Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова (м. Київ, 2012, 2013, 2014, 2015 рр.); шоста Міжнародна науково-практична конференція “Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси ПРТК-2013” НАУ (м. Київ, 2013); XI Міжнародна науково-технічна конференція “Авіа-2013” НАУ (м. Київ, 2013); XIX наукова конференція ТНТУ імені Івана Пулюя (м. Тернопіль, 2016); IV, V Міжнародна науково-технічна конференція молодих учених та студентів “Актуальні задачі сучасних технологій” ТНТУ імені Івана Пулюя (м. Тернопіль, 2015, 2016 рр.).

Результати дисертації обговорювались на семінарах кафедри комп'ютерних наук ТНТУ імені Івана Пулюя, семінарі відділу теоретичної електротехніки (№ 12) Інституту електродинаміки НАН України, науковому тематичному семінарі № 3 «Математичне моделювання та обчислювальні методи» ТНТУ імені Івана Пулюя.

Публікації. Основні результати дисертації опубліковані в 19 публікаціях, зокрема: 8 статей в наукових фахових виданнях (з них: 1 стаття без співавторів [60], 1 стаття в закордонному виданні [23], 2 статті в журналах, що включені в міжнародні наукометричні бази (1 – в DOAJ та РИНЦ [61], 1 – в Index Scopus [13])), 11 тез доповідей на конференціях.

Структура та обсяг. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 149 найменувань, містить 46 рисунків, 3 таблиці, 5 додатків. Повний обсяг дисертації складає 170 сторінок, основний зміст викладено на 118 сторінках.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СТАНУ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОБОТИ МЕРЕЖІ СПОЖИВАЧІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ОРГАНІЗАЦІЇ В ШТАТНОМУ РЕЖИМІ

В розділі наведено аналітичний огляд стану та тенденцій розвитку електроенергетичної галузі, характерних як для України так і для світу. Однією із таких задач залишається забезпечення коректного функціонування електрообладнання в межах передбачених умов роботи (неформально, в межах штатного режиму). Наведено означення штатного режиму процесу електроспоживання організації та сформульовано задачі по його забезпеченню.

Показано, що актуальність задачі забезпечення надійності функціонування мережі електроспоживачів організації у певному усталеному (штатному) режимі зумовлює актуальність задач розробки інформаційного (моделі, методи, алгоритми, програмне забезпечення, бази даних) та апаратного забезпечення сучасних засобів контролю штатного режиму роботи організації.

Основні положення розділу опубліковано в працях [13, 59, 142].

1.1. Основні напрямки розвитку електроспоживання

Про актуальність проблем електроенергетики свідчить значна кількість досліджень, результати яких відображено в працях багатьох відомих вчених. Так, проблеми ефективності та якості електропостачання, якості електроенергії, забезпечення електромагнітної сумісності споживачів висвітлено в працях Жаркіна А.Ф., Жежеленка І.В., Кузнецова В.Г., Тесика Ю.Ф., Alexander Kusko. Проблеми надійності та ефективності функціонування електроенергетичних об'єктів і систем, надійності електропостачання, енергозбереження висвітлено в працях Кириленка О.В., Курінного Е.Г., Шидловського А.К. Розробці та застосуванню математичних моделей в електроенергетиці присвячено праці

Марченка Б.Г., Праховника А.В., Приймака М.В., Сегеди М.С. Розробці інформаційних систем моніторингу, управління та діагностики присвячено дослідження Баранова Г.Л., Мисловича М.В., Стогнія Б.С. та багатьох ін. На теренах України вирішенням задач в сфері електроенергетики займається, зокрема, Інститут електродинаміки Національної академії наук.

До недавнього часу розвиток електроенергетики як в світі так і в Україні відбувався екстенсивним шляхом, тобто шляхом нарощування енергогенеруючих потужностей, розширення мереж електропостачання, удосконалення систем керування. Однак, в перших десятиліттях ХХІ століття шляхи та стратегії розвитку даної галузі потребують змін. Це зумовлено сукупністю факторів, які визначають потребу кардинальних перетворень [124]:

- технологічний прогрес (підвищення загального рівня автоматизації, розвиток інформаційно-комунікаційних технологій, зростання кількості малих генеруючих (в т.ч. відновлюваних) джерел енергії);
- посилення вимог споживачів (до якості та асортименту послуг, очікування зниження вартості послуг, потреба в прозорості системи взаємовідносин в галузі);
- зниження надійності (високі втрати при передачі, перетворенні та розподілі електроенергії, висока зношеність обладнання, зниження загального рівня надійності обладнання);
- зміни на ринку (економічна нестабільність, умови функціонування ринків);
- енергоефективність та енергобезпека (потреби у зниженні шкідливого впливу на зовнішнє середовище, енергозбереженні та загальному підвищенні ефективності галузі).

Крім того, для України також досить важливими є питання енергозбереження та енергоефективності, розвитку відновлюваних джерел енергії, які неможливо розв'язати без впровадження сучасних інтелектуальних засобів, зокрема, електролічильників, засобів керування електроживленням.

Актуальними залишаються проблеми [91, 132]:

- неефективна державна політика в сфері енергетики;
- високий відсоток зношеності як енергогенеруючого обладнання, так і обладнання, яке транспортує електроенергію. Наприклад, станом на початок 2014 року заміни потребували енергоблоки теплоелектростанцій (ТЕС), сумарною потужністю до 40% від всієї потужності ТЕС. Як наслідок – зростання кількості аварій та відмов;
- низький коефіцієнт корисної дії енергогенеруючого обладнання (31% у енергоблоків ТЕС проти 45% для розвинених країн світу);
- високий рівень шкідливих викидів на ТЕС, який в рази, а подекуди і в десятки разів перевищує встановлені норми як України, так і ЄС;
- низький рівень впровадження технологій та засобів, спрямованих на енергозбереження та підвищення енергоефективності;
- слабкий розвиток альтернативної енергетики та відновлюваних джерел енергії, внаслідок чого їх частка у загальному об'ємі виробленої електроенергії залишається дуже малою. Натомість – енергетика орієнтується на виробництво електроенергії на ТЕС (основне паливо - вугілля) та АЕС;
- необхідність у вдосконаленні нормативно-правової бази, зокрема, з метою забезпечення ефективного функціонування ринку енергоносіїв, електроенергії та паливно-енергетичного комплексу в цілому;
- інтеграція в спільний енергетичний ринок ЄС.

Огляд літературних джерел свідчить, що для сфери енергетики в світі на сьогодні актуальними є тенденції до розвитку розподіленої генерації електроенергії на основі відновлюваних джерел енергії, а також інтелектуальної енергетики на базі концепцій “Електричного світу” та Smart Grid (SMART – Self-Monitoring, Analysis and Reporting Technology – самоконтролююча, аналізуюча та звітуюча технологія) [124, 126].

Основними характерними рисами “Електричного світу” є:

- інтелектуальність (використанні інтелектуальних пристроїв, адресні поставки електроенергії, дотримання принципів енергозбереження);
- системність (комплексне регулювання, накопичення електроенергії, децентралізація електроенергетики);
- екологічність (використання відновлюваних джерел енергії, альтернативних видів палива).

По суті, концепція електричного світу передбачає глибоку інноваційну перебудову всього комплексу генерації, транспортування та розподілу електроенергії з метою створення на його основі інтегрованої, саморегульованої та самовідновлюваної системи, яка включає в себе всі джерела енергії, магістральні та розподільчі енергомережі та споживачів електроенергії. Дана система повинна керуватися дистанційно, спеціалізованою системою інтелектуальних пристроїв в реальному часі.

Застосування принципів електричного світу є визначальним на сьогодні в енергетичній політиці провідних країн світу. Головними цілями тут є енергетична безпека, економічне зростання, екологічна стійкість.

На сьогоднішній день до Smart Grid відносять розробки у сфері генерації, передачі, розподілу та споживання електроенергії. Згідно із [88, 134] Smart Grid – це електричні мережі, які відповідають вимогам ефективного та надійного функціонування енергосистеми. Це забезпечується за рахунок скоординованого керування та організації двосторонніх комунікацій між елементами електричних мереж, електричними станціями, акумулюючими джерелами і споживачами.

Технології Smart Grid здатні забезпечити оптимальний розподіл потужності в електромережі, зменшення втрат, оперативне реагування при аварійних ситуаціях, можливість об'єднання в одній мережі як великих енергогенеруючих потужностей, так і відносно невеликих відновлюваних джерел енергії [125].

Програми з розвитку технологій Smart Grid вже прийняті в багатьох країнах світу. Однак, процеси розвитку інтелектуальної енергетики в Україні на

сьогоднішній день знаходяться лише на початковому етапі і до широкого їх впровадження потрібно ще чимало часу, заходів та інвестицій.

1.2. Характеристики штатного режиму електроспоживання організацій

1.2.1. Забезпечення коректного функціонування мережі електроспоживачів організації

Незважаючи на вагомий напрацювання поколінь дослідників, на сьогоднішній день в умовах зростання рівня споживання людством електроенергії внаслідок широкого використання електрообладнання в різноманітних сферах діяльності, актуальною була та залишається задача забезпечення коректного функціонування цього обладнання в межах передбачених умов роботи (неформально, в межах штатного режиму). Основними причинами цьому є науково-технічний прогрес, зростання чисельності населення, розвиток економіки та ринкових відносин. Дослідженням в даньому напрямку присвячено значну кількість публікацій [4, 5, 32-34, 41, 42, 69-73, 76-80, 85, 89, 99, 109, 110, 120, 123, 127, 138, 139]. Актуальність даної задачі зумовлена високим ступенем залежності багатьох процесів як виробничого характеру так і сфери життєзабезпечення суспільства від коректності функціонування електрообладнання. Для України, актуальність досліджень в цьому напрямку зумовлена також обмеженістю запасів природних енергоносіїв та постійним їх подорожчанням, а також широким використанням електрообладнання, яке є чутливим до характеристик струму живлення та електромагнітної сумісності пристроїв в електромережі (фактично, якості електроенергії).

Вважається, що електрообладнання функціонує в штатному режимі, якщо параметри його роботи (характеристики струму живлення, кліматичні і метеорологічні умови тощо) знаходяться в певних передбачених стандартами і

виробником межах. Вихід параметрів функціонування електрообладнання за межі передбачених умов роботи (неформально, робота в нештатному режимі) підвищує ймовірність виходу з ладу як окремих електроспоживачів, так і цілих технологічних ліній. В загальному випадку, наслідками цього є перевитрати енергії та сировини, аварії, випуск бракованої продукції, додаткові витрати на ремонт високовартісного обладнання, моральні та матеріальні збитки тощо.

Огляд літератури свідчить про те, що досить багато публікацій присвячено проблемам електроспоживання крупних об'єктів (енергосистем, галузей господарства, регіонів країни) [32, 34, 37, 38, 77, 78, 87, 99, 108, 123-126, 132]. В той же час, питанням забезпечення електроспоживання рівня окремих підприємств, установ, організацій, незаслужено присвячено значно меншу долю публікацій [36, 93, 94, 134, 143-147]. Тоді як розв'язання задачі забезпечення коректного функціонування (в штатному режимі) не лише окремих електроспоживачів а й мережі електроспоживачів організації в цілому дозволить підвищити загальну стабільність та ефективність функціонування організації.

1.2.2. Штатний режим електроспоживання організації

Поняття штатного режиму є неформальними і не має чіткого означення. В Міжнародному електротехнічному словнику, який має статус стандарту ІЕС 60050, є терміни загального характеру:

1) *steady state* (англ. *state of a physical system in which the relevant characteristics remain constant with time*) [16] – стійкий стан; стан фізичної системи, за якого її відповідні характеристики залишаються постійними в часі;

2) *steady state of a system* (англ. *the operating conditions of a network in which the system state variables are considered to be sensibly constant*) [17] – стійкий стан системи; умови роботи системи, за яких змінні стану системи вважаються постійними.

Відомою є робота [143], яка присвячена моніторингу динаміки процесу електроспоживання організації в штатному режимі та методиці виявлення

нештатного режиму. В роботі [143] під штатним режимом процесу електроспоживання пропонується вважати роботу мережі електроспоживачів організації, за якої сумарна (інтегральна) величина навантаження на електромережу не виходить за межі попередньо обчисленого довірчого інтервалу. Відповідно, діагностичною характеристикою штатного режиму пропонується вважати загальну величину електроспоживання.

Відомо ряд робіт, автори яких виділяють ряд режимів функціонування електроенергетичних систем [33, 36, 67, 106], в тому числі штатний режим. В даній роботі за основу взято поняття штатного режиму, введеного в [143], яке розширене за рахунок акцентування уваги на якості електроенергії. Наведемо означення штатного режиму, яке використовується в даній роботі.

***Означення 1.1.** Штатний режим процесу електроспоживання – це поточне і тривале функціонування всіх об’єктів та підсистем мережі споживачів електроенергії організації у рамках передбачених і прогнозованих умов роботи, за умови забезпечення електроенергією, якість якої відповідає встановленим нормам.*

Процес електроспоживання є характеристикою мережі споживачів організації (див. п. 2.1.1). Тому в даній роботі поняття штатного режиму узагальнено на всю мережу споживачів електроенергії організації.

1.2.3. Складові забезпечення характеристик динаміки електроспоживання організацій для штатного режиму

Із точки зору системного підходу (рис. 1.1) вхідною дією по відношенню до системи електроспоживання організації є процес електропостачання, а відгуком системи електроспоживання організації є, власне, сам процес електроспоживання, тобто, перетворення електроенергії (в першу чергу, активної її складової), в інші види енергії (теплову, світлову, механічну тощо). З метою спрощення, реактивна складова тут не враховується. Хоча на практиці її

враховують. Зокрема, для усунення її негативного впливу на електромережу застосовується спеціальне компенсуюче обладнання.

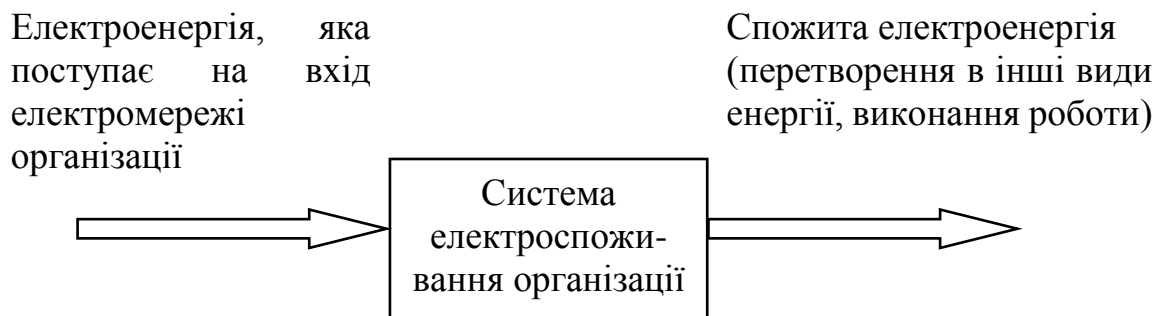


Рисунок 1.1 – Схематичне представлення системи електроспоживання організації із точки зору системного підходу

Якість електроенергії, яка поступає на вхід електромережі організації, зважаючи на її здатність суттєво впливати на функціонування електроспоживачів, визначає надійність функціонування системи в цілому.

В науково-технічних публікаціях вирішення проблем якості електроенергії і моніторинг процесу електроспоживання розглядаються як два самостійних і незалежних напрямки досліджень [13, 80, 143, 145]. В той же час для забезпечення функціонування мережі електроспоживачів організації в штатному режимі ці напрямки є взаємопов'язаними і однаково важливими. В роботі задачу забезпечення штатного режиму ПЕ організації пропонується розглядати як сукупність двох задач:

- 1) задачі контролю характеристик якості електроенергії на вході електромережі (задача забезпечення надійного електропостачання);
- 2) задачі контролю величини електроспоживання топології електромережі організації.

Для позначення мережі споживачів електроенергії організації в роботі використовується термін топології організації. Наведемо означення цього поняття:

Означення 1.2. *Топологія електромережі організації – це сукупність територіально розподілених споживачів електроенергії різної потужності, які входять в склад електромережі організації.*

Питання топології електромережі організації, а саме, можливий поділ електроспоживачів на категорії розкрито в п. 1.4.

В якості характеристик штатного режиму електроспоживання організації пропонується вважати відповідність стандартам характеристик якості електроенергії (описані в п. 3.1) та величину сумарного електроспоживання мережі електроспоживачів організації.

Таким чином, задача забезпечення характеристик динаміки електроспоживання організацій для штатного режиму складається із двох підзадач. Коротко охарактеризуємо їх.

Задача забезпечення надійного електропостачання. Коректне функціонування електрообладнання, а по суті, в межах передбачених умов, зумовлюється надійністю електропостачання. В загальному випадку, надійність є невід’ємною характеристикою будь-якої технічної системи, або її окремого елемента [74]. ДСТУ 2860-94 визначає надійність як *властивість системи зберігати в часі у встановлених межах значення параметрів, що характеризують здатність виконувати необхідні функції у заданих режимах і умовах застосування*. Надійність є комплексною характеристикою і включає в себе такі властивості, як: безвідмовність, довговічність, збережність і ремонтпридатність.

В загальному випадку, вирішення проблеми забезпечення надійності електроенергетичних систем є дуже складним завданням [102]. Це зумовлено такими факторами, як складність устаткування, процесів та структури, необхідність безперервного контролю та ефективного керування технологічними процесами, різноманітність експлуатаційних режимів, застарілістю та зношеністю основних фондів (характерно для України та багатьох інших пострадянських країн).

Завдання забезпечення надійності систем електропостачання включає в себе комплекс технічних, економічних та організаційних заходів [135], спрямованих на зниження збитку від порушення нормального режиму роботи споживачів електроенергії:

- вибір критеріїв і кількісних характеристик надійності;
- випробування на надійність і прогнозування надійності діючого устаткування;
- вибір оптимальної структури проєктованих (реконструйованих) систем електропостачання;
- забезпечення заданих технічних і експлуатаційних характеристик роботи споживачів;
- розробка найбільш раціональної програми експлуатації системи (обґрунтування режимів профілактичних робіт, норм запасних елементів і методів пошуку несправностей).

Для оцінки надійності електроенергетичних систем застосовуються методи теорії надійності. Зокрема, розраховується оцінка таких показників, як ймовірність безвідмовної роботи, середнє напрацювання до відмови, інтенсивність відмов тощо. Однак, така задача в даній роботі не стоїть.

На сьогоднішній день задача забезпечення надійного електропостачання значною мірою полягає в контролі якості електроенергії. В основі його лежить відповідна нормативна база (додаток Д). Визначено конкретні характеристики якості та методику їх визначення (п. 3.1 роботи). Для контролю характеристик якості електроенергії застосовується спеціальне дороговартісне обладнання, яке на практиці часто функціонує як частина АСОЕ [121, 122, 129].

Задача контролю величини електроспоживання топології електромережі організації. Задача вирішується на основі використання спеціалізованих автоматизованих інформаційних систем, в основі роботи яких лежить відповідне інформаційне забезпечення. При цьому виділяють як задачі короткострокового (вимірювання значень поточних характеристик із

усередненям на невеликих інтервалах часу (напруга, струм, частота, активна і реактивна енергії, $\cos \varphi$ тощо)) так і довгострокового (прогнозування на основі розробки математичної моделі, перерозподіл пікових навантажень, розробка алгоритмів статистичної обробки та сама статистична обробка результатів вимірювань на тривалих інтервалах спостереження тощо) контролю. В наступному пункті наведено основні особливості та переваги від використання автоматизованих систем в електроенергетиці.

1.3. Автоматизовані системи забезпечення штатного режиму

1.3.1. Завдання та архітектура АСОЕ

Аналіз наукових публікацій та нормативних документів у сфері енергетики свідчить про те, що на сьогоднішній день задачі аналізу процесу електроспоживання, які включають в себе, зокрема, задачі достовірного обліку споживання електроенергії, моніторингу стану електромереж, вирішуються за допомогою автоматизованих систем обліку електроенергії. На рівні крупних енергосистем використовуються автоматизовані системи диспетчерського керування (загальна назва АСДК), тоді як на рівні організації використовуються системи менших масштабів – автоматизовані системи обліку електроенергії (загальна назва АСОЕ або АСКОЕ – автоматизовані системи комерційного обліку електроенергії). Впровадження автоматизованих систем відповідає вимогам нормативних документів стосовно енергоринку України [82, 114, 117]. АСОЕ дають змогу:

- здійснювати моніторинг поточних та інтегральних (сукупних) характеристик процесу електроспоживання;
- оптимізувати режими роботи організації та її підрозділів;
- перерозподіляти пікові навантаження;
- вживати заходів для економії електроенергії та коштів з урахуванням специфіки і технології роботи споживачів;

- розв'язувати задачі прогнозу електроспоживання.

Всі перераховані пункти в сукупності уможливають розробку енергетичної стратегії організації та її енергетичного паспорту, зокрема, в умовах функціонування енергоринку України.

Згідно із “Правилами користування електричною енергією” [116] АСОЕ – це сукупність об'єднаних в єдину функціональну метрологічно-атестовану систему локального устаткування збору і обробки даних, засобів (засобу) обліку, каналів передачі інформації та пристроїв приймання, обробки, відображення та реєстрації інформації. АСОЕ є багатофункціональними територіально розподіленими і метрологічно атестованими інформаційно-вимірювальними системами, які здійснюють, одночасно, вимірювання та облік кількості спожитих енергії та енергоресурсів по територіально розподілених точках обліку а також передачу даних в реальному часі з нижчих рівнів на вищі [37], з можливістю видачі звітів для прийняття відповідних управлінських рішень.

Запровадження АСОЕ – це фундамент для трансформування існуючих сьогодні системи електропостачання у форму так званих “розумних” систем електропостачання Smart Grid [43]. АСОЕ дозволяють:

- а) підприємствам енергетики:
 - контролювати споживання електроенергії окремими споживачами;
 - здійснювати автоматизований контроль технічного стану електроенергетичних систем (виявлення аварій, перевантажень, втрат тощо);
- б) кінцевим споживачам електроенергії:
 - економити на оплаті за спожиту електроенергію (зокрема, у випадку оплати по тарифних зонах, для чого необхідно відповідним чином налаштувати електронний лічильник та укласти договір з енергопостачальною організацією);
 - автоматизувати процес розрахунку з компанією-постачальником енергії (покази лічильника знімаються дистанційно, в режимі реального часу, споживачі мають змогу здійснювати розрахунок через мережу Інтернет).

Типова сучасна АСОЕ складається із декількох рівнів (рис. 1.2) [37, 44]:

1) нижній рівень. На даному рівні знаходяться вимірювальні прилади (лічильники, первинні вимірювальні перетворювачі), які здійснюють безперервне вимірювання параметрів енергообліку, з мінімальним інтервалом усереднення;

2) середній рівень. На даному рівні знаходяться пристрої збору і підготовки даних (контролери, модеми), які по каналах передачі даних збирають і нагромаджують дані від територіально розподілених вимірювальних приладів з подальшою передачею їх на вищий рівень;

3) верхній рівень. На даному рівні знаходяться комп'ютери (персональні комп'ютери або сервери) із спеціалізованим програмним забезпеченням, які здійснюють комплексну підсумкову обробку та накопичення у вигляді баз даних зібраної на попередньому рівні інформації, відображення і документування підсумкових результатів обліку у вигляді, зручному для аналізу і ухвалення управлінських рішень операторами АСОВЕ.



Рисунок 1.2 – Структурна схема типової АСОВЕ

Крупні АСОЕ (АСДК) можуть включати в себе також також четвертий рівень, до якого входить потужний сервер централізованого збору та обробки даних із територіально розподілених підсистем, формуванням звітів та платіжних документів для розрахунків за електроенергію.

Прикладами сучасних АСОЕ є: система на базі аналізатора мережі SOCOMEC DIRIS A40 та SCADA-системи Zenon [113], АСОЕ на базі лічильників НІК, Меркурій, NP (Житомир, Бердичів, Новоград-Волинський), АСОЕ, в проваджене в м. Київ підприємством Київенерго), АСОЕ (НТУУ “КПІ”, Інститут енергозбереження і енергоменеджменту), проекти, які пропонуються розробниками [29, 127, 131].

Аналіз літературних джерел свідчить про те, що як правило, інформаційне забезпечення АСОЕ залишається невідомим (є комерційною таємницею). І лише деякі науково-технічні публікації, зокрема, технічна документація, інколи частково розкривають деталі реалізації цього інформаційного забезпечення для вирішення задач забезпечення штатного режиму споживання електроенергії мережею споживачів організації. Основою інформаційного забезпечення АСОЕ є математичні моделі, які визначають методи та алгоритми статистичної обробки даних вимірювання та моніторингу процесу електроспоживання.

1.3.2. Електролічильники та їх роль в складі АСОЕ

Сучасні електронні лічильники електроенергії є інтелектуальними пристроями які, порівняно із індукційними лічильниками, володіють рядом незаперечних переваг, що дозволяють використовувати їх як основу для створення АСОЕ [75]. Зокрема, електролічильники мають високий клас точності (до 0,2) та низький поріг чутливості, підтримують можливість обліку спожитої електроенергії по декількох тарифних зонах, можливість дистанційного зчитування показів (за рахунок підтримки стандартів RS-232, RS-485, Modbus Rtu, Profibus, GSM, PLC та наявності відповідних інтерфейсних виходів),

характеризуються компактністю, високою надійністю та невеликим власним енергоспоживанням тощо.

В складі АСОЕ електролічильник виступає в ролі пристрою, який здійснює безпосередньо вимірювання та перетворення виміряних фізичних величин в електричні або світлові імпульси, зручні для подальшої передачі каналами зв'язку. Також електролічильник здатен здійснювати усереднення виміряних значень на невеликому часовому інтервалі (від декількох секунд до декількох хвилин, залежно від частоти дистанційного знімання показів).

Визнаними лідерами на світовому ринку електролічильників є ELSTER (Німеччина), ACTARIS (Франція), LANDIS+GYR (Швейцарія), ITRON (США), ISKRAEMECO (Словенія), GENERAL ELECTRIC (США). На ринку України, окрім перерахованих вище, можна зустріти лічильники виробництва таких компаній, як: Incotex, Nic, Енергоміра, ВАТ “Меридіан”, Телекарт-прилад тощо.

1.4. Топологія мережі споживачів електроенергії в організаціях вищих навчальних закладів

1.4.1. Загальний поділ споживачів за надійністю електропостачання

В нормативних документах, зокрема в Правилах улаштування енергоустановок [107], пристрої, що споживають електроенергію, називаються електроприймачами. Згідно із [107] електроприймачі за надійністю електропостачання поділяються на три категорії:

I категорія. Електроприймачі, перерва в електропостачанні яких може спричинити небезпеку для життя людей, значний збиток суб'єктам господарювання, пошкодження дорогого основного обладнання, масовий брак продукції, розлад складного технологічного процесу, порушення функціонування особливо важливих елементів комунального господарства.

В складі електричних приймачів I категорії виділяють підгрупу електричних приймачів, безперебійна робота яких необхідна для безаварійної

зупинки виробництва, з метою запобігання загрозі життю людей, вибухам, пожежам і пошкодженню високовартісного обладнання.

II категорія. Сюди належать електричні приймачі, переривання електропостачання яких приводить до масового недовипуску продукції, масових простоїв робітників, механізмів і промислового транспорту, порушення нормальної діяльності значної кількості жителів.

III категорія. До даної категорії відносяться електроприймачі, які не підпадають під визначення I і II категорій.

Відповідно до вимог [68] електроприймачі I категорії необхідно забезпечувати електроенергією від двох незалежних взаєморезервуючих джерел живлення, і перерва їх електропостачання у випадку порушення електропостачання від одного з джерел живлення допускається лише на час автоматичного відновлення живлення. Перемикання джерел живлення повинно здійснюватися за мінімально короткий час і, по можливості, без зміни режиму роботи обладнання споживачів. Для електропостачання особливої групи електроприймачів I категорії необхідно передбачити додаткове живлення від третього незалежного взаєморезервуючого джерела живлення.

Електропостачання електроприймачів I категорії з особливо складним безперервним технологічним процесом, який потребує тривалого часу на відновлення робочого режиму, рекомендується здійснювати від двох незалежних взаєморезервуючих джерел живлення, до яких висуваються додаткові вимоги, що визначаються особливостями технологічного процесу.

Електроприймачі II категорії необхідно забезпечувати електроенергією від двох незалежних взаєморезервуючих джерел живлення. У випадку порушення електропостачання від одного з джерел живлення переривання електропостачання допускається на час, необхідний для ввімкнення резервного живлення.

Для електроприймачів III категорії допускається здійснювати електропостачання від одного джерела живлення за умови, що час перерви

електропостачання, необхідний для ремонту або заміни пошкодженого елемента системи електропостачання, не перевищує однієї доби.

1.4.2. Поділ споживачів електроенергії університету

Відповідно до [68] споживачів електроенергії університету можна віднести до таких категорій (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Розподіл електроспоживачів університету за ступенем надійності електропостачання

| Назва будівлі (будинку, споруди, приміщення) та електроприймачів | Категорія надійності електропостачання |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 1 | 2 |
| Будинки навчальних закладів, в яких навчається від 200 до 1000 осіб включно. | II |
| Будинки гуртожитків заввишки до 16 поверхів включно загальною місткістю понад 50 осіб. | II |
| Дахові котельні, котельні, прибудовані до житлових будинків, і котельні, вбудовані в громадські будинки та споруди: електроприймачі систем протипожежного захисту, сигналізація загазованості, аварійне освітлення, охоронна сигналізація. | I |
| Будинки навчальних закладів, в яких навчається понад 1000 осіб: – електроприймачі систем протипожежного захисту, сигналізація загазованості, аварійне освітлення, охоронна сигналізація; – комплекс решти електроприймачів. | I II |

| 1 | 2 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Бібліотеки й архіви з фондом від 100 тис. до 1 млн. одиниць зберігання включно. | II |
| Підприємства громадського харчування за кількістю посадкових місць від 100 до 500 включно. | II |
| <p>Багатофункціональні будинки та комплекси, що мають приміщення різного призначення:</p> <ul style="list-style-type: none"> – електроприймачі систем протипожежного захисту, сигналізація загазованості, ліфти, аварійне освітлення, охоронна сигналізація, вогні світлової огорожі; – комплекс решти електроприймачів. | <p>Відповідно до найвищої категорії електроприймачів вказаного призначення з врахуванням кількості поверхів. Згідно з категорією, що відповідає конкретному призначенню</p> |

Крім класифікації споживачів електроенергії по ступеню надійності їх електропостачання, можливий також поділ по режимах роботи, потужності, напрузі, роду споживаного струму.

В університеті основними категоріями споживачів електроенергії є:

- комп'ютери в навчальних аудиторіях та навчальне устаткування;
- обладнання науково-дослідних лабораторій;
- обладнання, яке забезпечує функціонування комп'ютерної мережі університету (комутатори, маршрутизатори);
- освітлення аудиторій, коридорів;
- ліфти;
- системи охорони (відеоспостереження) та сигналізації;

- серверне обладнання (сервери обробки даних, мережеві сервери тощо).

Деякі електроприймачі в університеті потребують безперервного живлення (комп'ютерні сервери, системи охорони). Основна частина підрозділів університету споживає електроенергію регулярно, протягом конкретних часових інтервалів доби, відповідно до особливостей роботи того чи іншого підрозділу. Наприклад, адміністративні підрозділи (бухгалтерія, канцелярія, навчальний відділ тощо) споживають електроенергію, в основному, протягом робочого дня з 8:00 ранку до 17:00 вечора. Також є споживачі із нерегулярним споживанням. Наприклад, енергоспоживання конкретних аудиторій (лабораторій) залежить від розкладу занять та кількості студентів, які фактично присутні на занятті, типу заняття (лекція, лабораторна робота, практичне заняття).

1.5. Постановка завдань дослідження дисертації

Проведений аналітичний огляд літератури дав можливість обґрунтувати мету та задачі дослідження. Метою роботи є математичне моделювання і статистичне оцінювання характеристик режиму електроспоживання організацій для забезпечення штатного режиму споживання електроенергії в топології мережі організації. Для досягнення поставленої мети дослідження необхідно розв'язати наступні задачі:

1. На основі результатів вирішення наукових задач аналізу динаміки і характеристик процесів електроспоживання різних організацій обґрунтувати актуальність і завдання дослідження дисертації.
2. Розробити загальну модель процесу електроспоживання, яка б дозволила врахувати різні режими роботи топології споживачів організації і виділити енергетичні компоненти процесу.
3. На основі даних вимірювань та загальної моделі процесу електроспоживання розробити конструктивну модель процесу

- електроспоживання на поточних та тривалих інтервалах спостереження.
4. Обґрунтувати математичну модель електричної напруги електропостачання, яка б дозволила врахувати всі можливі варіанти спотворень характеристик напруги при вирішенні задачі контролю характеристик якості електроенергії.
 5. Сформуувати базу даних вимірювань процесу електроспоживання організації, обґрунтувати методи і розробити програмне забезпечення статистичного опрацювання даних вимірювань.
 6. Розробити програмне забезпечення комп'ютерного моделювання реалізацій електричної напруги із спотвореннями якості електроенергії і створити базу даних для збереження результатів моделювання.
 7. На основі отриманих результатів запропонувати проект апаратно-програмного комплексу моніторингу штатного режиму процесу електроспоживання організації.

1.6. Висновки до першого розділу

У першому розділі на основі аналізу наукових публікацій, конференцій та семінарів, результатів науково-дослідних робіт, загальних тенденцій розвитку електроенергетики в Україні та світі обґрунтовано актуальність та сформульовано мету дослідження. Зокрема:

1. На основі проведеного аналізу літературних джерел показано стан та тенденції розвитку методів забезпечення штатних характеристик динаміки електроспоживання організаціями із різною топологією мережі електроспоживання з метою обґрунтування актуальності та задач дослідження.
2. Сформульовано означення поняття штатного режиму процесу електроспоживання організації та наведено задачі по його забезпеченню, які полягають в контролі якості електроенергії на вході електромережі

- організації та контролі величини електроспоживання топології електромережі організації;
3. Сформульовано означення топології мережі організації як сукупності територіально розподілених споживачів електроенергії різної потужності, які входять в склад електромережі організації.
 4. Показано роль автоматизованих систем в задачах контролю та обліку електроенергії при забезпеченні штатного режиму;
 5. Наведено один із можливих варіантів поділу на категорії споживачів електроенергії організації;
 6. Сформульовано та наведено перелік задач дисертації.

РОЗДІЛ 2

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ НА ОСНОВІ ДАНИХ ВИМІРЮВАНЬ І ПРИКЛАД ЇХ ВИКОРИСТАННЯ

Розділ присвячено розробці моделі процесу електроспоживання організації на основі стохастичного підходу та сучасних досягнень теорії математичного моделювання випадкових процесів. Розроблено загальну багатокomпонентну модель з розкладкою процесу електроспоживання. Представлено частковий випадок загальної моделі як конструктивну модель, компоненти якої пов'язані між собою адитивно.

Окрім цього, в розділі розроблено та запропоновано метод побудови конструктивної моделі процесу електроспоживання організації на основі даних вимірювань. Метод включає в себе обґрунтований вибір:

- 1) статистичного методу декомпозиції на складові компоненти часового ряду як реалізації процесу електроспоживання;
- 2) статистичного методу виявлення миттєвих моментів розладу в часі статистичних характеристик виділених в результаті декомпозиції компонент процесу.

Наведено приклад застосування методу на основі опрацювання конкретної реалізації процесу електроспоживання організації.

Основні положення розділу опубліковано в працях [13, 60, 61, 64, 65].

2.1. Особливості процесу електроспоживання як характеристики роботи топології електромережі організації

2.1.1. Чинники формування процесу електроспоживання

Процес електроспоживання має стохастичну природу і виступає інтегральною характеристикою організації, оскільки він показує особливості та

режими функціонування топології електромережі організації. Аналіз літератури дав можливість виокремити наступні характеристики процесу електроспоживання, важливі в контексті окремої організації:

- процес електроспоживання формується як сума дії окремих, часто незалежних між собою споживачів електроенергії різної потужності;
- розміщення в просторі окремих споживачів електроенергії із складу електромережі організації часто є незмінним в часі, тому при побудові математичної моделі процесу ним, як правило, нехтують;
- моменти включення та виключення окремих споживачів в часі є випадковими;
- тривалість кожного окремо взятого сеансу роботи (споживання енергії) окремим споживачем є випадковою величиною;
- суттєвою є залежність процесу від кліматичних і метеорологічних факторів (тривалості світлового дня, температури і вологості повітря, кількості опадів тощо);
- процес електроспоживання підкоряється особливостям періодичності діяльності людини, що зумовлено, зокрема, періодичною зміною дня і ночі внаслідок обертання Землі навколо своєї осі. При цьому виділяють такі основні періоди як 24 години (доба) та 168 годин (тиждень).

На рис. 2.1 та 2.2 представлено типові графіки електроспоживання організації, які свідчать про зміну характеру функціонування топології мережі електроспоживачів (перехід з одного режиму в інший), наприклад, про суттєву відмінність у електроспоживанні протягом робочих і вихідних днів.

Це характерно для багатьох організацій із п'ятиденним робочим тижнем, зокрема, для державних організацій, в тому числі і для навчальних закладів.

В контексті окремо взятої організації можна говорити про те, що він характеризує особливості та режими роботи цієї організації, наприклад, розподіл величини та часу появи пікових навантажень протягом доби, зміну величини електроспоживання залежно від погодних умов протягом року тощо.

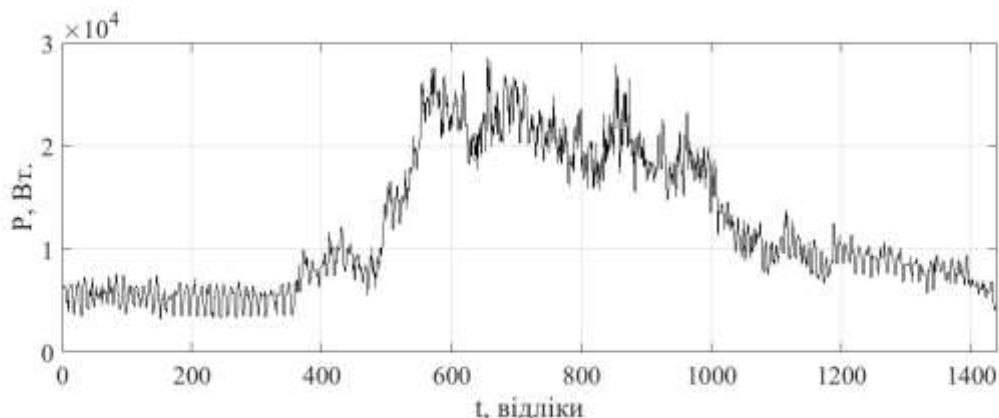


Рисунок 2.1 – Графік реалізації процесу електроспоживання організації протягом робочого дня

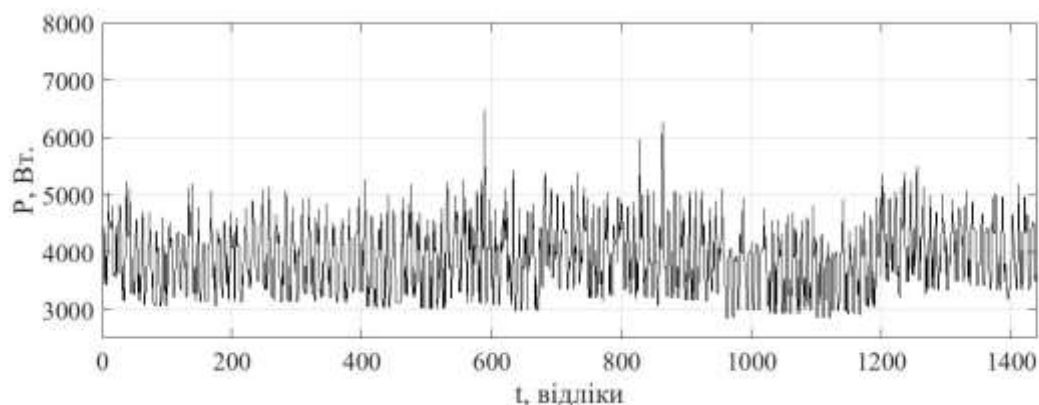


Рисунок 2.2 – Графік реалізації процесу електроспоживання організації протягом вихідного дня

Під величиною електроспоживання (миттєвою або за певний період) мають на увазі потужність електричного струму, яка споживається електрообладнанням.

2.1.2. Енергетичні характеристики процесу електроспоживання

Як відомо, потужність електричного струму – це фізична величина, що характеризує швидкість передачі електричної енергії або її перетворення в інші види енергії [35, 45]. Розглядатимемо поняття потужності для кіл синусоїдального змінного струму і напруги. В таких колах вводяться поняття

активної, реактивної та повної потужності а також поняття коефіцієнта потужності.

Потужність. В колах змінного струму та напруги потужність електричного струму виражається комплексним числом, в якому активна потужність є його дійсною частиною, реактивна потужність – уявною, повна потужність – модулем а кут зсуву фаз між напругою та струмом φ – аргументом. В трифазних колах потужність є сумою потужностей окремих фаз.

Активна потужність призначена для того, щоб охарактеризувати швидкість перетворення електричної енергії в інші види енергії. Активну потужність представляють як середнє за період $[0, T]$ значення миттєвої потужності:

$$P_T = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt, \quad (2.1)$$

де $p(t)$ – значення миттєвої потужності в момент часу t .

В колах однофазного синусоїдального струму активна потужність обчислюється як:

$$Q = U \cdot I \cdot \cos \varphi, \quad (2.2)$$

де U та I представляють собою середньоквадратичне значення напруги та струму, а φ – кут зсуву фаз між ними.

Одиниця вимірювання активної потужності в системі СІ – ват (W, Вт).

Реактивна потужність характеризує навантаження, створюване коливанням енергії електромагнітного поля в колі. Це енергія, що передається від джерела до реактивних елементів споживачів (конденсаторів, котушок, обмоток тощо), а потім повертається цими елементами назад у джерело.

Реактивну потужність обчислюють як добуток середньоквадратичних значень напруги та струму, помножений на синус кута зміщення фаз між ними:

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi \quad (2.3)$$

При цьому, якщо струм відстає від напруги, то зсув фаз вважається позитивним, якщо випереджає – негативним. Реактивна потужність може бути як додатною величиною (активно-індуктивне навантаження), так і від’ємною (активно-ємнісне навантаження). Вважається, що реактивна потужність не приймає участі в роботі електричного струму. Застосування сучасних цифрових вимірювальних пристроїв дає можливість досить точно вимірювати величину енергії, що повертається від індуктивного та ємнісного навантаження назад у джерело змінної напруги. Одиниця вимірювання реактивної потужності в системі СІ – вольт-ампер реактивний (var, вар). Приклад графіка добової реалізації реактивної потужності для організації наведено на рис. 2.3.

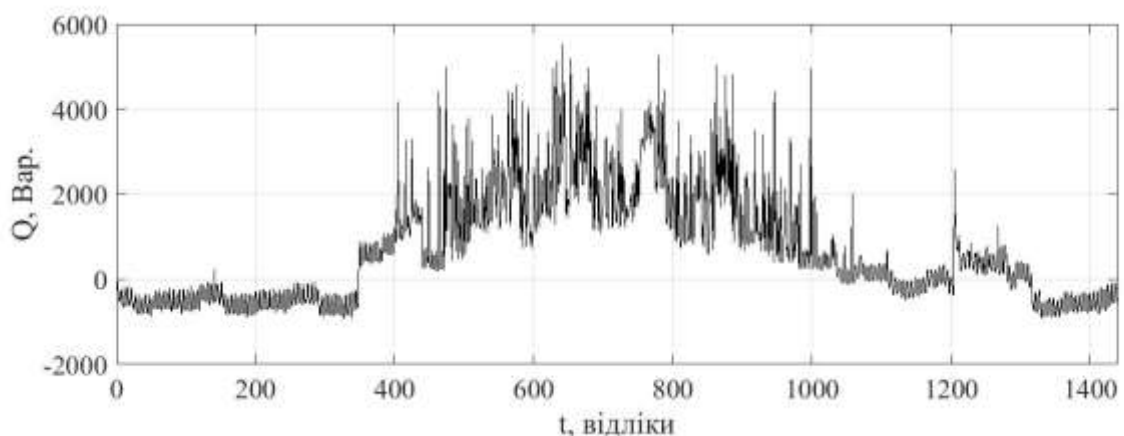


Рисунок 2.3 – Графік реактивної складової добової реалізації процесу електроспоживання організації

Повна потужність – це величина, що дорівнює добутку діючих значень напруги та сили струму. Повну потужність представляють як:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}, \quad (2.4)$$

де S – повна потужність, P – активна потужність, Q – реактивна потужність.

У векторній формі повна потужність є сумою векторів:

$$\bar{S} = \bar{P} + \bar{Q}. \quad (2.5)$$

Повна потужність описує навантаження, яке фактично накладається споживачем на елементи підвідної електромережі (лінії електропередачі, кабелі, трансформатори, розподільні щити тощо), бо ці навантаження залежать від спожитого споживачем струму, а не від фактично використаної ним енергії. Одиниця вимірювання повної потужності в системі СІ – вольт-ампер.

Коефіцієнт потужності – це косинус кута φ зсуву фаз між напругою та струмом. Він є безрозмірною величиною, яка є характеристикою споживача змінного електричного струму і показує ступінь наявності в навантаженні реактивної складової. Чисельно коефіцієнт потужності дорівнює відношенню спожитої активної потужності до повної потужності:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}. \quad (2.6)$$

Коефіцієнт потужності приймає значення від 0 до 1 (від 0% до 100%). Якщо в навантаженні є реактивна складова, то крім значення коефіцієнта потужності вказують також характер навантаження: активно-ємнісний (в цьому випадку коефіцієнт потужності називають випереджаючим) або активно-індуктивний (відстаючий коефіцієнт потужності).

Коефіцієнт потужності враховується при проектуванні електромереж. Неправильно розрахований коефіцієнт потужності може призвести, наприклад,

до надмірного споживання електроенергії та зниження коефіцієнта корисної дії устаткування. Чим нижчий коефіцієнт потужності, тим більшою є частка втрат електроенергії в електромережі в загальній структурі втрат. Для збільшення коефіцієнта потужності застосовують спеціальні компенсуючі пристрої.

Коефіцієнт потужності дозволяє оцінити величину різного роду нелінійних спотворень (наприклад, несинусоїдність внаслідок наявності в складі напруги гармонік із високими частотами), які вносяться в електромережу навантаженням. Чим він менший, тим більше нелінійних спотворень. Також, для одного і того ж значення активної потужності, величина потужності, яка втрачається (розсіюється) в проводах, є обернено пропорційною до квадрату коефіцієнта потужності. Тому, чим менший коефіцієнт потужності, тим нижчою є якість споживання електроенергії. Оптимальним вважається значення коефіцієнта в межах 0,95..1.

Енергія. Кількість спожитої електроенергії (Вт-год., кВт-год.) за інтервал часу спостереження $[0, T]$ визначається як інтеграл:

$$W_T = \int_0^T P(t) dt, \quad (2.7)$$

де $P(t)$ – значення потужності процесу електроспоживання (Вт).

При умові дискретного характеру вимірювань, притаманного цифровим вимірвальним пристроям, отримуємо:

$$W_T = \sum_{j=1}^n P(t_j) \Delta t_j, \quad (2.8)$$

де Δt_j – крок дискретизації (в сучасних інформаційних системах, як правило, вибирається із діапазону $\Delta t_j \in \{1 \text{ хв}, 5 \text{ хв}, 10 \text{ хв}, 15 \text{ хв}, 30 \text{ хв}\}$ залежно від

технічних можливостей конкретних вимірювальних пристроїв та вирішуваних задач). В даній роботі було проведено статистичну обробку реалізації процесу електроспоживання при $\Delta t_j = 60 \text{ хв.}$; $P(t_j)$ – усереднене значення неперервної функції $P(t)$ на інтервалі часу Δt_j .

Дослідження функції $P(t)$, яка є характеристикою функції $W(t)$, полягає в опрацюванні дискретної послідовності $P(t_j) = P_j$, яка задається на рівномірній часовій ґратці $\{0, \Delta t, 2\Delta t, \dots, j\Delta t, \dots, (n-1)\Delta t\}$ інтервалу спостереження $t \in [0, T]$.

2.2. Математичне моделювання в задачах дослідження процесу електроспоживання

2.2.1. Математична модель електроспоживання як об'єкт дослідження

Наведемо відповідно до [98] означення математичної моделі:

***Означення 2.1.** Математична модель емпіричного об'єкта дослідження (явища, процесу) є сукупність знань, припущень та гіпотез, побудованих у вигляді цілісної, логічно витриманої несуперечливої структури, яка гомоморфно відображає основні властивості емпіричного об'єкта, сформульована з використанням математичних об'єктів, термінів та символів і призначена для розв'язання певного класу задач.*

Обґрунтування або розробка математичної моделі базується на результатах розв'язку багатьох задач в процесі дослідження конкретного процесу або явища. Метою її розробки є спрощення або/чи підвищення точності, ефективності розв'язку задач, які ставить перед собою дослідник.

Бувають випадки, коли для опису одного об'єкта дослідження використовуються різні математичні моделі в залежності від постановки задачі. Також можна навести приклади, коли одна математична модель може описати широкий клас об'єктів, різних за своєю фізичною природою. Будь-яка математична модель має такі основні етапи розвитку:

1. Формалізація системи знань, законів, які пов'язують між собою об'єкти моделі. Етап закінчується записом в математичних термінах сформульованих уявлень про зв'язки між об'єктами моделі із визначенням її основних характеристик;
2. Визначається форма подання математичної моделі і відбувається дослідження математичних задач, які впливають з моделі. Серед них основною є розв'язання прямої задачі, яке полягає в отриманні в результаті аналізу моделі вихідних даних (у вигляді теоретичних наслідків) з метою подальшого їх зіставлення з результатами спостережень досліджуваних явищ;
3. Етап перевірки на практиці того, наскільки задовольняє модель досліджуваному об'єкту в межах точності спостережень;
4. Аналіз моделі в процесі накопичення даних про об'єкт дослідження з метою її уточнення. Із розвитком науки настає момент, коли відома модель перестає відповідати накопиченим знанням про об'єкт. Тоді постає задача розробки нової, адекватної моделі.

Наведемо основні серед відомих на сьогодні математичних моделей процесу електроспоживання.

2.2.2. Відомі математичні моделі процесу електроспоживання

Процес електроспоживання організації характеризує особливості та стан функціонування електромережі організації, виступає її інтегральною характеристикою. Математична модель такого процесу повинна враховувати всі фактори його формування і бути адаптованою до особливостей функціонування організації.

Процес електроспоживання має стохастичну природу. Тому застосування на практиці при його дослідженні детермінованих моделей (наприклад, гармонічних функцій, майже періодичних та квазіперіодичних функцій) не має сенсу. За своєю природою він є схожим до ряду інших процесів (газоспоживання,

водоспоживання, шумові процеси тощо), які формуються під впливом багатьох випадкових і, як правило, незалежних між собою джерел (споживачів). Тому, в загальному випадку, для опису цих процесів застосовують схожі математичні моделі.

Вагомий внесок в розробку теоретичних основ та практичних методів математичного моделювання і статистичної обробки даних вимірювань в електроенергетиці внесли вчені Баранов Г.Л., Красильников О.І., Марченко Б.Г., Приймак М.В., та ін. [32, 33, 47, 86, 90, 97, 99, 100, 110]. Переважна більшість досліджень і розроблених математичних моделей стосуються саме штатного режиму процесу електроспоживання.

Адитивна та мультиплікативна моделі. Найпростішими, базовими моделями циклічного процесу електроспоживання є адитивна, мультиплікативна та адитивно-мультиплікативна. Вони складаються із стаціонарного (в широкому розумінні) випадкового процесу $\{\xi_1(\omega, t), \omega \in \Omega, t \in R\}$ та детермінованих періодичних функцій $f(t)$ та $g(t)$:

Адитивна модель:

$$\xi(\omega, t) = f(t) + \xi_1(\omega, t), \quad \omega \in \Omega, \quad t \in R. \quad (2.9)$$

Мультиплікативна модель:

$$\xi(\omega, t) = f(t) \cdot \xi_1(\omega, t), \quad \omega \in \Omega, \quad t \in R. \quad (2.10)$$

Адитивно-мультиплікативна модель:

$$\xi(\omega, t) = f(t) + g(t) \cdot \xi_1(\omega, t), \quad \omega \in \Omega, \quad t \in R. \quad (2.11)$$

Аддитивна модель враховує періодичність лише математичного сподівання результуючого процесу, тоді як його дисперсія є константою. Мультиплікативна модель враховує періодичність як математичного сподівання так і дисперсії. Однак, в цьому випадку математичне сподівання і дисперсія перебувають у функціональній залежності, що далеко не завжди має місце. Адитивно-мультиплікативна модель поєднує властивості адитивної та мультиплікативної моделей. Дані моделі, в цілому, є досить спрощеними і не дозволяють адекватно описати всі особливості реальних циклічних процесів електронавантаження.

В наукових роботах [32, 99, 110] в якості математичних моделей процесу електронавантаження використовуються стохастичні моделі: періодично корельований випадковий процес, періодично розподілений випадковий процес (періодичний випадковий процес за Слуцьким) та лінійний періодичний випадковий процес. Дані моделі також знайшли своє застосування в інших сферах: офтальмологія [7], газоспоживання [100], віброакустика [96].

Періодично корельований випадковий процес. Під періодично корельованим випадковим процесом (ПКВП) розуміють випадковий процес $\xi(\omega, t)$, математичне сподівання якого є періодичною функцією з деяким періодом T ($T > 0$), а кореляційна функція є періодичною з тим же періодом за сукупністю аргументів, тобто:

$$m_{\xi}(t) = m_{\xi}(t + T), t \in R, R_{\xi}(t_1, t_2) = R_{\xi}(t_1 + T, t_2 + T), t_1, t_2 \in R. \quad (2.12)$$

Число T тут називають періодом корельованості. ПКВП включає в себе адитивну та мультиплікативну моделі як часткові випадки. Також, ПКВП є відносно простим і до його переваг відноситься те, що для його використання необхідна незначна кількість апріорної інформації про досліджуване в межах конкретної науково-технічної задачі явище. В цілому, ПКВП враховує лише перші дві моментні функції випадкового процесу – математичне сподівання та кореляційну функцію. Вищі ж моментні функції та функції розподілу не

враховує. Також, ПКВП повністю описує лише випадковий процес із нормальним розподілом.

Періодичний випадковий процес за Слуцьким (періодично розподілений випадковий процес).

Означення 2.2. *Сепарабельний випадковий процес $\{\xi(\omega, t), \omega \in \Omega, t \in R\}$ називається стохастично періодичним у вузькому розумінні, якщо існує таке число $T > 0$, що скінченновимірні вектори $(\xi(\omega, t_1), \xi(\omega, t_2), \dots, \xi(\omega, t_k))$ і $(\xi(\omega, t_1 + T), \xi(\omega, t_2 + T), \dots, \xi(\omega, t_k + T))$, де $\{t_1, t_2, \dots, t_k\}$ – множина сепарабельності процесу $\xi(\omega, t)$, при всіх цілих $k \geq 1$ є стохастично еквівалентними у широкому розумінні.*

Стохастично еквівалентними у широкому розумінні вважаються випадкові k -вимірні вектори, якщо вони мають однакові k -вимірні функції розподілу.

Моделі ПКВП та періодичного випадкового процесу за Слуцьким є досить загальними. Тому, на практиці часто використовують їх різновиди, а саме, випадкові процеси із деякими періодичними ймовірнісними характеристиками. Зокрема, це лінійні періодичні випадкові процеси (ЛПВП).

Лінійний періодичний випадковий процес та його різновиди. Лінійний випадковий процес може бути поданим у вигляді стохастичного інтегралу:

$$\xi(\omega, t) = \int_{-\infty}^{\infty} \phi(t, \tau) \zeta(\omega, \tau) d\tau, \quad \omega \in \Omega, t \in R, \quad (2.13)$$

або у вигляді інтегралу за стохастичною мірою Стілтєса:

$$\xi(\omega, t) = \int_{-\infty}^{\infty} \phi(t, \tau) d\eta(\omega, \tau) d\tau, \quad \omega \in \Omega, t \in R, \quad (2.14)$$

де $\zeta(\omega, \tau) d\tau, \omega \in \Omega, t \in R$ – білий шум у вузькому розумінні; $\eta(\omega, \tau) d\tau, \omega \in \Omega, t \in R$ – випадковий процес із незалежними (некорельованими)

приростами (породжуючий процес), узагальнена похідна від якого є білим шумом у вузькому розумінні.

Лінійний випадковий процес, в загальному випадку, вважається періодичним (ЛПВП), якщо існує таке число T , $T > 0$, що $\varphi(t, \tau) = \varphi(t + T, \tau + \alpha T)$, $\alpha \in (-\infty, \infty)$.

При використанні ЛПВП в якості інформативних ознак служать ядро $\varphi(t, \tau)$ та ймовірнісні характеристики породжуючого процесу $\eta(\omega, \tau)$.

Основною перевагою ЛПВП є його конструктивність, що дає можливість його використання для імітації реалізацій циклічних сигналів з допомогою комп'ютера. Також на його основі можна проводити опис та аналіз сигналів в рамках багатовимірних функцій розподілу та характеристичних функцій. Недоліком ЛПВП є складність та неоднозначність при оцінюванні ядра $\varphi(t, \tau)$ та параметрів породжуючого процесу $\eta(\omega, \tau)$ за заданими ймовірнісними характеристиками ЛПВП.

У роботі [101] в якості моделі використовується різновид лінійного випадкового процесу – умовний лінійний випадковий процес (УЛВП):

$$\xi(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(t - \tau; \tilde{l}_{\pi(\tau)}, \tilde{b}_{\pi(\tau)}) d\pi_1(\tau), \quad t \in (-\infty; \infty), \quad (2.15)$$

де $\varphi(t - \tau; \tilde{l}_{\pi(\tau)}, \tilde{b}_{\pi(\tau)})$ – функція (ядро) з випадковими параметрами \tilde{l}_k та \tilde{b}_k ; $\pi_1(\tau)$ – породжуючий процес з незалежними приростами який, в роботі [101] вважається неоднорідним узагальненим Пуасоніським процесом. Ядро УЛВП є випадковим та стохастично незалежним від породжуючого процесу.

В цілому, дані моделі не завжди в повній мірі відображають мінливість факторів, які впливають на формування процесу електронавантаження, що нерідко призводить до зниження точності та достовірності методів аналізу та прогнозу процесів даного типу. Хоча, в цілому, моделі ПКВП та ЛПВП досить

адекватно описують процес електронавантаження організації за умови, що він належить до одного усталеного режиму роботи.

В ряді наукових робіт [94, 143] в якості базової моделі електронавантаження обґрунтовується кусково-однорідний стохастичний періодичний процес:

$$\xi(\omega, t) = \sum_{k=1}^l \eta_k(\omega, t) I(t, T_k), \quad t \in T, \quad \omega \in \Omega, \quad \bigcup T_k = T, \quad (2.16)$$

де $\sum_{k=1}^l \eta_k(\omega, t)$ – сукупність однорідних компонент, кожна з яких є періодичним

випадковим процесом; $I(t, T_k) = \begin{cases} 1, & t \in T_k \\ 0, & \text{в інших випадках} \end{cases}, k = \overline{1, l}$, – індикаторна

функція, яка задає область дії відповідної компоненти $\eta_k(\omega, t)$ на інтервалі спостереження $T_k \in T$.

При цьому, автори цих робіт вдало адаптовують дану базову модель до особливостей функціонування конкретної організації. Так, у [94] запропоновано модель у вигляді кусково-періодичного випадкового процесу з некорельованими значеннями:

$$\xi_t = \sum_{k=1}^m \zeta_{kt} I_{T_k}(t), \quad t \in \mathbf{Z}, \quad T_k \subset \mathbf{Z}, \quad T_k \neq \emptyset, \quad k = \overline{1, m}, \quad T_i \cap T_j = \emptyset, \quad (2.17)$$

$$i \neq j, \quad i, j = \overline{1, m}, \quad \bigcup_{k=1}^m T_k = \mathbf{Z},$$

де ζ_{kt} – k -та компонента зображення (періодичний з періодом 24 години процес з некорельованими значеннями). Компоненти моделі (2.17) утворюють

векторний періодичний білий шум $(\zeta_{1t}, \zeta_{2t}, \dots, \zeta_{mt})$, де $I_{T_k}(t) = \begin{cases} 1, & t \in T_k, \\ 0, & t \notin T_k \end{cases}$ –

індикаторна функція. В даній моделі область T_k відповідає k -му режиму роботи організації.

В [143] запропоновано модель кусково-однорідного періодичного випадкового процесу:

$$\xi_{\text{шт}}(\omega, t) = \sum_{k=1}^l \zeta_k(\omega, t) I\left(\bigcup_{i=1}^{q_k} [\tau_{k(2i-1)}, \tau_{k(2i)}], t\right), \quad \omega \in \Omega, \quad t \in [0, T_c], \quad l, q_k \in N, \quad (2.18)$$

де $\{\zeta_k(\omega, t), k = \overline{1, l}\}$ – сукупність однорідних компонент (періодичних з періодом $T = 24$ години випадкових процесів) формує векторний періодичний процес $\zeta_l(\omega, t) = (\zeta_1(\omega, t), \dots, \zeta_l(\omega, t))$; кожна k -та однорідна компонента $\zeta_k(\omega, t)$ задана на часовій області – об'єднанні q_k неперервних інтервалів часу у вигляді

індикаторної функції $I\left(\bigcup_{i=1}^{q_k} [\tau_{k(2i-1)}, \tau_{k(2i)}], t\right) = \begin{cases} 1, & t \in \bigcup_{i=1}^{q_k} [\tau_{k(2i-1)}, \tau_{k(2i)}], \\ 0, & \text{в інших випадках} \end{cases}$

$\{\tau_{ki}, k = \overline{1, l}, i = \overline{1, 2q_k}\}$ – послідовність часових моментів зміни однорідності статистичних характеристик компонент процесу (зміни динаміки процесу електроспоживання штатного режиму).

Кожна з компонент (2.18) характеризує динаміку електроспоживання організації з однорідними статистичними характеристиками на відповідному часовому підінтервалі $[\tau_{k(2i-1)}, \tau_{k(2i)}]$ з інтервалу спостереження $[0, T]$.

Також відомими є праці, в яких дослідники використовують ланцюги Маркова [111], моделі авторегресії - проінтегрованого ковзного середнього [140, 141].

Сучасний рівень розвитку теорії випадкових процесів дозволяє розробляти нові математичні моделі процесів електроспоживання а також адаптовувати вже відомі моделі для врахування особливостей функціонування та режимів роботи конкретних організацій. Зокрема, при описі процесу електроспоживання на

тривалих інтервалах спостереження його модель повинна враховувати зміну характеру функціонування топології мережі споживачів в часі (перехід з одного режиму роботи в інший, про наявність якого сигналізує розладнання статистичних характеристик процесу), сезонні складові, дію факторів формування процесу коливого характеру. Це дозволить застосовувати таку модель при розв'язанні задач моніторингу штатного режиму функціонування мережі електроспоживачів організації.

2.3. Метод побудови моделі та конструктивна адитивна стохастична модель процесу електроспоживання організації на основі даних вимірювань

2.3.1. Методологія побудови математичних моделей стохастичних сигналів на основі даних вимірювань

Терія випадкових процесів застосовується в якості основи для створення математичних моделей значної кількості явищ стохастичної природи, до яких відноситься і процес електроспоживання. Інформаційні сигнали стохастичної природи, реалізації яких отримують в результаті вимірювального експерименту, несуть в собі різноманітну інформацію про досліджувані об'єкти та динаміку зміни їхніх станів. В загальному, науково-технічну проблематику досліджень стохастичних інформаційних сигналів (СІС) можна умовно схематично проілюструвати так, як це наведено на рис. 2.4.

СІС формується під впливом динаміки об'єкта дослідження. Зміна в часі характеристик СІС може відбуватися по-різному: повільно, періодично, хаотично, з перехідним процесом та стрибкоподібно (з розладом, розладкою). У загальному випадку СІС є нестационарними, внаслідок чого при статистичному опрацюванні їх реалізацій не можливо застосувати відоме інформаційне та апаратне забезпечення, яке базується на властивості стаціонарності.



Рисунок 2.4 – Спрощена схема досліджень СІС

Особливо цікавими з теоретичної точки зору і такими, які часто зустрічаються на практиці, є СІС з розладкою (розладом, англ. *change points*). Суть розладки полягає в миттєвій (або майже миттєвій) зміні характеру функціонування об'єкта досліджень (наприклад, переходу з одного режиму роботи в інший), що відображається у зміні статистичних характеристики відповідного СІС. Теорії розладки та практичному застосуванню її методів присвячено багато публікацій [1, 10, 18-21, 24-26, 28, 148]. Загальна схема методології створення моделей СІС з розладкою наведена на рис. 2.5.



Рисунок 2.5 – Схема поетапної реалізації методології створення моделей СІС із розладкою на основі експериментальних даних

Основою дослідження тут є база експериментальних даних (ансамбль реалізацій реального процесу на періоді часу спостереження), отриманих в результаті проведення серії вимірювальних експериментів. Надалі, з використанням відповідних чисельних і статистичних методів обробки, виділяються компоненти вихідного СІС із відповідною оцінкою їхніх статистичних характеристик. На інтервалі часу спостереження сигналу знаходяться моменти розладки. Результатом досліджень є побудова математичної моделі, яка їх враховує.

2.3.2. Статистичний метод побудови конструктивної моделі процесу електроспоживання організації на основі даних вимірювань

В розділі для побудови конструктивної моделі на основі даних вимірювань процесу електроспоживання організації пропонується статистичний метод, послідовність етапів застосування якого полягає в наступному.

На *першому етапі* обґрунтовується конкретний метод декомпозиції загального часового ряду даних вимірювань ПЕ організації на три часових ряди, які відповідають компонентам: трендовій, періодичній і стохастичній.

На *другому етапі* обґрунтовується конкретний метод виявлення миттєвих моментів розладу (зміни) динаміки всіх трьох компонент загального часового ряду і формується послідовність їх моментів розладу.

На *третьому етапі* відбувається сегментація інтервалу спостереження $[0, T]$ тобто, розбиття моментами розладу динаміки на ділянки часових рядів компонент процесу – тренду, періодичної і стохастичної компонент.

На *четвертому етапі* по отриманим часовим рядам в межах кожного сегменту відбувається розробка моделі кожної із компонент з метою формування загальної математичної моделі ПЕ організації.

В наступних пунктах обґрунтовано математичну модель, вибір статистичного методу обробки реалізації процесу електроспоживання організації, вибір методу декомпозиції та наведено отримані результати

практичного застосування даного методу при опрацюванні реалізації процесу електроспоживання конкретної організації на річному інтервалі спостереження. Загальний алгоритм статистичної обробки даних реалізації ПЕ організації наведено в п. 4.3.2.

2.3.3. Стохастична багатокomпонентна модель з розкладкою процесу електроспоживання

Враховуючи фізичні особливості процесу (п. 2.1), результати ряду публікацій [25, 31, 92, 148], в роботі пропонується загальна багатокomпонентна стохастична модель з моментами розладу процесу електроспоживання (як представника класу СІС) у вигляді:

$$\Xi(\omega, t) = (A(t), \xi_1(\omega_1, t), \xi_2(\omega_2, t)), \quad \omega = (\omega_1, \omega_2), \quad t \in T. \quad (2.19)$$

Дана модель складається із трьох компонент.

Перша компонента $A(t)$ моделі є детермінованою функцією часу, яка представляється на графіку, як правило, плавною кривою без різких стрибків. Функцію $A(t)$ називають трендом досліджуваного сигналу і в більшості конкретних випадків ця компонента визначається як результат дії основних фізичних законів формування такого сигналу. Тренд показує загальну динаміку процесу. Трендову складову отримують шляхом вилучення із реалізації процесу всіх сезонних та стохастичних складових.

Компонента $A(t)$ записується, як правило, у вигляді суми детермінованих функцій:

$$A(t) = \sum_{i=1}^n a_i(t) I_{\Delta T_i}(t). \quad (2.20)$$

Інтервали сегментації $\{\Delta T_i, i = \overline{1, n}\}$, на яких задаються детерміновані

функції $\{a_i(t), i = \overline{1, n}\}$ визначаються послідовністю індикаторних функцій:

$$I_{\Delta T_i}(t) = \begin{cases} 1, & t \in \Delta T_i \\ 0, & t \notin \Delta T_i \end{cases}, \quad i = \overline{1, n}. \quad (2.21)$$

Інтервали сегментації утворюються при розбитті періоду спостереження T послідовністю миттєвих часових моментів розладу (розладки) статистичних характеристик $\{T_i, i = \overline{0, n}\}$:

$$\Delta T_i = \begin{cases} [T_{i-1}, T_i), & \text{при } i = \overline{1, n-1} \\ [T_{i-1}, T_i], & \text{при } i = n \end{cases}, \quad \bigcup_{i=1}^n \Delta T_i = T, \quad (2.22)$$

$$\Delta T_i \cap \Delta T_j = \emptyset \quad \text{при } i \neq j, \quad \Delta T_i \neq \emptyset.$$

Друга компонента моделі (2.19) – це кусково-періодичний випадковий процес $\xi_1(\omega_1, t)$, який задається у вигляді:

$$\xi_1(\omega_1, t) = \sum_{j=1}^m \zeta_j(\omega_1, t) I_{\Delta T_j}(t), \quad (2.23)$$

де $\{\zeta_j(\omega_1, t), j = \overline{1, m}\}$ – послідовність періодичних випадкових процесів, у загальному випадку з різними періодами, але з фіксованим значенням періоду

для кожного з них; $\left\{ I_{\Delta T_j}(t) = \begin{cases} 1, & t \in \Delta T_j \\ 0, & t \notin \Delta T_j \end{cases}, j = \overline{1, m} \right\}$ – послідовність індикаторних

функцій, для яких виконуються умови 2.21 та 2.22.

Третя компонента моделі (2.19) – це кусково-стаціонарний випадковий процес $\xi_2(\omega_2, t)$, який задається у вигляді:

$$\xi_2(\omega_2, t) = \sum_{k=1}^q \eta_k(\omega_2, t) I_{\Delta T_k}(t), \quad (2.24)$$

де $\{\eta_k(\omega_2, t), k = \overline{1, q}\}$ – послідовність стаціонарних випадкових процесів, у загальному випадку з різними значеннями статистичних характеристик (дисперсії, математичного сподівання тощо); $\left\{ I_{\Delta T_k}(t) = \begin{cases} 1, & t \in \Delta T_k \\ 0, & t \notin \Delta T_k \end{cases}, k = \overline{1, q} \right\}$ – послідовність індикаторних функцій.

Кількість і конкретне розташування в межах інтервалу спостереження моментів розладу, у загальному випадку моделі (2.19), можуть бути різними для різних компонент. Загальна модель (2.19) повинна враховувати всі комбінації наведених компонент, які визначаються характерними особливостями формування процесу електроспоживання кожної конкретної організації. Обґрунтування конкретної моделі природно проводити на основі результатів статистичного опрацювання даних реальних вимірювань процесу електроспоживання даної організації. Методологію такої побудови наведено в п. 2.3.1 та п. 2.3.2 роботи.

В більшості випадків на основі статистичного опрацювання даних вимірювань досліджуваного сигналу обґрунтовується вибір відповідних компонент (2.20, 2.23, 2.24). Для конкретної досліджуваної реалізації СІС, на основі відомостей про фізичні закони його формування та інші апріорні дані, після вибору та обґрунтування методів декомпозиції і пошуку моментів розладу, визначається комбінація як компонент (адитивна, мультиплікативна тощо), так і конкретні послідовності моментів розладу $\{T_i, i = \overline{0, n}\}$, $\{T_j, j = \overline{0, m}\}$ і $\{T_k, k = \overline{0, q}\}$. В цьому полягає практичне використання моделі (2.19) при обґрунтуванні моделі конкретного СІС.

Загальна модель ПЕ (2.19) має значний інформаційний потенціал, який може бути реалізований з використанням сучасних методів теорій інформації,

ймовірності і математичної статистики, обчислювальної математики і при практичному використанні дає можливості:

а) врахувати всі джерела формування ПЕ як детермінованого так і стохастичного характеру, сформувані всі можливі комбінації компонент, включаючи адитивні, мультиплікативні, адитивно-мультиплікативні і часткові випадки дії окремих компонент;

б) класифікувати джерела формування процесу електроспоживання на фізично обґрунтовані групи, а саме:

1) трендову компоненту, яка є найбільш енергетично інтенсивною і формується основними джерелами споживання електроенергії, що описуються фундаментальними фізичними законами (закони Ома, Кірхгофа тощо);

2) стохастично-періодичну компоненту, яка формується джерелами з циклічним (періодичним) характером функціонування (двигуни, генератори, турбіни, механізми з електричним приводом тощо);

3) стохастичну стаціонарну компоненту, яка формується інтегральною дією значної кількості джерел, що відносяться до джерел стохастичної природи (наприклад, випадкові моменти включення/виключення споживачів та випадкові тривалості сеансів їх роботи);

в) описувати процеси електроспоживання як на поточних (доба, тиждень, місяць) так і на тривалих (квартал, рік) інтервалах часу використовуючи моменти зміни динаміки (статистичних характеристик) процесу – моменти розладу, які відображають дію фізично обґрунтованих механізмів їх зміни;

г) використовувати при статистичному опрацюванні даних вимірювання ПЕ сучасні методи декомпозиції (розкладу) і виявлення часових моментів розладу.

Наведемо конкретний приклад конструктивної моделі ПЕ, як часткового випадку моделі (2.19).

2.3.4. Конструктивна адитивна стохастична модель процесу електроспоживання

Базуючись на апріорних даних про характер формування ПЕ корпусу №1 ТНТУ імені Івана Пулюя як конкретного об'єкта дослідження (п. 2.4.1) з врахуванням специфіки роботи топології мережі електроспоживачів університету можна стверджувати, що для такого процесу взаємодія компонентів моделі (2.19) має адитивний характер [23, 62, 103, 143]. Крім того, миттєві моменти розладки $\{T_i, i = \overline{0, n}\}$ є єдиними для всіх компонент, оскільки всі електроспоживачі мережі організації зазнають впливу комплексу факторів формування процесу одночасно (наприклад, початок та кінець денного і тижневого робочого графіку, зміна тривалості світлового дня, зміна пір року, метеофактори тощо). Базуючись на цьому, представимо модель ПЕ організації у вигляді нестационарного випадкового процесу з розладкою:

$$\gamma(\omega, t) = \sum_{i=1}^n [a_i(t) + b_i(t) + \eta_i(\omega, t)] I_{\Delta T_i}(t), \quad \omega \in \Omega, \quad t \in T, \quad (2.25)$$

де $\{a_i(t), i = \overline{1, n}\}$ – послідовність детермінованих функцій тренду $A(t)$ згідно (2.20); $\{b_i(t), i = \overline{1, n}\}$ – послідовність детермінованих періодичних складових з різними періодами коливання (доба, тиждень тощо), як часткового випадку компоненти $\xi_1(\omega_1, t)$ загальної моделі ПЕ організації згідно (2.23). Періодичність складових пов'язана з періодичним характером роботи організації; $\{\eta_i(\omega, t), i = \overline{1, n}\}$ – послідовність стаціонарних випадкових процесів компоненти, як часткового випадку компоненти $\xi_2(\omega_2, t)$ загальної моделі ПЕ організації

згідно (2.24); $\{I_{\Delta t_i}(t), i = \overline{1, n}\}$ – послідовність індикаторних функцій виду (2.21) на відповідних інтервалах сегментації ПЕ організації.

Реалізацією моделі (2.25) є часовий ряд нестационарного випадкового процесу вигляду:

$$E(t) = \sum_{i=1}^n [a_i(t) + b_i(t) + n_i(t)] I_{\Delta t_i}(t), t \in T, \quad (2.26)$$

де послідовність індикаторних функцій $\{I_{\Delta t_i}(t), i = \overline{1, n}\}$ є спільною для всіх компонент моделі.

Модель (2.25) може застосовуватися в різних предметних областях (при дослідженнях водо- та газоспоживання, кардіосигналів, фінансових процесів тощо). В кожному конкретному випадку необхідно, базуючись на апріорних відомостях про особливості конкретного випадкового процесу, визначити характер взаємодії компонент процесу, а також обґрунтувати вибір методу декомпозиції процесу, статистичну характеристику, по якій відбувається розлад та методу пошуку точок розладу.

2.3.5. Обґрунтування методу виділення компонент моделі процесу електроспоживання організації

Відповідно до запропонованого в п. 2.3.2 методу в роботі для статистичної обробки (декомпозиції) реалізації процесу електроспоживання організації пропонується метод сингулярного спектрального аналізу SSA (англ. *Singular Spectrum Analysis*), відомий на теренах СНД також як метод “Гусениця” [12, 46]. Даний метод зарекомендував себе як потужний чисельний метод обробки часових рядів, що знайшов своє застосування в багатьох задачах статистичного опрацювання реалізацій нестационарних випадкових процесів на тривалих інтервалах спостереження [11, 12, 21, 22, 103]. В даній роботі для найменування методу використовуватимемо позначення “Гусениця-SSA”.

Метод є альтернативою застосуванню відомих підходів (авторегресії та проінтегрованого ковзного середнього (ARIMA), групового врахування аргументів (МГУА), головних компонент (МГК), емпіричної модової декомпозиції (EMD), вейвлет-аналізу) [1, 3, 14, 42, 53, 83]. Моделі “тренд – шум” або “авторегресія – ковзне середнє” можна застосовувати лише для часових рядів відносно простої структури. Аналіз Фур’є, регресійний аналіз чи вейвлет-перетворення призводять до строгої періодичності внаслідок розкладання вихідної функції по фіксованій системі базисних функцій.

Превагою методу є його адаптивність, яка полягає у можливості вибору дослідником довжини “вікна” – єдиного параметра методу. У проведеному в роботі дослідженні експериментальним шляхом було обрано довжину вікна у 672 відліки (4 тижні при умові інтервалу дискретизації в 1 год.). Авторами методу [46] довжину вікна рекомендовано обирати кратною апріорно передбачуваному періоду досліджуваної реалізації (одна доба, 24 відліки). При виборі довжини вікна необхідно знайти оптимальне відношення між ступенем детальності розкладу і необхідними ресурсами обчислювальної машини (час виконання алгоритму, кількість оперативної пам’яті): чим більшою є довжина вікна, тим на більшу кількість складових можна розкласти досліджувану реалізацію, однак час виконання алгоритму при цьому зростає експоненційно. До того ж, занадто велика кількість отриманих в результаті компонентів не матимуть під собою фізичного підґрунтя: вони будуть неінформативними внаслідок схожості між собою по амплітуді і частоті.

“Гусениця-SSA” не вимагає попередньої побудови математичної моделі досліджуваного процесу, однак припускає, що реалізацію можна розкласти на ряд складових: трендову (показує загальну динаміку процесу), декілька коливних складових з різними періодами колювання та складову стохастичного характеру (т.зв. залишок). Метод дозволяє також вирішувати задачу прогнозу яка, проте, в даній роботі не розглядається. Конкретні результати застосування методу наведено в п. 2.4.2.

2.3.6. Метод сегментації часового ряду процесу електроспоживання організації

В роботі у якості методу сегментації досліджуваної реалізації процесу електроспоживання на інтервалі спостереження пропонується застосування методу PELT (англ. *The pruned exact linear time*) – т. зв. “метод оптимального поділу за обрізаний точний лінійний час”, запропонований авторами публікації [20]. Загальний алгоритм методу наведено на рис. 2.6., детально алгоритм описано в [18, 20].

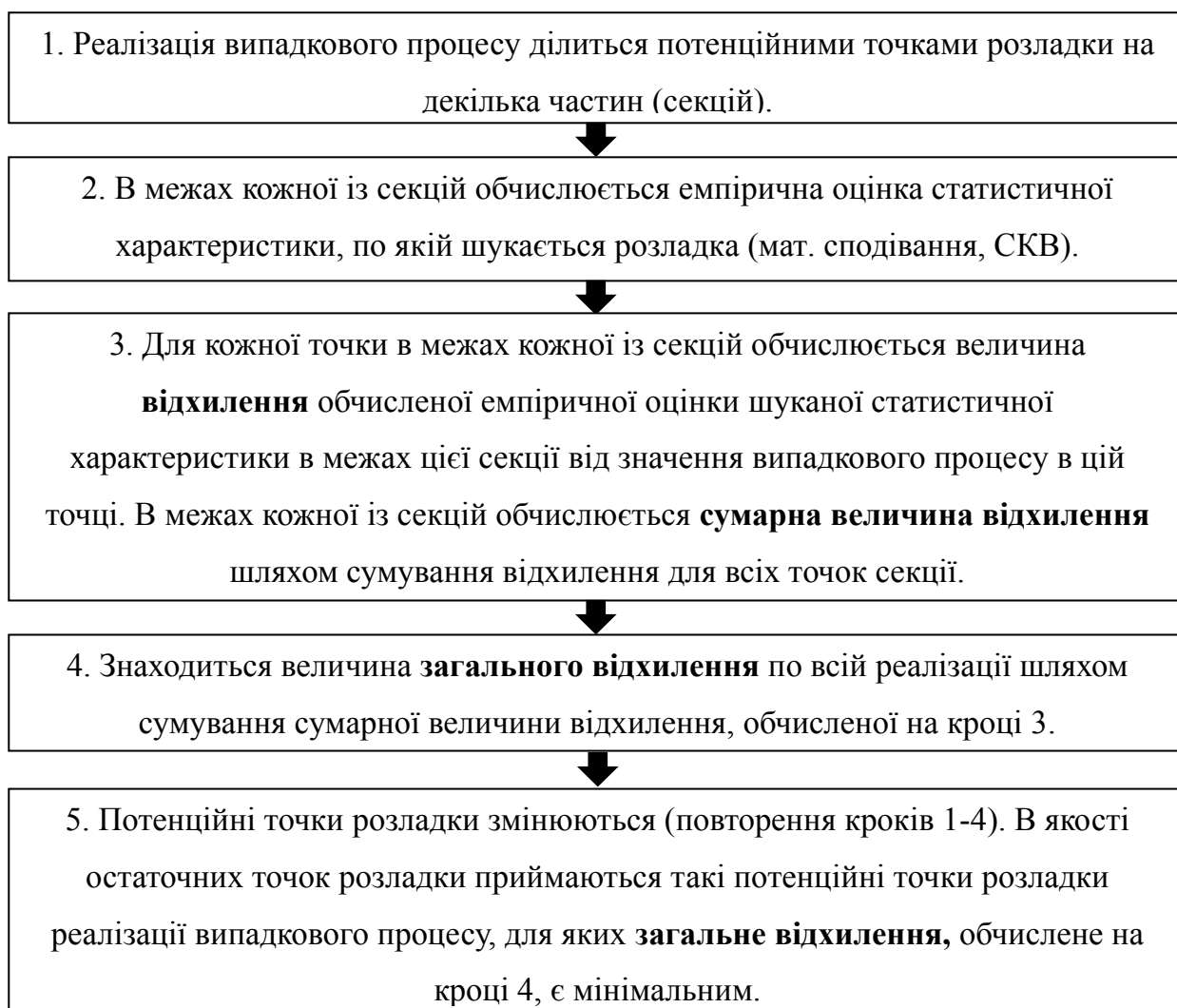


Рисунок 2.6 – Загальний алгоритм методу сегментації PELT

Метод PELT є вдосконаленням т. зв. “методу оптимального поділу”, запропонованого у [18]. Це апостеріорний метод, один із різновидів методу пошуку оптимуму функції правдоподібності. В складі пакету MATLAB метод реалізовано у вигляді функції *findchangepts* пакету Signal processing toolbox [9].

Для пошуку точок розладки метод використовує рекурсивну процедуру на основі методів динамічного програмування. В [20] показано високу обчислювальну ефективність методу (обчислювальна складність порядку $O(n)$, де n – кількість відліків опрацьовуваної реалізації) а також його переваги в порівнянні із схожими методами (бінарною сегментацією (Binary Segmentation), методом сусідніх сегментів (Segment Neighborhood), методом оптимального поділу (the Optimal Partitioning Method)).

Метод є адаптивним, оскільки дає можливість дослідникові задавати як шукану кількість точок розладки (яку можна визначити на основі попереднього візуального аналізу графіка реалізації процесу), так і вид статистичної характеристики, на основі якого відбувається розладка (математичне сподівання, середнє квадратичне відхилення тощо).

Обґрунтування вибору даного методу сегментації з-поміж множини інших методів пояснюється його низькою обчислювальною складністю. Крім того, отримані з його допомогою точки розладки відповідають моментам часу протягом року, в які топологія мережі споживачів електроенергії організації, характеристикою якої є досліджувана в роботі реалізація процесу електроспоживання, переходила з одного режиму функціонування в інший. По суті, метод дозволив поділити річну реалізацію процесу електроспоживання організації на сезони. Конкретні результати застосування методу PELT в дослідженні наведено в п. 2.4.3. роботи.

2.4. Верифікація конструктивної адитивної моделі на основі статистичного опрацювання даних вимірювань конкретного процесу електроспоживання організації

2.4.1. Формування даних вимірювань процесу електроспоживання організації як часового ряду

В якості об'єкта дослідження в роботі обрано часовий ряд електроспоживання електромережі корпусу №1 ТНТУ імені Івана Пулюя (м. Тернопіль) на річному інтервалі спостереження. Графік процесу електроспоживання по одній фазі наведено на рис. 2.7.

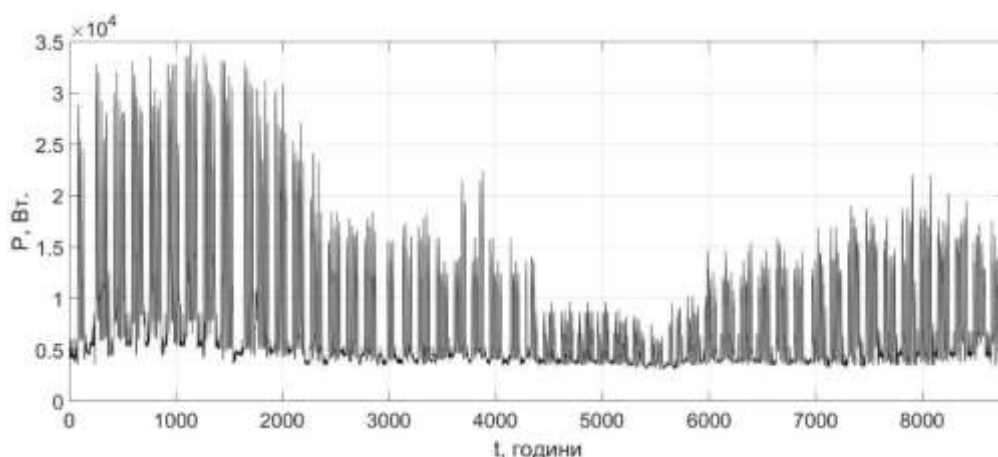


Рисунок 2.7 – Графік реалізації процесу електроспоживання корпусу №1 ТНТУ імені Івана Пулюя протягом 2016 року

Інтервал дискретизації $\Delta t = 1$ година. Дані отримано з допомогою лічильника електроенергії “Енергія – 9”, встановленого паралельно основному лічильнику. Структура відповідної підсистеми обліку спожитої електроенергії описана в п. 4.2.3 роботи.

Очевидною є зміна характеру електроспоживання топології мережі споживачів протягом року, яка зумовлена зміною характеру формуючих даних випадковий процес факторів. По суті, йдеться про зміну сезонів протягом року.

Метою статистичної обробки досліджуваної реалізації є побудова математичної моделі на річному інтервалі спостереження а також поділ реалізації на окремі сегменти (із незмінними статистичними характеристиками в межах сегменту), які відповідають різним режимам роботи топології мережі споживачів організації протягом року для контролю штатного режиму процесу електроспоживання організації.

2.4.2. Результати виділення компонент конструктивної моделі процесу електроспоживання організації

Результати застосування методу “Гусениця-SSA” представлено на рис. 2.8 – 2.12.

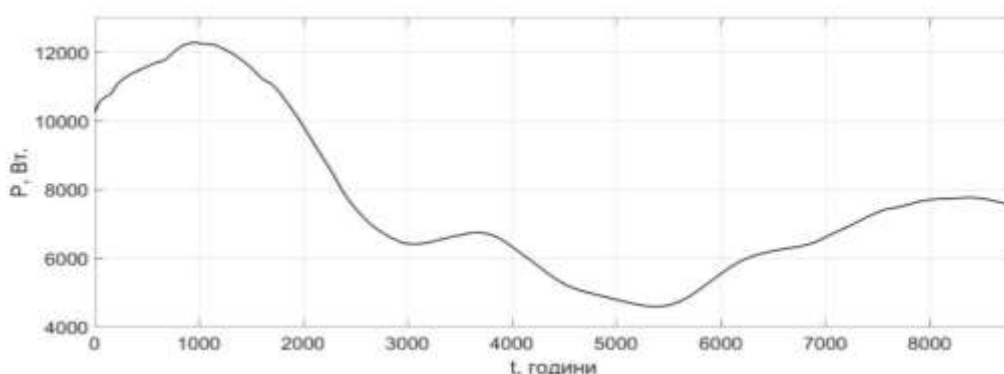


Рисунок 2.8 – Графік реалізації тренду процесу електроспоживання організації на річному інтервалі спостереження

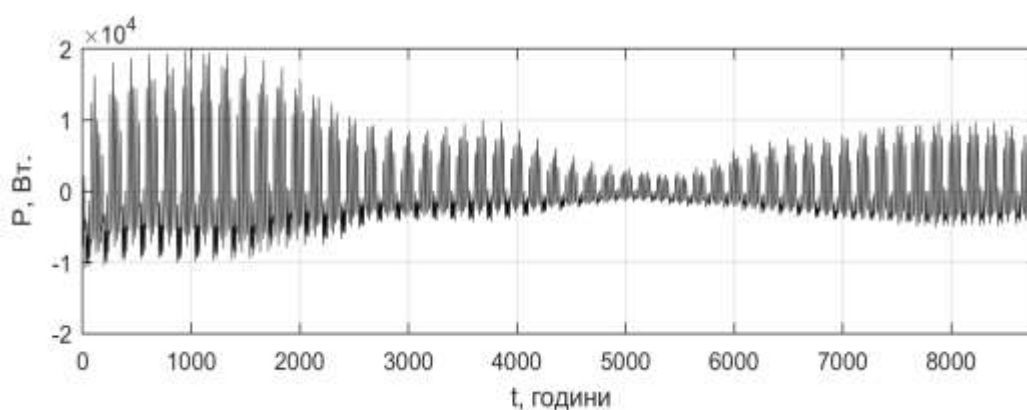


Рисунок 2.9 – Графік реалізації суми коливних складових процесу електроспоживання організації на річному інтервалі спостереження

Вклад тренду у вихідний ряд становить $\approx 71\%$, вклад сукупності коливних складових $\approx 25,5\%$. В результаті розкладу, після вилучення із досліджуваної реалізації тренду та коливних складових, отримаємо залишкову складову, яка є наслідком впливу на процес електроспоживання багатьох факторів випадкового характеру, які складно врахувати. Даний ряд “залишків” являє собою шумову компоненту (рис. 2.10) із часткою вкладу у вихідний ряд $\approx 3,5\%$.

Цікавими з практичної точки зору є коливні компоненти часового ряду реалізації процесу із суми коливних складових, які чітко демонструють основні періоди людської діяльності тривалістю в один день і один тиждень (рис. 2.11 та рис. 2.12).

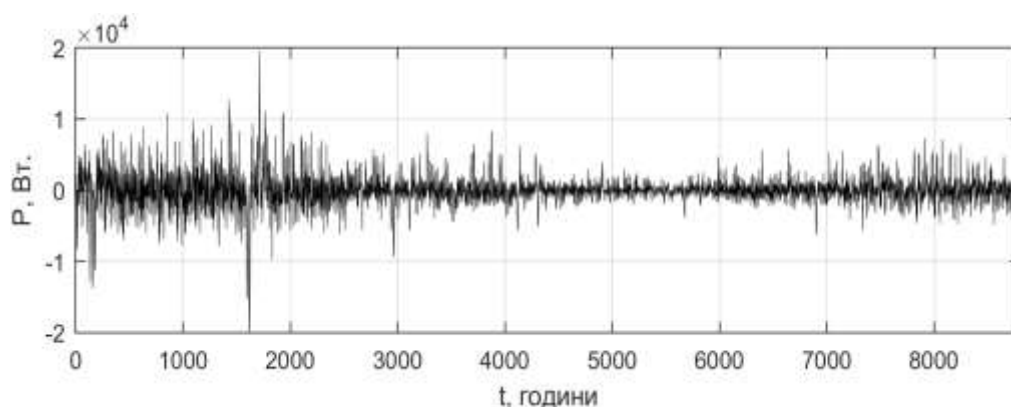


Рисунок 2.10 – Графік реалізації складової стохастичного характеру ПЕ організації на річному інтервалі спостереження

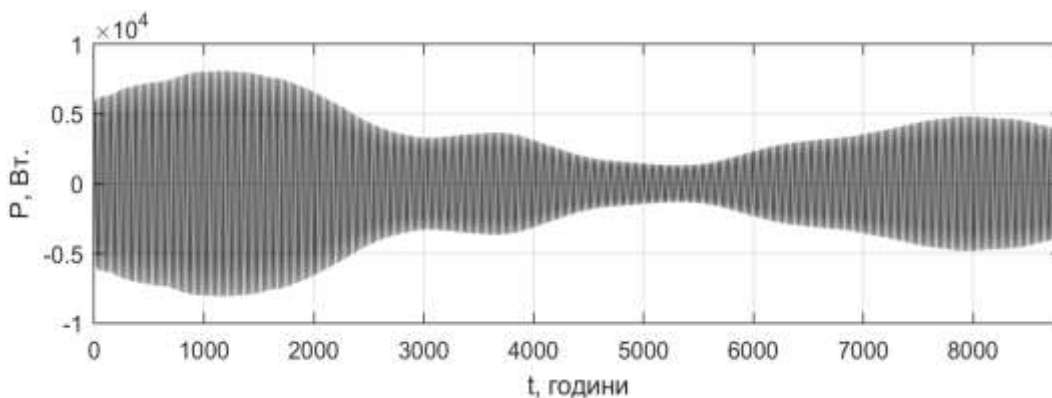


Рисунок 2.11 – Графік реалізації складової ПЕ організації на річному інтервалі спостереження з періодом коливання в один день

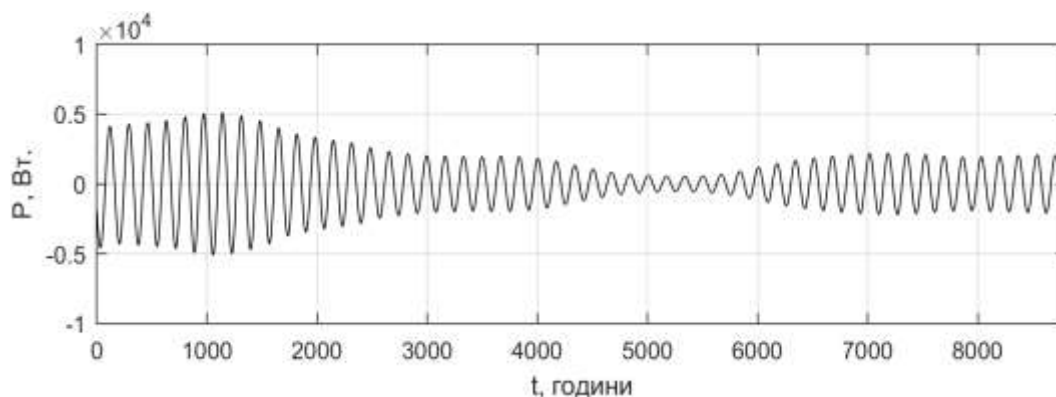


Рисунок 2.12 – Графік реалізації компоненти ПЕ організації на річному інтервалі спостереження з періодом коливання в один тиждень

В наступному пункті наведено результати сегментації досліджуваного часового ряду на ділянки, які відповідають різним режимам роботи топології електромережі організації.

2.4.3. Виявлення часових моментів розладу процесу електроспоживання організації

Наведемо результати виявлення часових моментів розладу досліджуваного часового ряду процесу електроспоживання організації за допомогою методу PELT на прикладі обробки реалізації стохастичної компоненти (рис. 2.10). Візуальний аналіз графіка говорить про зміну дисперсії стохастичної компоненти протягом року, тоді як математичне сподівання залишається незмінним, або ж змінюється в невеликих межах. Результати сегментації на основі зміни дисперсії, узагальнені на всю реалізацію процесу електроспоживання, наведено на рис. 2.13.

Експериментальним шляхом знайдено 6 точок розладки, які приблизно співпадають із датами закінчення/початку опалювального сезону (згідно з інформацією із офіційного сайту міськради м. Тернополя) а також із датами зміни режиму роботи організації (початок і кінець навчального року в університеті).

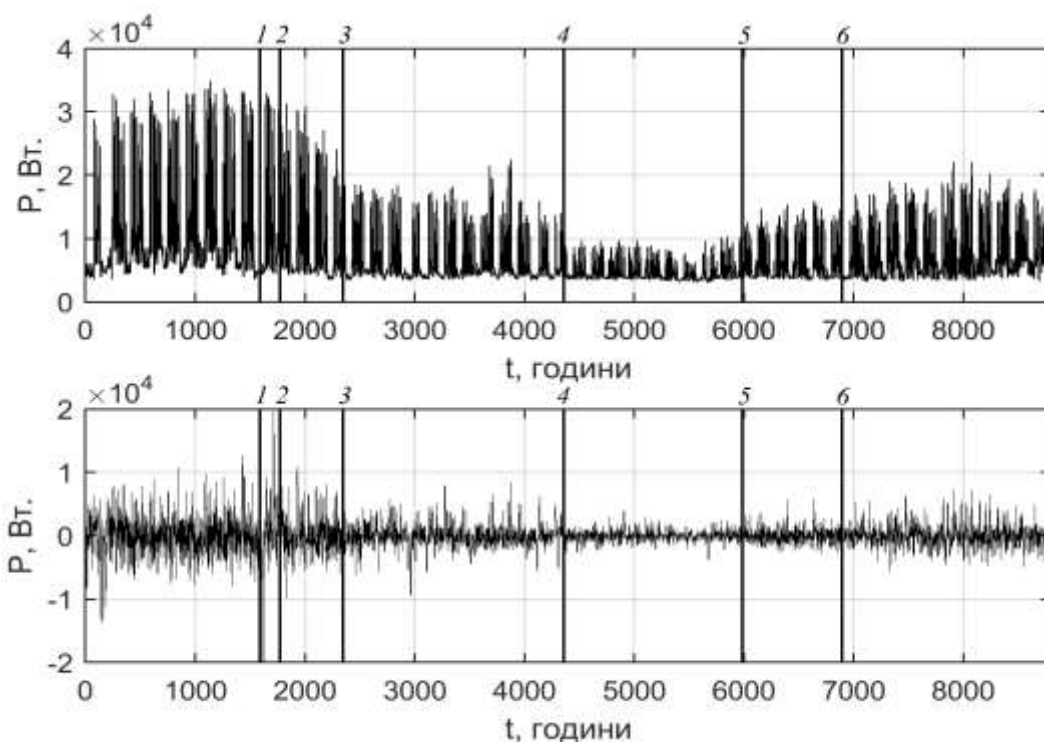


Рисунок 2.13 – Поділ на сегменти реалізацій ПЕ та стохастичної компоненти ПЕ

Інтерперетація отриманих точок поділу. Переведемо точки розладки із номерів відліків (годин) у конкретні дати календаря. В результаті отримаємо:

- точка №1, 1592 година; відповідає 7 березня, понеділок, 67-й день в році;
- точка №2, 1770 година; відповідає 14 березня, понеділок, 74-й день в році;
- точка №3, 2347 година; відповідає 7 квітня, четвер, 98-й день в році (кінець опалювального сезону);
- точка №4, 4359 година; відповідає 30 червня, четвер, 182-й день в році (кінець навчального року);
- точка №5, 5986 година; відповідає 6 вересня, вівторок, 250-й день в році (початок навчального року);
- точка №6, 6895 година; відповідає 14 жовтня, п'ятниця, 288-й день в році (початок опалювального сезону);

Опалювальний сезон в Тернополі в 2016 році згідно розпоряджень мера: кінець – 5 квітня 2016 року, початок – 10 жовтня 2016 року [118, 128]. Таким чином:

- точки №№ 3 та 5 приблизно відповідають, відповідно, кінцю та початку опалювального сезону;
- зимовому сезону відповідає частина реалізації процесу від початку до точки №3 (включаючи точки №№ 1 та 2);
- весняному сезону відповідає частина реалізації процесу від точки №3 до точки №4;
- літньому сезону відповідає частина реалізації процесу від точки №4 до точки №5;
- осінньому сезону відповідає частина реалізації процесу від точки №5 до точки №6;
- зимовому сезону відповідає частина реалізації процесу від точки №6 до кінця реалізації.

Наявність точок №№ 1 та 2 можна пояснити великою кількістю вихідних днів перед та після 8 березня, відповідно до виробничого календаря на 2016 рік.

Знайдені точки розладки дають нам можливість розбити на ділянки як вихідну реалізацію випадкового процесу так і всі його компоненти з метою побудови їх математичних моделей. Ці ділянки уособлюватимуть усталені режими роботи топології електромережі організації. Результати неведено в наступному пункті.

2.4.4. Результати побудови моделей компонент процесу електроспоживання на виділених сегментах

В роботі розбитий на інтервали точками розладки тренд досліджуваного процесу апроксимовано поліномами. Це дало можливість побудувати модель тренду на основі поліномів. Після сегментації реалізації процесу отримано 7 ділянок (сегментів):

- ділянка 1. Тренд апроксимовано поліномом:

$$a_1(t) = -9,506 * 10^{-7} t^3 + 3,0023 * 10^{-4} t^2 + 2,4241 * t + 1,0448, \quad t \in [1, 1591] \text{ год.}; \quad (2.27)$$

- ділянка 2. Тренд апроксимовано поліномом:

$$a_2(t) = -2,2444t + 1,4854 * 10^4, \quad t \in [1592, 1769] \text{ год.}; \quad (2.28)$$

- ділянка 3. Тренд апроксимовано поліномом:

$$a_3(t) = -4,7417t + 1,9297 * 10^4, \quad t \in [1770, 2346] \text{ год.}; \quad (2.29)$$

- ділянка 4. Тренд апроксимовано поліномом:

$$a_4(t) = 32,5343 * t^4 - 368,3958 * t^3 - 29,1333 * t^2 + 280,2591 * t + 6,5829 * 10^3, \quad t \in [2347, 4358] \text{ год.}; \quad (2.30)$$

- ділянка 5. Тренд апроксимовано поліномом:

$$a_5(t) = 21,5221 * t^4 + 81,7197 * t^3 + 226,9433 * t^2 - 203,7225 * t + 4,6637 * 10^3, \quad t \in [4359, 5985] \text{ год.}; \quad (2.31)$$

- ділянка 6. Тренд апроксимовано поліномом:

$$a_6(t) = 31,0933 * t^3 - 65,0162 * t^2 + 180,1152 * t + 6,1752, \quad t \in [5986, 6894] \text{ год.}; \quad (2.32)$$

- ділянка 7. Тренд апроксимовано поліномом:

$$a_7(t) = -14,3948 * t^3 - 202,3149 * t^2 + 371,4262 * t + 7,6054 * 10^3, \quad t \in [6895, 8784] \text{ год.} \quad (2.33)$$

Результати апроксимації представлено на рис. 2.14. Текст програми в середовищі MATLAB для статистичної обробки реалізації процесу електроспоживання наведено в Додатку Е. Зокрема, для апроксимації тренду поліномами використано функції *polyfit*, *polyval* та *linspace* середовища MATLAB.

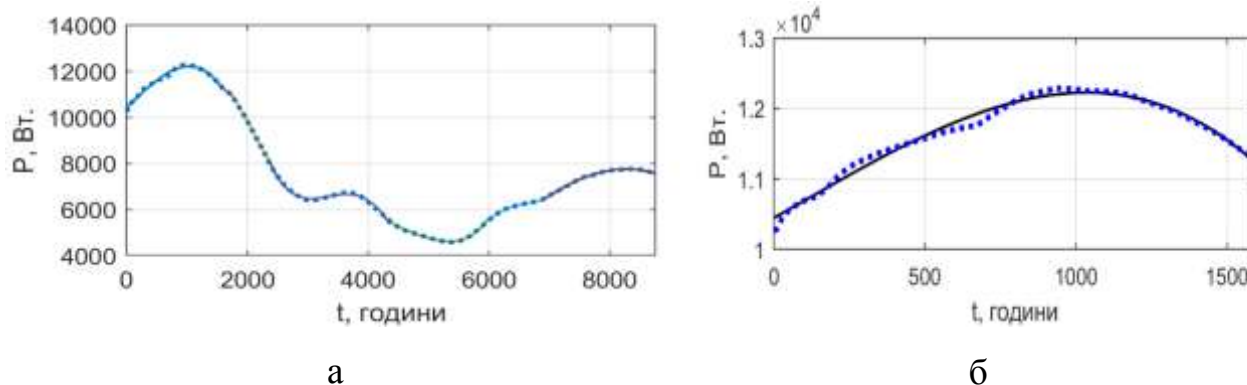


Рисунок 2.14 – Апроксимований поліномами тренд ПЕ:

а – на річному інтервалі спостереження; б – на першому сегменті

На рис. 2.15 наведено графіки реалізації амплітудно модульованих коливних компонент ПЕ з різними періодами коливання на першому сегменті. На інших сегментах із інтервалу спостереження $[0, T]$ реалізації ПЕ організації отримано аналогічні результати.

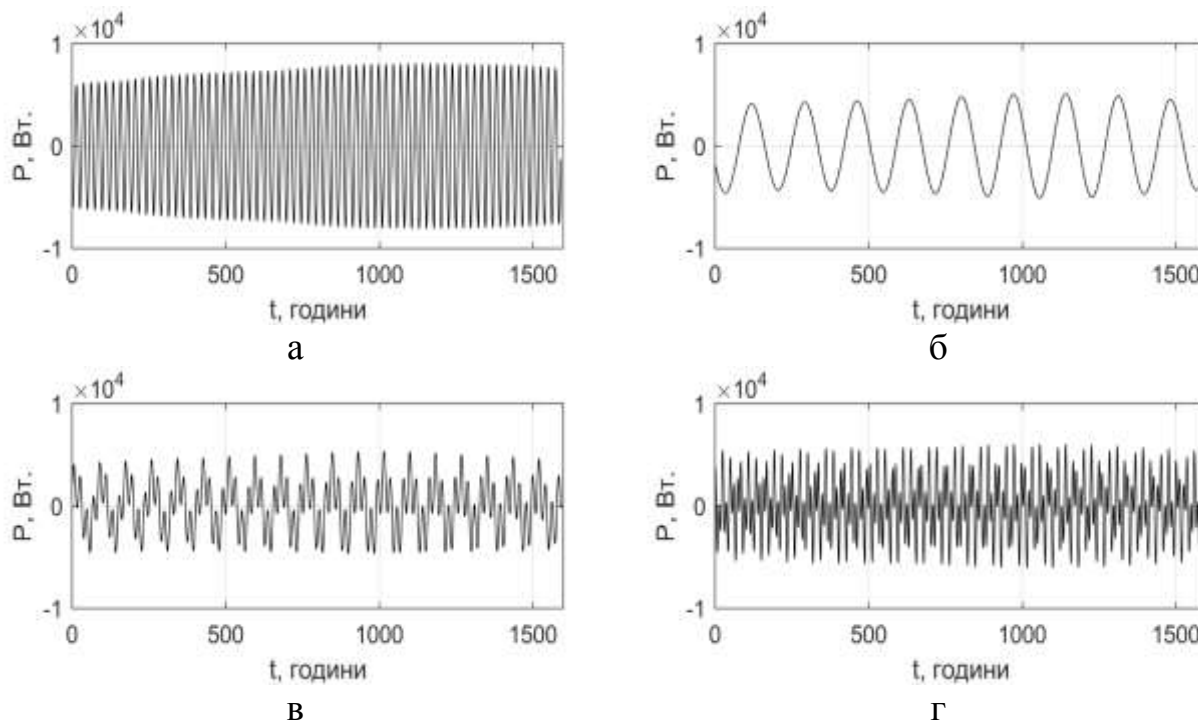


Рисунок 2.15 – Детерміновані амплітудно модульовані компоненти коливного характеру на першому сегменті: а – з періодом коливання в одну добу; б – з періодом коливання в один тиждень; в-г – з різним періодом коливання

На рис. 2.16 – 2.22 наведено результати статистичного опрацювання компонент стохастичного характеру ПЕ на виділених сегментах з інтервалу спостереження реалізації ПЕ організації. Отримані графіки свідчать про те, що стохастичний ряд залишків має розподіл, близький до нормального. Оцінювання емпіричної щільності розподілу проводилося з допомогою функції *histfit*.

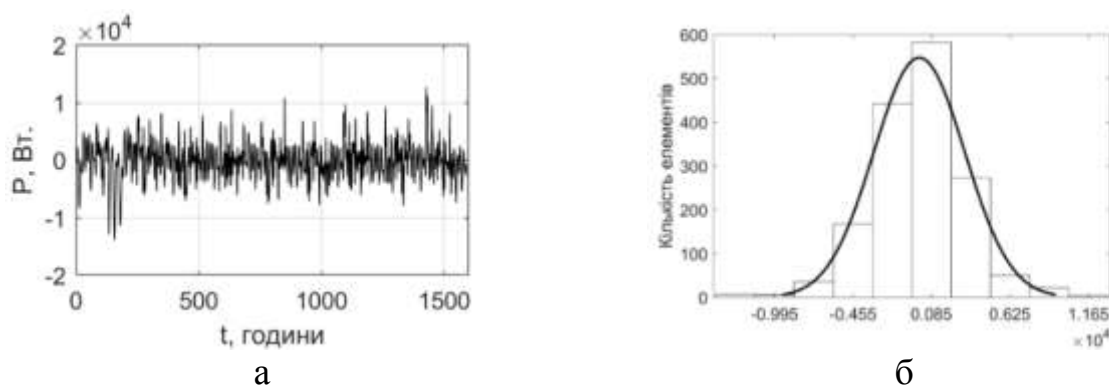
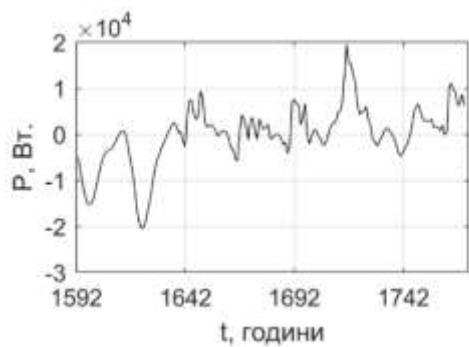
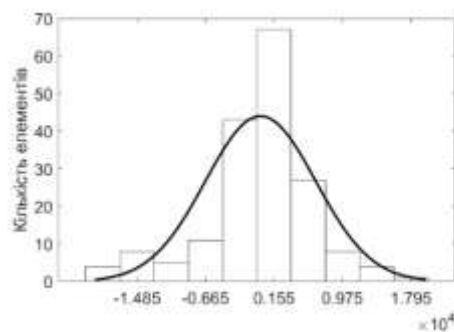


Рисунок 2.16 – На першому сегменті: а – графік реалізації; б – гістограма та графік оцінки емпіричної щільності розподілу

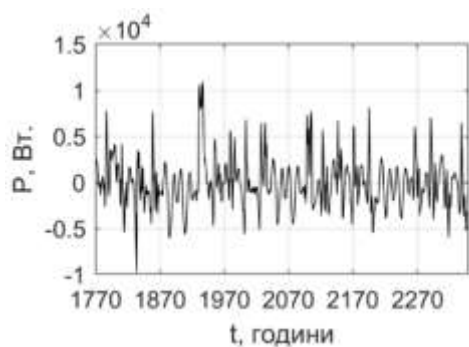


а

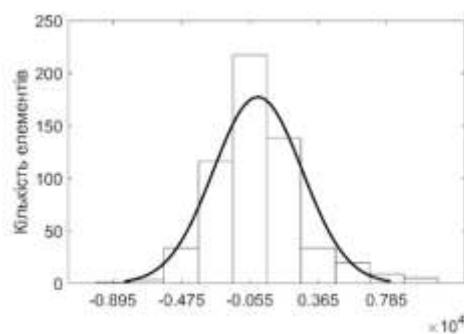


б

Рисунок 2.17 – На другому сегменті: а – графік реалізації; б – гістограма та графік оцінки емпіричної щільності розподілу

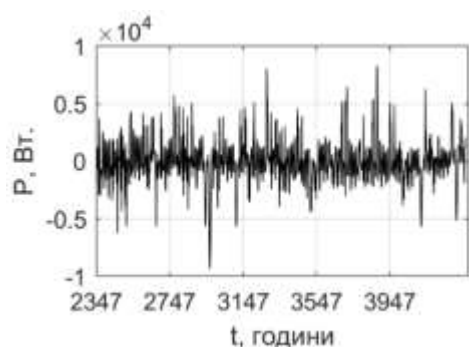


а

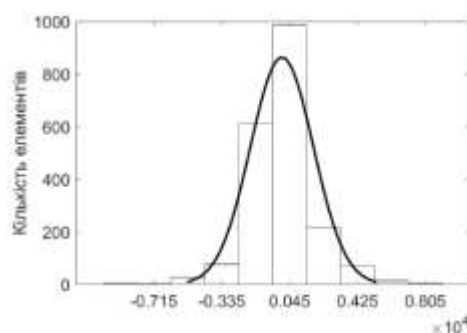


б

Рисунок 2.18 – На третьому сегменті: а – графік реалізації; б – гістограма та графік оцінки емпіричної щільності розподілу

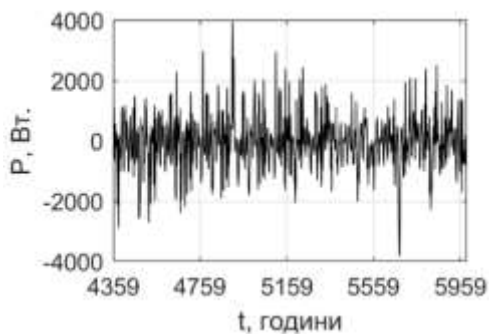


а

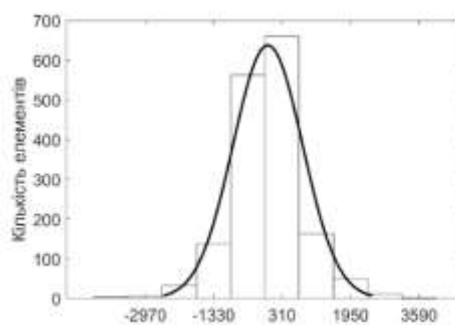


б

Рисунок 2.19 – На четвертому сегменті: а – графік реалізації; б – гістограма та графік оцінки емпіричної щільності розподілу

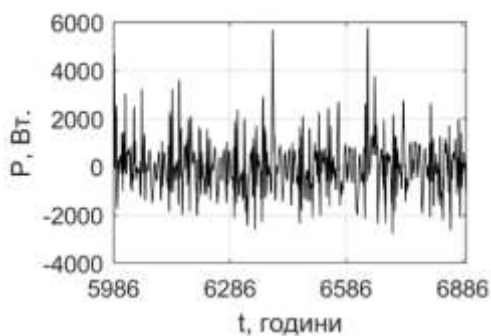


а

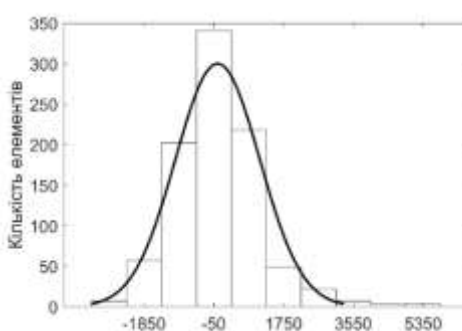


б

Рисунок 2.20 – На п'ятому сегменті: а – графік реалізації; б – гістограма та графік оцінки емпіричної щільності розподілу

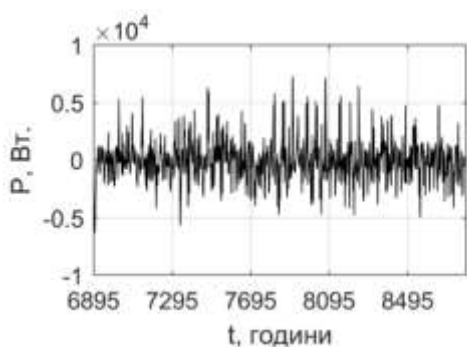


а

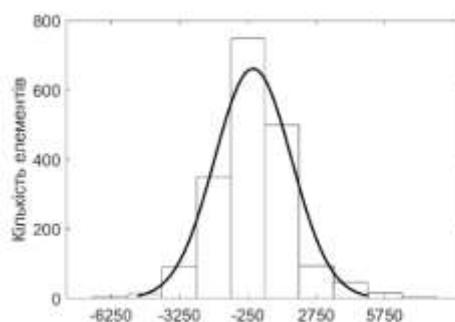


б

Рисунок 2.21 – На шостому сегменті: а – графік реалізації; б – гістограма та графік оцінки емпіричної щільності розподілу



а



б

Рисунок 2.22 – На сьомому сегменті: а – графік реалізації; б – гістограма та графік оцінки емпіричної щільності розподілу

Отримані результати застосування статистичних методів “Гусениця” та PELT дозволяють, як підсумок застосування описаного в п. 2.3.2 методу,

записати загальну математичну модель процесу електроспоживання на основі даних вимірювань та формули (2.26) на річному інтервалі спостереження у вигляді:

$$E(t) = \sum_{i=1}^m [a_i(t) + b_i(t) + n_i(t)] I_{\Delta T_i}(t), \quad t \in T, \quad (2.34)$$

де $\{a_i(t), i = \overline{1, n}\}$ – послідовність детермінованих компонент тренду, які

задаються поліномами; $\left\{ b_i(t) = \sum_{p=1}^k l_{i,p}(t), p = \overline{1, k}, i = \overline{1, n} \right\}$ – послідовність

амплітудно модульованих детермінованих періодичних компонент із різним, але постійним для кожної із них, періодом коливання; $\{n_i(t), i = \overline{1, n}\}$ – послідовність стаціонарних стохастичних компонент з нормальним розподілом і різним, але постійним для кожного із них, значенням математичного сподівання; $I_{\Delta T_i}(t)$ – індикаторна функція, яка задовільняє умовам (2.21).

Для конкретного розгляданого ПЕ організації $k = 5$ і $m = 7$.

2.5. Висновки до другого розділу

Даний розділ є одним з основних розділів дисертації. В ньому отримано наступні результати.

Наведено особливості процесу електроспоживання як характеристики топології мережі електроспоживачів організації (чинники формування та основні енергетичні характеристики процесу).

Наведено відомі на сьогодні математичні моделі, які застосовуються при дослідженнях процесів електроспоживання як об'єктів стохастичної природи.

На основі аналізу публікацій розроблено та запропоновано:

- 1) загальну методологію побудови математичних моделей стохастичних сигналів на основі даних вимірювань;
- 2) статистичний метод побудови конструктивної моделі процесу електроспоживання;
- 3) загальну стохастичну багатокomпонентну модель з розладкою процесу електроспоживання;
- 4) конструктивну стохастичну модель процесу електроспоживання як частковий випадок загальної моделі.

Обґрунтовано вибір методів статистичної обробки реалізації процесу електроспоживання організації на річному інтервалі спостереження, зокрема, методу декомпозиції реалізації процесу та метод пошуку точок розладу.

Наведено отримані результати застосування статистичного методу побудови конструктивної моделі процесу електроспоживання на прикладі реалізації конкретного ПЕ організації із застосуванням обґрунтованих методів статистичної обробки, що дало можливість побудувати загальну модель процесу електроспоживання на річному інтервалі спостереження, з метою подальшого її застосування в складі АПК моніторингу штатного режиму процесу електроспоживання організації.

РОЗДІЛ 3

ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОДЕЛЮВАННЯ РЕАЛІЗАЦІЙ ЕЛЕКТРИЧНОЇ НАПРУГИ З РІЗНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ЇХ ЯКОСТІ

Розділ присвячено розробці інформаційного забезпечення розв'язання задач моделювання реалізацій електричної напруги із різними значеннями характеристик якості електроенергії. Сформульовано задачу контролю штатного режиму електропостачання організації. Запропоновано нову загальну модель електричної напруги, яка враховує всі можливі спотворення амплітуди та частоти сигналу напруги і реалізує фізичну модель як штатних так і нештатних режимів подачі напруги електропостачання на вхід електромережі організації. Розроблено метод і його комп'ютерну реалізацію моделювання реалізацій електричної напруги із різними значеннями характеристик якості електроенергії, які можна використати при відлагодженні електровимірювального обладнання, в тому числі обладнання для моніторингу якості електроенергії на вході електромережі організації.

Основні положення розділу опубліковано в працях [13, 40, 53, 56, 142].

3.1. Характеристики якості електроенергії як предмет досліджень

Термін *характеристики якості електроенергії* вживається в роботі як узагальнений термін, який у нормативних документах, зокрема, стандартах по якості електроенергії, іменується більш формальним терміном *показники якості електроенергії*.

3.1.1. Поняття якості електроенергії

В сучасному світі електрична енергія – це товар. Товар, який виробляється, транспортується від виробника до споживача і, відповідно, споживається. Як і

для будь-якого іншого товару, для електроенергії існує поняття її якості. Якість електричної енергії (англ. *power quality*) є частиною більш широкого поняття електромагнітної сумісності (англ. *electromagnetic compatibility*), яка характеризує здатність радіоелектронних приладів ефективно функціонувати в певному спільному середовищі і, при цьому, не створювати перешкод для функціонування один одного (за рахунок генерування різного роду радіоелектронних завад і полів).

Наведемо ряд визначень якості електроенергії, доступних зараз в літературі.

Якість електроенергії – це ступінь відповідності характеристик електроенергії в даній точці електричної системи сукупності нормованих показників якості електроенергії [50].

Якість електроенергії – це сукупність параметрів, які описують особливості процесу передачі електроенергії для її використання в нормальних умовах експлуатації, які визначають неперервність електропостачання (короткі і тривалі перерви в електропостачанні) і характеризують напругу живлення (величину, несиметрію, частоту, форму хвилі) [80].

Автор [80] до визначення поняття якості додає два зауваження:

1. Якість електроенергії виражається ступенем задоволення користувача умовами електропостачання. Дана примітка важлива виходячи із практичних міркувань.
2. Якість електроенергії залежить не лише від умов електропостачання, але й також і від особливостей застосовуваного електрообладнання (його чутливості до електромагнітних перешкод а також здатності до генерування цих перешкод) і практики експлуатації.

Важливо підкреслити, що за якість електроенергії спільно відповідають виробник, енергопостачальна організація та споживач.

На сьогоднішній день актуальність проблеми якості електроенергії зумовлена негативними наслідками, які виникають в результаті подачі

електроенергії незадовільної якості. Сюди відносяться: різного роду збої в роботі та скорочення терміну служби електрообладнання і мікросхем, перегрів і вихід з ладу блоків живлення, втрата даних, мерехтіння освітлення, зростання рівня споживання та втрат електроенергії тощо. Наслідками перерахованих причин є порушення у технологічних та виробничих процесах, зниження їх ефективності, матеріальні та моральні збитки.

Особливо це питання є актуальним за умов широкого використання у побуті та в промисловості пристроїв, часто іноземного виробництва і високої вартості, чутливих до якості споживаної ними електроенергії. За деякими оцінками збитки, зумовлені низькою якістю електроенергії, обходяться промисловості країн Європейського Союзу приблизно у 10 млрд. євро на рік [127]. В Україні питанню оцінки рівня збитків, спричинених незадовільною якістю електроенергії, приділяється недостатньо уваги.

3.1.2. Характеристики якості електричної енергії

Стандарт [72] визначає погіршення якості електроенергії як зміни характеристик електричної напруги в системі електропостачання (частоти, амплітуди, форми кривої синусоїди, симетрії лінійних напруги в трьохфазній системі електропостачання) понад встановлені норми. Дані характеристики зазнають змін під час роботи системи електропостачання внаслідок: коливання потужності навантаження, збурень (які генеруються обладнанням), аварій (спричинених, переважно, зовнішніми по відношенню до системи електропостачання подіями). Деякі явища, які впливають на напругу (а, відповідно, і на значення показників якості електроенергії), є особливо непередбачуваними, наприклад: провали напруги, короточасні переривання напруги тощо.

Тобто, показники якості електроенергії визначають на основі характеристик сигналу електричної напруги. При цьому, з допоміжною метою, допускається вимірювання також сили струму. В основному це відбувається у

випадку необхідності виявлення конкретної причини таких подій, як зміна значення напруги, провал та переривання напруги. Форма коливань електричного струму може допомогти виявити конкретний технічний засіб (запуск електродвигуна, ввімкнення трансформатора тощо), який є винуватцем конкретного погіршення якості електроенергії в електромережі.

Зміни характеристик напруги в точці передачі електроенергії користувачеві поділяються на дві категорії: тривалі зміни характеристик напруги і випадкові зміни характеристик напруги.

Стандарти визначають показники і норми якості електроенергії стосовно тривалих змін характеристик напруги. Для випадкових змін в стандартах наведено лише довідкову інформацію загального характеру.

Тривалі зміни характеристик напруги. Представляють собою тривалі відхилення характеристик напруги від номінальних значень. Вони зумовлені, в основному, зміною навантаження або впливом нелінійних навантажень на електромережу.

Частота. Показником якості є відхилення значення частоти від номінального значення Δf , Гц:

$$\Delta f = f_m - f_{ном}, \quad (3.1)$$

де f_m – значення основної частоти напруги електропостачання, Гц, виміряне на інтервалі часу 10 с. відповідно до [72], $f_{ном}$ – номінальне значення частоти напруги живлення, (50 Гц для електромереж в Україні).

Встановлені норми: в синхронізованих системах електропостачання не більше $\pm 0,2$ Гц протягом 95% часу інтервалу часу в 1 тиждень і не більше $\pm 0,4$ Гц протягом 100% часу інтервалу часу в 1 тиждень.

Повільні зміни напруги. Тривалість даного виду спотворення, як правило, понад 1 хв. Обумовлені зміною навантаження в електромережі.

Показниками є позитивне $\delta U_{(+)}$ та негативне $\delta U_{(-)}$ відхилення напруги в точці передачі електроенергії від номінального узгодженого значення, %:

$$\begin{aligned}\delta U_{(-)} &= ((U_0 - U_{m(-)}) / U_0) \cdot 100, \\ \delta U_{(+)} &= ((U_{m(+)} - U_0) / U_0) \cdot 100,\end{aligned}\tag{3.2}$$

де $U_{m(-)}$, $U_{m(+)}$ – значення напруги, менше U_0 і більше U_0 відповідно, усереднені в інтервалі часу 10 хв. відповідно до вимог ГОСТ 30804.4.30, U_0 – напруга, яка рівна стандартній номінальній напрузі $U_{\text{ном}}$ або узгодженій напрузі U_c .

В електромережах низької напруги стандартна номінальна напруга живлення $U_{\text{ном}} = 230$ В. (тимчасово 220 В згідно [70]) між фазним і нейтральним провідниками для однофазних і чотирьохпровідних систем електропостачання і 380 В між фазними провідниками для трьох- і чотирьох провідних трьохфазних систем електропостачання.

Встановлені норми: позитивне та негативне відхилення напруги в точці передачі електроенергії не повинне перевищувати 10% від номінального значення напруги протягом 100% інтервалу часу в один тиждень. Норми відносяться до значень, виміряних на 1008 інтервалах часу по 10 хв. кожен.

Коливання напруги і флікер. Флікер – це суб'єктивне сприйняття людиною коливань світлового потоку від штучних джерел освітлення, викликаних коливаннями напруги в електричній мережі, яка живить ці джерела.

Появу флікера зумовлюють коливання напруги (як правило, тривалістю менше хвилини), в тому числі і одиничні швидкі зміни напруги.

Вимірювання дози флікера здійснюється шляхом статистичного аналізу в реальному часі за допомогою спеціального приладу – флікерметра. Статистичний аналіз ґрунтується на розбитті амплітуди електричного сигналу (напруги) на визначену кількість класів.

Показниками якості є короткочасна доза флікера P_{st} , виміряна на інтервалі часу 10 хв. і тривала доза флікера P_{lt} , виміряна на інтервалі часу 2 год. в точці передачі електроенергії.

Норми: короткочасна доза флікера P_{st} не повинна перевищувати значення 1,38, а тривала доза флікера P_{lt} не повинна перевищувати значення 1,0 протягом 100% інтервалу часу в один тиждень. Вимірювання флікера здійснюють відповідно до [72].

Одиночні швидкі зміни напруги. Викликані, в основному, різкими змінами навантаження в електромережі, перемиканнями або ж несправностями електроапаратури. Такі коливання характеризуються швидкою зміною середньоквадратичного значення напруги від одного усталеного значення до іншого. Зазвичай, одиночні швидкі зміни напруги не перевищують 5% в електромережах низької напруги (номінальним значенням до 1 кВ) і 4% в електромережах середньої напруги (номінальним значенням від 1кВ до 35 кВ). Інколи зміни напруги малої тривалості до 10% $U_{ном}$ (до 6% відповідно) можуть відбуватися декілька разів протягом доби.

Несинусоїдність напруги. Несинусоїдність форми кривої електричної напруги зумовлюється наявністю в ній гармонічних та інтергармонічних складових. В нормі, сигнал електричної напруги містить в собі лише першу гармоніку (складову з частотою 50 Гц.). Наявність інших гармонік є мізерно малою.

Гармонічні складові напруги. Обумовлені, як правило, нелінійним навантаженням в електромережі, яке, до того ж, часто змінюється в часі.

Показниками якості є:

- коефіцієнти гармонічних складових напруги до 40-го порядку $K_{U(n)}$ у відсотках напруги основної складової U_1 в точці передачі електроенергії;
- сумарний коефіцієнт гармонічних складових напруги (відношення середньоквадратичного значення суми всіх гармонічних складових до 40-го

порядку до середньоквадратичного значення основної складової) K_U , % в точці передачі електроенергії.

Для кожного показника якості, який стосується гармонік напруги, стандарт встановлює конкретні норми. Вимірювання напруги гармонічних складових U_n повинні проводитися відповідно до вимог стандарту [49].

Інтергармонічні складові напруги. Рівень та значення інтергармонічних складових напруги в електромережах на сьогодні поступово зростає у зв'язку із застосуванням в електроустановках частотних перетворювачів та іншого керуючого обладнання. Допустимі рівні інтергармонічних складових напруги станом на сьогоднішній день знаходяться на розгляді та будуть затверджені стандартами наступних версій в майбутньому.

Несиметричність напруг в трьохфазних системах електропостачання. Несиметричність трьохфазних систем зумовлена несиметричними навантаженнями користувачів електроенергії або ж несиметричністю елементів електромережі.

Показниками якості є коефіцієнт несиметрії напруг по зворотній послідовності K_{2U} та коефіцієнт несиметрії напруг по нульовій послідовності K_{0U} .

Значення коефіцієнтів несиметрії напруг по зворотній послідовності K_{2U} і несиметрії напруг по нульовій послідовності K_{0U} в точці передачі електроенергії, усереднені на інтервалі часу 10 хв, не повинні перевищувати 2% протягом 95% інтервалу часу в один тиждень і 4% протягом 100% інтервалу часу в один тиждень.

При оцінці відповідності електроенергії встановленим нормам якості по даному показнику, необхідно провести вимірювання по [72].

Напруги інформаційних сигналів, які передаються по електромережах. Допустимі рівні значень напруги інформаційних сигналів, які можуть передаватися по електромережах, на сьогоднішній день знаходяться на розгляді та будуть затверджені в наступних версіях стандартів.

Випадкові зміни характеристик якості електроенергії. Представляють собою несподівані і значні зміни форми кривої напруги, які приводять до відхилення її параметрів від номінальних. Випадкові зміни, як правило, викликані несподіваними подіями (наприклад, пошкодженням обладнання користувача електричної мережі) або ж зовнішніми впливами на електромережу (погодними умовами або діями сторін, які не є користувачами електромережі).

Переривання напруги. Поділяються на випадкові і невідповідні (створені спеціально). Якщо користувач електромережі заздалегідь поінформований про переривання, наприклад, у випадку проведення запланованих ремонтних робіт, то таке переривання відноситься до створених спеціально. Випадкові переривання напруги мають місце внаслідок тривалих або короткочасних несправностей, обумовлених, в основному, зовнішнім впливом на електромережу, відмовою обладнання або ж електромагнітними перешкодами.

Випадкові переривання напруги поділяються на довготривалі (тривалістю понад 3 хв.) і короткотривалі (тривалістю до 3 хв.). Щорічна тривалість довготривалих провалів напруги в значній мірі залежить від особливостей системи електропостачання (в першу чергу, застосування кабельних чи повітряних ліній електропередач) та кліматичних умов. Серед короткочасних переривань напруги найімовірнішими є переривання тривалістю декілька секунд. В трьохфазних системах електропостачання до переривань напруги відносять ситуації, коли у всіх фазах наявна напруга величиною менше 5% опорної напруги. Якщо напруга величиною менше 5% опорної не у всіх фазах, то таку ситуацію розглядають як провал напруги.

Провали напруги та перенапруга. Провали напруги, зазвичай, мають місце внаслідок несправностей в електричних мережах чи електроустановках користувачів, а також при підключенні потужного навантаження. Провал напруги, як правило, пов'язаний із появою та закінченням короткого замикання або іншого різкого зростання струму в системі чи електроустановці, підключеній до електромережі. Провал напруги розглядається як електромагнітна перешкода,

інтенсивність якої визначається напругою і тривалістю. В трьохфазних системах моментом початку провалу напруги вважають момент, коли напруга хоча б в одній із трьох фаз падає нижче порогового значення, а моментом закінчення – момент, коли напруга у всіх трьох фазах зростає вище порогового значення. Тривалість провалу напруги становить, зазвичай, до 1 хв.

Перенапруга. Як правило, має місце внаслідок перемикання та відключення навантаження. Перенапруги можуть з'являтися між фазними провідниками або ж між фазними та захисними провідниками. Залежно від пристрою заземлення короткі замикання на землю можуть також призводити до появи перенапруги між фазним та нейтральним провідниками. Перенапруги розглядаються як електромагнітна перешкода, інтенсивність якої визначається як напругою так і тривалістю. Тривалість перенапруги становить, зазвичай, до 1 хв.

Як провали напруги так і перенапруга в значній мірі є випадковими подіями. Частота їх появи залежить від типу системи електропостачання, точки проведення вимірювань та пори року.

Провали і переривання напруги вимірюють відповідно до [72]. Параметрами провалів напруги та перенапруг є залишкова напруга (максимальне діюче значення напруги) та тривалість. В електромережах низької напруги, чотирьохпровідних трьохфазних системах енергопостачання враховуються фазні напруги. В трьохпровідних трьохфазних системах енергопостачання враховують лінійні напруги. У випадку однофазного підключення споживача враховують напругу живлення (фазну чи лінійну, залежно від способу підключення споживача). В якості порогового значення провалу напруги приймають значення напруги величиною 90% від опорної напруги. В якості порогового значення початку переривання напруги приймають 5% від опорної напруги.

Перенапругу вимірюють відповідно до вимог [72]. Порогове значення початку перенапруги приймають рівним 110% від опорної напруги. В системах

низької напруги, за певних умов, неполадка, яка сталася електрично вище трансформатора, може призвести до тимчасових перенапруг. Такі перенапруги, зазвичай, не перевищують 1,5 кВ. Для систем середньої напруги із жорстко заземленою нейтраллю або ж із заземленням нейтраллі через опір значення перенапруги становить, зазвичай, не більше $1,7 U_{\text{пог}}$. Для систем середньої напруги із ізольованою нейтраллю або ж із заземленням нейтралі через реактор, значення перенапруги зазвичай не перевищує $2,0 U_{\text{пог}}$.

Імпульсна напруга. В точці передачі електроенергії користувачеві імпульсна напруга з'являється, в основному, внаслідок розрядів під час грози або ж внаслідок процесів комутації в електромережі чи електрообладнанні користувача, підключеного до електромережі. Час наростання імпульсної напруги може змінюватися в широких межах (від значень, менше 1 мкс до декількох мс.). Імпульсні напруги, викликані грозовими розрядами, характеризуються великими амплітудами але меншою енергією, ніж імпульсні напруги, викликані комутаційними процесами, що характеризуються, як правило, великою тривалістю.

3.1.3. Типові приклади спотворення електричної напруги

На рис 3.1 – 3.4 на основі нормативних документів [48, 52, 72] наведемо зразки типових спотворень форми синусоїди електричної напруги, прямим наслідком яких є погіршення якості електроенергії.

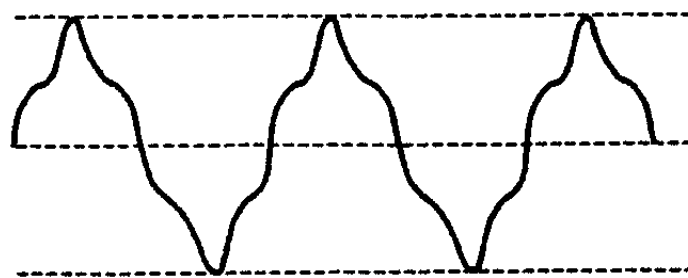


Рисунок 3.1 – Несинусоїдність напруги



Рисунок 3.2 – Імпульси напруги

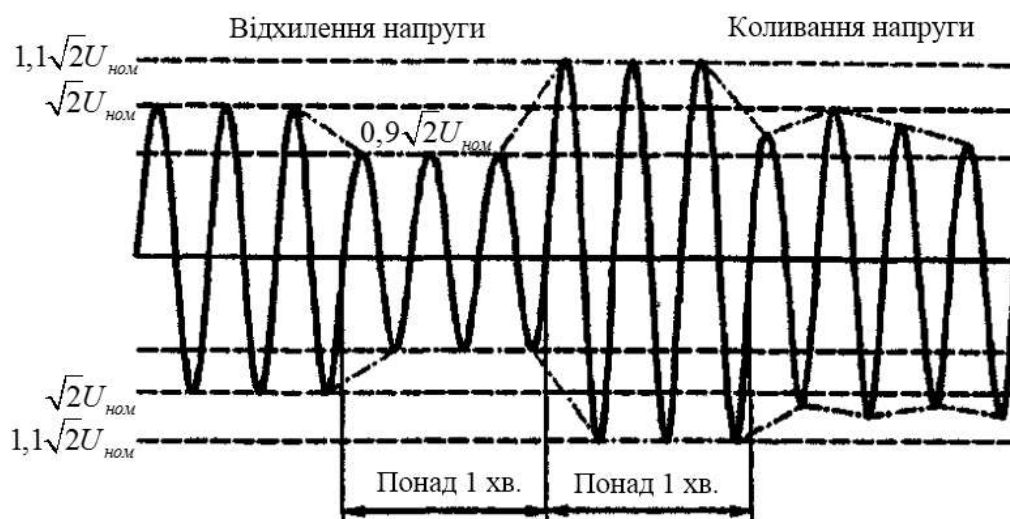


Рисунок 3.3 – Відхилення та коливання напруги

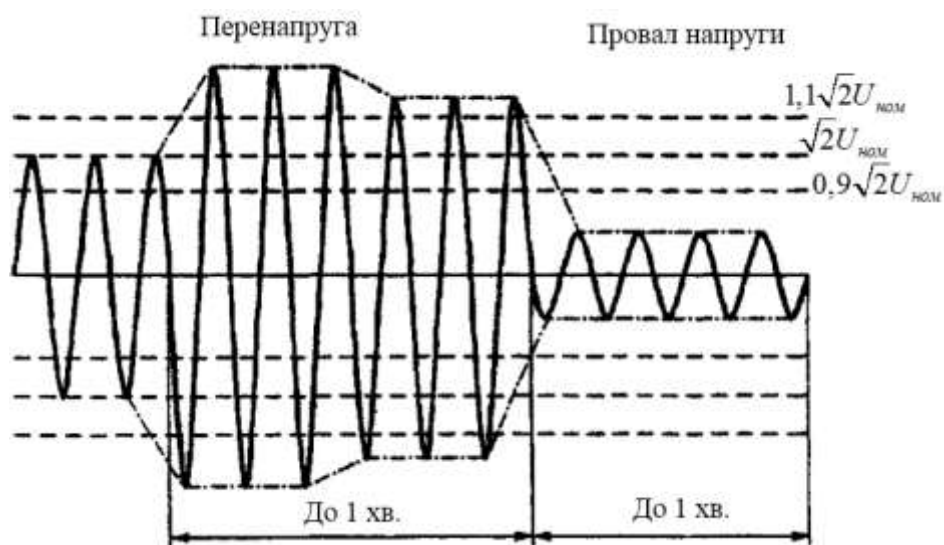


Рисунок 3.4 – Перенапруга та провал напруги

Для трьохфазної системи електропостачання актуальними залишаються всі ті ж показники якості електроенергії, що і для однофазної (для кожної із фаз), а також вводяться додаткові показники якості, які характеризують несиметричність системи електропостачання. До них відносять вже згадані коефіцієнт несиметрії по зворотній послідовності та коефіцієнт несиметрії по нульовій послідовності.

3.2. Задача контролю штатного режиму електропостачання організації

Задача контролю штатного режиму електропостачання організації полягає в контролі (поточному та на тривалих інтервалах спостереження) показників якості електроенергії на вході електромережі організації. На сьогоднішній день вона вирішується за допомогою дороговартісного спеціалізованого обладнання (мультиметри та аналізатори компаній Diris, SATEC, Elspec Technologies, Micronica та багатьох ін. [6, 129]). При цьому вимірювальні пристрої, як правило, використовуються в якості вимірювальних модулів в складі автоматизованих інформаційних систем. В основі роботи цих пристроїв лежить оцифрування аналогових сигналів з допомогою багаторозрядних швидкодіючих АПЦ а також застосування математичного апарату перетворення Фур'є (для визначення гармонічного складу сигналу). Актуальною залишається задача розробки нових адекватних математичних моделей, які б зумовили створення точнішого та ефективнішого обладнання.

Розробка засобів контролю та моніторингу штатного режиму процесу електроспоживання взагалі та якості електроенергії зокрема пов'язана зі створенням відповідного алгоритмічно-програмного забезпечення. При цьому, з метою відлагодження апаратно-програмних засобів розробники, як правило, не мають можливості використання необхідного об'єму статистичних даних, зібраних із реальних мереж електропостачання. В тому числі, практично неможливо зібрати всі зразки спотворення якості електроенергії. В той же час,

сучасний рівень розвитку науки і техніки дозволяє змодельовати необхідні зразки статистики (реалізацій електричних сигналів напруги і струму). Дані зразки міститимуть приклади спотворення форми синусоїди сигналу (погіршення якості електроенергії) з різним числовим значенням показників якості електроенергії. В наступному пункті пропонується нова математична модель електричної напруги і методика моделювання в середовищі MATLAB, яка дозволяє проводити моделювання реалізацій електричної напруги із всіма можливими типами спотворення форми сигналу (погіршення якості електроенергії).

3.3. Загальна та конструктивна математичні моделі електричної напруги

Відповідно до нормативних документів, погіршення якості електроенергії в однофазній мережі електропостачання – це наслідок спотворення характеристик синусоїди електричної напруги. В загальній математичній моделі електричної напруги

$$U(t) = U_m \cos(2\pi f_0 t + \theta_0), \quad t \in T, \quad (3.3)$$

де U_m – амплітуда, f_0 – частота, θ_0 – початкова фаза, або

$$U(t) = \sum_{i=1}^n U_{m_i} \cos(2\pi i f_0 t + \theta_i), \quad (3.4)$$

де i – номер гармоніки, вони не відображені. По суті, модель (3.3) є ідеалізованою. Це зумовлює потребу обґрунтування нової моделі, яка б відображала фізичну природу динаміки електричної напруги на вході електромережі організації.

В роботі на основі застосування теорії випадкових процесів пропонується нова математична модель електричної напруги:

$$\begin{aligned} u(\omega, t) &= U(\omega_1, t) \cos \Psi(\omega_2, t), \quad t \in T, \quad \omega_1 \in \Omega_1, \quad \omega_2 \in \Omega_2, \\ \omega &= (\omega_1, \omega_2), \quad \Omega = (\Omega_1, \Omega_2), \end{aligned} \quad (3.5)$$

де $u(\omega, t)$ – випадковий процес напруги; $U(\omega_1, t)$ – випадковий процес амплітудних значень напруги; $\Psi(\omega_2, t)$ – випадковий процес загальної частоти напруги.

Даний вираз – це модель випадкової гармонічної напруги електроенергії з одночасною амплітудною і кутовою модуляцією випадковими, в більшості випадків незалежними процесами $U(\omega_1, t)$ та $\Psi(\omega_2, t)$.

Вираз описує загальну модель вхідної напруги електроенергії, але для практичного використання можна запропонувати більш конструктивну модель, як частковий випадок моделі (3.5) у вигляді випадкового процесу із амплітудною та кутовою модуляцією:

$$\begin{aligned} u(\omega, t) &= U_m \left(1 + \sum_{i=1}^n \xi_{1i}(\omega_1, t) I_{\Delta T_i}(t) \right) \cdot \cos \left[2\pi t \left(f_0 + \sum_{j=1}^m \xi_{2j}(\omega_2, t) I_{\Delta T_j}(t) \right) \right], \\ \Delta T_i, \Delta T_j &\subseteq T, \quad t \in T, \quad \omega \in (\omega_1, \omega_2), \quad \omega_1 \in \Omega, \quad \omega_2 \in \Omega, \end{aligned} \quad (3.6)$$

де $\{\xi_{1i}(\omega_1, t), i = \overline{1, n}\}$ – послідовність випадкових процесів імпульсного типу, які описують випадкові спотворення амплітуди на інтервалі часу спостереження $[0, T]$, дія спотворення має місце на часовому інтервалі ΔT_i , визначеному

індикаторною функцією $I_{\Delta T_i}(t) = \begin{cases} 1, & t \in \Delta T_i \\ 0, & t \notin \Delta T_i \end{cases}$; $\{\xi_{2j}(\omega_2, t), j = \overline{1, m}\}$ – послідовність

випадкових процесів, які описують випадкові спотворення частоти на інтервалі

часу спостереження $[0, T]$ і кожен з яких представляє собою повільно змінний нестационарний процес, дія спотворення має місце на часовому інтервалі ΔT_j ,

визначеному індикаторною функцією $I_{\Delta T_j}(t) = \begin{cases} 1, & t \in \Delta T_j \\ 0, & t \notin \Delta T_j \end{cases}$.

Модель (3.6) дає можливість проаналізувати всі можливі як амплітудні так і частотні спотворення напруги електроенергії з врахуванням всіх практичних випадків. Саме модель (3.6) повністю реалізує фізичну модель як штатних так і нештатних режимів подачі вхідної напруги електроенергії. Типовий приклад синусоїди сигналу електричної напруги, яка відповідає моделі (3.6), наведено на рис. 3.5. Дія випадкових процесів, які визначають амплітуду, має місце на інтервалах часу ΔT_i .

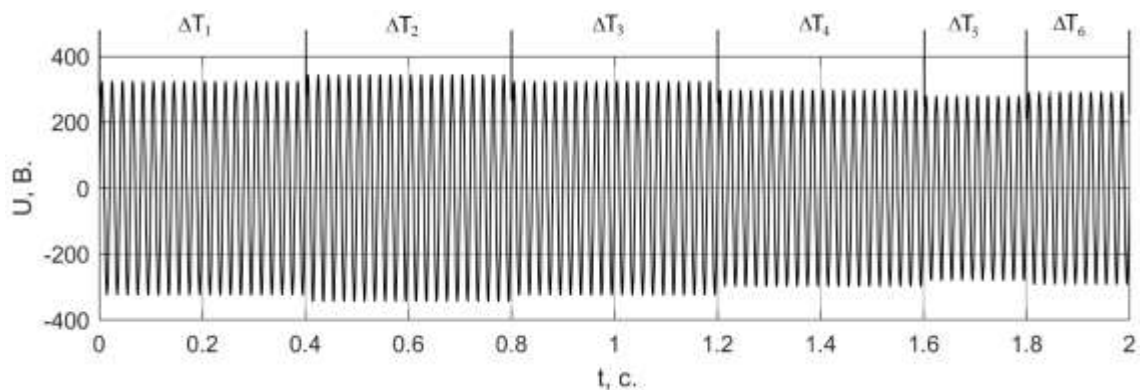


Рисунок 3.5 – Приклад реалізації електричної напруги із зміною амплітуди сигналу

В наступному пункті наведено запропонованою в роботі метод формування бази даних реалізацій електричної напруги із заданими спотвореннями на основі моделі (3.6).

3.4. Метод і його комп'ютерна реалізація формування бази даних реалізацій електричної напруги із заданими спотвореннями

В даному пункті використано наявні в стандарті [48] зразки спотворення форми сигналу електричної напруги а також результати публікації [40], де моделювання бази реалізацій відбувалося на основі описаних у відповідній нормативній базі [48, 72, 69] зразків спотворення якості, показників якості та методів їх визначення.

3.4.1. Методика формування бази даних реалізацій електричної напруги

В роботі пропонується розглядати два типи форми сигналу електричної напруги:

1. штатний тип, притаманний для штатного режиму електропостачання. Показники якості знаходяться в гранично допустимих межах, наявне незначне (непомітне неозброєним оком) або невелике відхилення форми кривої сигналу електричної напруги від ідеальної;
2. нештатний тип, притаманний нештатному режиму електропостачання. Принаймні один із показників якості виходить за гранично допустимі межі, що помітним чином відбивається на формі кривої електричної напруги.

Таким чином, в результаті моделювання можна отримати реалізації напруги двох типів:

1. штатного типу. Обчислені для таких реалізацій показники якості знаходяться в гранично допустимих межах;
2. нештатного типу. Обчислені для таких реалізацій показники якості виходять за гранично допустимі межі.

При цьому, нештатну форму синусоїди електричної напруги може спричинити як перевищення гранично допустимої межі лише одним показником

якості, так і випадок, коли відповідні гранично допустимі межі перевищують одразу декілька показників якості.

Для моделювання реалізацій електричної напруги в роботі використано засоби середовища Simulink [27, 133], що входить в склад програмного пакету MATLAB. Пропонується загальна методика моделювання зразків реалізацій сигналів електричної напруги, наведена на рис. 3.6.

Спершу необхідно налаштувати загальні параметри процесу моделювання (інтервал часу моделювання, крок приросту часу, оптимізація моделювання тощо). Відповідне вікно наведено на рис 3.7. Детальний опис складових елементів середовища, опцій налаштування та здійснення самого процесу моделювання наведено в офіційній документації по MATLAB.

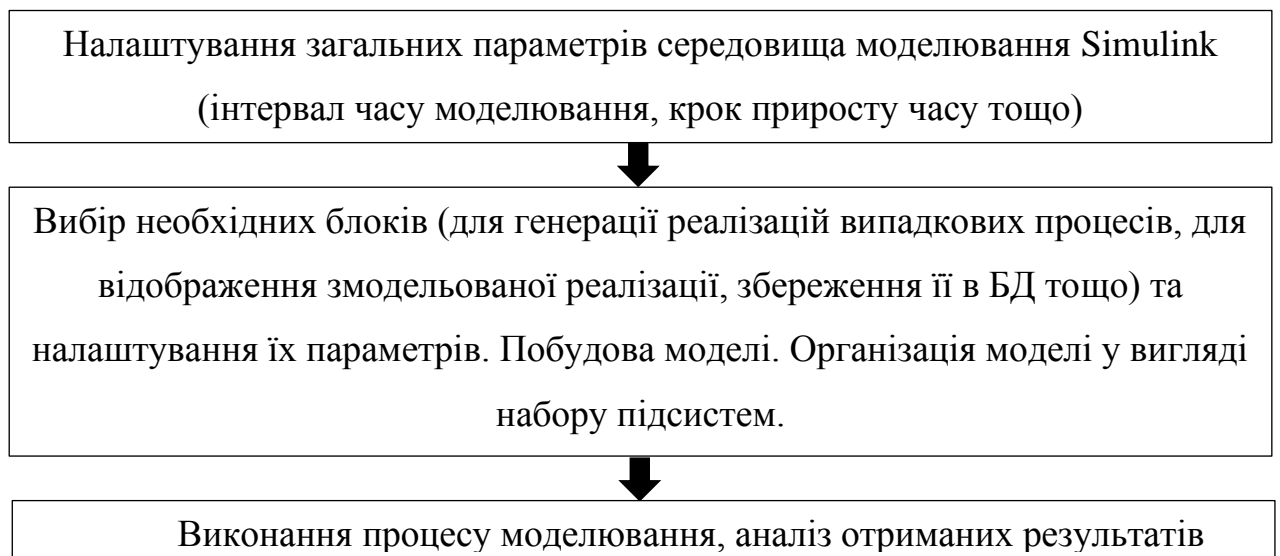


Рисунок 3.6 – Методика моделювання реалізацій електричної напруги з різними спотвореннями якості електроенергії на основі використання середовища Simulink

В процесі моделювання використовуються логічні блоки середовища Simulink, які умовно можна поділити на три групи:

1) блоки-генератори, які генерують сигнали (Sine Wave, Chirp Signal, Ramp тощо);

- 2) блоки модифікатори, які модифікують сигнали реалізуючи логічні операції додавання, множення, тощо (Gain, Product, Sum);
- 3) допоміжні блоки, які реалізують допоміжні операції (виведення проміжних та кінцевих результатів у вигляді графіка (Scope), збереження результатів моделювання у вигляді числових масивів (To Workspace), блоки-перемикачі (Switch) тощо).

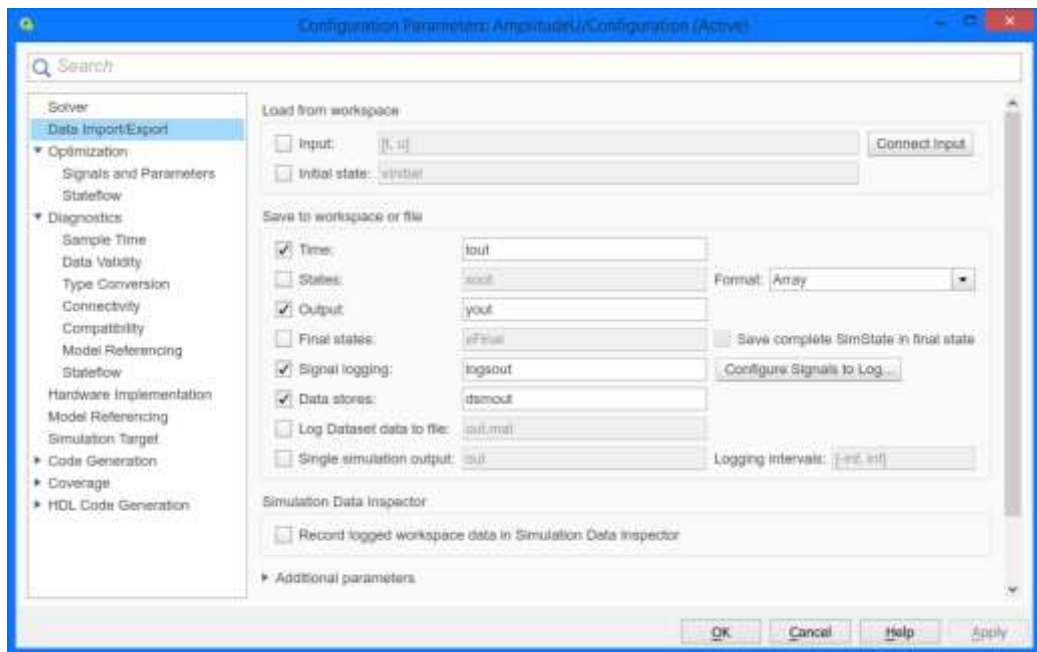


Рисунок 3.7 – Вікно Simulink для конфігурування параметрів моделювання

Типова найпростіша модель Simulink (рис. 3.8) містить блок-генератор (Chirp Signal, генерує сигнал із лінійно змінною частотою), блок-модифікатор (Gain, реалізує множення сигналу, який поступає на вхід блоку, на певну константу) та блок To Workspace (реалізує імпорт результату моделювання в змінну під назвою FreqU робочого середовища MATLAB).

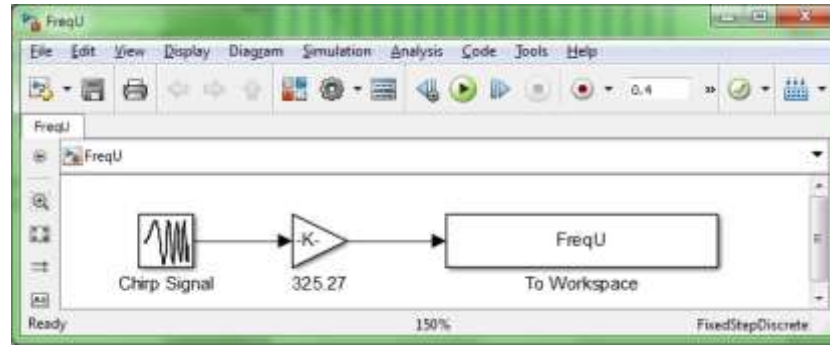


Рисунок 3.8 – Типова модель Simulink для моделювання реалізацій електричної напруги

Приклади використуваних моделей наведено на рис 3.9. та 3.10.

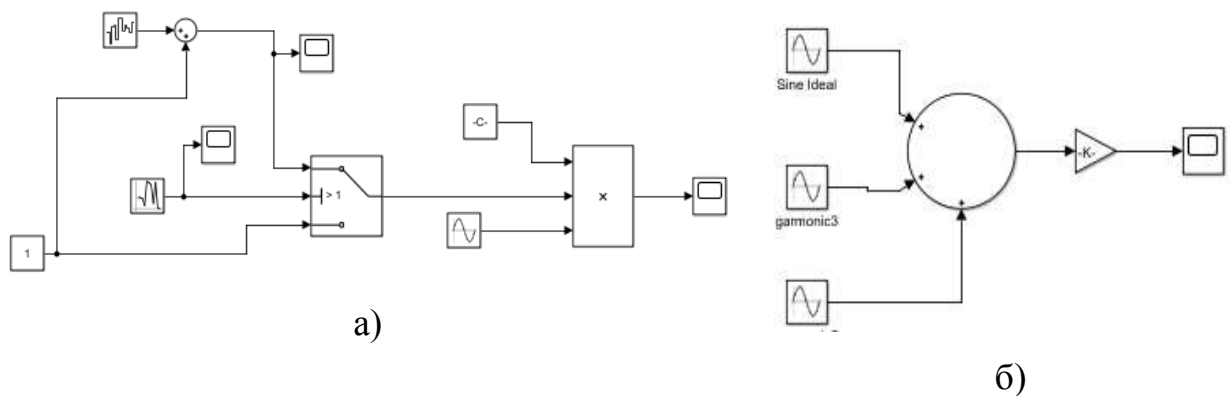


Рисунок 3.9 – Зразки пропонованих моделей середовища Simulink: а) для моделювання синусоїд із змінною амплітудою; б) для моделювання синусоїди, яка складається із трьох гармонік

Модель на рис. 3.9 а) включає в себе підсистему, яка складається із двох блоків-генераторів випадкових чисел і блоку-перемикача та імітує випадковий процес, що формує амплітуду вихідного сигналу. Модель на рис. 3.9 б) складається із трьох блоків-генераторів синусоїдних сигналів постійної, але різної за величиною амплітуди. Додавання сигналів з метою формування одного єдиного сигналу реалізує блок-суматор.

На рис. 3.10 наведено модель Simulink складної структури. Дана модель складається із:

- 1) трьох підсистем, дія яких сумується блоком-суматором і які імітують дію трьох випадкових процесів, що формуючих амплітуду вихідного сигналу;
- 2) підсистемами, яка імітує дію випадкового процесу, що формує частоту вихідного сигналу, відповідно до математичної моделі (3.6).

В загальному випадку модель Simulink може включати довільну кількість підсистем, які відповідатимуть дії послідовностей випадкових процесів $\{\xi_{1i}(\omega_1, t), i = \overline{1, n}\}$ та $\{\xi_{2j}(\omega_2, t), j = \overline{1, m}\}$ відповідно до моделі (3.6).

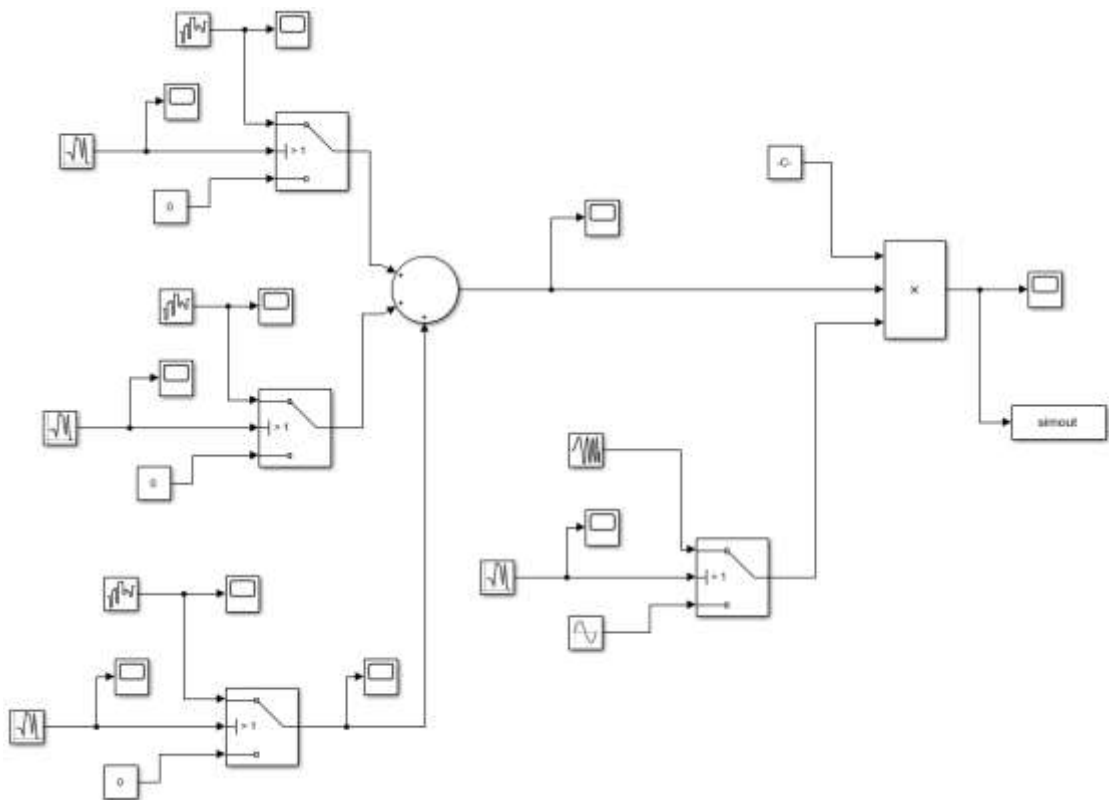


Рисунок 3.10 – Типова модель Simulink складної структури

В наступному пункті наведено зразки типових результатів моделювання.

3.4.2. Приклади реалізацій електричної напруги із спотвореннями як тестові при випробуваннях вимірювального обладнання

На рис. 3.11 – 3.14 наведено графіки реалізацій напруги, які були отримані в результаті моделювання.

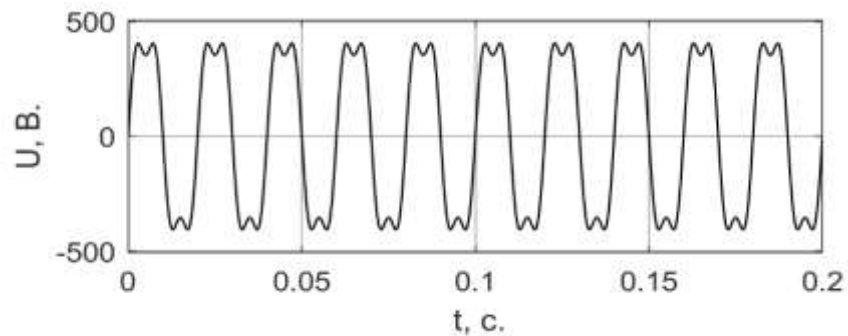


Рисунок 3.11 – Графік реалізації напуги, яка складається із трьох гармонічних складових

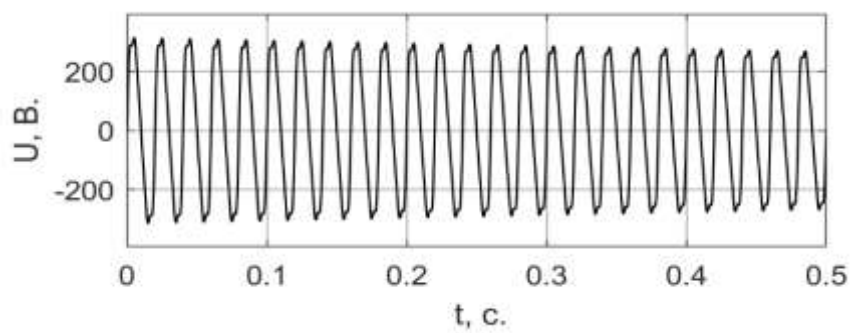


Рисунок 3.12 – Графік реалізації напуги, яка складається із декількох гармонічних складових та характеризується лінійним спаданням амплітуди сигналу

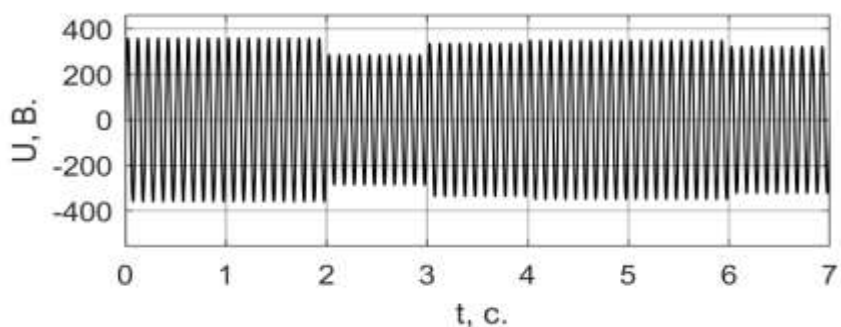


Рисунок 3.13 – Графік реалізації напуги із провалом амплітуди сигналу та перенапругою

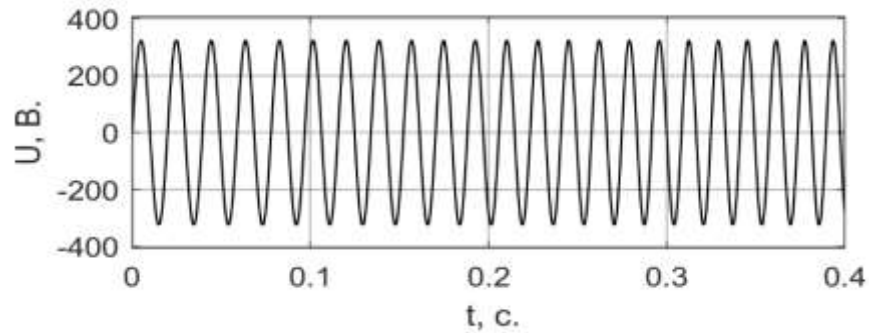


Рисунок 3.14 – Графік реалізації напруги із лінійно зростаючою частотою сигналу

Оскільки в процесі моделювання реалізацій вхідної електроенергії параметри використаних блоків середовища Simulink є заданими, то характеристики якості електроенергії таких реалізацій визначаються однозначно. Виходячи з цього, отриману базу реалізацій вхідної електроенергії можна використати в якості типових прикладів при тестових випробуваннях вимірювального електрообладнання характеристик якості електроенергії. В наступному пункті наведено запропонований варіант збереження результатів моделювання з метою подальшої їх статистичної обробки програмним забезпеченням в складі АПК.

3.4.3. Структура бази даних результатів моделювання реалізацій електричної напруги

Отримані під час моделювання реалізації в середовищі MATLAB представлені у вигляді іменованих масивів дійсних значень, фактично, змінних робочого середовища MATLAB (рис. 3.15).

Дослідник має різні варіанти збереження з метою подальшої обробки змодельованих реалізацій:

- збереження окремим файлом всіх масивів разом (у вигляді т. зв. робочого простору Workspace);

- збереження (з допомогою буферу обміну Windows або ж функцій запису `dlmwrite` чи `csvwrite` у файл) масивів реалізацій у текстові файли форматів `txt`, `csv` тощо;
- запис засобами MATLAB Database Toolbox масивів реалізацій в бази даних систем управління базами даних (СУБД) Microsoft Access, Microsoft SQL Server, MySQL тощо.



Рисунок 3.15 – Вікно Workspace середовища MATLAB із масивами змодельованих реалізацій напруги

Також доречно при цьому зберігати разом із відліками напруги відповідні їм відліки часу. Це реалізується за допомогою опції у відповідному вікні налаштування параметрів моделі Simulink.

В дисертації пропонується застосування реляційної бази даних під управлінням СУБД MySQL для збереження змодельованих реалізацій електричної напруги. Структура найпростішої БД, розробленої для цього, наведена на рис. 3.16.

В склад даної бази даних входять таблиці, структуру та призначення полів яких представлено в табл. 3.1:

1) таблиця *SampleDescriptions* – призначена для збереження текстового опису реалізацій напруги;

2) таблиця *Samples* – призначена для збереження отриманих реалізацій електричної напруги, включаючи відліки часу.

3) таблиця *PQIndicators* – призначена для збереження значень обчислених на основі змодельованих реалізацій характеристик якості електроенергії.

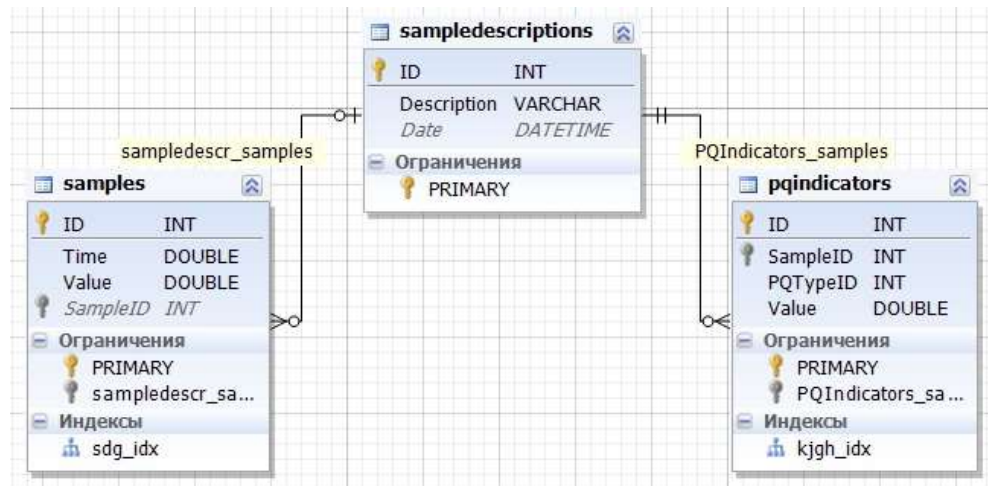


Рисунок 3.16 – Схема бази даних для збереження результатів моделювання реалізацій електричної напруги

Таблиця 3.1 – Структура таблиць бази даних для збереження результатів моделювання зразків електричної напруги

| Таблиця в БД | Поле | Тип поля | Призначення |
|--------------------|-------------|----------|-----------------------------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| SampleDescriptions | ID | INT | Первинний ключ |
| SampleDescriptions | Description | VARCHAR | Текстовий опис реалізацій напруги в довільній формі |
| SampleDescriptions | Date | DATETIME | Відмітка про дату та час моделювання реалізації |
| Samples | ID | INT | Первинний ключ |
| Samples | SampleID | INT | Зовнішній ключ |
| Samples | Time | DOUBLE | Відліки часу |
| Samples | Value | DOUBLE | Значення напруги |

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|--------------|----------|--------|------------------------------------------|
| PQIndicators | ID | INT | Первинний ключ |
| PQIndicators | SampleID | INT | Зовнішній ключ |
| PQIndicators | PQTypeID | INT | Тип показника якості електроенергії |
| PQIndicators | Value | DOUBLE | Значення показника якості електроенергії |

Імпорт даних з робочого простору MATLAB в базу даних MySQL реалізовано засобами MATLAB Database Toolbox. Відповідний програмний код MATLAB наведено в додатку Е. У загальному випадку подібна база даних може складатися із багатьох таблиць. Разом із реалізаціями напруги цілком доречно зберігати певні усереднені значення, обчислені оцінки статистичних характеристик, звіти тощо.

3.5. Висновки до третього розділу

Даний розділ є одним з основних розділів дисертації. В ньому отримано наступні результати:

1. На основі нормативних документів наведено основні показники якості електроенергії та типові приклади спотворення якості електроенергії;
2. Сформульовано задачу контролю якості електроенергії на вході електромережі організації як підзадачу загальної задачі моніторингу штатного режиму електроспоживання топології мережі електроспоживачів організації;
3. На основі застосування теорії випадкових процесів запропоновано загальну та конструктивну моделі електричної напруги. Запропонована конструктивна модель дає можливість проаналізувати всі можливі як амплітудні так і частотні спотворення напруги електроенергії з

врахуванням всіх практичних випадків. Вона повністю реалізує фізичну модель як штатних так і нештатних режимів подачі напруги електропостачання на вхід електромережі організації;

4. Запропоновано методологію моделювання в середовищі Simulink програмного пакету MATLAB на основі конструктивної моделі зразків реалізацій електричної напруги із різними спотвореннями форми сигналу (погіршенням якості електроенергії). Наведено типові моделі Simulink та графіки отриманих в результаті моделювання реалізацій.
5. Запропоновано структуру бази даних для збереження результатів моделювання електричної напруги.

Методологію моделювання електричної напруги та відповідну базу даних пропонується використовувати в складі АПК, який описаний в наступному розділі.

РОЗДІЛ 4

ВАРІАНТ СТВОРЕННЯ АПАРАТНО-ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ МОНІТОРИНГУ ШТАТНОГО РЕЖИМУ ПРОЦЕСУ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ НА ОСНОВІ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Розділ присвячено розробці одного із можливих варіантів реалізації апаратно-програмного комплексу для розв'язання задач моніторингу штатного режиму функціонування топології мережі споживачів електроенергії рівня організації. На основі проведеного аналізу основних вимог до інформаційних систем даного типу, викладених у відповідних нормативних документах, запропоновано загальну структуру комплексу а також основні елементи його інформаційного та апаратного забезпечення.

Результати дослідження, наведені в попередніх розділах (моделі, алгоритми, бази даних, програмне забезпечення), пропонується втілити в складі інформаційного забезпечення апаратно-програмного комплексу.

Основні положення розділу опубліковано в працях [23, 54, 55, 57-59, 62, 63, 66, 105].

4.1. Вимоги до АСОЕ рівня організації

4.1.1. Загальні вимоги

Наведемо основні вимоги до АСОЕ організації.

Розробка АСОЕ в електроенергетиці на сьогоднішній день здійснюється у відповідності до вимог ряду нормативних документів, основними серед яких є:

- Правила користування електричною енергією [116];
- Концепція побудови автоматизованих систем обліку електроенергії в умовах енергоринку [115];
- Загальні технічні вимоги до Автоматизованої системи комерційного

обліку Оптового ринку електричної енергії України [81];

- Інструкція про порядок комерційного обліку електричної енергії [84].

В [115] детально наведено вимоги, яким повинна задовольняти АСОЕ. Перерахуємо основні з них:

- АСОЕ повинна забезпечувати:
 - збір та збереження облікової інформації;
 - обмін обліковою інформацією з платіжними системами для забезпечення регулювання споживання електроенергії абонентами;
 - зперіоди інтегрування вимірюваних величин - 15, 30 і 60 хвилин;
 - багатотарифний облік енергії;
 - облік спожитої енергії для кожної тарифної зони зростаючим підсумком за поточні і минулі облікові періоди - добу, місяць;
 - визначення максимальної потужності періоду інтегрування для кожної тарифної зони за поточні і минулі облікові періоди - добу, місяць;
 - дистанційне програмування тарифних зон і чинних тарифів;
 - ведення бази даних вимірювальної інформації платежів і споживачів електроенергії;
 - збереження даних при відключенні основної мережі живлення протягом не менше 60 діб і автоматичне відновлення працездатності при вмиканні живлення.
- База даних АСОЕ повинна зберігати інформацію про:
 - значення сумарної спожитої енергії;
 - значення сумарної спожитої енергії для кожної тарифної зони;
 - значення усередненої потужності відповідно до заданого періоду інтегрування;
 - значення максимальної потужності періоду інтегрування протягом доби, місяця;

- значення максимальної потужності періоду інтеграції для кожної тарифної зони протягом доби, місяця;
- значення спожитої енергії за поточні і минулі облікові періоди - добу, місяць;
- графік навантаження відповідно до заданого періоду інтеграції;
- значення спожитої енергії по кожній тарифній зоні за поточні і минулі облікові періоди - добу, місяць;
- події, пов'язані із позаштатними змінами зовнішнього і внутрішнього середовища (кількість відключень мережі живлення, кількість відключень навантаження внаслідок перевантаження струмом, кількість несанкціонованих спроб доступу);
- дані параметризації (тип приладу, заводський номер, код споживача, кількість змін даних, дата і час останньої зміни параметрів, корекція ходу таймера, інтервал інтегрування, константи);
- Первинні дані АСОЕ в неопрацьованому вигляді підлягають архівуванню та збереженню без будь-яких корегувань;
- База даних АСОЕ повинна формуватися з обов'язковою прив'язкою вимірюваних величин до відповідної мітки часу.

Пропонований АПК повинен вирішувати дві взаємопов'язані задачі, які утворюють одну велику задачу забезпечення штатного режиму електроспоживання організації:

1. Контролювати величину (поточну і на тривалих інтервалах спостереження) електроспоживання топології електромережі організації;
2. Контролювати показники якості електроенергії на вході електромережі організації.

Проведений аналіз автоматизованих систем контролю та обліку електроенергії з функціями моніторингу якості електроенергії, присутніх на сьогоднішній день на ринку, а також результати науково-технічних публікацій [29, 30, 39, 63, 104, 113, 119, 121, 122, 136] дозволяють зробити загальні висновки

про їхні технічні особливості та можливості. Зокрема, системам даного типу притаманні:

- автоматичний збір даних із вимірювальних пристроїв з використанням каналів зв'язку на основі таких інтерфейсів, як: RS-485, струмова петля, оптоволокло, радіоканал, GSM/GPRS, Ethernet;
- централізоване збереження інформації в базі даних;
- можливість експорту даних відповідно до промислових стандартів (PQDIF, COMTRADE тощо);
- надання користувачам (операторам, адміністраторам) доступу до інформації по захищених каналах зв'язку зокрема, за допомогою веб-інтерфейсу, з можливістю аналізу в зручному вигляді (графіки, таблиці);
- автоматична і дистанційна синхронізація часу в системі, в тому числі, між вимірювальними пристроями;
- аналіз даних та генерування звітів відповідно до вимог стандартів (EN 50160, ГОСТ Р54149 та ін.);
- облік позаштатних подій;
- можливість обміну даними з іншими інформаційними системами;
- висока вартість, яка зростає із зростанням масштабів системи та її технічних можливостей.

В наступному пункті наведено основні вимоги до приладів обліку електроенергії в складі АСОЕ відповідно до чинних нормативних документів.

4.1.2. Вимоги до лічильників електроенергії в складі АСОЕ

Виготовлення приладів для обліку електроенергії в Україні здійснюється відповідно до вимог міждержавних стандартів (ГОСТ 6570-96, ГОСТ 30207-94). Крім того, переважна більшість виробників дотримується також і міжнародних стандартів (МЕК 521, МЕК 1036-90, МЕК 62052-11, МЕК 62053-21). В якості розрахункових до експлуатації допускаються прилади обліку, що занесені до спеціального Державного реєстру засобів вимірювальної техніки [115, 148].

Єдиною додатковою умовою застосування того чи іншого приладу обліку є попереднє (до придбання) узгодження його типу між споживачем та енергопостачальною організацією на відповідність вимогам нормативних документів (Правилам улаштування електроустановок, Правилам користування електричною енергією, Правилам безпечної експлуатації електроустановок споживачів) та обраному споживачем виду тарифу. Також мають бути враховані умови та можливість експлуатації енергопостачальником приладу обліку даного типу, а також його захищеність від несанкціонованого втручання та зовнішнього впливу різними способами і методами з метою безоблікового споживання та розкрадання електроенергії.

На даний час для здійснення виміру та обліку спожитої електроенергії застосовуються індукційні та електронні прилади обліку. Як правило, індукційні лічильники в складі АСОЕ не використовуються внаслідок невисокої точності та відсутності необхідних цифрових інтерфейсів автоматизованого зчитування із них показів.

На лицьовій стороні приладу обліку, на його паспортній табличці разом з цифровим табло (індикатором) обов'язково повинно зазначатися:

- тип приладу обліку (буквеними та буквено-цифровими позначеннями, наприклад: СОЕ-1.02);
- найменування та логотип виробника;
- заводський номер електролічильника (як правило, у нижньому правому чи лівому кутку паспортної таблички);
- ГОСТ, за яким випущено лічильник;
- номінальна (робоча) напруга та номінальний і максимальний робочий струм навантаження;
- передавальне число лічильника (кількість обертів диску або імпульсів індикатора на 1 кВт*год вимірної електроенергії) та ін.

При встановленні у споживача лічильника електроенергії він не повинен мати зовнішніх механічних ушкоджень, таких як: ушкодження кожуха, кришки

затискної коробки, а також інших дефектів та ушкоджень, які можуть вплинути на його подальшу роботу.

Цифрові лічильники, для того, щоб їх можна було використовувати в складі АСОЕ, повинні додатково задовольняти наступні вимоги:

- відповідати вимогам ГОСТ 26035, а також стандарту МЕК (ІЕС) 1036;
- мати високу надійність і стабільність метрологічних характеристик;
- проходити перевірку Держстандартом не менше одного разу на 6 років;
- мати термін служби не менше 20 років;
- мати цифровий інтерфейсний вихід для забезпечення можливості автоматизованого (дистанційного) зчитування інформації;
- забезпечувати вимірювання активної, реактивної і усередненої потужності електроенергії у відповідності із заданими користувачем часовими інтервалами інтеграції;
- забезпечувати зберігання інформації при виключенні живлення не менше 40 діб;
- дозволяти зовнішню синхронізацію ходу внутрішніх годинників часу;
- похибка ходу внутрішніх годинників часу повинна бути не більшою ± 2 секунди на добу.

В наступному пункті наведено вимоги до приладів обліку.

4.1.3. Вимоги до приладів обліку в складі АСОЕ

В якості приладу обліку у [115] вважається засіб вимірювання, що збирає і обробляє вимірювальну інформацію з декількох лічильників електричної енергії (проміжний рівень між рівнем збору даних (лічильники) та серверним рівнем). Також на нього покладається функція обліку електричної енергії за різні інтервали часу. Основні вимоги наступні:

- прийом даних від лічильників у вигляді імпульсів або цифрових даних;
- дані повинні супроводжуватися відповідною міткою часу і ознакою, що визначає їх якість;
- наявність вбудованого таймера;
- забезпечення обліку електроенергії і потужності відповідно до заданих періодів інтегрування. Періоди інтегрування повинні вибиратися користувачем. Дані повинні оброблятися відповідно до чинних тарифів за такі облікові періоди: година, доба і т.д.;
- конструкція та алгоритм функціонування повинні забезпечувати захист від несанкціонованого впливу на результати вимірювань.;
- сумарна внесена похибка обчислення енергії і потужності – не більше 0,1%;
- похибка ходу таймера не більше 5 секунд на добу;
- наявність незалежного джерела резервного живлення;
- забезпечення індикації необхідних параметрів і можливості внесення параметрів в ручному режимі із клавіатури.

В наступному пункті наведено вимоги до каналів і протоколів передачі даних.

4.1.4. Вимоги до каналів і протоколів зв'язку між приладами обліку, локальним та центральним устаткуванням збору даних

Основними вимогами є наступні:

- в каналах зв'язку, які об'єднують окремі елементи в складі АСОЕ, повине використовуватися обладнання, що відповідає вимогам Міжнародного консультативного комітету з телефонії і телеграфії;
- протоколи передачі даних повинні забезпечувати надійну і достовірну роботу АСОЕ;
- для зв'язку між локальним і центральним устаткуванням збору даних слід використовувати мережі передачі даних, побудовані відповідно до чинних

стандартів. Очевидно, що тут варто використовувати стандарти передачі даних Ethernet, TCP/IP, GSM тощо.

На основі проведеного огляду публікацій в наступних пунктах пропонується структура комплексу рівня організації, який може адаптовуватися до особливостей функціонування та режимів роботи конкретної організації.

4.2. Структура апаратно-програмного комплексу моніторингу штатного режиму електроспоживання організації

4.2.1. Основні складові елементи апаратно-програмного комплексу

Розроблена у [62], на рис 4.1 представлена структурна схема АПК для моніторингу штатного режиму електроспоживання організації з контролем показників якості електроенергії.



Рисунок 4.1 – Структурна схема АПК для моніторингу штатного режиму електроспоживання організації з контролем показників якості електроенергії

В склад пропонуваного АПК входять:

- модулі, які реалізують функції вимірювання (вимірювальні модулі збору даних з електромережі) та передачі інформації (програма-драйвер) на вищій рівні ІС з використанням стандартних протоколів (RS-485, USB, HTTP, PQDIF, COMTRADE тощо). Збір даних може здійснюватися стаціонарними пристроями а також мобільними пристроями, які можна підключати до різних точок досліджуваної електромережі. Вимірювальні пристрої підключаються в електромережу за посередництвом вимірювальних трансформаторів або ж безконтактним способом (наприклад, струмовимірювальні кліщі Дітца). Кількість та точки підключення вимірювальних пристроїв визначається масштабами організації та особливостями електромережі. Для моніторингу якості електроенергії на вході електромережі організації слід використовувати відповідні первинні вимірювальні перетворювачі (ПВП), як дозволяють здійснювати оцифрування напруги з метою подальшого обробитку накопичених даних або ж навіть визначення значень фізичних характеристик електроенергії “на льоту”. На ринку представлено широке коло вимірювальних пристроїв, які відрізняються вартістю та діапазоном функціональних можливостей;

- модулі, які реалізують функції зберігання інформації. Сюди належить база даних (БД), в якій зберігається отримана від пристроїв збору даних інформація та інформація, отримана від підсистеми опрацювання інформації (звіти, результати статистичної обробки тощо);

- модулі, які реалізують функції опрацювання інформації. Сюди належить програмне забезпечення встановлене, як правило, на окремому комп’ютері (сервері), яке виконує функції статистичної обробки накопиченої в БД інформації на основі відповідного інформаційного забезпечення з видачею результатів опрацювання у зручній для користувача формі (графіки, діаграми) та можливістю збереження цих результатів у БД, формування аналітики, звітів, передачі даних на верхній рівні АСОЕ тощо;

- канали передачі даних (вита пара, оптоволокно, GSM у випадку безпроводної передачі даних) та мережеве обладнання (комтутатори,

маршрутизатори);

В загальному випадку функції вимірювання інформації можуть виконувати декілька первинних вимірюючих пристроїв. Наприклад, залежно від величини конкретної організації та специфіки її роботи, можливим є варіант використання декількох лічильників електроенергії: один загальний і декілька, які здійснюють вимірювання окремо по підрозділах організації.

АПК повинна підвищити ефективність роботи відповідної диспетчерської служби організації. Передбачається, що оператор диспетчерської служби, керуючись отриманими від АПК даними, матиме змогу контролювати як величину електроспоживання, так і фіксувати факти виходу показників якості за встановлені норми.

Запропонований АПК передбачається використовувати в якості засобу, який працює на організацію. Також за необхідності, він може використовуватися як модуль в складі АСОЕ вищого рівня (міста, району). Можлива інтеграція з іншими інформаційними системами, наприклад, з інформаційними системами накопичення даних про метеофактори (температура повітря навколишнього середовища, вологість, тривалість світлового дня тощо).

В якості вимірювальних модулів в складі АПК пропонується використання описаних в наступних пунктах роботи пристроїв (модуля оцифрування напруги та цифрового лічильника електроенергії).

4.2.2. Вимірювальний модуль оцифрування напруги

В роботі пропонується один із можливих варіантів реалізації апаратного засобу контролю якості електроенергії [57, 58, 105]. Розроблений пристрій побудований з використанням сучасної елементної бази. В склад пристрою входять:

- резистивний подільник напруги;
- генератор опорної напруги (опорна напруга АЦП);
- генератор напруги 1,25 В (напруга зміщення);

- генератор напруги 2,5 В (живлення АЦП);
- мікросхема АЦП;
- мікросхема опторозв'язки;
- електромеханічне реле;
- захисний ланцюжок діодів;
- ряд мікроконтролерів.

На рис. 4.2 представлено функціональну схему пристрою.

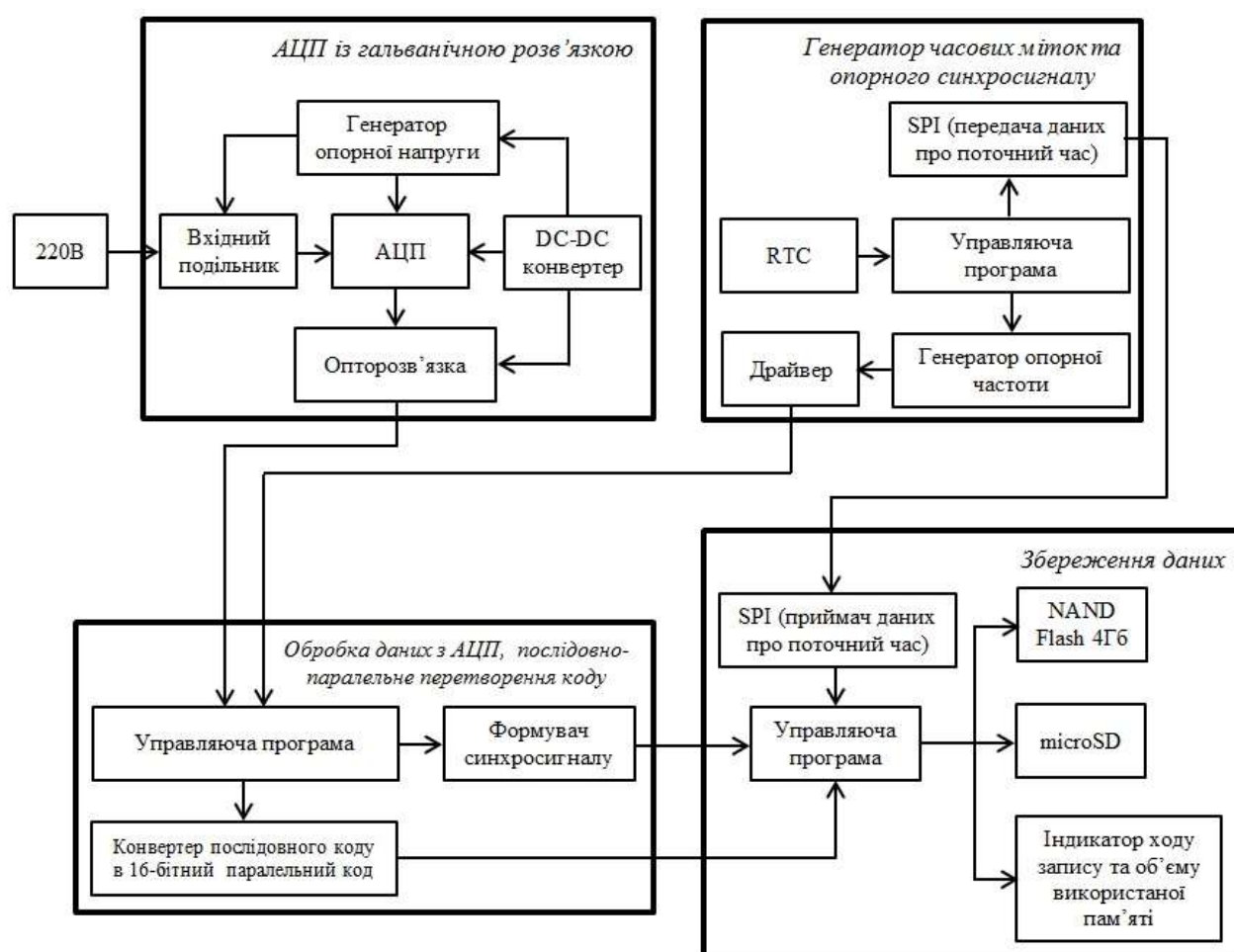


Рисунок 4.2 – Функціональна схема модуля оцифрування напруги

Генератор часових міток та опорного синхросигналу призначений для генерації сигналу, який використовується для синхронізації між собою в часі складових елементів пристрою. Також, він генерує мітки часу, якими маркуються при збереженні на карту пам'яті миттєві значення напруги, виміряні

з допомогою аналого-цифрового перетворювача (АЦП). Для генерації часових міток використовується мікросхема годинника реального часу типу (RTC) M41T62. Від аналогічних мікросхем даного типу вона відрізняється тим, що кварцовий резонатор вмонтовано у корпус мікросхеми, що забезпечує підвищену точність (відсутній вплив таких факторів як вологість, власна ємність монтажу і доріжок на друкованій платі).

Мікросхема АЦП AD7980 забезпечує оцифрування сигналу вхідної напруги в діапазоні $0 \dots U_{REF}$ (у даному випадку $0 \dots 2,5\text{В}$) із розрядністю 16 біт.

Разом із АЦП використовується резистивний подільник напруги, який призначений для узгодження напруги, що подається на вхід пристрою, із вхідними колами АЦП. Його параметри розраховані таким чином, щоб при максимально допустимій вхідній напрузі (260В змінного струму) напруга на вході АЦП не перевищувала $2,5\text{В}$.

Для захисту вимірювального вузла використано гальванічну розв'язку і захисний ланцюжок діодів. Гальванічна розв'язка побудована на мікросхемі ADuM1301, яка містить 3 канали передачі інформації і забезпечує швидкість передачі до 90Мб/с і пробивну напругу не менше 2500В . Захисний ланцюжок діодів BAS316 призначений для захисту входу АЦП від можливих високовольтних викидів вимірюваної напруги. Тип діодів вибрано виходячи із вимог мінімальної ємності (для забезпечення точності вимірювання) і швидкості захисту.

Після мікросхеми опторозв'язки дані поступають на мікроконтролер STM32F051R4, який перетворює їх в паралельний шістнадцятирозрядний код. Цей мікроконтролер також забезпечує подачу імпульсів запуску перетворення для АЦП.

Збереження оцифрованих даних на карту пам'яті відбувається за допомогою мікроконтролера STM32F103VG. Мікроконтролер вибрано з міркувань достатнього об'єму підтримуваної ним оперативної пам'яті для

розміщення буфера вхідних даних та наявності апаратного інтерфейсу SDIO для роботи з microSD.

Алгоритм роботи пристрою. Після подачі живлення управляючі мікроконтролери 3-х вимірювальних вузлів переходять в режим очікування дозволу роботи.

Мікроконтролер типу STM32F051R4 вимірювального вузла на початку циклу вимірювання знаходиться в стані очікування дозволу роботи. При отриманні дозволу (натискання на кнопку, яка розміщена на корпусі пристрою) подається сигнал на реле, яке перемикає контакти таким чином, щоб на вхід мікросхеми оцифрування АЦП AD7980 поступала напруга зміщення. Провівши декілька послідовних циклів вимірювання, мікроконтролер обчислює усереднене значення напруги зміщення, що є необхідним для визначення рівня переходу через 0 вхідної напруги 220В.

Після вимірювання електромеханічне реле перемикається у вихідне положення (на вхід АЦП подається вимірювана напруга 220В через резистивний подільник).

Мікросхема пам'яті отримує команду стирання записаних раніше даних.

Отримане значення напруги зміщення записується в перших 16 байт пам'яті типу NAND Flash, після чого очікується фронт сигналу PPS і записується отримане від генератора часових міток значення часу.

Після цих операцій мікроконтролер переходить до безперервного циклу: старт перетворення – передача виміряних даних – запис у NAND Flash.

Об'єм використаної пам'яті на карті пам'яті відображається десятирозрядним лінійним світлодіодним індикатором на передній панелі приладу.

По досягненні максимальної кількості записів на мікроконтролер вимірювального вузла подається сигнал зупинки основного циклу програми, після чого він припиняє генерацію тактових імпульсів та сигналу старту перетворення для АЦП.

Мікроконтролер типу STM32F103VG починає запис даних на карту пам'яті microSD, по завершенні запису відключає інтерфейс SDIO і вмикає індикатор завершення запису. Після цього записані дані на карту необхідно перенести в БД з метою збереження та подальшої обробки.

4.2.3. Підсистема обліку електроенергії

В роботі пропонується в якості пристрою для вимірювання величини спожитої електроенергії використовувати лічильник типу “Енергія – 9” СТК3-05Q2Н4Mt. Підсистему обліку електроенергії з використанням даного лічильника в складі АПК наведено на рис. 4.3.

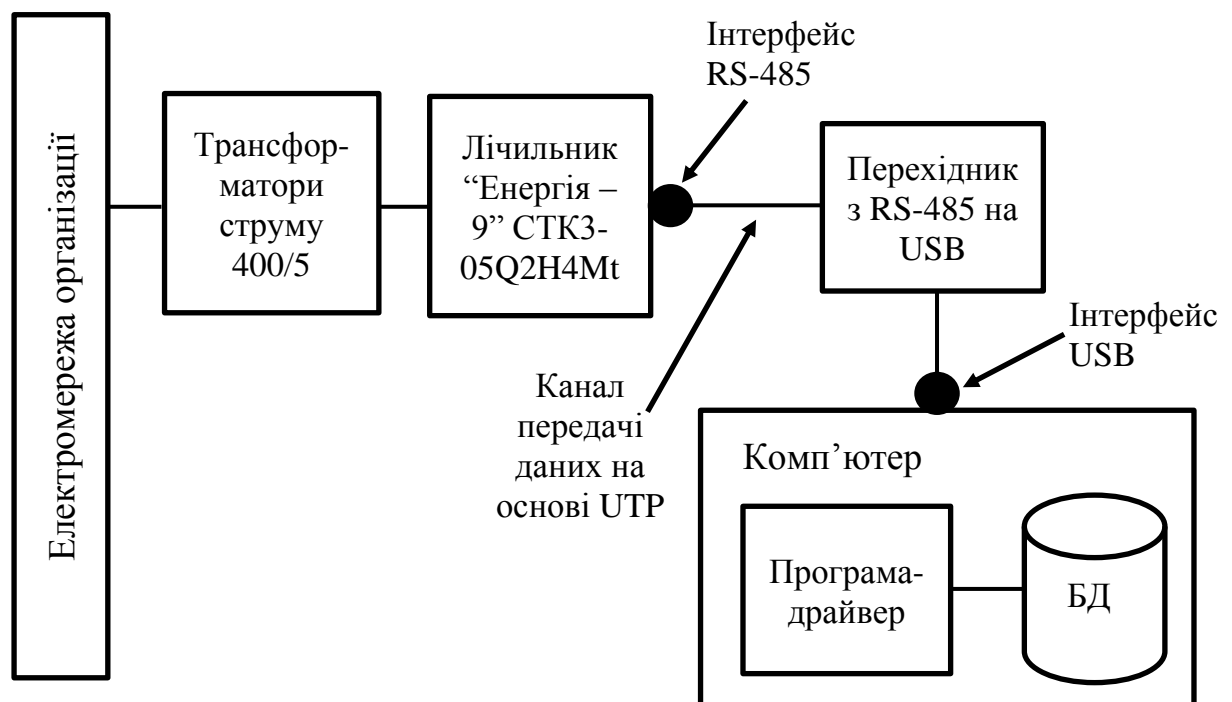


Рисунок 4.3 – Підсистема вимірювання величини електроспоживання АПК моніторингу штатного режиму процесу електроспоживання організації

За основу взято результати, отримані в роботі [94], автором якої було створено і впроваджено АПК для моніторингу процесу електронавантаження корпусу №1 ТНТУ імені Івана Пулюя. Розроблену в роботі [94] систему, яка складається із лічильника, програми-драйвера та бази даних під управлінням

СУБД MS SQL Server, в даній роботі пропонується використати як складову частину АПК моніторингу штатного режиму електроспоживання організації (корпусу №1 ТНТУ імені Івана Пулюя). Автором роботи [94] було використано аналогічний лічильник “Енергія – 9” із маркуванням СТК3-02Q2Н4Mt, який відрізняється лише вищим класом точності 0,2S.

Лічильник типу “Енергія – 9” СТК3-05Q2Н4Mt призначений для використання в автоматизованих системах комерційного і технічного обліку електричної енергії, із застосуванням диференційованих у часі тарифів на електричну енергію. Для роботи в складі автоматизованих систем лічильник обладнано інтерфейсним виходом RS-485 і телеметричним імпульсним виходом.

Наведемо основні експлуатаційні показники та технічні характеристики лічильника відповідно до його маркування та паспорту:

- СТК3 – трьохфазний лічильник типу “Телекарт”;
- 05 – клас точності 0,5S;
- Q2 – облік активної та реактивної енергії в обох напрямках;
- Н4 – пряме чотирьох провідне включення по напрузі і трансформаторне по струму з номінальним струмом 5А;
- М – тарифний облік, графіки навантаження та вимірювання параметрів електроспоживання;
- t – можливість експлуатації даного лічильника при температурі навколишнього середовища від -40 до 55 °С.;
- номінальна напруга – 57,7, 100, 220, 380 В.;
- номінальний (максимальний) струм – 1(1,5), 5(7,5), 10(40), 40(100), 5(60), 10(100) А.;
- частота вимірювальної мережі – 50±2,5 Гц.;
- швидкість передачі даних по RS 485 – до 115200 бод;
- інтервал між плановими повітками – 6 років.

Графічний інтерфейс програми-драйвера, яка періодично опитує лічильник та зчитані із нього покази записує в базу даних, представлено на рис. 4.4.

The screenshot shows a software window titled 'Драйвер лічильника "Energy9" (v37)'. It contains three sections, each with a table of data. The first section is 'Випереджені значення' (Advanced values), the second is 'Миттєві значення' (Instantaneous values), and the third is 'Накопичені значення' (Accumulated values). Each section has a checkbox for 'Обновлювати щільно' (Refresh frequently) and a timestamp for the last update.

| | Фаза А | Фаза В | Фаза С |
|----------------------|---------|---------|---------|
| Напруга | 223,269 | 203,792 | 215,433 |
| Струм | 0,664 | 0,644 | 0,571 |
| Потужність активна | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Потужність реактивна | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Частота | 50,00 | 50,00 | 50,00 |
| Зсув фази | 9,10 | 21,40 | 13,70 |

| | Фаза А | Фаза В | Фаза С |
|----------------------|---------|---------|---------|
| Напруга | 223,023 | 203,173 | 216,064 |
| Струм | 0,664 | 0,651 | 0,532 |
| Потужність активна | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Потужність реактивна | 0,000 | 0,000 | 0,000 |

| | Активна енергія | Активна енергія | Реактивна I | Реактивна II | Реактивна III | Реактивна IV |
|---------|-----------------|-----------------|-------------|--------------|---------------|--------------|
| Енергія | 1,446 | 0,001 | 0,398 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |

Зачитано: 1164 Збіг: 0,00 % Статус: Норм

Рисунок 4.4 – Вікно програми-драйвера лічильника електроенергії

Програма розроблена в середовищі програмування Delphi та взаємодіє з лічильником відповідно до підтримуваних ним протоколів обміну даними через апаратний перехідник з інтерфейсу RS-485 на інтерфейс USB. Програма циклічно опитує лічильник по принципу “запит – відповідь” через окремий COM-порт комп’ютера, на якому її інстальовано.

База даних для збереження інформації про спожиту електроенергію створена на основі результатів роботи [95]. Зокрема, в таблицю (табл. 4.1) для збереження показів електролічильника введено додаткове поле CounterID, призначене для ідентифікації точки обліку.

В наступному пункті наведено інформаційне забезпечення пропонованого АПК. Основу його становлять отримані в роботі результати, описані в попередніх розділах.

Таблиця 4.1 – Структура таблиці бази даних для збереження показів електролічильника

| Назва поля | Тип поля | Призначення |
|-----------------|----------|--------------------------------------------|
| ID | Longword | Ідентифікатор запису (первинний ключ) |
| Time | String | Відмітка часу моменту вимірювання |
| CounterID | Int | Номер точки вимірювання |
| Error | Longword | Відмітка про наявність помилки |
| ErrorDescr | String | Опис помилки |
| P1, P2, P3 | Double | Активна потужність по кожній з трьох фаз |
| Q1, Q2, Q3 | Double | Реактивна потужність по кожній з трьох фаз |
| U1, U2, U3 | Double | Напруга по кожній з трьох фаз |
| I1, I2, I3 | Double | Струм по кожній з трьох фаз |
| F1,F2,F3 | Word | Частота по кожній з трьох фаз |
| Fi1,Fi2,Fi3 | Word | Кут зсуву фаз |
| Aplus | Double | Спожита активна енергія |
| Aminus | Double | Віддана активна енергія |
| R1,R2, R3,R4 | Double | Реактивна енергія по чотирьох квадрантах |

Передбачається використання його в єдиному комплексі з метою забезпечення штатного режиму роботи топології мережі електроспоживачів організації.

4.3. Інформаційне забезпечення апаратно-програмного комплексу

4.3.1. Загальна схема взаємодії елементів інформаційного забезпечення

Схематично взаємодію елементів інформаційного забезпечення в складі пропонованого АПК представлено на рис. 4.5.

На даній схемі використано такі позначення:

1 – дані вимірювань;

2 – обмін даними з БД;

3 – статистична обробка даних вимірювання електроспоживання, моніторинг величини загального електроспоживання топології мережі електроспоживачів організації;

4 – обчислення показників якості електроенергії, моніторинг характеристик якості електроенергії;

5 – ПЗ “Автоматизоване робоче місце оператора”, яке функціонує на сервері.

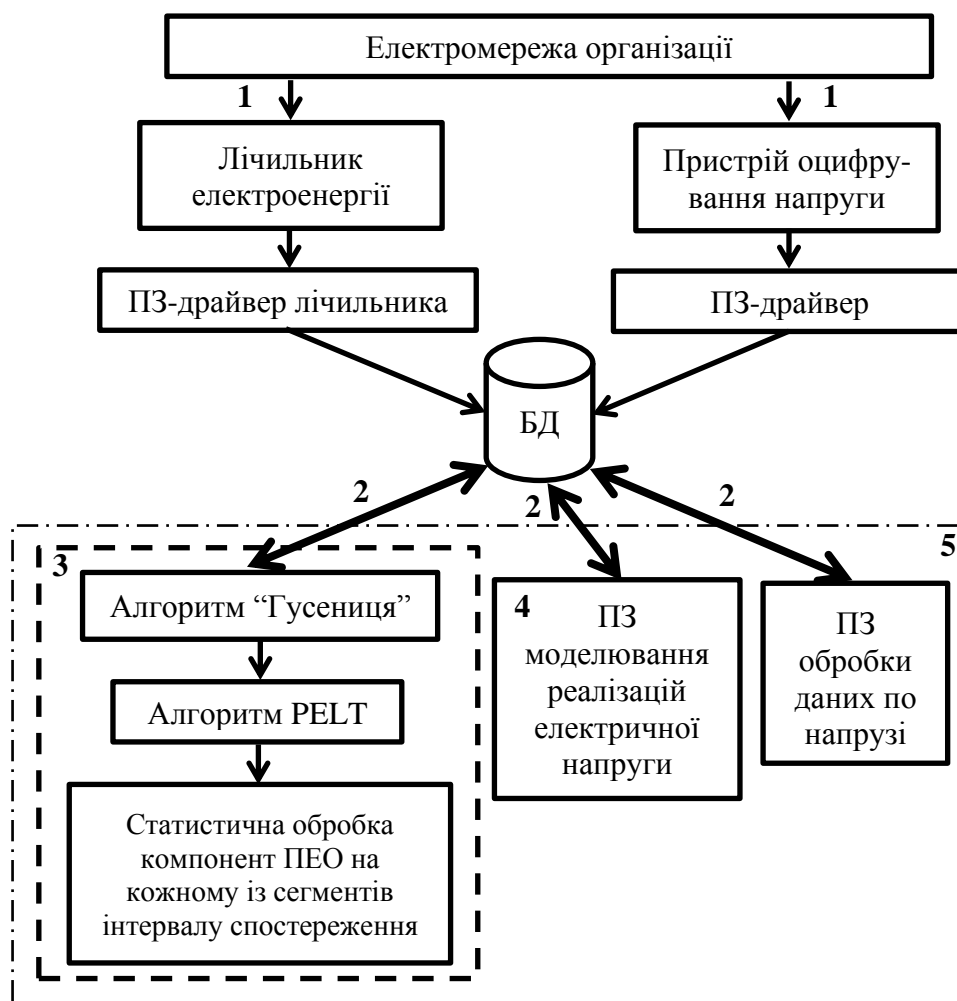


Рисунок 4.5 – Структурна схема взаємодії інформаційного забезпечення в складі АПК моніторингу штатного режиму електроспоживання організації

З метою спрощення на схемі базу даних представлено в одному екземплярі. В загальному випадку баз даних може бути декілька, залежно від конкретних задач, покладених на АПК відповідно до особливостей функціонування організації.

В наступних пунктах наведено перелік інформаційного забезпечення, яке входить в склад пропонованого АПК.

4.3.2. Алгоритми

В складі пропонованого АПК використано наступні алгоритми, реалізовані в MATLAB:

- алгоритм PELT сегментації часового ряду стохастичного характеру, отриманого в результаті застосування “Гусениці-SSA”;
- алгоритми статистичної обробки реалізацій, що відповідають окремим сегментам ПЕ (знаходження оцінок емпіричної щільності розподілу ряду стохастичних залишків, визначення аналітичного вигляду моделей компонент ПЕ на кожному із сегментів);
- алгоритми моделювання реалізацій електричної напруги із різними типовими зразками спотворення якості електроенергії.

На рис 4.6 наведено загальний алгоритм статистичної обробки реалізації ПЕ організації, який відповідає методиці, описаній в п. 2.3.2. Вхідними даними для статистичної обробки є масив дійсних чисел, що представляє реалізацію ПЕ організації. Довжина масиву та період дискретизації визначають інтервал часу обробки (як поточні так і тривалі інтервали). При цьому важлива роль відводиться оператору системи, який повинен діяти виходячи із власного досвіду, наприклад, при визначенні потенційної кількості шуканих точок розладу на основі апріорної інформації про особливості та режими роботи організації.

Загальний алгоритм методу сегментації PELT наведено на рис. 2.6. Деталі методу розкрито у [9, 19]. Алгоритм роботи методу “Гусениця-SSA” описано у публікаціях [12, 46].

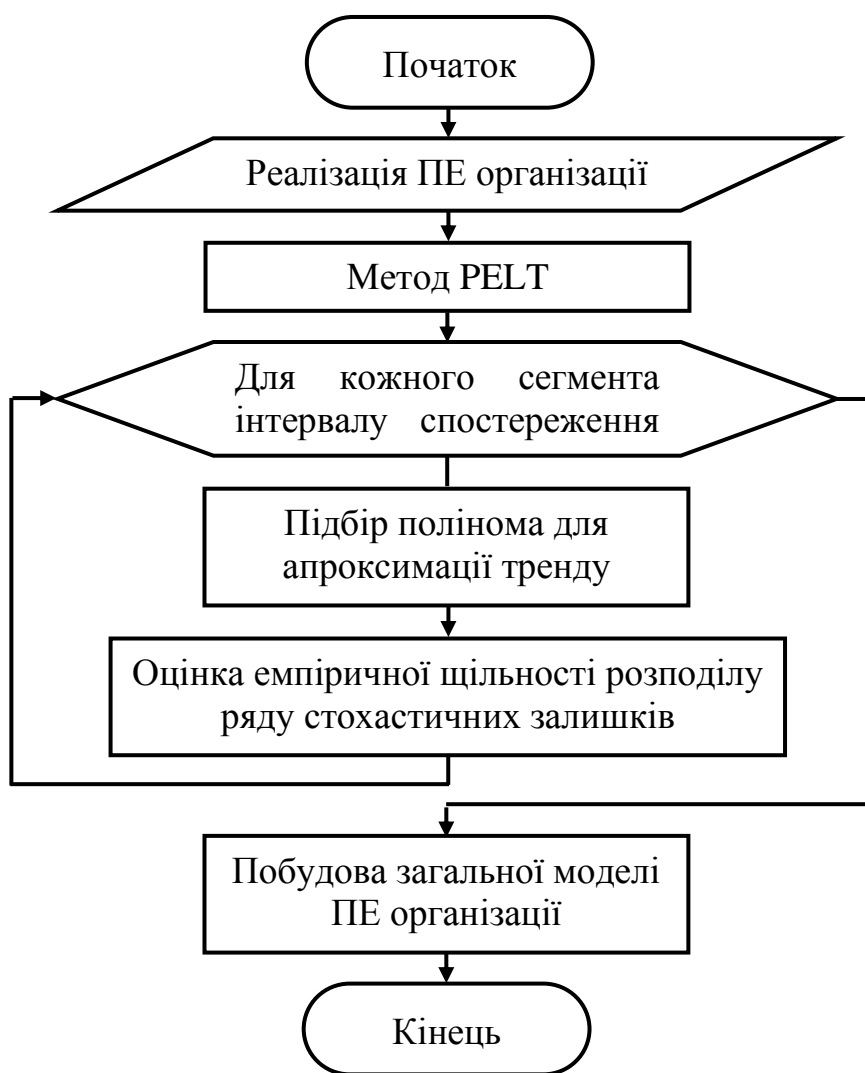


Рисунок 4.6 – Блок-схема алгоритму статистичної обробки реалізації ПЕ організації

4.3.3. Програмне забезпечення

В складі пропонованого АПК використано комплекс програмного забезпечення (ПЗ), зокрема:

- ПЗ для опитування цифрових лічильників та пристроїв моніторингу якості електроенергії (т. зв. програми-драйвери);

- ПЗ моделювання реалізацій електричної напруги із типовими зразками спотворення якості електроенергії в MATLAB;
- ПЗ реалізації алгоритму “Гусениця-SSA” (програма, доступна в мережі Інтернет за адресою www.gistatgroup.com/gus/);
- ПЗ статистичної обробки даних по електроспоживанню, реалізоване в MATLAB:
 - а) розбиття реалізації ПЕ на тривалому інтервалі спостереження на окремі сегменти (PELT метод);
 - б) статистичної обробки реалізацій, що відповідають окремим сегментам ПЕ (знаходження оцінок емпіричної щільності розподілу ряду стохастичних залишків, підбір полінома для апроксимації тренду).

Програмний код для статистичної обробки часового ряду ПЕ організації в середовищі MATLAB наведено в Додатку Е.

4.3.4. Бази даних

В складі пропонованого АПК використано наступні бази даних:

- БД з інформацією про миттєві значення величини електроспоживання, отриманої від електролічильників. В цю ж БД повинні зберігатися обчислені статистичні характеристики ПЕ на окремих сегментах, звіти тощо;
- БД з інформацією про якість електроенергії від пристроїв моніторингу якості на вході електромережі організації;
- БД змодельованих реалізацій електричної напруги із різними типовими зразками спотворення якості електроенергії для тестування засобів вимірювальної техніки.

В якості системи управління базами даних пропонується використання систем з відкритим вихідним кодом, наприклад, MySQL. Типову структуру пропонованих в роботі БД наведено в табл. 3.1 і табл. 4.1.

4.4. Висновки до четвертого розділу

На основі проведеного загального аналізу відомих АСОЕ моніторингу електроспоживання рівня організації, нормативного забезпечення та науково-технічних публікацій по тематиці дослідження, результатів, отриманих в попередніх розділах роботи, запропоновано один із можливих варіантів апаратно-програмного комплексу моніторингу штатного режиму електроспоживання рівня організації.

В основі інформаційного забезпечення АПК пропонується використати:

1. Алгоритми (методу “Гусениця-SSA” для декомпозиції реалізації ПЕ на компоненти, методу PELT для сегментації часового ряду ПЕ, алгоритми обробки реалізацій, що відповідають окремим сегментам процесу електроспоживання, алгоритми моделювання реалізацій електричної напруги);
2. Бази даних (для збереження результатів вимірювань процесу електроспоживання, значень характеристик якості електроенергії, результатів моделювання електричної напруги);
3. Програмне забезпечення (реалізує наведені вище алгоритми).

АПК моніторингу штатного режиму ПЕ організації повинен вирішувати дві взаємопов’язані задачі:

1. Контролювати величину електроспоживання топології електромережі;
2. Контролювати характеристики якості електроенергії на вході електромережі.

В якості пристрою вимірювання електроспоживання в складі апаратного забезпечення АПК пропонується використання сучасного електронного лічильника. Наведено підсистему вимірювання електроспоживання на основі лічильника “Енергія – 9” СТК3-05Q2Н4Mt, яка функціонує в корпусі №1 ТНТУ імені Івана Пулюя.

ВИСНОВКИ

У дисертації розв'язано актуальну наукову задачу математичного моделювання і статистичного оцінювання характеристик режиму електроспоживання організацій для забезпечення штатного режиму споживання електроенергії в топології електромережі організації, що має істотне значення для побудови та вдосконалення математичних моделей та методів статистичної обробки даних вимірювань як основи автоматизованих систем із функцією забезпечення штатного режиму електроспоживання організацій. Отримано наступні результати:

1. На основі аналізу стану та тенденцій розвитку методів забезпечення характеристик динаміки електроспоживання організацій з різною топологією мережі електроспоживання обґрунтована актуальність наукової задачі і визначені завдання для її розв'язання.
2. Запропонована та обґрунтована загальна багатокomпонентна стохастична модель з моментами розладу процесу електроспоживання, яка дозволила врахувати різні режими роботи топології електромережі і виділити фізично обґрунтовані трендову, періодичні і стохастичну компоненти процесу.
3. Отримав подальший розвиток метод створення моделей процесу електроспоживання організації на основі даних вимірювань з використанням сучасних методів декомпозиції і виявлення моментів розладу динаміки часових рядів, що дало можливість створювати конструктивні моделі процесу електроспоживання організації на поточних і тривалих інтервалах спостереження.
4. Запропонована і обґрунтована стохастична модель електричної напруги електропостачання з динамікою спотворень в часі амплітуди і частоти, що дало можливість врахувати різні варіанти спотворень характеристик напруги при розв'язанні задачі контролю якості електроенергії.

5. На основі розроблених моделей створено програмне забезпечення моніторингу штатного режиму процесу електроспоживання організації, сформовано базу даних вимірювань процесу електроспоживання.
6. Розроблено інформаційне забезпечення комп'ютерного моделювання реалізацій електричної напруги із спотвореннями якості електроенергії і сформовано базу даних реалізацій, яка може бути використана як тестова статистика для випробувань вимірювального обладнання характеристик якості електроенергії.
7. З метою верифікації результатів моделювання та підвищення ефективності вирішення задач моніторингу штатного режиму процесу електроспоживання організації запропоновано варіант відповідного апаратно-програмного комплексу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Abdi H., Williams L. J. (2010). Principal component analysis. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*. 2. pp. 433–459.
2. Aminikhanghanhi S., Cook D. J. A survey of methods for time series change point detection. *Knowl. Inf. Syst.* 51. 339–367 (2017).
3. Asteriou, Dimitros; Hall, Stephen G. (2011). "ARIMA Models and the Box–Jenkins Methodology". *Applied Econometrics (Second ed.)*. Palgrave MacMillan. pp. 265–286.
4. Babak S., Myslovych M., Sysak R. Computerized systems for remote monitoring and diagnostics of electric power facilities. *Computational Problems of Electrical Engineering*. 2015. Vol. 5. № 1. pp. 1–4.
5. Babak S., Myslovych M., Sysak R. Statistical diagnostics of electrotechnical equipment. Kyiv: Institute of electrodynamics of the NAS of Ukraine, 2015.
6. Best energy. Аналізатори параметрів електричної мережі – каталог. URL: <https://best-energy.com.ua/product/analyzers> (дата звернення 14.12.2018).
7. Dzubin, S., Matsiuk, O., Martsenko, S., Pryimak, M. The choice and substantiation of the mathematical model of electroretinogram in the form of linear stochastic process. *International journal of computing*. 2007. Vol. 6. № 3. pp. 95–99.
8. EN 50160:2010 Voltage characteristics of electricity supplied by public electricity networks.
9. Find abrupt changes in signal. URL: <https://www.mathworks.com/help/signal/ref/findchangepts.html> (дата звернення: 14.12.2017).
10. Gardner, William A., Antonio, N., Luigi, P. (2006). Cyclostationarity: Half a century of research. *Signal Processing*. Elsevier. 86. 4. pp. 639–697.
11. Golyandina, N., Stepanov, D., SSA-based approaches to analysis and forecast of multidimensional time series. In: Proceedings of the 5th St.Petersburg Workshop on Simulation. June 26-July 2. 2005. P. 293-298.

12. Golyandina, N.E., Nekrutkin, V.V., Zhigljavsky, A.A. Analysis of Time Series Structure: SSA and Related Techniques. Boca Raton: Chapman&Hall/CRC. 2000. 305 p.
13. Gotovych, V., Nazarevych, O., Shcherbak, L. Mathematical modeling of the regular-mode electric power supply and electric power consumption processes of the organization. *Scientific Journal of the TNTU*. № 3 (91) 2018. pp. 134-142.
14. Hilbert-Huang transform. URL: http://www.scholarpedia.org/article/Hilbert-Huang_transform (дата звернення: 26.07.2017).
15. IEC 61000-4-30:2008 Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-30: Testing and measurement techniques - Power quality measurement methods.
16. International Electrotechnical Commission. Steady state. URL: <http://www.electropedia.org/iev/iev.nsf/display?openform&ievref=103-05-01> (дата звернення: 22.10.2018).
17. International Electrotechnical Commission. Steady state of a system. URL: <http://www.electropedia.org/iev/iev.nsf/display?openform&ievref=603-02-06> (дата звернення: 22.10.2018).
18. Jackson, B., Sargle, J. D., Barnes, D., Arabhi, S., Alt, A., Gioumoussis, P., Gwin, E., Sangtrakulcharoen, P., Tan, L., and Tsai, T. T. (2005). An Algorithm for Optimal Partitioning of Data on an Interval” *IEEE Signal Processing Letters*. 12. pp. 105–108.
19. Kailath, T., Poor, H. (1998). Detection of stochastic processes. *IEEE Xplore: IEEE Transactions on Information Theory*. 44. 6. pp. 2230–2259.
20. Killick Rebecca, Fearnhead Paul, and Idris A. Eckley. Optimal detection of changepoints with a linear computational cost. *Journal of the American Statistical Association*. Vol. 107. No. 500. 2012. pp. 1590–1598. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/01621459.2012.737745>
21. Lawrance, A.J., Kottegoda, N.T. Stochasting modelling of riverflow time series. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*. 1977. Vol. 140. Issue 1. P. 1–47. doi: <http://dx.doi.org/10.2307/2344516>

22. Marques, C. A. F., Ferreira, J. A., Rocha, A., Castanheira, J. M., Melo-Goncalves, P., Vaz., N., Dias, J. M. (2005). Singular spectrum analysis and forecasting of hydrological time series. *In Meeting of the European-Union-of-Geosciences*. Vienna, Austria. pp. 1172–1179.
23. Nazarevych, O., Gotovych, V., Shymchuk, G. Information Technology for Monitoring of Municipal Gas Consumption, Based on Additive Model and Correlated for Weather Factors. *Journal of Information and Computing Science*. England, UK. 2016. pp.180–187.
24. Sharma S., Swayne D.A., Obimbo C. Trend analysis and change point techniques: a survey. *Energy, Ecology and Environment*. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s40974-016-0011-1>.
25. Shcherbak L., Leschyshyn Y., Nazarevych O., Shymchuk G., Revutskyi, E. (2016). The Methods of Change Point Detection and Statistical Estimating of Dynamic of the Noise Stochastic Signals Characteristics. *The seventh world congress “Aviation in the XXI-st century: safety in aviation and space technologies”*. 19-21 september. pp. 1.11.43–46.
26. Siegmund D., From Sequential Detection to Biology and Back. *Sequential Analysis. Design Methods and Applications*. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/07474946.2013.751834>.
27. Simulink. Simulation and Model-Based Design. URL: <http://www.mathworks.com/help/simulink/index.html> (дата звернення: 02.11.2017).
28. Truong C., Oudre L., Vayatis N. Selective review of offline change point detection methods. arXiv preprint arXiv:1801.00718, 2018.
29. Автоматизированные системы учета электропотребления для бытовых потребителей АСУЭ БП. URL: <http://www.energetikam.ru/main.mhtml?Part=4&PubID=1> (дата звернення: 27.02.2016).
30. АСКУЭ - контроль, учет и управление энергоресурсами: [Внедрение на предприятиях автоматизированной системы контроля и учета энергоресурсов

(АСКУЭ). Снижение энергопотребления]. Мир техники и технологий. 2005. № 11. С. 54-55.

31. Бабак В. П., Куц Ю. В., Щербак Л. М. та ін. Теоретичні основи інформаційно-вимірjuвальних систем : Підручник за редакцією чл.-кор.НАН України Бабака В. П. 2-ге видання. I доп.-К.:Ун-т новітніх технологій; НАУ. 2017. 496 с.

32. Баранов Г.Л., Марченко Б.Г., Приймак Н.В. Модель стохастически периодических электроэнергетических нагрузок и анализ графиков энергосистем. *Проблемы энергосбережения*. 1990. № 3. С. 60–65.

33. Баранов Г.Л., Марченко Б.Г., Приймак Н.В. Построение модели и анализ стохастически периодических нагрузок энергосистем. *Известия АН СССР. Энергетика и транспорт*. 1991. Т.37. №2. С. 12–21.

34. Баталов А.Г., Гриб О.Г., Васильченко В.И., Довгалюк О.Н. и др. Качество электрической энергии в системах электроснабжения: учеб. пособие. Харьков: ХНАГХ. 2006. 272 с.

35. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. М: Высшая школа. 1984.

36. Бідний М. С., Мелешко О.О., Щербак Т.Л. Основи методики дослідження циклічного електроспоживання у штатному режимі. *Зб. наук. праць «Моделювання та інформаційні технології»* Інститут проблем моделювання в енергетиці НАН України. К.: ПІМЕ. 2009. Вип. № 51. С. 45-53.

37. Бурячок Т.О., Буцьо З.Ю., Варламов Г.Б., Дубовської С.В. та ін. Енергетика: історія, сучасність і майбутнє. Електроенергетика та охорона навколишнього середовища. Функціонування енергетики в сучасному світі. Київ. 2011. 392 с.

38. Васильченко В.И., Виноградов А.А., Гриб О.Г., Довгалюк О.Н. и др. Контроль и учет электроэнергии в современных системах электроснабжения. Белгород: Изд-во БГТУ. 2011. 243 с.

39. Васильченко В.И., Виноградов А.А., Гриб О.Г., Довгалоук О.Н. и др. Современные приборы учета электрической энергии: учеб. пособие. Белгород: Изд-во БГТУ. Харьков: ХНАГХ. 2008. 139 с.
40. Волошко А.В., Готович В.А., Назаревич О.Б. Основы створення бази реалізацій сигналів для дослідження характеристик якості електроенергії. *Моделювання та інформаційні технології*. Збірник наукових праць Ін-т проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є.Пухова. 2016. В.77. С. 33-40.
41. Волошко А.В., Коцарь О.В. Система информационных энергосберегающих технологий. *Досвід. Впровадження енергозберігаючих технологій*. 2004. вип.1. С. 51–54.
42. Волошко А.В. Теорія та практика оцінювання якості електричної енергії в інтегрованих системах електропостачання: автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.01.02 / Київ, 2014. 40 с.
43. Впровадження систем АСКОЕ в житлових будинках Києва. URL: http://kyivenergo.ua/sistemi_askoe (дата звернення: 27.02.2016).
44. Впровадження систем обліку АСКОЕ/ЛОЗОД. URL: <http://eneko.ua/ua/p/vprovadzheniya-sistem-obliku-askoelozod> (дата звернення: 27.02.2016).
45. Гольдштейн Е.И., Сулайманов А.О., Гурин Т.С. Мощностные характеристики электрических цепей при несинусоидальных токах и напряжениях. ТПУ. Томск. 2009.
46. Голяндина Н.Э. Метод «Гусеница»-SSA: анализ временных рядов: Учеб. пособие. СПб: Изд-во СПбГУ. 2004. 76 с.
47. Гордеев В.И., Славенко Э.И. Расчеты электропотребления с применением теории массового обслуживания. *Электричество*. 1987. № 5. С. 31-35.
48. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.

49. ГОСТ 30804.4.7-2013 (IEC 61000-4-7:2009) Совместимость технических средств электромагнитная. Общее руководство по средствам измерений и измерениям гармоник и интергармоник для систем электроснабжения и подключаемых к ним технических средств.
50. ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
51. ГОСТ 33073-2014 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Контроль и мониторинг качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения
52. ГОСТ Р 54149-2010. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
53. Готович В.А., Марценко С.В. Застосування вейвлет-перетворення для оцінювання характеристик якості електроенергії. *Актуальні задачі сучасних технологій: збірник тез доповідей IV Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів, 25-26 листопада 2015 року*. Т.ІІ, 2015. С. 14–15.
54. Готович В.А., Марценко С.В. Інформаційно-вимірювальна система дослідження якості електроенергії. Матеріали II науково-технічної конференції. *Інформаційні моделі, системи та технології*. ТНТУ ім. І.Пулюя 25 квітня 2012 р. Тернопіль. С. 28.
55. Готович В.А., Марценко С.В. Мобільний апаратно-програмний пристрій моніторингу характеристик якості електроенергії. Матеріали IV науково-технічної конференції. *Інформаційні моделі, системи та технології*. ТНТУ ім. І.Пулюя 15-16 травня 2014 р. Тернопіль. С. 19.
56. Готович В.А., Марценко С.В. Статистична оцінка характеристик якості електричної енергії. *Моделювання: збірник тез доповідей XXXI науково-*

технічної конференції Ін-т проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є.Пухова, 11-12 січня 2012 р. К.: 2012. С. 31.

57. Готович В.А., Марценко С.В. Створення інформаційної системи поточного моніторингу якості електричної напруги на базі мікроконтролера. *Моделювання: збірник тез доповідей XXXII науково-технічної конференції Ін-т. проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є.Пухова, 9-10 січня 2013 р. К.: 2013. С. 10.*

58. Готович В.А., Марценко С.В., Щербак Л.М. Створення мобільного апаратно-програмного пристрою моніторингу характеристик якості електроенергії. Збірник наукових праць Ін-т проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є.Пухова. 2014. В.70. С. 98-105.

59. Готович В.А., Марценко С.В., Щербак Т.Л. Задача контролю динаміки характеристик якості електроенергії. *Моделювання та інформаційні технології*. Збірник наукових праць Ін-т проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є.Пухова 2013. В.70. С. 109-113.

60. Готович В.А. Статистичний аналіз процесу електроспоживання організації на тривалих інтервалах спостереження. *Моделювання та інформаційні технології*. Збірник наукових праць Ін-т проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є.Пухова. 2018. В.82. С. 27-33.

61. Готович В.А., Назаревич О.Б. Застосування методу «Гусениця-SSA» для аналізу річного часового ряду електронавантаження організації. *Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка: Зб. наук. пр. К.: "Век+". 2015. №63. С. 123–129.*

62. Готович В.А., Назаревич О.Б. Інформаційна технологія моніторингу якості електропостачання організації. Матеріали XIX наукової конференції ТНТУ ім. І.Пулюя 18-19 травня 2016. Тернопіль. С. 83-84.

63. Готович В.А., Назаревич О.Б., Шимчук Г.В. Комплексний моніторинг споживання енергоресурсів міста з використанням технології OLAP. *Актуальні задачі сучасних технологій: збірник тез доповідей V Міжнародної науково-*

технічної конференції молодих учених та студентів, 17-18 листопада 2016 року. Т.ІІ. 2016. С. 26.

64. Готович В.А., Назаревич О.Б., Шимчук Г.В., Щербак Т.Л. Статистичний аналіз процесу газоспоживання міста на річному інтервалі спостереження. *Моделювання та інформаційні технології*. Збірник наукових праць Ін-т проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є.Пухова. 2016. В.76. С. 44-51.

65. Готович В.А., Щербак Л.М. Застосування методу “Гусениця-SSA” для аналізу часового ряду електронавантаження. *Моделювання*: збірник тез доповідей XXXIII науково-технічної конференції Ін-т проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є.Пухова, 15-16 січня 2015 р. К.: 2015. С. 20.

66. Готович В.А., Щербак Л.М. Прецезійний мікропроцесорний пристрій оцифрування напруги. *Моделювання*: збірник тез доповідей XXXIII науково-технічної конференції Ін-т проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є.Пухова, 15-16 січня 2014 р. К.: 2014. С. 22.

67. Данилюк О.В., Бахор З.М., Міркевич Я.Д., Дурняк Б.І. Класифікація режимів електричних мереж для прийняття рішення під час оперативно-диспетчерського керування. Видавництво Львівської політехніки. 2011. С. 46-49.

68. ДБН В.2.5-23:2010 “Проектування електрообладнання об’єктів цивільного призначення”

69. ДСТУ EN 50160:2010 Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності

70. ДСТУ EN 50160:2014 (EN 50160:2010, IDT) “Національний стандарт України. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності”

71. ДСТУ ІЕС 61000-4-15:2008 Електромагнітна сумісність. Частина 4-15. Методики випробування та вимірювання. Флікерметр. Технічні вимоги до функціонування та конструкції (ІЕС 61000-4-15:2003, IDT)

72. ДСТУ ІЕС 61000-4-30:2010. Електромагнітна сумісність. Частина 4-30. Методи випробування та вимірювання. Вимірювання показників якості електричної енергії (ІЕС 61000-4-30:2008, IDT)
73. ДСТУ ІЕС 60050-161:2003 Словник електротехнічних термінів. Глава 161, Електромагнітна сумісність (ІЕС 60050-161:1990, IDT)
74. Економіка енергетики : підручник / за ред. д.е.н., проф. Л.Г. Мельника, д.е.н., проф. І.М. Сотник. Суми: Університетська книга, 2015. 378 с.
75. Електролічильники: відповіді на запитання споживачів. Електронний лічильник. Індукційний лічильник. URL: http://kyivenergo.ua/ckeditor_assets/dd-ee/2013/elektrolichylnyky_rogivniannia.pdf (дата звернення: 5.12.2017).
76. Энергорынок и тарифная политика Украины в сфере электроэнергетики. Киев. 2000. 119 с.
77. Єрмілов С.Ф. Енергетична стратегія України на період до 2030 року: проблемні питання змісту та реалізації: [Енергозабезпечення, енергоефективність в Україні]. Енергоінформ. 2006. № 48 (28.11-04.12). С. 3-4.
78. Жаркин А.Ф., Новский В.А., Палачев С.А. Значение уровней электромагнитной совместимости в установлении норм качества напряжения для магистральных сетей Украины. *Технічна електродинаміка. Темат. вип. «Силова електроніка та енергоефективність»*. 2011. Ч. 2. С. 342-351.
79. Жаркин А.Ф., Новский В.А., Палачев С.А. Нормативно-правовое регулирование качества электрической энергии. Анализ украинских и европейских законодательных актов и нормативно-технических документов. К.: Ин-т электродинамики НАН Украины. 2010. 167 с.
80. Жежеленко И.В., Саенко Ю.Л. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях. 3-е изд., перераб. и доп. Москва. 2000. 252 с.
81. Загальні технічні вимоги до Автоматизованої системи комерційного обліку Оптового ринку електричної енергії України. Ч. I. Система збору, обробки та обміну даними комерційного обліку електричної енергії в Оптовому ринку.

Додаток 7.4 до Договору між Членами Оптового ринку електричної енергії України. Затверджено Радою Оптового ринку електричної енергії України, протокол від 09 січня 2003 року № 7 (із змінами і доповненнями).

82. Закон України про ринок електричної енергії. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-1998> (дата звернення: 5.12.2018).

83. Ивахненко А.Г., Зайченко Ю.П., Димитров В.Д. Принятие решений на основе самоорганизации. М. : «Сов. радио». 1976. 280 с.

84. Інструкція про порядок комерційного обліку електричної енергії. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va349227-98> (дата звернення: 07.12.2017).

85. Кириленко О.В., Блінов І.В., Парус Є.В. Балансуючий ринок електроенергії України та його математична модель. *Технічна електродинаміка*. 2011. № 2. С. 36-42.

86. Красильников О.І., Марченко Б.Г., Приймак М.В. Процеси з незалежними періодичними приростами і періодичні білі шуми. *Відбір і обробка інформації*. 1996. Вип. 10(86). С. 22-27.

87. Кузнецов В.Г. Проблеми оптимального функціонування систем електропостачання. *Технічна електродинаміка*. 1997. №1. С. 21-24.

88. Кобец Б.Б., Волкова И.О. Smart Grid. Концептуальные положения. *Енергорынок*. 2010. № 3. С. 66–72.

89. Лежнюк П.Д., Шуле Ю.А. Визначення і прогнозування екстремальних навантажень електротехнічних комплексів в умовах ризику та невизначеності. *Вісник ВПІ*. 2011. № 4. С. 107–110.

90. Лупенко С.А. Теоретичні основи моделювання та опрацювання циклічних сигналів в інформаційних системах : монографія. Львів : “Магнолія 2016”, 2016. 344 с.

91. Маркевич К., Омельченко В. Глобальні енергетичні тренди крізь призму національних інтересів України. Аналітична доповідь. Київ: Заповіт. 2016. 118 с.

92. Мартинюк Г., Щербак Л. Шумові сигнали та їх характеристики: монографія. Lambert Academic Publishing, 2018. 102 с.

93. Марценко С.В. Задачі моніторингу функціонування електромережі підприємства. Матеріали XXVII наук.-техн. конф. молодих вчених і спеціалістів, Київ, 10-11 січ. 2008 р. Ін-т проблем моделюв. в енерг. К. 2008. С. 25–26.
94. Марценко С.В. Математичне моделювання та статистичні методи обробки даних вимірювань в задачах моніторингу електронавантаження: автореф. дис. ... к-та. техн. наук : 01.05.02 / Тернопіль, 2011. 22 с.
95. Марценко С. Структура та інформаційна параметризація бази даних електроспоживання навчального закладу. *Вісник Терноп. держ. техн. ун-ту*. 2008. № 4. С. 177-182.
96. Марченко Б.Г., Осадчий Е.П., Приймак Н.В. Линейная периодически коррелированная модель виброакустических шумов подшипников качения электрических машин. *Надежность и диагностика электрических машин*. Киев. 1981. С. 77–81.
97. Марченко Б.Г. Лінійні періодичні процеси. *Праці Ін-ту електродинаміки НАНУ*. К.: ІЕД НАНУ. 1999. С. 172-185.
98. Марченко Б.Г., Щербак Л.М. Основи теорії вимірювань. *Праці ін-туту електродинаміки НАН України. Електроенергетика*. К. 1999. С. 221-230.
99. Марченко Б.Г., Приймак М.В. Побудова моделі та аналіз стохастично періодичних навантажень енергосистем. *Праці Ін-ту електродинаміки*. Київ: ІЕД НАН України. 1999. Вип. 1. С. 129–153.
100. Мацюк О.В., Приймак М.В. Моделі газонавантаження з урахуванням стохастичної періодичності та можливості їх статистичного аналізу. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2003. № 2(7). С. 64–68.
101. Мулик Н.В. Математична модель та метод прогнозу газоспоживання з урахуванням циклічності: автореф. дис. ... к-та. техн. наук : 01.05.02 / Тернопіль, 2006. 19 с.
102. Надійність електроенергетичних систем і електричних мереж : підручник / А. В. Журахівський, С. В. Казанський, Ю. П. Матеєнко, О. Р. Пастух. Київ. : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2017. 456 с.

103. Назаревич О.Б. Інформаційна технологія моніторингу газоспоживання міста: автореф. дис. ... к-та. техн. наук : 05.13.06 / Тернопіль, 2015. 21 с.
104. Ожегов А.Н. Системы АСКУЭ: Уч. пособие. Киров: Изд-во ВятГУ. 2006. 102 с.
105. Орнатський Д.П., Щербак Л.М., Готович В.А., Кармазін О.В. Структура автономного засобу контролю характеристик якості електроспоживання. Матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції. *Avia-2013*. НАУ 21-23 травня 2013 р. Т.І. К.: 2013. С. 1.57–1.60.
106. Особливі режими електричних мереж : навчальний посібник / Г.Г. Півняк, А.К. Шидловський, Г.А. Кігель, А.Я. Рибалко, О.І. Хованська. Д.: Національний гірничий університет, 2009. 376 с.
107. Правила улаштування електроустановок. П'яте видання, перероблене й доповнене. Харків : Форт. 2014. 793 с.
108. Праховник А.В., Жаркін А.Ф., Новський В.О., Гриб О.Г., Калінчик В.П., Карасінський О.Л., Довгалюк О.М., Лазуренко О.П., Ходаківський А.М., Васильченко В.І., Светелік О.Д. Автоматизовані системи обліку та якості електричної енергії в оптовому ринку. / Під ред. Гриба О.Г. Харків: ПП «Ранок-НТ». 2012. 516 с.
109. Праховник А.В., Попов В.А., Иншеков Е.М. [та ін.] Енергетика сталого розвитку регіонів. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2008. № 2. С. 64–69.
110. Приймак М.В. Лінійні періодичні процеси і їх моделювання на ЕОМ. *Вісник Терноп. держ. техн. ун-ту*. 1998. Т.3. С. 111–114.
111. Приймак М.В., Мацюк О.В., Маєвський О.В., Прошин С.Ю. Моделі та методи дослідження систем масового обслуговування марківського типу в умовах стохастичної періодичності та їхнє застосування в енергетиці. *Технічна електродинаміка*. 2014. Випуск 2. С. 11-16.

112. Приймак М.В. Перевірка відповідності моделі стохастично періодичних енергонавантажень методом статистичного моделювання. *Вісник Тернопільського держ. техн. ун-ту*. 1999. Том 4. № 4. С. 77-81.
113. Приклад реалізації автоматизованої системи контролю та комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ). URL: <http://www.svaltera.ua/press-center/articles/4379.php> (дата звернення: 01.03.2016).
114. Про затвердження Кодексу комерційного обліку електричної енергії. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0311874-18> (дата звернення: 08.12.2018).
115. Про затвердження Концепції побудови автоматизованих систем обліку електроенергії в умовах енергоринку. URL: http://uazakon.com/documents/date_7z/pg_ihgksi/index.htm (дата звернення: 01.03.2016).
116. Про затвердження Правил користування електричною енергією. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0417-96> (дата звернення: 07.12.2017).
117. Про затвердження Правил роздрібного ринку електричної енергії. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0312874-18> (дата звернення: 27.11.2018).
118. П'ятого квітня у Тернополі завершиться опалювальний сезон. URL: <https://komun.te.ua/пятого-квітня-у-тернополі-завершиться/> (дата звернення: 13.05.2018).
119. Реєстр головних зразків автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії, які пройшли державну метрологічну атестацію. URL: http://www.dndi-systema.lviv.ua/ukr/?topic=direction_metrology_reestr (дата звернення: 17.10.2015).
120. Сегеда М.С. Електричні мережі та системи. Л.: Видавн. нац. ун-ту «Львівська політехніка». 2007. 488 с.
121. Система балансування енергії SYNDIS Енергія. URL: <http://www.mikronika.pl/ru/products/systems/dedyk-ru/gosp-energia-ru> (дата звернення: 13.06.2018).

122. Система оценки качества энергии SYNDIS PQ. URL: <http://www.mikronika.pl/ru/products/systems/dedyk-ru/oceny-jakosci-ru> (дата звернення: 13.06.2018).
123. Стогній Б.С. Технологічний базис інтелектуальної об'єднаної енергетичної системи України. *Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України*: Зб. наук. пр. Спец. випуск. Ч.1. К.: ІЕД НАНУ. 2011. С. 20-31.
124. Стогній Б.С., Кириленко О.В., Праховник А.В., Денисюк С.П. Еволюція інтелектуальних електричних мереж та їхні перспективи в Україні. *Технічна електродинаміка*. 2012. № 5. С. 52–67.
125. Стогній Б.С., Кириленко О.В., Денисюк С.П. Інтелектуальні електричні мережі електроенергетичних систем та їхнє технологічне забезпечення. *Технічна електродинаміка*. 2010. № 6. С. 44–50.
126. Стогній Б.С., Кириленко О.В., Праховник А.В., Денисюк С.П. Інтелектуальні електричні мережі: світовий досвід і перспективи України. *Пр. Ін-ту електродинаміки НАН України*: Зб. наук. пр. Спец. випуск. Ч.1. Київ: ІЕД НАНУ. 2011. С. 5–20.
127. Учет энергоресурсов для промышленных предприятий. URL: <http://pes.com.ua/uchet-energoresursov-dlya-promyshlennyh-predpriyatij> (дата звернення: 11.04.2014).
128. У Тернополі розпочався опалювальний сезон. URL: <https://komun.te.ua/y-ternopoli-rozпочався-опалювальний/> (дата звернення: 13.05.2018).
129. Харьков-прибор. Анализаторы качества электроэнергии и регистраторы событий в электросетях. URL: <http://pribory.com/products/electricity-network-control/electricity-network-control-power-quality-analizers/> (дата звернення 22.12.2018).
130. Цена низкого качества электроэнергии. URL: http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=2385 (дата звернення: 27.12.2013).
131. Централизованная система мониторинга и диагностики. URL: <http://www.enera.com.ua/solutions/Centralized-CFM> (дата звернення: 27.12.2013).

132. Черноусенко О.Ю. Стан енергетики України та результати модернізації енергоблоків ТЕС. *Проблеми загальної енергетики*. 2014. Вип. 4. С. 20-28.
133. Черных И.В. Simulink: Инструмент моделирования динамических систем. URL: <http://matlab.exponenta.ru/simulink/book1/index.php> (дата звернення: 11.02.2016).
134. Шакарян Ю.Г., Новиков Н.Л. Технологическая платформа Smart Grid (основные средства). *Энергоэксперт*. 2009. № 4. С. 42–49.
135. Шеметов А.Н. Надёжность электроснабжения : учеб. пособие / А.Н. Шеметов. Магнитогорск : ГОУ ВПО «МГТУ им. Г. И. Носова». 2006. – 141 с.
136. Шпак О.Л., Луців П.Д., Калінчик В.П., Шиянов О.О. Автоматизована система комерційного обліку електроенергії ПАТ «Хмельницькобленерго». *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2014. №2. С. 112-117.
137. Шидловский А.К., Вагин Г.Я., Куренный Э.Г. Расчеты электрических нагрузок систем электроснабжения промышленных предприятий. М.: Энергоатомиздат. 1992. 224 с.
138. Шидловська Н.А., Васецький Ю.М., Мислович М.В., Твердяков В.В. Дослідження електромагнітних процесів у вузлах електроенергетичного обладнання та їх використання для підвищення його надійності. *Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України*. 2015. Вип. 41. С. 96-110.
139. Шидловський А.К. [та ін.] Забезпечення електромагнітної сумісності в локальних електричних мережах. *Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Сер.: Нові рішення в сучасних технологіях*: зб. наук. пр. Харків : НТУ "ХПІ". 2018. № 26 (1302). т. 1. С. 174-183.
140. Щелкалин В.Н. От идей методов "Гусеница"-SSA и Бокса-Дженкинса до декомпозиционного метода прогнозирования и декомпозиционной ИНС. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий. Математика и*

кибернетика – фундаментальные и прикладные аспекты. 2011 №4/4(52). С. 59-69.

141. Щелкалин В.Н., Тевяшев А.Д. Трендовый и декомпозиционный подходы прогнозирования процессов потребления электроэнергии. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий. Математика и кибернетика – фундаментальные и прикладные аспекты.* 2011 №5/4(53). С. 30-37.

142. Щербак Л.М., Готович В.А., Марценко С.В. Поточний моніторинг характеристик якості електроенергії. Збірка тез Шостої Міжнародної науково-практичної конференції «Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2013)» (27-29 травня 2013р., Київ). К.: НАУ. 2013. С. 47–48.

143. Щербак Т.Л. Інформаційна технологія діагностики динаміки процесів електроспоживання організацій у штатному і нештатному режимах: автореф. дис. ... к-та техн. наук : 05.13.06 / Київ, 2010. 20 с.

144. Щербак Т.Л., Нечипорук В.В. Метод стаціонаризації випадкових періодичних процесів на прикладі циклічного процесу електроспоживання. *Зб. наук. праць «Моделювання та інформаційні технології».* Інститут проблем моделювання в енергетиці НАН України. К.: ІПМЕ. 2009. Вип. №50. С. 43-47.

145. Щербак Т.Л. Методологія створення статистичних моделей електроспоживання для штатного і нештатного режимів їх функціонування. *Зб. наук. праць «Моделювання та інформаційні технології».* Інститут проблем моделювання в енергетиці НАН України. К.: ІПМЕ, 2007. Вип. №46. С. 31-39.

146. Щербак Т.Л. Моделі і задачі досліджень циклічного процесу електроспоживання. *Зб. наук. праць «Моделювання та інформаційні технології».* Інститут проблем моделювання в енергетиці НАН України. К.: ІПМЕ. 2009. Вип. №50. С. 49-56.

147. Щербак Т.Л., Бідний М.С., Мелешко О.О. Основи методики дослідження циклічного електроспоживання у штатному режимі. *Зб. наук. праць «Моделювання та інформаційні технології».* Інститут проблем моделювання в енергетиці НАН України. К.: ІПМЕ. 2009. Вип. №51. С. 45-53.

148. Яворський Б.І., Лецишин Ю.З. Метод визначення точки розладки ритмокардіосигналу. *Комп'ютерні науки та інформаційні технології. Вісник Національного університету "Львівська політехніка"*. № 694. Львів: Національний університет "Львівська політехніка". 2011. С.107-113.
149. Яким вимогам повинен відповідати прилад обліку електроенергії, який встановлюється у споживача? URL: <http://oblenergo.cv.ua/pytannya-vidpovidi/yakym-vumoham-povynen-vidpovidaty-prylad-obliku-elektroenerhiyi-yakuu-vstanovlyuyetsya-u-spozhyvacha> (дата звернення: 03.02.2015).

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Список публікацій здобувача

Праці, в яких опубліковано основні наукові результати:

1. Gotovych, V., Nazarevych, O., Shcherbak, L. Mathematical modeling of the regular-mode electric power supply and electric power consumption processes of the organization. *Scientific Journal of the TNTU*. № 3 (91) 2018. Pp. 134–142. **(індексується в Index Copernicus, Google Scholar)**.
2. Nazarevych, O., Gotovych, V., Shymchuk, G. Information Technology for Monitoring of Municipal Gas Consumption, Based on Additive Model and Correlated for Weather Factors. *Journal of Information and Computing Science*. England, UK. 2016. Pp. 180–187. **(індексується в Google Scholar)**.
3. Волошко А. В., Готович В. А., Назаревич О. Б. Основи створення бази реалізацій сигналів для дослідження характеристик якості електроенергії. *Моделювання та інформаційні технології*. Збірник наукових праць Ін-т проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова. 2016. В. 77. С. 33–40. **(індексується в Google Scholar)**.
4. Готович В. А., Марценко С. В., Щербак Л. М. Створення мобільного апаратно-програмного пристрою моніторингу характеристик якості електроенергії. Збірник наукових праць Ін-т проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова. 2014. В. 70. С. 98–105. **(індексується в Google Scholar)**.
5. Готович В. А., Марценко С. В., Щербак Т. Л. Задача контролю динаміки характеристик якості електроенергії. *Моделювання та інформаційні технології*. Збірник наукових праць Ін-т проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова 2013. В. 70. С. 109–113. **(індексується в Google Scholar)**.
6. Готович В. А., Назаревич О. Б. Застосування методу «Гусениця-SSA» для аналізу річного часового ряду електронавантаження організації. *Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка: Зб. наук. пр. К.: "Век+"*. 2015. № 63. С. 123–129. **(індексується в DOAJ, РИНЦ, Google Scholar)**.

7. Готович В. А., Назаревич О. Б., Шимчук Г. В., Щербак Т. Л. Статистичний аналіз процесу газоспоживання міста на річному інтервалі спостереження. *Моделювання та інформаційні технології*. Збірник наукових праць. Ін-т проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова. 2016. В. 76. С. 44–51. **(індексується в Google Scholar)**.
8. Готович В. А. Статистичний аналіз процесу електроспоживання організації на тривалих інтервалах спостереження. *Моделювання та інформаційні технології*. Збірник наукових праць. Ін-т проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова. 2018. В. 82. С. 27–33. **(індексується в Google Scholar)**.

Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

9. Готович В. А., Марценко С. В. Застосування вейвлет-перетворення для оцінювання характеристик якості електроенергії. *Актуальні задачі сучасних технологій*: збірник тез доповідей IV Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів, 25-26 листопада 2015 року. Т. II, 2015. С. 14–15.
10. Готович В. А., Марценко С. В. Інформаційно-вимірювальна система дослідження якості електроенергії. Матеріали II науково-технічної конференції. *Інформаційні моделі, системи та технології*. ТНТУ ім. І. Пулюя 25 квітня 2012 р. Тернопіль. С. 28.
11. Готович В. А., Марценко С. В. Мобільний апаратно-програмний пристрій моніторингу характеристик якості електроенергії. Матеріали IV науково-технічної конференції. *Інформаційні моделі, системи та технології*. ТНТУ ім. І. Пулюя 15-16 травня 2014 р. Тернопіль. С. 19.
12. Готович В. А., Марценко С. В. Статистична оцінка характеристик якості електричної енергії. *Моделювання*: збірник тез доповідей XXXI науково-технічної конференції. Ін-т проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова, 11-12 січня 2012 р. К.: 2012. С. 31.
13. Готович В. А., Марценко С. В. Створення інформаційної системи

поточного моніторингу якості електричної напруги на базі мікроконтролера. *Моделювання*: збірник тез доповідей XXXII науково-технічної конференції. Ін-т проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова, 9-10 січня 2013 р. К.: 2013. С. 10.

14. Готович В. А., Назаревич О. Б. Інформаційна технологія моніторингу якості електропостачання організації. Матеріали XIX наукової конференції ТНТУ ім. І. Пулюя 18-19 травня 2016. Тернопіль. С. 83–84.

15. Готович В. А., Назаревич О. Б., Шимчук Г. В. Комплексний моніторинг споживання енергоресурсів міста з використанням технології OLAP. *Актуальні задачі сучасних технологій*: збірник тез доповідей V Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів, 17-18 листопада 2016 року. Т. II. 2016. С. 26.

16. Готович В. А., Щербак Л. М. Застосування методу “Гусениця-SSA” для аналізу часового ряду електронавантаження. *Моделювання*: збірник тез доповідей XXXIII науково-технічної конференції. Ін-т проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова, 15-16 січня 2015 р. К.: 2015. С. 20.

17. Готович В. А., Щербак Л. М. Прецедійний мікропроцесорний пристрій оцифрування напруги. *Моделювання*: збірник тез доповідей XXXIII науково-технічної конференції. Ін-т проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Є. Пухова, 15-16 січня 2014 р. К.: 2014. С. 22.

18. Орнатський Д. П., Щербак Л. М., Готович В. А., Кармазін О. В. Структура автономного засобу контролю характеристик якості електроспоживання. Матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції. *Авіа-2013*. НАУ 21-23 травня 2013 р. Т. I. К.: 2013. С. 1.57–1.60.

19. Щербак Л. М., Готович В. А., Марценко С. В. Поточний моніторинг характеристик якості електроенергії. Збірка тез Шостої Міжнародної науково-практичної конференції «*Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2013)*» (27-29 травня 2013 р., Київ). К.: НАУ. 2013. С. 47–48.

ДОДАТОК Б

**Акт впровадження результатів дисертаційної роботи у навчальний процес
ТНТУ імені Івана Пулюя**

"ЗАТВЕРДЖУЮ"

Перший проректор
ТНТУ ім. І Пулюя

Митник М.М.

20.11 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

**результатів дисертаційної роботи у навчальний процес
Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя**

Ми, що нижче підписалися, представники Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, склали дійсний акт про те, що результати, отримані в дисертаційній роботі асистента кафедри комп'ютерних наук Готовича Володимира Анатолійовича на тему "Математичне моделювання і статистичне оцінювання характеристик штатного режиму електроспоживання організації" впроваджено у навчальний процес кафедри комп'ютерних наук факультету комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії (ФІС) Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

| Об'єкт впровадження | Форма впровадження | Ефект від впровадження |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| 1. Загальна векторна випадкова модель з розладками та конструктивна модель процесу електроспоживання організації 2. Методика моделювання реалізації електричної напруги з різними спотвореннями якості електроенергії. | Використовуються в навчальному процесі в якості теоретичного матеріалу лекцій курсу "Моделювання систем", за спеціальністю професійної підготовки бакалаврів 122 "Комп'ютерні науки". | Розширення матеріалу курсу "Моделювання систем". |
| 1. Структура бази даних для збереження результатів моделювання електричної напруги 2. Структура бази даних для збереження даних про електроспоживання організації. | Використовуються в навчальному процесі в якості теоретичного матеріалу лекцій курсу "Організація баз даних та знань", за спеціальністю професійної підготовки бакалаврів 122 "Комп'ютерні науки та інформаційні технології". | Розширення матеріалу курсу "Організація баз даних та знань". |
| 1. Методика статистичної обробки часового ряду процесу електроспоживання організації на річному інтервалі спостереження з використанням методів "Гусениця-SSA" та PELT. | Використовується в навчальному процесі в якості теоретичного матеріалу лекцій курсу "Інтелектуальний аналіз даних", за спеціальністю професійної підготовки бакалаврів 122 "Комп'ютерні науки". | Розширення матеріалу курсу "Інтелектуальний аналіз даних". |

Начальник навчального відділу

Ткаченко І.Г.

Декан ФІС

Баран І.О.

Завідувач кафедри
комп'ютерних наук

Боднарчук І.О.

ДОДАТОК В

Акт впровадження результатів дисертаційної роботи у ТзОВ
Тернопільське конструкторське бюро радіозв'язку «Стріла»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Директор ТОВ
Тернопільське
КБ радіозв'язку «Стріла»

Рафалюк О.О.
2019 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

- Об'єкт впровадження:** загальна багатокомпонентна математична модель процесу електроспоживання підприємств та організацій. Дана модель уможливило побудову практичної моделі процесу електроспоживання, що враховує фактори формування та особливості процесу електроспоживання конкретного споживача і, базуючись на річній, квартальній та місячній статистиках електроспоживання, придатна для подальшої розробки методів прогнозування споживання електроенергії.
- Ким запропоновано, виконавці, адреса:** асистент Готович Володимир Анатолійович, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, кафедра комп'ютерних наук, м. Тернопіль, вул. Руська, 56, 46001, Україна.
- Джерело інформації:** матеріали дисертації Готовича Володимира Анатолійовича на тему "Математичне моделювання і статистичне оцінювання характеристик штатного режиму електроспоживання організацій", підготовленої за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.
- Де впроваджено:** ТОВ "Тернопільське КБ радіозв'язку "Стріла", 46023, м. Тернопіль, вул. 15 Квітня, 6.
- Термін впровадження:** лютий 2018 р. – січень 2019 р.
- Висновок по впровадженню:** використання запропонованої моделі дозволяє розробити методи прогнозування для тижневого, місячного, квартального споживання електроенергії в умовах функціонування енергоринку України.
Даний акт не є підставою для фінансових розрахунків.

Головний інженер
ТОВ ТКБР "Стріла"



Піскун С.О.

ДОДАТОК Д

Нормативно-правове забезпечення споживання електроенергії в Україні

Розробкою стандартів в сфері електроенергетики в світі займається Міжнародна електротехнічна комісія (МЕК; англ. *International Electrotechnical Commission, IEC*) та Інститут інженерів з електротехніки та електроніки (англ. *Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE*).

В основі нормативно-правового забезпечення, яким регулюється споживання електроенергії в Україні, є:

- Закон України “Про електроенергетику”;
- Закон України “Про енергозбереження”;
- Концепція енергетичної стратегії України до 2030 року.
- Правила улаштування електроустановок [107];
- Правила користування електричною енергією [116];
- Постанови і розпорядження Кабінету Міністрів України по електроенергетиці.

У рамках виконання зобов'язань, взятих Україною на себе після підписання Договору про заснування Енергетичного Співтовариства та Угоди про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони, в Україні на протязі 2017/2019 років відбувається комплекс реформ в електроенергетиці, спрямованих на перехід до моделі ринку електроенергії. Законодавчою базою цих процесів є ряд нормативно-правових документів, зокрема:

- Закон України про ринок електричної енергії;
- Кодекс комерційного обліку електричної енергії;
- Правила ринку;
- Кодекс системи передачі;
- Правила роздрібного ринку електричної енергії;

- Правила ринку «на добу наперед» та внутрішньодобового ринку.

До нормативної бази по створенню АСОЕ належать такі основні документи:

- ГОСТ 34.602-89 “Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Техническое задание на создание автоматизированной системы”;
- Технічні та організаційні вимоги до побудови автоматизованих систем обліку електричної енергії на об'єктах НЕК Укренерго;
- Загальні технічні вимоги до Автоматизованої системи комерційного обліку Оптового ринку електричної енергії України. Ч.І. Система збору, обробки та обміну даними комерційного обліку електричної енергії в Оптовому ринку;
- Загальні технічні вимоги до Автоматизованої системи комерційного обліку Оптового ринку електричної енергії України. Ч.ІІ. Система точного часу та підсистема забезпечення синхронності вимірювань Автоматизованої системи комерційного обліку Оптового ринку електроенергії України;
- Автоматизовані системи комерційного обліку електроенергії суб'єктів Оптового ринку електричної енергії. Загальні вимоги.

У зв'язку із неминучими процесами глобалізації, потребами налагодження співпраці між енергосистемами України та країн Європи, на сьогоднішній день відбувається процес зближення енергосистеми України та ЄС. Зокрема, в сфері стандартизації, Держстандарт України та ряд відповідних організацій поступово вводять нові стандарти, розроблені на основі відповідних стандартів, діючих в ЄС. Наприклад діючим є стандарт ДСТУ EN 50160:2014 (EN 50160:2010, IDT) “Національний стандарт України. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності” [70], розроблений на основі відповідного європейського стандарту EN 50160:2010 “Voltage characteristics of electricity supplied by public electricity networks” [8]. В цілому, для стандартів нового покоління характерним є розділення означень понять характеристик якості з одної сторони, та методів їх вимірювання з іншої, по окремих стандартах.

Тоді як застарілий стандарт ГОСТ 13109-97 поєднував в собі як одне так і інше. Також варто сказати про те, що нові стандарти вводять дещо жорсткіші вимоги до процесу вимірювання та процесу моніторингу якості електроенергії.

В цілому, на сьогоднішній день основними стандартами, які стосуються якості електроенергії та діють на території України, є:

- ДСТУ ІЕС 61000-4-30:2010 (ІЕС 61000-4-30:2008, ІДТ) “Електромагнітна сумісність. Частина 4-30. Методи випробування та вимірювання. Вимірювання показників якості електричної енергії” [72];
- ГОСТ Р 54149-2010 “Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения” [52];
- ДСТУ EN 50160:2014 (EN 50160:2010, ІДТ) “Національний стандарт України. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності” [70];
- ГОСТ 33073-2014 “Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Контроль и мониторинг качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения” [51];
- ДСТУ ІЕС 60050-161:2003 (ІЕС 60050-161:1990, ІДТ) “Словник електротехнічних термінів. Глава 161, Електромагнітна сумісність” [73];
- ДСТУ ІЕС 61000-4-15:2008 (ІЕС 61000-4-15:2003, ІДТ) “Електромагнітна сумісність. Частина 4-15. Методики випробування та вимірювання. Флікерметр. Технічні вимоги до функціонування та конструкції” [71].

Варто зауважити, що при проведенні дослідження конкретної мережі на предмет оцінки якості електроенергії, нормативні документи вимагають проводити безперервні вимірювання протягом періоду часу, кратного одному тижню. Мінімальним періодом вимірювань є інтервал часу тривалістю один тиждень.

ДОДАТОК Е

**Текст програми статистичної обробки часового ряду ПЕ організації в
середовищі MATLAB**

```

% вихідні дані - результати розкладу реалізації ПЕ методом Гусениця-SSA,
% імпортовані в середовище MATLAB:
% d2016 - масив розмірності 8784*1 типу double, містить реалізацію ПЕ організації
% на річному інтервалі спостереження із кроком дискретизації 1 год.
% zalyshok2016 - масив розмірності 8784*1 типу double, містить часовий ряд, який
% відповідає стохастичній компоненті
% trend2016 - масив 8784*1 розмірності типу double, містить часовий ряд, який
% відповідає трендовій компоненті ПЕ
% kolyvna1Doba2016 - масив розмірності 8784*1 типу double, містить часовий ряд,
% який відповідає компоненті ПЕ із періодом коливання 1 доба
% kolyvna1Week2016 - масив розмірності 8784*1 типу double, містить часовий ряд,
% який відповідає компоненті ПЕ із періодом коливання 1 тиждень
% kolyvna_3_2016, kolyvna_4_2016 та kolyvna_5_2016 - масиви розмірності 8784*1
% типу double, містять часові ряди, які відповідають коливним компонентам ПЕ

% пошук точок розладу на основі обробки стохастичної компоненти методом PELT
[q,r]=findchangepts(zalyshok2016,'Statistic','rms','MaxNumChanges',6)
q =
    1592 % індекси точок розладу в масиві zalyshok2016
    1770
    2347
    4359
    5986
    6895

r =
    1.3064e+05

% апроксимація тренду. Обчислення коефіцієнтів апроксимуючих поліномів
% на інтервалі 1
trend2016_1 = trend2016(1:1591);
time1=linspace(1,1591,1591);
time1=time1.';
p1 = polyfit(time1,trend2016_1,3);
approx1 = polyval(p1,time1);
plot(time1,trend2016_approx1);

```

```
% на інтервалі 2
trend2016_2 = trend2016(1592:1769);
time2=linspace(1592,1769,178);
time2=time2.';
p2 = polyfit(time2,trend2016_2,1);
approx2 = polyval(p2,time2);
plot(time2,trend2016_approx2);
```

```
% на інтервалі 3
trend2016_3 = trend2016(1770:2346);
time3=linspace(1770,2346,577);
time3=time3.';
p3 = polyfit(time3,trend2016_3,1);
approx3 = polyval(p3,time3);
plot(time3,trend2016_approx3);
```

```
% на інтервалі 4
trend2016_4 = trend2016(2347:4358);
time4=linspace(2347,4358,2012);
time4=time4.';
p4 = polyfit(time4,trend2016_4,3);
approx4 = polyval(p4,time4);
plot(time4,trend2016_approx4);
```

```
% на інтервалі 5
trend2016_5 = trend2016(4359:5985);
time5=linspace(4359,5985,1627);
time5=time5.';
p5=polyfit(time5,trend2016_5,4);
approx5 = polyval(p5,time5);
plot(time5,trend2016_approx5);
```

```
% на інтервалі 6
trend2016_6 = trend2016(5986:6894);
time6=linspace(5986,6894,909);
time6=time6.';
p6=polyfit(time6,trend2016_6,3);
approx6 = polyval(p6,time6);
plot(time6,trend2016_approx6);
```

```
% на інтервалі 7
trend2016_7 = trend2016(6895:8784);
```



```

time7=linspace(6895,8784,1890);
time7=time7.';
p7=polyfit(time7,trend2016_7,3);
approx7 = polyval(p7,time7);
plot(time7,trend2016_approx7);

plot(time1,trend2016_approx1);hold on;plot(time2,trend2016_approx2);hold
on;plot(time3,trend2016_approx3);hold on;plot(time4,trend2016_approx4);hold
on;plot(time5,trend2016_approx5);hold on;plot(time6,trend2016_approx6);hold
on;plot(time7,trend2016_approx7);hold on;plot(trend2016);hold off;

% оцінка емпіричної щільності розподілу ряду залишків ПЕ з побудовою гісторами
histfit(zalyshok2016(1:1591), 10);
histfit(zalyshok2016(1592:1769), 10);
histfit(zalyshok2016(1770:2346), 10);
histfit(zalyshok2016(2347:4358), 10);
histfit(zalyshok2016(4359:5985), 10);
histfit(zalyshok2016(5986:6894), 10);
histfit(zalyshok2016(6895:8784), 10);

% команди для побудови графіків реалізації ПЕ та ряду залишків,
% поділених вертикальними лініями на сегменти
subplot(2,1,1);
plot(d2016),
line([1592 1592], [0 40000], 'Color','black'),
line([1770 1770], [0 40000], 'Color','black'),
line([2347 2347], [0 40000], 'Color','black'),
line([4359 4359], [0 40000], 'Color','black'),
line([5986 5986], [0 40000], 'Color','black'),
line([6895 6895], [0 40000], 'Color','black');
subplot(2,1,2);
plot(zalyshok2016),
line([1592 1592], [-20000 20000], 'Color','black'),
line([1770 1770], [-20000 20000], 'Color','black'),
line([2347 2347], [-20000 20000], 'Color','black'),
line([4359 4359], [-20000 20000], 'Color','black'),
line([5986 5986], [-20000 20000], 'Color','black'),
line([6895 6895], [-20000 20000], 'Color','black');

```

```

% приклад програмного коду для збереження графіків (файли з розширенням .fig)
% у файли формату .tiff із заданням роздільної здатності в 300 dpi
fig = openfig('G:\GoogleDrive\Science\Папка. Моя
дисертація\Presentation\img\yearAndZalyshok.fig')
set(fig, 'PaperUnits', 'inches', 'PaperPosition', [0 0 6 4])
print -dtiff G:\GoogleDrive\Science\yearAndZalyshok.tiff -r300

fig = openfig('C:\Users\walter\Google Drive\Science\Папка. Моя
дисертація\Presentation\img\Intervall\zalyshokHist.fig')
set(fig, 'PaperUnits', 'inches', 'PaperPosition', [0 0 6 4])
print -dtiff C:\Users\walter\Pictures\zalyshokHist.tiff -r300

% приклад програмного коду для збереження результатів моделювання
% електричної напруги в базу даних MySQL
tablename = 'samples';
colnames = {'Time', 'Value', 'SampleID'};
conn = database('Voltage', 'voltageuser', 'voltageuser', 'Vendor', 'MySQL',
'Server', 'localhost');

for i = 1:1:10000
    data = {tout(i), uImpulsy(i), 1};
    datainsert(conn, tablename, colnames, data);
end;

close(conn);

```