

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту  
Кафедра електропостачання**

«На правах рукопису»  
УДК 621.311

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри

\_\_\_\_\_ Д.Г. Дерев'яно

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 р.

## **Магістерська дисертація**

**зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
за освітньо-професійною програмою «Енергетичний менеджмент та  
енергоефективні технології»**

**на тему: «Оцінювання енергетичної результативності підприємства»**

Виконала:

студентка 2-го року навчання, групи ОН-11мп

Поплигіна Вероніка Сергіївна

\_\_\_\_\_

Науковий керівник:

к.т.н., доц. Бориченко О.В.

\_\_\_\_\_

Консультант з нормоконтролю:

ас. Прокопенко І.Д.

\_\_\_\_\_

Рецензент:

к.т.н., доц. Босак А.В.

\_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цій магістерській  
дисертації немає запозичень з праць  
інших авторів без відповідних  
посилань.

Студентка \_\_\_\_\_

Київ – 2022 року

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту**  
**Кафедра електропостачання**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність: 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітня програма: «Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології»

В.о. завідувача кафедри

\_\_\_\_\_ Д.Г. Дерев'яно

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на магістерську дисертацію студентки**  
**Поплигіній Вероніці Сергіївні**

1. Тема дисертації «Оцінювання енергетичної результативності підприємства»  
науковий керівник дисертації к.т.н., доц. Бориченко О.В.  
затверджені наказом по університету від «09» листопада 2022 р. № 4127-с
2. Строк подання студентом дисертації «15» грудня 2022 року
3. Об'єкт дослідження: підприємство молочної галузі
4. Предмет дослідження: оцінювання енергорезультативності підприємства на основі методів прогнозування енергоспоживання.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: 1) аналізування існуючих методів прогнозування енергоспоживання підприємства; 2) проведення енергетичного обстеження підприємства молочної галузі та обґрунтування заходів з енергоефективності; 3) оцінювання енергорезультативності підприємства з використанням базових рівнів енергоспоживання та показників енергетичної ефективності; 4) розроблення стартап-проєкту.
6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: Презентація, результати прогнозування енергоспоживання на підприємстві молочної галузі за допомогою регресійного методу та методу головних компонент (МГК), результати оцінювання енергорезультативності підприємства за допомогою функції КУСУМ.
7. Орієнтовний перелік публікацій: 1) публікація тез доповіді «Аналіз методів прогнозування електроспоживання» в збірнику наукових праць XIII науково-технічної конференції «ЕНЕРГЕТИКА. ЕКОЛОГІЯ. ЛЮДИНА» 2021 року; 2)

публікація тез доповіді «Оцінювання енергетичної результативності підприємства» в збірнику наукових праць XIV науково-технічної конференції «ЕНЕРГЕТИКА. ЕКОЛОГІЯ. ЛЮДИНА» 2022 року; 3) публікація тез доповіді «Оцінювання енергетичної результативності підприємства» в збірнику наукових праць VIII Міжнародної науково-технічної та навчально методичної конференції «Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – REIMS`22» 2022 року; 4) подання матеріалів статті «Development of a model of operational control of electricity consumption by significant energy users of industrial enterprises using "standards" of energy consumption» для публікації у журналі Scopus.

8. Консультанти розділів дисертації:

Нормоконтроль:

ас. Прокопенко І.Д.

9. Дата видачі завдання 30 травня 2022 року

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів МД	Примітка
1	Отримання завдання	30.05.2022	Вик.
2	Аналіз літературних джерел	03.06.2022	Вик.
3	Складання плану роботи	15.06.2022	Вик.
4	Підходи до оцінювання енергорезультативності підприємства	01.09.2022 – 22.09.2022	Вик.
5	Енергоаудит підприємства молочної галузі	23.09.2022 – 14.10.2022	Вик.
6.	Оцінювання енергорезультативності на основі методів прогнозування енергоспоживання	15.10.2022 – 12.11.2022	Вик.
7.	Розроблення стартап-проекту	13.11.2022 - 02.12.2022	Вик.
8.	Оформлення дисертації	03.12.2022 - 04.12.2022	Вик.
9.	Оформлення реферату та презентації, проходження перевірки на плагіат та рецензування	05.12.2022 - 12.12.2022	Вик.
10.	Передзахист МД	15.12.2022	Вик.
11.	Захист дисертації	19.12.2022	Вик.

Студентка

\_\_\_\_\_

В.С. Поплигіна

Науковий керівник дисертації

\_\_\_\_\_

О.В. Бориченко

## РЕФЕРАТ

**Структура і обсяг роботи:** магістерська дисертація викладена на 126 сторінках. Складається зі вступу, 4 розділів, висновку та 1 додатку. Містить 41 рисунків, 36 таблиць, 42 формули. Список використаних джерел налічує 28 бібліографічних найменувань за переліком посилань.

**Актуальність теми.** 23 червня 2022 року країни члени Європейського Союзу проголосували за надання Україні статусу країни кандидата на вступ до Європейського Союзу. Відповідно Україна взяла на себе зобов'язання щодо реалізації Директиви Європейського Парламенту і Ради 2012/27/ЄС від 25 жовтня 2012 року про енергоефективність, внесення змін до Директив 2009/125/ЄС і 2010/30/ЄС та про скасування Директив 2004/8/ЄС і 2006/32/ЄС (далі – Директива). На виконання Директиви було прийнято Закон України «Про енергетичну ефективність» № 1818-IX від 21.10.2021 (далі – Закон). У Законі визначено ряд понять та положень, зокрема, щодо енергоефективності, системи енергетичного менеджменту, енергетичного аудиту та енергоефективних заходів.

Законом визначено, що державна політика у сфері забезпечення енергоефективності спрямована на досягнення національних цілей, що зазначені у Національному плані дій з енергоефективності. Для забезпечення сталого підвищення енергоефективності кінцевого споживання енергії встановлюється цільовий показник щорічного скорочення споживання енергії. Даний показник забезпечується шляхом вжиття ряду заходів з підвищення енергоефективності. Для того, аби визначити які саме заходи потрібно впроваджувати, потрібно провести енергетичне обстеження об'єкту (будівлі, підприємства, та ін.). Законом визначено, що енергетичний аудит – це комплексний аналіз щодо споживання та використання енергії з метою визначення, кількісного вираження та підготовки звіту про можливі шляхи підвищення рівня енергетичної ефективності. Саме відповідно до складеного звіту формуються заходи щодо підвищення енергоефективності на об'єкті.

Також, у Законі визначено, що система енергетичного менеджменту – це система управління, яка визначає цілі, а також енергетичну політику та завдання, план дій та процеси, задля досягнення цілей та енергетичних завдань. Система енергетичного менеджменту впроваджується задля забезпечення ефективного споживання енергетичних ресурсів, раціонального використання матеріальних благ, задля впровадження заходів з енергоефективності та ін.

Кожне підприємство повинно відслідковувати кількість спожитої енергії з метою ефективного керування рівнями досягнутої ефективності своїх об'єктів, систем, а також процесів та обладнання. Оцінювання енергорезультативності є важливим, оскільки дає змогу оцінити результат впровадження тих чи інших заходів, а саме побачити та оцінити зміну споживання енергії на підприємстві. Для прогнозування споживання енергії використовують відповідні методи. Саме методи прогнозування є важливим інструментом в вирішенні питання щодо оцінювання енергорезультативності, а також для планування діяльності підприємства.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Магістерську дисертацію виконано в НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» відповідно до планів науково-дослідних робіт кафедри електропостачання. Результати досліджень відповідають комплексній програмі НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» - «Енергетика сталого розвитку».

**Метою магістерської дисертації** є оцінювання енергорезультативності підприємства молочної галузі на основі методів прогнозування енергоспоживання.

Для досягнення зазначеної мети дослідження були вирішені наступні завдання:

- 1) аналізування існуючих методів прогнозування енергоспоживання підприємства;

2) проведення енергетичного обстеження підприємства молочної галузі та обґрунтування заходів з енергоефективності;

3) оцінювання енергорезультативності підприємства з використанням базових рівнів енергоспоживання та показників енергетичної ефективності;

4) розроблення стартап-проєкту.

**Об'єктом дослідження** є підприємство молочної галузі.

**Предметом дослідження** є оцінювання енергорезультативності підприємства на основі методів прогнозування електроспоживання.

**Методи дослідження.** У дисертації використано теоретичні методи та їх практичне застосування для прогнозування споживання електричної енергії на підприємстві молочної галузі за допомогою регресійного аналізу та методу головних компонент (МГК). У другому та третьому розділах магістерської дисертації використано наступне програмне забезпечення: MS Word, MS Excel, STATISTICA.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Удосконалено методичний підхід до оцінювання енергорезультативності підприємства на основі методів прогнозування енергоспоживання.

**Практичне значення роботи.** Отримані результати можна використовувати для подальшого раціонального вибору одного з методів прогнозування енергоспоживання з метою оцінювання енергорезультативності підприємства або з метою планування діяльності.

**Апробація результатів роботи.** Відбулася на XIII Науково-технічній конференції «ЕНЕРГЕТИКА. ЕКОЛОГІЯ. ЛЮДИНА», XIV Науково-технічній конференції «ЕНЕРГЕТИКА. ЕКОЛОГІЯ. ЛЮДИНА» та на VIII Міжнародній науково-технічній та навчально методичній конференції «Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – REMS`22».

**Публікації:** 1) публікація тез доповіді «Аналіз методів прогнозування електроспоживання» в збірнику наукових праць XIII науково-технічної конференції «ЕНЕРГЕТИКА. ЕКОЛОГІЯ. ЛЮДИНА» 2021 року; 2) публікація тез доповіді «Оцінювання енергетичної результативності

підприємства» в збірнику наукових праць XIV науково-технічної конференції «ЕНЕРГЕТИКА. ЕКОЛОГІЯ. ЛЮДИНА» 2022 року; 3) публікація тез доповіді «Оцінювання енергетичної результативності підприємства» в збірнику наукових праць VIII Міжнародної науково-технічної та навчально методичної конференції «Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – REMS`22» 2022 року; 4) подання матеріалів статті «Development of a model of operational control of electricity consumption by significant energy users of industrial enterprises using "standards" of energy consumption» для публікації у журналі Scopus.

**Ключові слова:** ЕЛЕКТРИЧНА ЕНЕРГІЯ, ЕНЕРГОРЕЗУЛЬТАТИВНІСТЬ, ПРОГНОЗУВАННЯ, МЕТОД, ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ, АНАЛІЗ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ВИТРАТИ, СПОЖИВАННЯ, ПОКАЗНИК, БАЗОВИЙ РІВЕНЬ, ЧИННИК.

## ABSTRACT

Structure and scope of work: master`s dissertation is presented on 126 pages. Consists of an introduction, 4 sections, conclusion and 1 addition. Contains 41 illustrations, 36 tables, 42 formulas. A list of used sources from 28 names.

**Relevance of the topic.** On June 23, 2022, the member states of the European Union voted to grant Ukraine the status of a candidate country for accession to the European Union. Accordingly, Ukraine has committed itself to the implementation of Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of October 25, 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EU and 2010/30/EU and repealing Directives 2/EU and 2006 /32/EC (hereinafter referred to as the Directive). In pursuance of the Directive, the Law of Ukraine “On Energy Efficiency” No. 1818-IX dated October 21, 2021 (hereinafter referred to as the Law) was adopted. The Law defines a number of concepts and provisions, in particular regarding energy efficiency, energy management system, energy audit and energy efficiency measures.

The law determines that the state policy in the field of energy efficiency is aimed at achieving the national goals specified in the National Energy Efficiency Action Plan. In order to ensure a sustainable improvement in the energy efficiency of end-use energy, a target is set for an annual reduction in energy consumption. This indicator is achieved through the adoption of a number of measures to improve energy efficiency. In order to determine which measures need to be implemented, it is necessary to conduct an energy audit of the object (buildings, enterprises, etc.). The law determines that an energy audit is a comprehensive analysis of the consumption and use of energy in order to determine, quantify and prepare a report on possible ways to increase the level of energy efficiency. It is in accordance with the report that measures are being taken to improve energy efficiency at the facility.

Also, the Law defines that the energy management system is a management system that defines the goals, as well as the energy policy and objectives, action plan and processes to achieve the goals and energy objectives. The energy management



system is being implemented to ensure the efficient consumption of energy resources, the rational use of material wealth, the implementation of energy efficiency measures, etc.

Every enterprise must track the amount of energy consumed in order to effectively manage the levels of efficiency achieved by its facilities, systems, processes and equipment. Energy efficiency assessment is important because it allows you to evaluate the result of the implementation of certain measures, namely, to see and evaluate the change in energy consumption at the enterprise. Appropriate methods are used to predict energy consumption. It is the forecasting methods that are an important tool in solving the issue of assessing energy efficiency, as well as for planning the activities of an enterprise.

**Communication of work with scientific programs, plans, themes.** The master's dissertation was completed at the NTUU "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" in accordance with the plans for research work of the Department of Power Supply. The results of the research correspond to the comprehensive program of NTUU “KPI named after I.I. Igor Sikorsky” – “Energy of sustainable development”.

**The purpose of the master's dissertation** is to evaluate the energy efficiency of a dairy industry enterprise based on energy consumption forecasting methods.

To achieve this goal of the study, the following tasks were solved:

- 1) analysis of existing methods for forecasting the energy consumption of an enterprise;
- 2) conducting an energy audit of a dairy industry enterprise and substantiating energy efficiency measures;
- 3) assessment of the energy efficiency of the enterprise using basic levels of energy consumption and energy efficiency indicators;
- 4) development of a startup project.

**The object of the study** is a dairy industry enterprise.

**The subject of the research** is the assessment of the energy efficiency of an enterprise based on methods for predicting electricity consumption.

**Research methods.** The dissertation uses theoretical methods and their practical application to predict electricity consumption in a dairy industry enterprise using regression analysis and principal component analysis (PCA). The following software was used in the second and third sections of the master's dissertation: MS Word, MS Excel, STATISTICA.

**Scientific novelty of the obtained results.** The methodical approach to assessing the energy efficiency of an enterprise based on the methods of forecasting energy consumption has been improved.

**The practical significance of the work.** The obtained results can be used for further rational choice of one of the energy consumption forecasting methods for assessing the energy efficiency of an enterprise or for the purpose of planning activities.

**Approbation of the results of the work.** Took place at the XIII Scientific and Technical Conference “ENERGY. ECOLOGY. MAN”, XIV Scientific and technical conference “ENERGY. ECOLOGY. HUMAN” and at the VIII International Scientific, Technical and Educational Conference “Energy Management: Status and Development Prospects – PEMS`22”.

**Publications:** 1) publication of the abstracts of the report “Analysis of methods for forecasting electricity consumption” in the collection of scientific papers of the XIII scientific and technical conference “ENERGY. ECOLOGY. MAN” 2021; 2) publication of the abstracts of the report “Assessment of the energy performance of an enterprise” in the collection of scientific papers of the XIV scientific and technical conference “ENERGY. ECOLOGY. MAN” 2022; 3) publication of the abstracts of the report "Assessment of the energy performance of an enterprise" in the collection of scientific papers of the VIII International scientific, technical and educational-methodical conference "Energy management: state and development prospects - PEMS`22" in 2022; 4) submission of the materials of the article "Development of model of operational control of electricity consumption by significant energy users of industrial enterprises using "standards" of energy consumption" for publication in the journal Scopus.

**Keywords:** ELECTRIC ENERGY, ENERGY EFFICIENCY, FORECASTING, METHOD, ENERGY CONSUMPTION, ANALYSIS, ENERGY EFFICIENCY, EXPENSES, CONSUMPTION, INDICATOR, INDICATOR.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	16
1 ПІДХОДИ ДО ОЦІНЮВАННЯ ЕНЕРГОРЕЗУЛЬТАТИВНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА .....	20
1.1 Вимірювання рівня досяжної енергоефективності з використанням базового рівня енергоспоживання та показників енергоефективності .....	20
1.2 Встановлення показників енергоефективності та базовий рівень енергоспоживання .....	23
1.2.1 Базовий рівень енергоспоживання .....	23
1.2.2 Показники енергоефективності.....	25
1.3 Аналіз методів прогнозування енергоспоживання .....	26
1.3.1 Прогнозна екстраполяція.....	26
1.3.2 Кореляційний та регресійний аналізи.....	28
1.3.3 Адаптивні методи прогнозування .....	29
1.3.4 Прогнозування на базі ARIMA моделей.....	30
1.3.5 Прогнозування з використанням штучних нейронних мереж .....	32
1.3.6 Метод головних компонент.....	37
Висновки до розділу 1 .....	38
2 ЕНЕРГОАУДИТ ПІДПРИЄМСТВА МОЛОЧНОЇ ГАЛУЗІ.....	40
2.1 Загальний опис об'єкту.....	40
2.2 Аналіз динаміки виробничої діяльності за останні три роки .....	40
2.3 Аналіз динаміки споживання ПЕР за останні три роки .....	43
2.4 Коротка характеристика споживачів електричної енергії цеху .....	47
2.5 Оцінка рівня компенсації реактивної потужності об'єкта.....	49

2.6 Розрахунок основних складових для складання балансу споживання електричної енергії цеху у аналітичній формі .....	51
2.7 Розроблення заходів з енергоефективності для суттєвих споживачів електричної енергії .....	54
2.7.1 Заміна внутрішнього освітлення цеху .....	54
2.7.2 Впровадження АСЕМ .....	59
2.7.3 Оптимізація системи охолодження компресорних установок .....	61
2.8 Системи паливо- та теплопостачання об'єкта та їх аналіз .....	65
2.9 Розроблення типових заходів з енергоефективності .....	67
2.9.1 Утеплення стін .....	67
2.9.2 Заміна вікон .....	71
2.9.3 Впровадження теплової завіси .....	73
2.9.4 Утеплення даху .....	78
Висновки до розділу 2 .....	80
<b>3 ОЦІНЮВАННЯ ЕНЕРГОРЕЗУЛЬТАТИВНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА НА ОСНОВІ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ .....</b>	<b>81</b>
3.1 Етапи та критерії створення математичної моделі для оцінювання енергорезультативності підприємства .....	81
3.2 Підготовка вихідних даних для аналізу .....	84
3.3 Модель енергоспоживання підприємства на основі регресійного аналізу .....	87
3.4 Модель на основі методу головних компонент (МГК) .....	91
3.5 Оцінювання точності побудованих математичних моделей .....	102
3.6 Оцінювання енергорезультативності підприємства за допомогою функції CUSUM .....	105
Висновок до розділу 3 .....	108

	14
4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЄКТУ .....	110
4.1 Етапи розроблення стартап-проєкту .....	110
4.2 Опис ідеї проєкту та визначення напрямку застосування .....	111
4.3 Аналіз ринкових можливостей реалізації стартап-проєкту .....	113
4.4 Розробка стратегії ринкового впровадження проєкту .....	117
Висновки до 4 розділу .....	119
ВИСНОВКИ .....	120
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	122
ДОДАТОК А .....	125

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

- CUSUM – кумулятивна сума;  
АСЕМ - автоматизована система енергомоніторингу;  
БРЕ – базовий рівень енергоспоживання;  
ГВП – гаряче водопостачання;  
ДБН – державні будівельні норми;  
ДСН – державні санітарні норми;  
ДСТУ – державний стандарт України;  
Зх – захід;  
Пд – південь;  
ПЕЕ – показник енергоефективності;  
ПЕР – питомі витрати енергоресурсів;  
Пн – північ;  
ПУЕ – правила улаштування електроустановок;  
СЕНМ – система енергетичного менеджменту;  
СЗМ – сухе знежирене молоко;  
СЗС – суха знежирена сироватка;  
Сх – схід;  
у.п. – умовне паливо.

## ВСТУП

**Актуальність теми.** 23 червня 2022 року країни члени Європейського Союзу проголосували за надання Україні статусу країни кандидата на вступ до Європейського Союзу [1]. Відповідно Україна взяла на себе зобов'язання щодо реалізації Директиви Європейського Парламенту і Ради 2012/27/ЄС від 25 жовтня 2012 року про енергоефективність, внесення змін до Директив 2009/125/ЄС і 2010/30/ЄС та про скасування Директив 2004/8/ЄС і 2006/32/ЄС (далі – Директива) [2]. На виконання Директиви було прийнято Закон України «Про енергетичну ефективність» № 1818-IX від 21.10.2021 (далі – Закон). У Законі визначено ряд понять та положень, зокрема, щодо енергоефективності, системи енергетичного менеджменту, енергетичного аудиту та енергоефективних заходів [3].

Законом визначено, що державна політика у сфері забезпечення енергоефективності спрямована на досягнення національних цілей, що зазначені у Національному плані дій з енергоефективності. Для забезпечення сталого підвищення енергоефективності кінцевого споживання енергії встановлюється цільовий показник щорічного скорочення споживання енергії. Даний показник забезпечується шляхом вжиття ряду заходів з підвищення енергоефективності. Для того, аби визначити які саме заходи потрібно впроваджувати, потрібно провести енергетичне обстеження об'єкту (будівлі, підприємства, та ін.). Законом визначено, що енергетичний аудит – це комплексний аналіз щодо споживання та використання енергії з метою визначення, кількісного вираження та підготовки звіту про можливі шляхи підвищення рівня енергетичної ефективності. Саме відповідно до складеного звіту формуються заходи щодо підвищення енергоефективності на об'єкті [3].

Також, у Законі визначено, що система енергетичного менеджменту – це система управління, яка визначає цілі, а також енергетичну політику та завдання, план дій та процеси, задля досягнення цілей та енергетичних завдань. Система енергетичного менеджменту впроваджується задля



забезпечення ефективного споживання енергетичних ресурсів, раціонального використання матеріальних благ, задля впровадження заходів з енергоефективності та ін [3].

Кожне підприємство повинно відслідковувати кількість спожитої енергії з метою ефективного керування рівнями досягнутої ефективності своїх об'єктів, систем, а також процесів та обладнання. Оцінювання енергорезультативності є важливим, оскільки дає змогу оцінити результат впровадження тих чи інших заходів, а саме побачити та оцінити зміну споживання енергії на підприємстві. Для прогнозування споживання енергії використовують відповідні методи. Саме методи прогнозування є важливим інструментом в вирішенні питання щодо оцінювання енергорезультативності, а також для планування діяльності підприємства.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Магістерську дисертацію виконано в НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» відповідно до планів науково-дослідних робіт кафедри електропостачання. Результати досліджень відповідають комплексній програмі НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» - «Енергетика сталого розвитку».

**Метою магістерської дисертації** є оцінювання енергорезультативності підприємства молочної галузі на основі методів прогнозування енергоспоживання.

Для досягнення зазначеної мети дослідження були вирішені наступні завдання:

- 1) аналізування існуючих методів прогнозування енергоспоживання підприємства;
- 2) проведення енергетичного обстеження підприємства молочної галузі та обґрунтування заходів з енергоефективності;
- 3) оцінювання енергорезультативності підприємства з використанням базових рівнів енергоспоживання та показників енергетичної ефективності;
- 4) розроблення стартап-проєкту.

**Об'єктом дослідження** є підприємство молочної галузі.

**Предметом дослідження** є оцінювання енергорезультативності підприємства на основі методів прогнозування електроспоживання.

**Методи дослідження.** У дисертації використано теоретичні методи та їх практичне застосування для прогнозування споживання електричної енергії на підприємстві молочної галузі за допомогою регресійного аналізу та методу головних компонент (МГК). У другому та третьому розділах магістерської дисертації використано наступне програмне забезпечення: MS Word, MS Excel, STATISTICA.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Удосконалено методичний підхід до оцінювання енергорезультативності підприємства на основі методів прогнозування енергоспоживання.

**Практичне значення роботи.** Отримані результати можна використовувати для подальшого раціонального вибору одного з методів прогнозування енергоспоживання з метою оцінювання енергорезультативності підприємства або з метою планування діяльності.

**Апробація результатів роботи.** Відбулася на XIII Науково-технічній конференції «ЕНЕРГЕТИКА. ЕКОЛОГІЯ. ЛЮДИНА», XIV Науково-технічній конференції «ЕНЕРГЕТИКА. ЕКОЛОГІЯ. ЛЮДИНА» та на VIII Міжнародній науково-технічній та навчально методичній конференції «Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – PEMS`22».

**Публікації:** 1) публікація тез доповіді «Аналіз методів прогнозування електроспоживання» в збірнику наукових праць XIII науково-технічної конференції «ЕНЕРГЕТИКА. ЕКОЛОГІЯ. ЛЮДИНА» 2021 року; 2) публікація тез доповіді «Оцінювання енергетичної результативності підприємства» в збірнику наукових праць XIV науково-технічної конференції «ЕНЕРГЕТИКА. ЕКОЛОГІЯ. ЛЮДИНА» 2022 року; 3) публікація тез доповіді «Оцінювання енергетичної результативності підприємства» в збірнику наукових праць VIII Міжнародної науково-технічної та навчально методичної конференції «Енергетичний менеджмент: стан та перспективи

розвитку – PEMS`22» 2022 року; 4) подання матеріалів статті «Development of a model of operational control of electricity consumption by significant energy users of industrial enterprises using "standards" of energy consumption» для публікації у журналі Scopus.

**Ключові слова:** ЕЛЕКТРИЧНА ЕНЕРГІЯ, ЕНЕРГОРЕЗУЛЬТАТИВНІСТЬ, ПРОГНОЗУВАННЯ, МЕТОД, ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ, АНАЛІЗ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ВИТРАТИ, СПОЖИВАННЯ, ПОКАЗНИК, БАЗОВИЙ РІВЕНЬ, ЧИННИК.

# **1 ПІДХОДИ ДО ОЦІНЮВАННЯ ЕНЕРГОРЕЗУЛЬТАТИВНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА**

## **1.1 Вимірювання рівня досяжної енергоефективності з використанням базового рівня енергоспоживання та показників енергоефективності**

В Україні діє національний стандарт ДСТУ ISO 50006:2016, в якому наведені практичні настанови щодо використання, а також отримання показників енергоефективності та базового рівня енергоспоживання під час вимірювання рівня досяжної енергоефективності, а також зміни рівня досяжної енергетичної ефективності [4].

Рівень досяжної енергоефективності (енергорезультативність) — це вимірювані результати щодо існуючого та потенційного рівня енергоефективності, який можливо досягти завдяки впровадженню заходів з енергоефективності. Енергорезультативність може бути виражено в одиницях енергоспоживання (наприклад, ГДж, кВт·год), питомого енергоспоживання, (наприклад, кВт·год/одиницю продукції), пікової потужності (наприклад, кВт), відсоткової зміни в ефективності або безрозмірними величинами тощо [5].

ПЕЕ та БРЕ — це важливі, взаємопов'язані між собою елементи, які дають змогу вимірювати, а разом з цим і керувати рівнями досяжної енергоефективності. В свою чергу, рівень досяжної енергоефективності — це досить широке поняття, яке пов'язане з енергоспоживанням, енерговикористанням та енергоефективністю [6].

З метою ефективного керування рівнями досяжної енергоефективності об'єктів, систем, процесів і обладнання, організації повинні знати, як використовують енергію і як споживають її протягом тривалого часу. Показник енергоефективності — це значення або міра, яка кількісно виражає результати, що пов'язані з енергоефективністю, енерговикористанням та

енергоспоживанням на об'єктах, у системах, процесах і обладнанні. ПЕЕ використовують як міру рівня досяжної енергоефективності [4].

БРЕ - є довідковим показником, що характеризує та кількісно визначає рівень досяжної енергоефективності протягом певного періоду часу. БРЕ також використовують для обчислення економії енергії, як еталон «до» та «після» реалізації заходів щодо поліпшення рівня досяжної енергоефективності [4].

Організації визначають завдання для рівня досяжної енергоефективності в рамках процесу енергетичного планування у своїх системах енергетичного менеджменту. Зв'язок між рівнями досяжної енергоефективності, ПЕЕ, БРЕ та енергетичними завданнями показано на рисунку 1.1 [4].

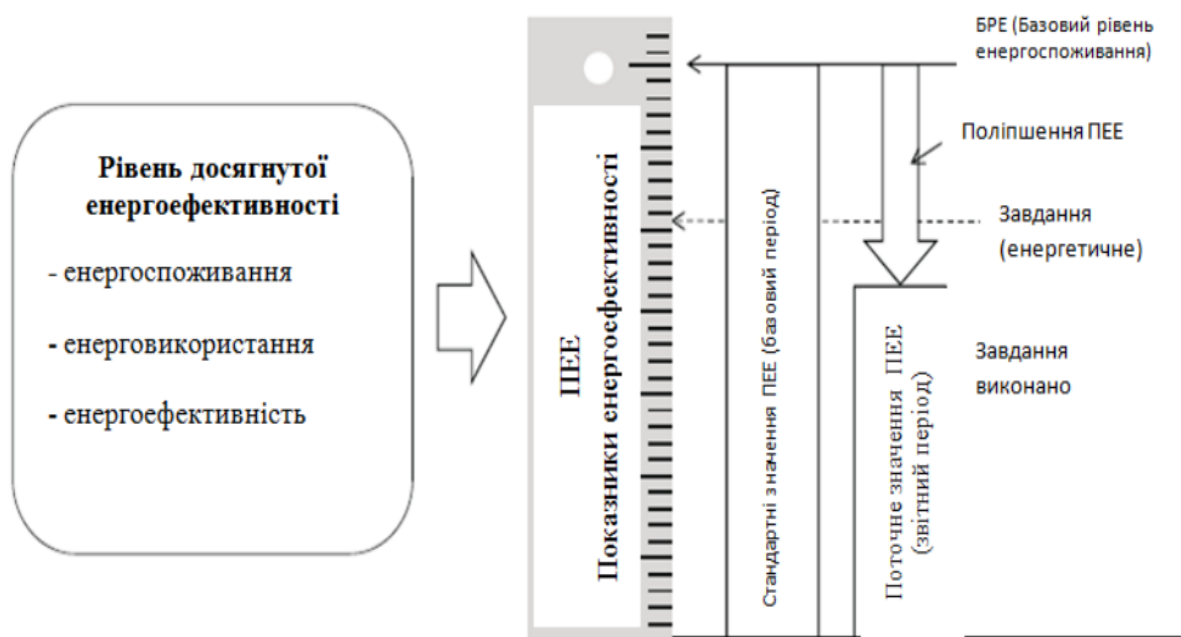


Рисунок 1.1 - Зв'язок між рівнями досяжної енергоефективності, ПЕЕ, БРЕ та енергетичними завданнями [4]

В загальному випадку рівень досягнутої енергоефективності підприємства визначається в послідовності, що відображена на рисунку 1.2.

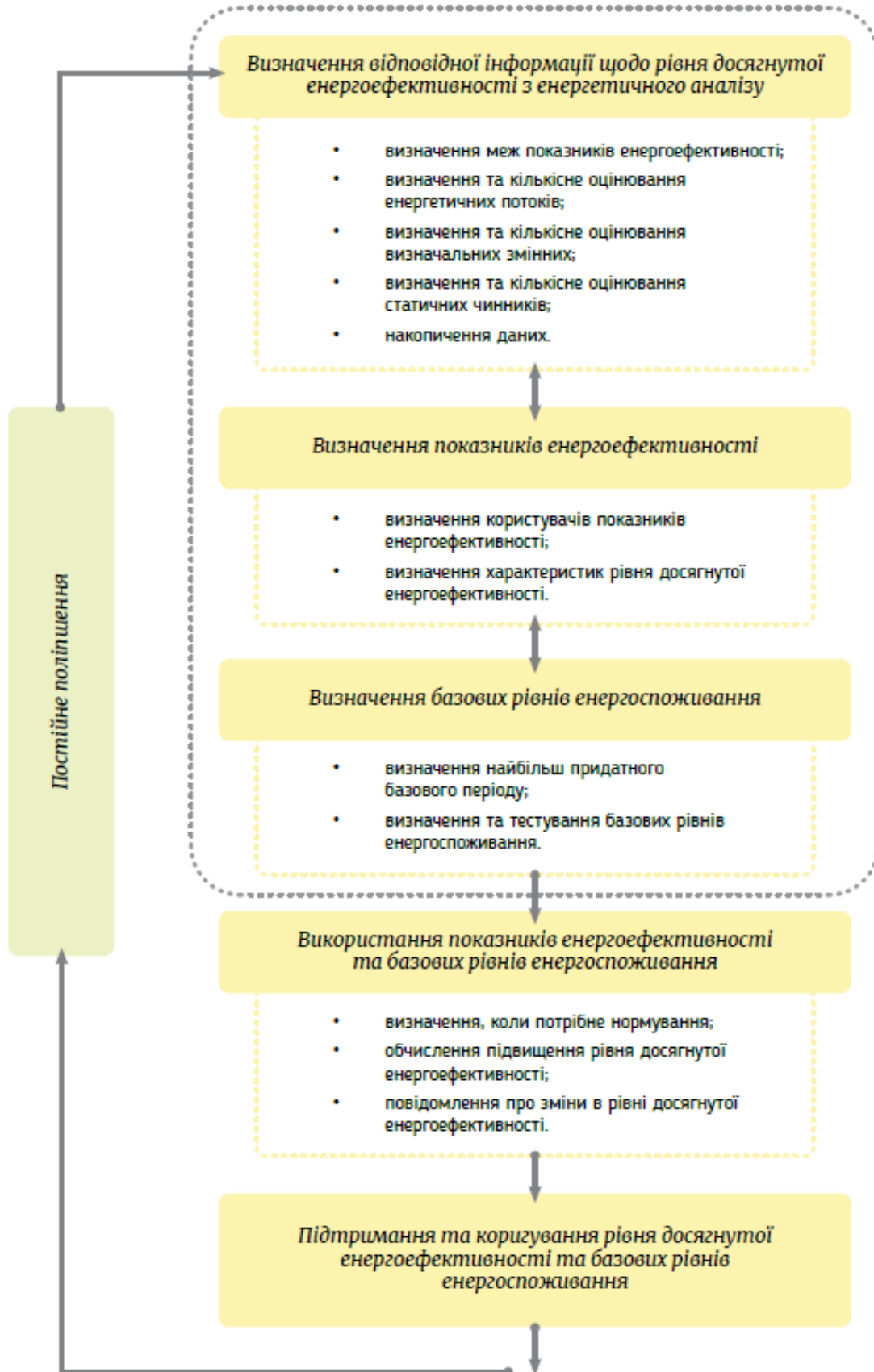


Рисунок 1.2 - Узагальнена схема вимірювання рівня досягнутої енергоефективності [5]

## **1.2 Встановлення показників енергоефективності та базовий рівень енергоспоживання**

З метою ефективного вимірювання та кількісного оцінювання рівнів досяжної енергоефективності, організація встановлює ПЕЕ та БРЕ. ПЕЕ застосовують, щоб кількісно оцінити рівень досяжної енергоефективності всієї організації або її окремих частин. БРЕ - є довідковим показником, що характеризує та кількісно визначає рівень досяжної енергоефективності протягом певного періоду часу [4].

### **1.2.1 Базовий рівень енергоспоживання**

Організація повинна порівняти зміни рівня досягнутої енергоефективності між періодом дії базового рівня енергоспоживання та звітним періодом. БРЕ використовують для визначення значень ПЕЕ для періоду дії базового рівня енергоспоживання. Тип інформації, необхідної для встановлення БРЕ, визначається конкретною метою ПЕЕ [4].

БРЕ характеризується значенням ПЕЕ протягом періоду дії базового рівня енергоспоживання. Порівняння між БРЕ та ПЕЕ звітного періоду можна використовувати для ілюстрації прогресу в досягненні цілей енергетики та енергетичних завдань і демонструвати поліпшення рівня досягнутої енергоефективності. Для встановлення БРЕ треба зробити наведені нижче кроки [4]:

- визначити конкретні цілі, для яких буде використовуватися БРЕ;
- визначити підходящий період даних;
- зібрати дані;
- визначити та перевірити БРЕ.

Період дії базового рівня має бути досить тривалими, з метою врахування всіх можливих варіантів режиму роботи організації, а також з метою охоплення всіх змін у визначальних змінних (таких як, наприклад, сезонність виробництва, погодні умови, тощо). Ще одним не менш важливим

чинником у визначенні відповідного періоду дії БРЕ є частота, з якою підприємства отримує дані [5].

Частіше період дії БРЕ становить один рік, даний період охоплює повний спектр бізнес-циклів, які змінюються в залежності від ринкового попиту на вироблену продукцію, але може бути і інша тривалість періоду дії БРЕ. Наприклад, БРЕ тривалістю менше одного року можуть визначатися в тих випадках, коли немає сезонності в енергоспоживанні або якщо більш короткий період може охопити всі можливі режими роботи підприємства. Базовий рівень енергоспоживання такої тривалості може бути застосований у випадках, коли є недостатня кількість історичних даних, а наявні лише поточні [5].

У випадках, коли підприємство має дуже короткі річні виробничі цикли, або коли продукцію виробляють лише протягом декількох місяців щороку і майже не виробляють протягом решти року - застосовуються БРЕ тривалістю понад один рік. Наприклад, для виноробного заводу кожного року необхідно відстежувати рівень досяжної енергоефективності лише під час періоду певних процесів (дроблення та бродіння), але це можливо здійснювати лише протягом декількох років [5].

Для визначення БРЕ має бути виміряно або обчислено відповідні ПЕЕ з використанням даних енергоспоживання та визначальних змінних протягом періоду дії базового рівня енергоспоживання [4].

За необхідності, БРЕ має бути перевірено на достовірність, щоб переконатися, що він є підходящим орієнтиром для порівняння. При використанні моделей достовірність БРЕ може бути визначено з використанням статистичних тестів, таких як P-Value, F-тест або коефіцієнта детермінації для визначення відповідності вибраної статистичної моделі. Якщо визначена модель не є відповідною, організація повинна враховувати коригування БРЕ або визначити нову модель, відповідну ПЕЕ та БРЕ. Результати тестування має бути записано [4].

Відображення застосування БРЕ зазначено на рис. 1.3.



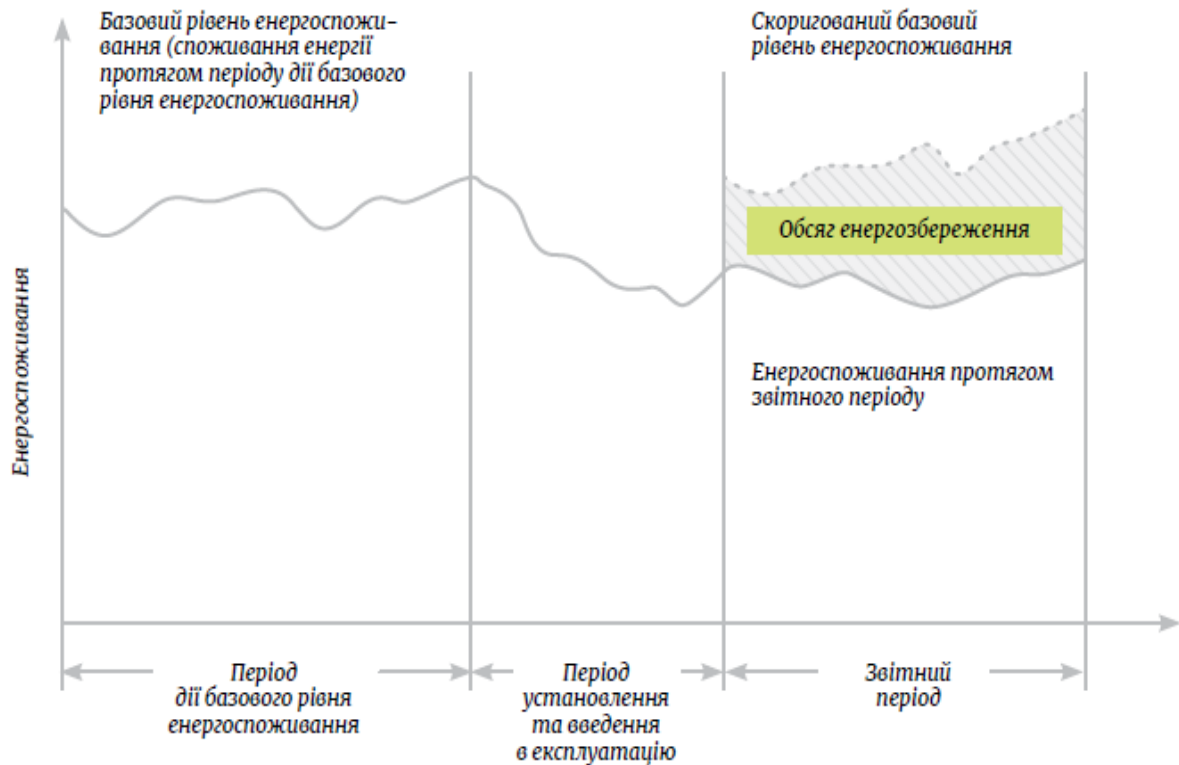


Рисунок 1.3 – Відображення застосування БРЕ [5]

### 1.2.2 Показники енергоефективності

ПЕЕ мають надавати відповідну інформацію про рівень досягнутої енергоефективності для того, щоб різні користувачі всередині організації розуміли її рівень досягнутої енергоефективності та вживали заходи щодо їх поліпшення. ПЕЕ можна застосовувати на рівні об'єкта, системи, процесу чи обладнання, щоб приділити різні рівні уваги [4].

Організація повинна встановити енергетичне завдання та БРЕ для кожного ПЕЕ. Під час визначення ПЕЕ організація повинна знати свої характеристики енергоспоживання, такі як базова навантага (тобто фіксоване енергоспоживання), а також змінні навантаги, пов'язані з виробництвом, розміщенням, погодою та іншими чинниками. Організації визначають завдання для рівня досягнутої енергоефективності як частину процесу планування енергії в своїх системах енергоменеджменту. Енергетичні завдання повинні характеризуватися значеннями ПЕЕ [4].

ПЕЕ, порівнювані в різний час, повинні давати змогу організації визначати чи змінився рівень досягнутої енергоефективності та чи відповідає це поставленим завданням. Під час вибору відповідних ПЕЕ, ключовими чинниками для розгляду є користувачі інформації та їхні потреби. Основними типами ПЕЕ є [4]:

- вимірне значення енергії: вимірювання споживання всієї ділянки або одного чи більше використання енергії за допомогою лічильника;
- співвідношення вимірених значень: рівняння енергоефективності;
- статистична модель: зв'язок між енергоспоживанням та визначальними змінними за допомогою лінійної або нелінійної регресії;
- проєктна базова модель: взаємозв'язок між енергоспоживанням та визначальними змінними, використовуючи технічне моделювання.

### **1.3 Аналіз методів прогнозування енергоспоживання**

Прогнозування споживання електроенергії є дуже важливим аспектом у роботі промислових підприємств. Кожне з підприємств має визначити для себе споживчу потужність, якої воно має досить чітко та суворо дотримуватись, оскільки відхилення загрожують штрафами.

Саме тому однією з актуальних тем на ринку електроенергії сьогодні є прогнозування споживання енергії на певний термін. На сьогоднішній день існує приблизно 150 методів прогнозування, але на практиці використовуються близько 20-30 основних методів. В даному пункті буде розглянуто детально лише деякі з методів прогнозування.

#### **1.3.1 Прогнозна екстраполяція**

Екстраполяція - це метод наукового дослідження, який заснований на поширенні минулих тенденцій та тенденцій сьогодення, закономірностей, зв'язків на майбутній розвиток об'єкта прогнозування. У вузькому значенні слова, екстраполяція - це знаходження по ряду даних функції інших її значень, що знаходяться поза цим рядом. Під час оцінки параметрів залежностей

найбільш поширеними є метод найменших квадратів, метод експоненційного брауя часових рядів, метод ковзної середньої та інші. Тренд (еволюаторна складова, вікова тенденція) - середня лінія руху прогнозованої характеристики, випадкова компонента характеризує випадкові відхилення фактичних показників динаміки об'єкта від середньої лінії. Застосовуючи цей метод, слід уникати формальної екстраполяції. Формальна екстраполяція, ґрунтуючись виключно на виявлених кількісних залежностях, передбачає збереження у майбутньому тенденції розвитку об'єкта, виявленого у минулому. Метод формальної екстраполяції не дає точних результатів, а при довгостроковому та довгостроковому прогнозуванні може призвести до помилкових та абсурдних результатів. Прогнозна екстраполяція пов'язує дані про динаміку об'єкта прогнозування з аналізом логіки його розвитку [7].

Для оцінки коефіцієнтів найчастіше використовується метод найменших квадратів (МНК). Сутність МНК полягає у пошуку коефіцієнтів моделі тренду, що мінімізують її відхилення від вихідного тимчасового ряду. Недолік даного методу полягає в тому, що модель тренду жорстко фіксується, а це робить можливим його застосування лише за невеликих періодах попередження, тобто при короткостроковому прогнозуванні [8].

Метод експоненційного згладжування тимчасових рядів є модифікацією методу найменших квадратів для аналізу часових рядів, що є усередненням значень часового ряду. Воно може бути виконано за різними методиками: як середні арифметичні або середні геометричні, за парною чи непарною кількістю точок. Процедура згладжування спрямована на мінімізацію випадкових відхилень точок ряду від деякої гладкої кривої передбачуваного тренду процесу. Цей метод дозволяє оцінити параметри моделі, що описує тенденцію, яка сформувалася наприкінці базисного періоду і не просто екстраполуює діючі залежності у майбутнє, а й пристосовує і адаптує до умов, що змінюються в часі. Метод експоненційного згладжування застосовується при коротко- та середньостроковому прогнозуванні [8].

Використання методу прогнозованої екстраполяції для короткострокового прогнозування електроспоживання обмежено суттєвими недоліками [8]:

- Неможливість врахування безлічі параметрів, що впливають на електроспоживання промислового підприємства.
- Жорстка фіксація моделі тренду, яка не дозволяє врахувати короткострокові тенденції електроспоживання, пов'язані зі зміною попиту, а, отже і обсягів випуску продукції підприємства.

### **1.3.2 Кореляційний та регресійний аналізи**

Одним з найбільш поширених методів отримання прогнозів електроспоживання є побудова моделі множинної регресії на основі методу найменших квадратів. За допомогою кореляційного аналізу виявляється наявність статистично значущих зв'язків між змінними та оцінюється міра їх щільності. Парні коефіцієнти кореляції характеризують взаємозв'язок між двома вибраними змінними на фоні взаємодії з іншими показниками і є найпоширенішими показниками щільності зв'язку під час статистичного аналізу даних [9].

Потім переходять до математичного опису конкретного виду залежностей із використанням регресійного аналізу. Для цього підбирають клас функцій, що зв'язує результативний показник  $Y$  та аргументи  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_k$ , відбирають найбільш інформативні аргументи, обчислюють оцінки невідомих значень параметрів рівняння зв'язку та аналізують точність отриманого рівняння [10].

Кореляційні та регресійні методи враховують вплив широкого набору вхідних параметрів (метеорологічні фактори, формування ранкового та вечірнього максимумів тощо) на вихідні прогнозні дані електроспоживання. Побудова та оцінка регресійної моделі здійснюється в Excel за допомогою модуля регресії пакета аналізу даних.

Найпростішим варіантом регресійної моделі є лінійна регресія. В основу покладено припущення, що існує дискретний зовнішній фактор  $X(t)$ , що

впливає на досліджуваний процес  $Z(t)$ , при цьому зв'язок між процесом та зовнішнім фактором лінійна, але на практиці на процес  $Z(t)$  впливає цілий ряд дискретних зовнішніх факторів  $X_1(t), \dots, X_S(t)$ , така модель називається множинною [10]. Недоліком даної моделі є те, що для обчислення прогнозу процесу  $Z(t)$  необхідно знати майбутні значення всіх факторів  $X_1(t), \dots, X_S(t)$ , що майже нездійсненно.

Кореляційні та регресійні методи прогнозують поведінку змінної величини виходячи з тимчасового взаємозв'язку між нею та іншою змінною, яка може бути виражена у вигляді статистичної залежності, яка називається регресією або кореляцією. Інакше кажучи, ці методи дозволяють встановити залежність зміни однієї змінної у разі зміни іншою на певну величину. Регресійний аналіз досліджує взаємозв'язок залежної змінної від інших незалежних, застосовується за наявності зв'язку між прогнозованим процесом та будь-якими факторами, що впливають на нього [11].

Лінійна регресія зазвичай використовується для довгострокових прогнозів, але може також застосовуватися для менш тривалих прогнозів. В процесі роботи промислового підприємства природною є поява нової інформації, що потребує коригування даних прогнозованої моделі. Таке коригування є дуже складною і трудомісткою процедурою, що вимагає великої кількості обсягів обчислень. Це призводить до того, що динамічна зміна характеристик прогнозованої моделі найчастіше неможлива. Іноді вимоги прогнозованої моделі до вихідної інформації для реальних спостережень нездійсненні, у зв'язку з чим прогноз виявляється неточним і неефективним [12].

### **1.3.3 Адаптивні методи прогнозування**

До адаптивних методів належать методи Брауна, Хольта та Хольта-Уінтерса. В основі лежить модель рекурсивного гармонійного процесу, запропонована Дж.Юлом [13].

При обробці часових рядів, як правило, найціннішою є інформація останнього періоду, оскільки необхідно знати, як розвиватиметься тенденція, що існує в даний момент, а не тенденція, що склалася в середньому. Адаптивні методи дозволяють врахувати різну інформаційну цінність рівнів тимчасового ряду, ступінь "старіння" даних. Ця властивість адаптивних методів є суттєвою їх перевагою для прогнозування електроспоживання підприємства [14].

Початкова побудова прогнозної моделі проводиться за декількома першими спостереженнями об'єкта, складається прогноз, який порівнюється з фактичними даними. За результатами прогнозу відбувається коригування моделі, потім складається прогноз по наступним спостереженням і так до вичерпання всіх спостережень. Таким чином, адаптація здійснюється ітеративно, з отриманням кожної нової фактичної точки ряду. Модель постійно "вбирає" нову інформацію, пристосовується до неї і тому відображає тенденцію розвитку, що існує в даний момент.

Оцінювання коефіцієнтів адаптивної моделі зазвичай здійснюється на основі рекурентного методу, який формально відрізняється від методу найменших квадратів, методу максимальної правдоподібності та інших методів тим, що не потребує повторення всього обсягу обчислень з появою нових даних [13].

Таким чином можна отримати точний прогноз на інтервал, більший, ніж, наприклад, під час використання методу експоненційного згладжування [8]. Однак це справедливо лише за дуже довгих часових рядів. В даний час не існує методики, яка обчислює достатній обсяг вихідної інформації таких моделей, що значно ускладнює процес їх реалізації.

#### **1.3.4 Прогнозування на базі ARIMA моделей**

Авторегресійним називається процес, при якому значення ряду знаходиться в лінійній залежності від попередніх значень. Якщо аналізований динамічний процес залежить від значень, віддалених від 1 до  $n$  тимчасових лагів назад, то це авторегресійний процес порядку  $n$ , тобто AR ( $n$ ).

Авторегресійний процес і процес рухомого середнього допускають, що аналізовані дані є стаціонарними. Інтеграція означає, якого порядку різниці повинні бути розраховані для того, щоб отримати стаціонарний часовий ряд. Знаходження різниць цим методом означає всього лише знаходження змін значення змінної в наступні періоди. Розглянемо докладніше сутність перерахованих моделей. Перш за все, слід зазначити, що ARIMA-моделі описують не саме часовий ряд, а залишки  $s_t$  що виходять після відбору з тимчасового ряду його  $x_t$  не випадковою складовою (тренду) [15].

Моделі авторегресії порядку  $p$  або AR ( $p$ ) - моделі визначають залишки  $\varphi_t$  наступним чином:

$$\varphi_t = \sum_{j=1}^p \beta_j \cdot s_{t-j} + \delta_t \quad (1.1)$$

де  $\beta_j$  - деякий числовий коефіцієнт, що не перевищує по абсолютній одиниці, а  $\delta_t$  - послідовність випадкових величин, що утворює білий шум.

Моделі змінного середнього порядку  $q$  або MA( $q$ ) – моделі визначають залишки наступним чином:

$$\varphi_t = \sum_{j=1}^{\infty} q_j \cdot \varphi_{t-j} + \delta_t \quad (1.2)$$

де  $q_j$  - деякий числовий коефіцієнт,  $\delta_t$  - послідовність випадкових величин, що утворює білий шум.

Проблеми при використанні методу Бокса-Дженкінса при прогнозуванні електроспоживання виникають насамперед через неоднорідність величини електроспоживання, як тимчасового ряду і складності практичної реалізації прогнозних моделей, заснованих на цьому методі. Крім того, методам Бокса-Дженкінса притаманні характерні недоліки кореляційних методів, що обмежують можливість його застосування для прогнозування електроспоживання підприємства, що працює в умовах ринкової економіки [15].

### 1.3.5 Прогнозування з використанням штучних нейронних мереж

Штучні нейронні мережі (ШНМ) представляють собою технологію, яка походить з багатьох наук: нейрофізіології, математики, статистики, фізики, комп'ютерних наук і техніки. Вона знаходить своє застосування в таких різноманітних областях, як моделювання, аналіз часових рядів, розпізнавання об'єктів, обробка сигналів та керування завдяки одній важливій властивості - вмінню навчатися на основі даних за участю вчителя або без його втручання [15].

В даний час відомо багато видів ШНМ, кожен з яких має свої характерні особливості та оптимально для вирішення тих чи інших завдань [16].

Всі ШНМ є сукупністю двох типів елементів - нейронів і зв'язків між ними. Нейрони представляють собою прості процесори (обробні елементи мережі), обчислювальні можливості яких обмежуються деяким правилом комбінування вхідних сигналів і активації, що дозволяє обчислювати вихідний сигнал за сукупністю вхідних сигналів. Вихідний сигнал елемента посилюється іншим елементам за суцільним зв'язком, з кожним з яких пов'язаний ваговий коефіцієнт, або вага. В залежності від його значення сигнал, що передається, або посилюється, або пригнічується [15].

На рисунку 1.4 представлено найпростішу нелінійну модель нейрона.

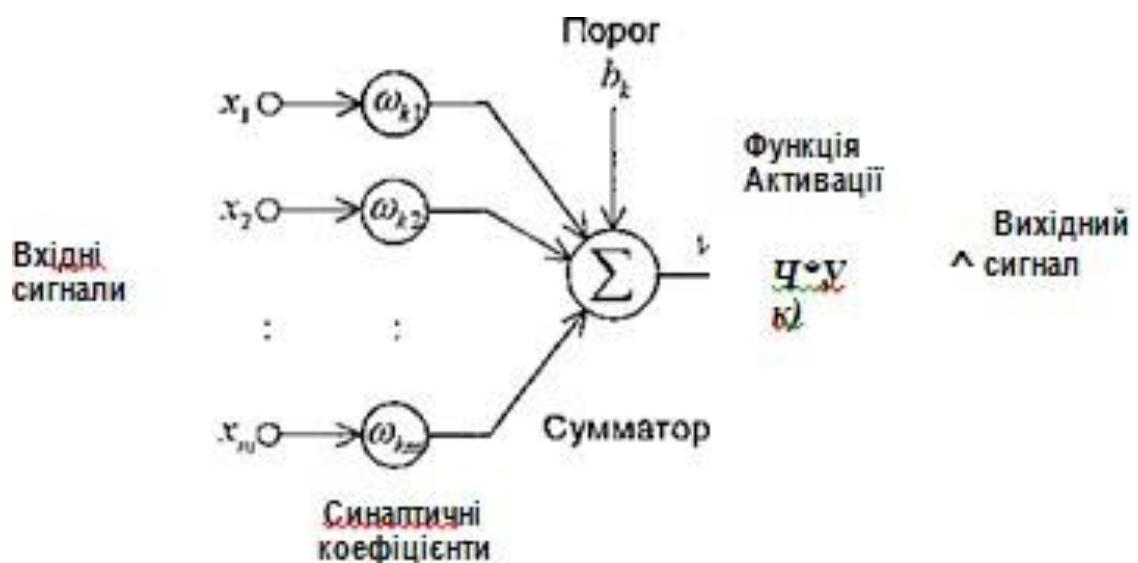


Рисунок 1.4 - Найпростіша нелінійна модель нейрона [17]



У цій моделі можна виділити три основні елементи [8]:

1. Набір синапсів (або зв'язків), кожен з яких характеризується своєю вагою (або силою). Зокрема сигнал  $x_i$  на вході синапса  $j$ , пов'язаного з нейроном  $k$ , множиться на вагу  $w_{kj}$ ;
2. Суматор складає вхідні сигнали, зважені відносно відповідних синапсів нейрона;
3. Функція активації обмежує амплітуду вихідного сигналу нейронів. Зазвичай нормалізований діапазон виходу нейрона лежить в інтервалі  $[0,1]$  або  $[-1,1]$ .

У модель нейрона також включений пороговий елемент  $b_k$ . Ця величина відображає збільшення або зменшення вхідного сигналу, що подається на функцію активації [15].

Величина  $v_k$ , що отримується на виході суматора, називається потенціалом активації або індуковане локальне поле.

В математичному поданні модель нейрона описується наступною парою рівнянь:

$$u_k = \sum_{j=1}^m w_{kj} x_j \quad (1.3)$$

$$y_k = \varphi \cdot (u_k + b_k) \quad (1.4)$$

де  $x_1, x_2, \dots, x_m$  - вхідні сигнали;  $w_{k1}, w_{k2}, \dots, w_{km}$  - синаптичні ваги нейрона  $k$ ;  $u_k$  - лінійна комбінація вхідних впливів;  $b_k$  - поріг;  $\varphi(u_k + b_k)$  - функція активації;  $y_k$  - вихідний сигнал нейрона [1].

Сума зважених вхідних сигналів і порогу називається локальним індукованим полем нейрона:

$$v_k = u_k + b_k \quad (1.5)$$

Функція активації  $\varphi(v)$  визначає величину вихідного сигналу нейрона в

залежності від індукованого локального поля  $v$ . Зазвичай виділяють три основних типи функції активації [17]:

1. Функція одного кроку, або порогова функція, описується наступним виразом:

$$\varphi(v) = \begin{cases} 1, \text{ якщо } v \geq 0 \\ 0, \text{ якщо } v < 0 \end{cases} \quad (1.6)$$

2. Переривчасто-лінійна функція записується наступним виразом:

$$\varphi(v) = \begin{cases} 1, \text{ якщо } v \geq \frac{1}{2} \\ |v|, \text{ якщо } \frac{1}{2} > v > -\frac{1}{2} \\ 0, \text{ якщо } v \leq -\frac{1}{2} \end{cases} \quad (1.7)$$

Сигмоїдальна функція є найпоширенішою функцією, яка використовується для створення штучних нейронних мереж. Це швидко зростаюча функція, яка підтримує баланс між лінійною і нелінійною поведінкою [15]. Прикладом сигмоїдальної функції може служити логістична функція, що задається виразом:

$$\varphi(v) = \frac{1}{1+e^{-\alpha v}} \quad (1.8)$$

де  $\alpha$  - параметр нахилу сигмоїдальної функції. Змінюючи цей параметр, можна побудувати функції з різною крутизною, рис. 1.5.

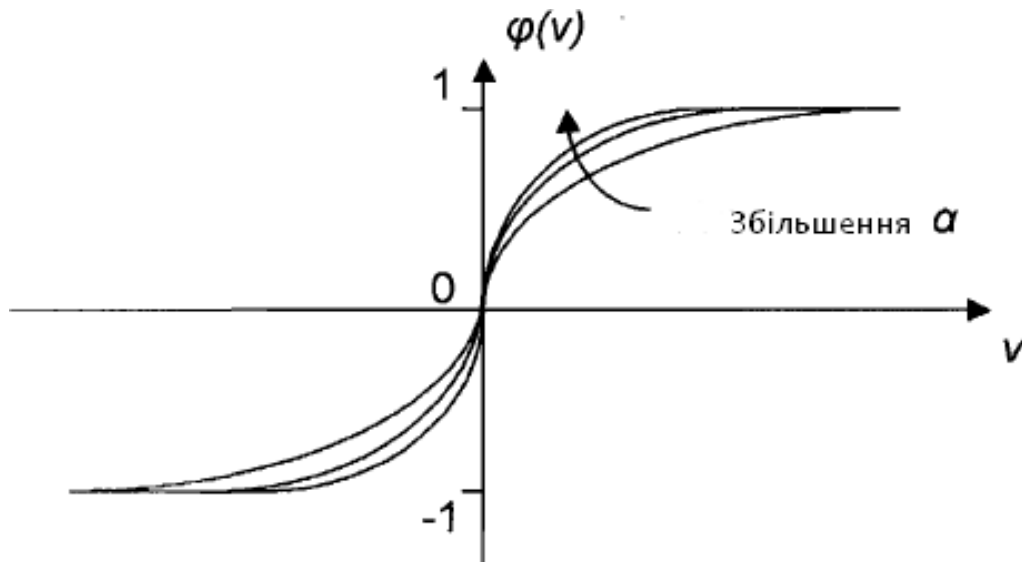


Рисунок 1.5 – Сигмоїдальна функція

Всі нейрони можна віднести до трьох різних типів: вхідні нейрони, які отримують сигнали із зовнішнього середовища; вихідні нейрони, які виводять в зовнішнє середовище результати обчислень; приховані нейрони, які призначені для трансформації сигналів.

На сьогоднішній день відомі і широко застосовуються для вирішення різних завдань кілька різних типів ШНМ: багатошаровий персептрон, мережі на основі радіальних базисних функцій, карти самоорганізації, рекурентні нейронні мережі [15].

На рис. 1.6 представлена схема найбільш простого ШНМ - багатошарового персептрона.

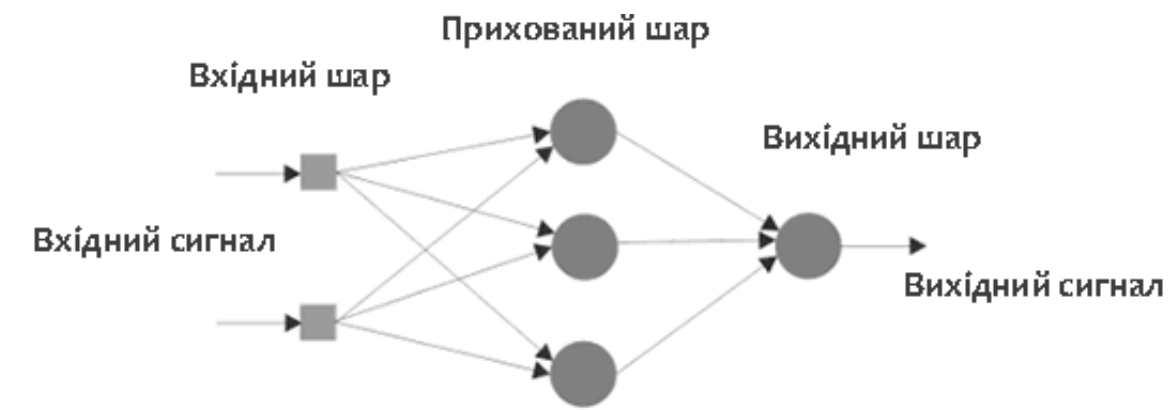


Рисунок 1.6 – Архітектура багатошарового персептрона [15]

Багатошаровий персептрон складається з безлічі сенсорних елементів (вхідних нейронів), що утворюють вхідний шар; одного або декількох прихованих шарів обчислювальних нейронів і одного вихідного шару нейронів. Багатошарові персептрони мають три відмітних ознаки [15]:

- кожен нейрон має гладку (всюди диференційовану) нелінійну функцію активації (як правило, сигмоїдальну);
- мережа містить один або кілька шарів прихованих нейронів, які не є частиною входу або виходу мережі;
- мережа має високий ступінь зв'язності, яка реалізується проміжними синаптичними з'єднаннями.

Комбінація всіх цих властивостей поряд зі здатністю до навчання на власному досвіді забезпечує високу обчислювальну потужність багатошарового персептрона. Встановлено, що багатошаровий персептрон має достатню точність і швидкість для прогнозування електроспоживання промислових підприємств.

Найважливішою властивістю нейронних мереж є їх спроможність навчатися на основі даних навколишнього середовища, і в результаті навчання підвищувати точність обчислень. Підвищення точності відбувається з часом відповідно до визначених правилами. Навчання нейронної мережі відбувається за допомогою інтерактивного процесу коригування синаптичних ваг і порогів. В ідеальному випадку нейронна мережа отримує знання про навколишнє середовище на кожній ітерації процесу навчання, який передбачає таку послідовність подій [15]:

- в нейронну мережу надходять сигнали із зовнішнього середовища;
- в результаті цього змінюються вільні параметри нейронної мережі;
- після зміни внутрішньої структури нейронна мережа відповідає на збудження вже іншим чином.

Для різних видів архітектури ШНМ застосовуються ті чи інші алгоритми навчання (зворотного поширення помилок, модельного «повтору» і т. п.). Між собою алгоритми навчання відрізняються способом налаштування

синаптичних ваг нейронів.

Можна виділити й перелічити ряд переваг нейронної мережі при використанні їх для побудови прогнозних моделей електроспоживання промислових підприємств [18]:

1. Нелінійність - дозволяє встановлювати складні залежності електроспоживання від вхідних даних, що забезпечує меншу помилку прогнозу в порівнянні з іншими методами.
2. Самонавчання - мережа навчається на наданій їй вибірці даних, самостійно визначаючи значимість кожного заданого параметра, вплив його на кінцеву величину електроспоживання.
3. Хороша узагальнююча здатність.
4. Адаптивність - мережа може бути додатково навчена при надходженні нових даних, що забезпечує гнучке підстроювання під змінені умови роботи підприємства.
5. Висока перешкодозахищеність - відсутність частини даних погіршує прогноз набагато меншою мірою, ніж для інших алгоритмів прогнозування.

Однак при використанні ШНМ в якості основи для прогнозної моделі виникає наступний перелік складностей [14]:

1. Невизначеність у виборі числа прихованих шарів і кількості нейронів в шарі.
2. Складність вибору відповідної швидкості навчання.
3. Можливе «перенавчання» нейронної мережі.

### **1.3.6 Метод головних компонент**

З числа методів, які дозволяють узагальнювати значення елементарних ознак, метод головних компонент виділяється простою та логічною конструкцією; на його прикладі стають зрозумілими загальна ідея і цільові настанови численних методів факторного аналізу [19].

Для виявлення найбільш значущих факторів і їх структури - найбільш виправданим є метод головних компонент. Суть методу полягає в заміні корельованих компонентів некорельованими факторами. Іншою важливою характеристикою методу є можливість виокремлення найбільш значущих головних компонент і виключення інших з аналізу, що спрощує інтерпретацію результатів. Переваги даного методу також у тому, що він є математично обґрунтованим методом факторного аналізу. За твердженням ряду дослідників, метод головних компонент не є методом факторного аналізу, оскільки не розщеплює дисперсію індикаторів на загальну й унікальну.

Метод головних компонент дає можливість за  $m$  вхідними ознаками виділити  $m$  головних компонент, або узагальнених ознак. Простір головних компонентів є ортогональним. Математична модель головних компонент базується на логічному допущенні, що значення безлічі взаємозалежних ознак породжують деякий загальний результат [19].

Метод головних компонент використовується для вивчення взаємозв'язків між досліджуваними показниками. За його допомогою можна виявляти приховані показники (фактори), які відповідають за наявність лінійних статистичних зв'язків (кореляцій) між ними [19].

## **Висновки до розділу 1**

Кожне підприємство повинно відслідковувати кількість спожитої енергії з метою ефективного керування рівнями досягнутої ефективності своїх об'єктів, систем, а також процесів та обладнання.

ПЕЕ — це значення або міра, яка виражає кількісно результати, пов'язані з енергоефективністю, енерговикористанням та енергоспоживанням на об'єктах, у системах, процесах і обладнанні. Організації використовують ПЕЕ як міру їх рівня досягнутої енергоефективності. БРЕ, що є довідковим показником, характеризує та кількісно визначає рівень досягнутої енергоефективності організації протягом певного періоду часу [4]. БРЕ дає

змогу підприємству оцінити зміну рівня досяжної енергоефективності між обраними проміжками часу. А також, БРЕ використовують для визначення економії енергії як еталон «до» та «після» впровадження заходів щодо поліпшення рівня досяжної енергоефективності.

Організації визначають завдання для рівня досягнутої енергоефективності в рамках процесу енергетичного планування у своїх системах енергетичного менеджменту [4].

Відповідно, організація встановлює ПЕЕ і БРЕ з метою ефективного вимірювання та кількісного оцінювання свого рівня досяжної енергоефективності. Рівень досягнутої енергоефективності може бути порушено рядом визначальних змінних і статичних чинників.

## **2 ЕНЕРГОАУДИТ ПІДПРИЄМСТВА МОЛОЧНОЇ ГАЛУЗІ**

### **2.1 Загальний опис об'єкту**

Об'єктом індивідуального завдання є молокозавод, а саме цех по виготовленню сирів. До складу підприємства входять: виробничий корпус, цех по виробленню сухого молока, парова котельня, цех по виготовленню сирів, компресорна, адміністративно-побутовий корпус, транспортний цех. Основна продукція молокозаводу: сири тверді, м'які, копчені, масло, а також спреди, СЗМ. Підприємство працює в двозмінному режимі. Кількість робочих годин і змін на добу – 8 год/2 зміни (перша зміна з 7:00 до 15:00, друга зміна – з 15:00 до 23:00). Загальна кількість працівників: 500 чол.

### **2.2 Аналіз динаміки виробничої діяльності за останні три роки**

На даний час завод працює з переробкою молока на рівні 300 т/добу. По різним оцінкам заплановано збільшення виробництва на 100%. Деякі підготовчі етапи вже проведені. Нижче приведені варіанти розподілу молока між цехами, надана 12.10.2020 року.

Середньодобове приймання молока складає 280 т, з них 96,6 т іде на виробництво кисломолочного сиру в асортименті. Середня норма на кисломолочний сир складає 5,8.

Решта кількість молока (183,4т):

- 1 варіант – на сепарування, де отримуємо знежирене молоко для виробництва сухого знежиреного молока (166,9 т) з нормою виходу 11,35 та вершки 40% (16,5 т), які ідуть на виробництво масла, спреду та суміші рослинно-вершкової.

Із даної кількості вершків можна отримати:

- масло із жиром 72,6% - 9094 кг та залишковий продукт - маслянка в кількості 7412 кг.

- масло із жиром 82,5% - 8002 кг та залишковий продукт - маслянка в кількості 8503 кг.



– масло із жиром 82,0% - 8082 кг та залишковий продукт - маслянка в кількості 8454 кг.

– масло із жиром 63,0% - 10480 кг та залишковий продукт - маслянка в кількості 6026 кг.

Найбільше виготовляється масло із жиром 72,6 % та 82,5 %. Відсоток решти не великий (виробництво 1 раз на тиждень).

Із маслянки виробляється продукт - напівфабрикат білковий, норма виходу, якого складає 12,0.

– 2 варіант - із них 60 т іде на виробництво сиру жирного, норма виходу, якого складає 9,5; на сепарування, де отримуємо 60 т знежиреного молока на виробництво сиру нежирного, норма виходу, якого складає 14,0 та решта кількість знежиреного молока (52,3 т) резервується для подальшого виробництва сухого знежиреного молока. Отримані вершки в кількості 11,1 т з жиром 40% направляються на виробництво масла.

Виробництво сирків солодких, сирів плавлених та сиру вершкового відбувається згідно затверджених рецептур. На сир плавлений закладка в котел-плавитель складає 250-160 кг, в залежності від виду сиру; на сир вершковий – 120 кг.

В таблиці 2.1 наведено дані щодо обсягів виробництва продукції на підприємстві молочної галузі за 2020 рік.

Таблиця 2.1 – Обсяги виробництва продукції за 2020 рік

Період (місяць, рік)	Вироблена продукція, т/міс					
	Масло	Сир	Плавлений сир	Плавлене масло солодко-вершкове	Спред	Сухе молоко
січень 2020 р.	206	365	58	12	7	230
лютий 2020 р.	213	365	54	8	14	25
березень 2020 р.	325	423	78	18	19	336

Продовження таблиці 2.1

квітень 2020 р.	392	373	34	7	4	379
травень 2020 р.	324	397	50	11	9	432
червень 2020 р.	310	360	47	10	12	429
липень 2020 р.	265	405	53	10	12	419
серпень 2020 р.	253	452	54	10	6	384
вересень 2020 р.	271	447	65	12	12	209
жовтень 2020 р.	299	244	73	13	16	287
листопад 2020 р.	263	263	72	11	11	284
грудень 2020 р.	145	290	79	14	19	152
Загалом, т/рік	3265	4384	717	138	141	3566

Помісячна зміна загального відпуску продукції показана на рисунку 2.1.

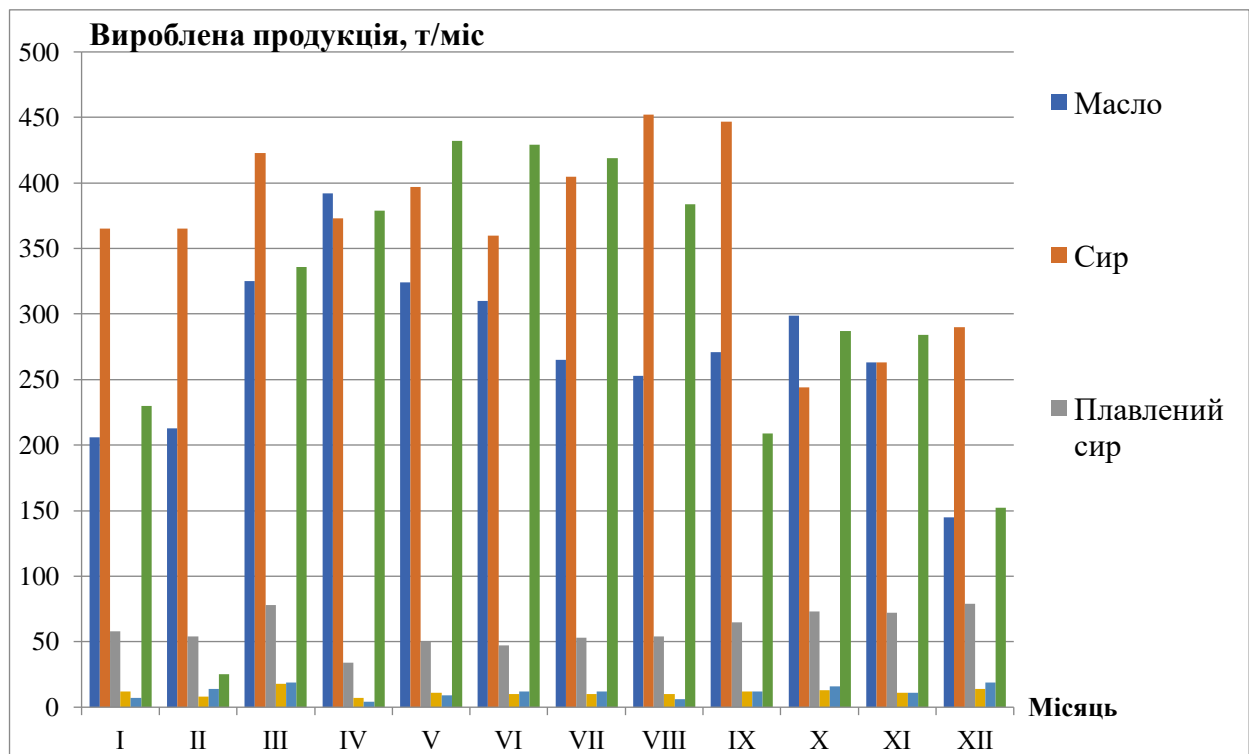


Рисунок 2.1 – Динаміка помісячних обсягів загального виробництва продукції за 2020 рік

### 2.3 Аналіз динаміки споживання ПЕР за останні три роки

Представимо річне споживання ресурсів на підприємстві за 2018 – 2020 роки у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Споживання ресурсів за 2018 - 2020 рр.

Місяць	Теплова енергія, Гкал	Електрична енергія, кВт·год/міс	Холодна вода, м <sup>3</sup>	Гаряча вода, м <sup>3</sup>	Газ, м <sup>3</sup>
1	2	3	4	5	6
січень 2018р.	1848	512724	10502		292754
лютий 2018р.	1619	558690	9644		254817
березень 2018р.	1589	476549	11256		254574
квітень 2018р.	1452	560578	8600		235501
травень 2018р.	1241	584914	9741		205470
червень 2018р.	1321	683293	5940		215350
липень 2018р.	1528	629013	6204		252545
серпень 2018р.	1468	661529	7105		242258
вересень 2018р.	1281	535278	5601		211460
жовтень 2018р.	882	609421	5623		145320
листопад 2018р.	1017	433277	4174		121315
грудень 2018р.	1590	356211	4330		254269
Загалом 2018р.	16836	6601479	88720	0	2685632
січень 2019р.	1354	455793	4736	988	228727
лютий 2019р.	608	333738	4002	1165	106313
березень 2019р.	868	327448	5543	1237	152001
квітень 2019р.	1444	476506	5323	924	248416
травень 2019р.	1416	536499	6641	1096	233511
червень 2019р.	1311	545766	7598	1227	222763
липень 2019р.	1108	545616	7037	1233	188338
серпень 2019р.	918	714944	8822	1259	168210
вересень 2019р.	1055	374363	7119	1139	191241

Продовження таблиці 2.2

жовтень 2019р.	1171	447649	7391	1117	192817
листопад 2019р.	1349	466230	10436	1170	224772
грудень 2019р.	1024	419720	7775	1390	80575
Загалом 2019р.	13626	5644271	82422	13946	2237682
лютий 2020р.	1417	459923	7105	1490	160693
березень 2020р.	1054	377724	7506	1426	34394
квітень 2020р.	1477	430913	10979	1482	161112
травень 2020р.	962	505406	11470	964	99592
червень 2020р.	968	556687	10411	833	137131
липень 2020р.	735	610837	10670	987	108400
серпень 2020р.	836	613508	10105	881	96585
вересень 2020р.	894	696130	8590	1226	163783
жовтень 2020р.	777	536871	7197	1088	160693
листопад 2020р.	896	381697	10161	1140	34394
грудень 2020р.	1400	313805	7570	1353	161112
Загалом 2020р.	12273	6067875	111064	13784	1446936

Графіки річного споживання ресурсів на підприємстві за 2018 – 2020 роки представлено на рисунках 2.2 – 2.6.

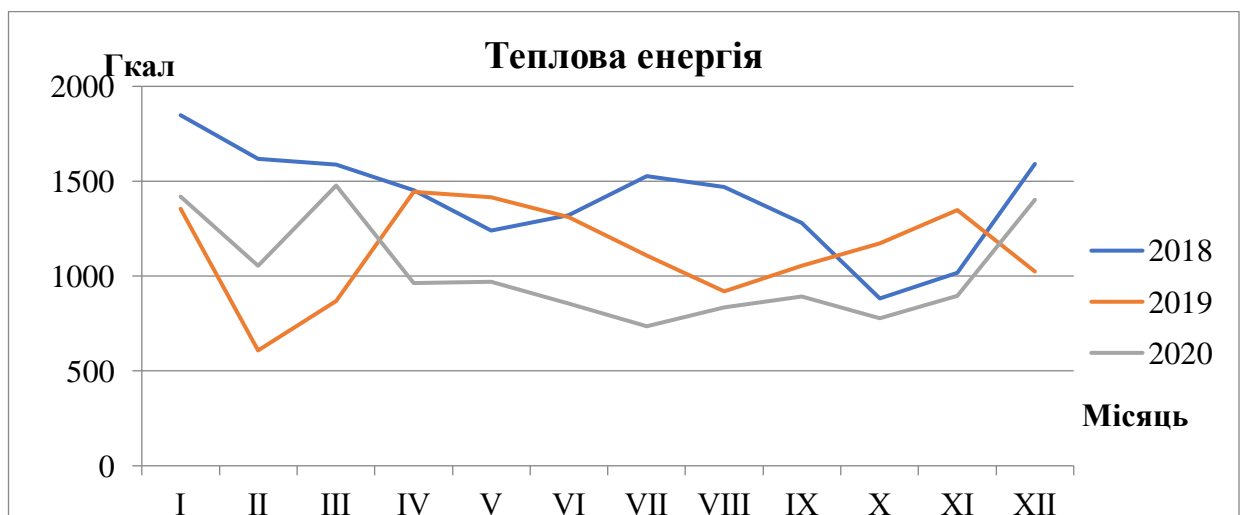


Рисунок 2.2 – Споживання теплової енергії за 2018 - 2020 рр

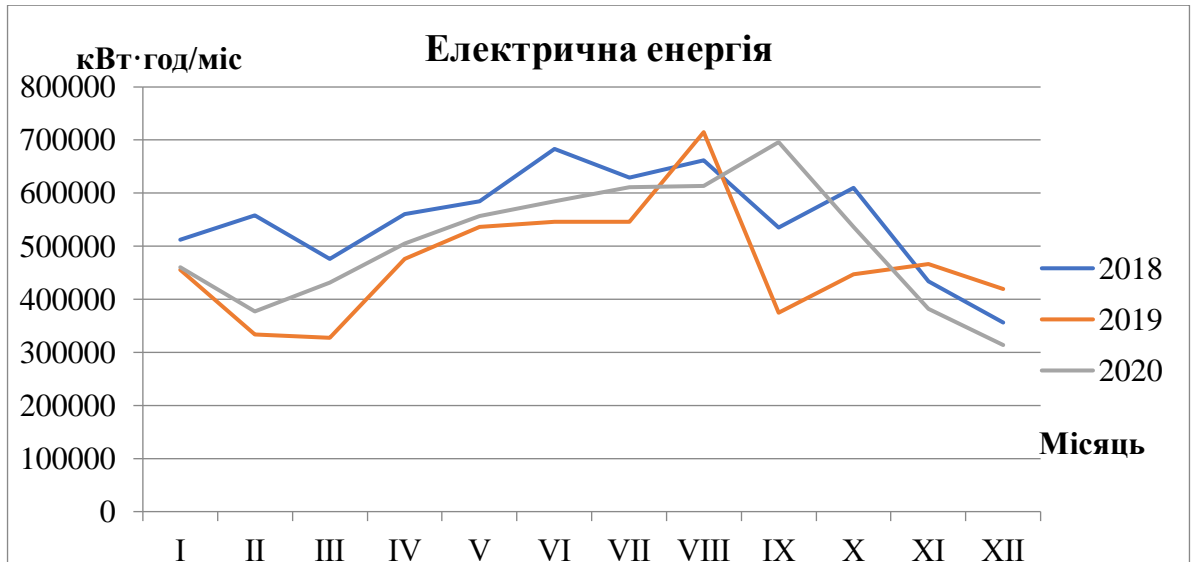


Рисунок 2.3 – Споживання електричної енергії за 2018 - 2020 рр

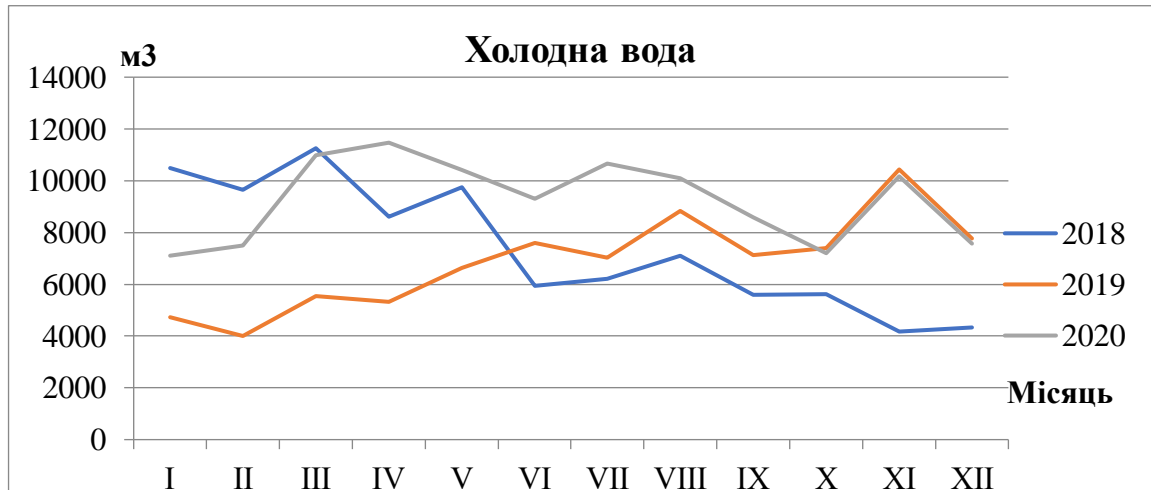


Рисунок 2.4 – Споживання холодної води за 2018 - 2020 рр

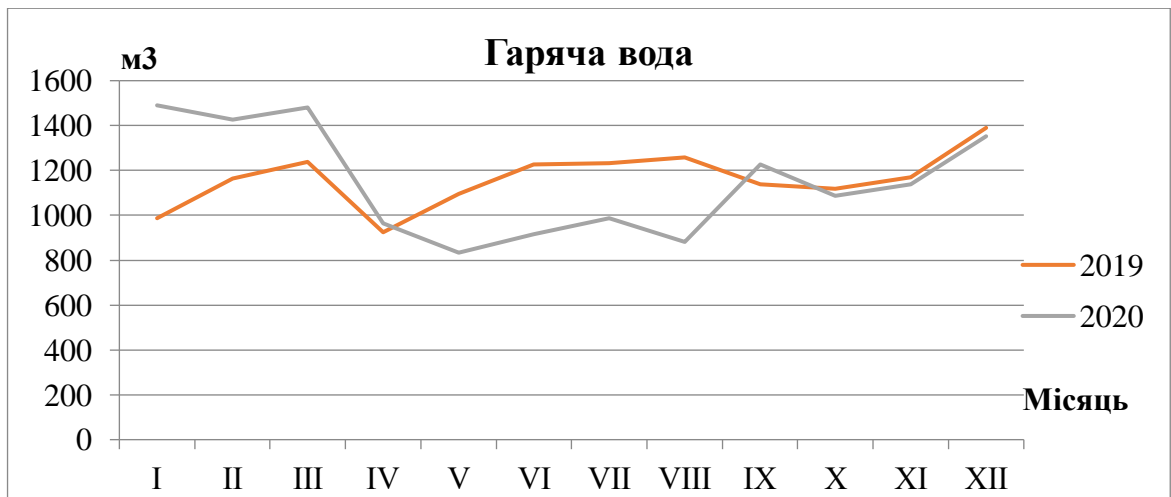


Рисунок 2.5 – Споживання гарячої води за 2019 - 2020 рр

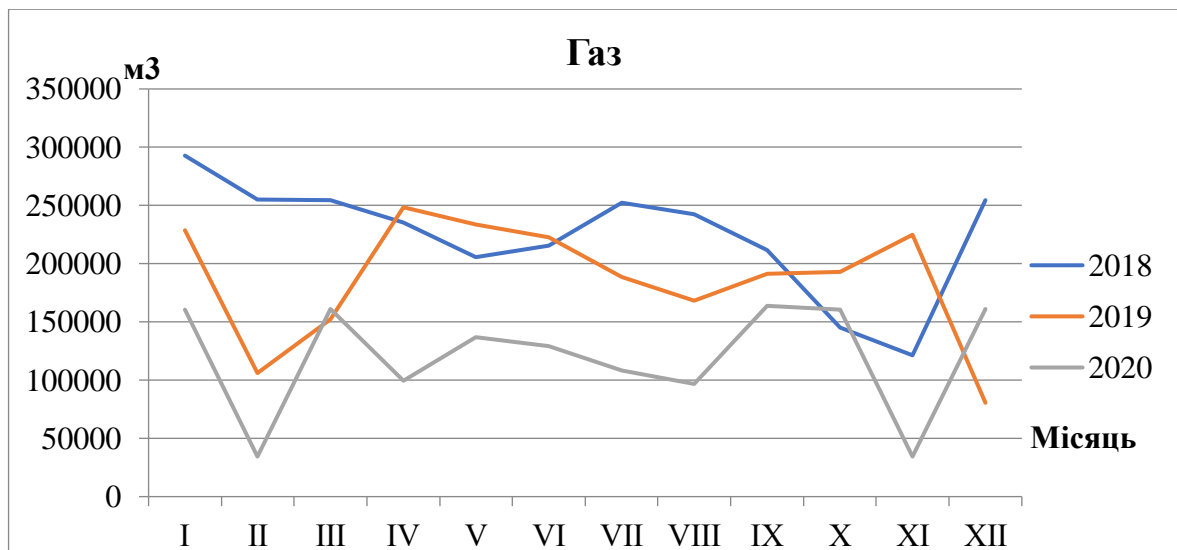


Рисунок 2.6 – Споживання газу за 2018 - 2020 рр

Загальне споживання енергоресурсів за 2018 - 2020 рр представлено в таблиці 2.3 та на рисунках 2.7 – 2.9.

Таблиця 2.3 – Загальне споживання енергоресурсів за 2018 - 2020 рр

Найменування	2018		2019		2020	
	т у.п.	%	т у.п.	%	т у.п.	%
Теплова енергія, Гкал	2408	38	1948	37	1755	42
Електрична енергія, кВт·год/міс	6601479	13	5644271	13	6067875	18
Газ, м³	2685632	49	2237682	50	1446936	40

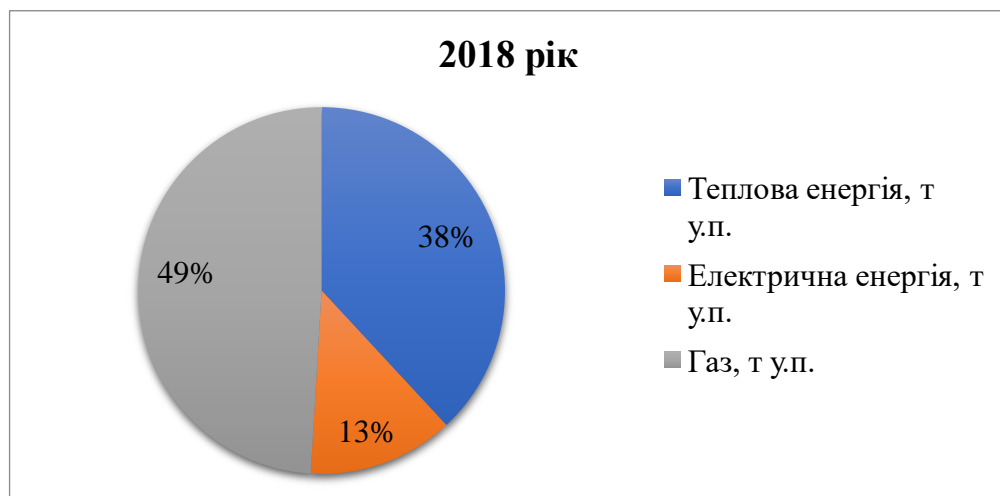


Рисунок 2.7 – Загальне споживання енергоресурсів за 2018 рік

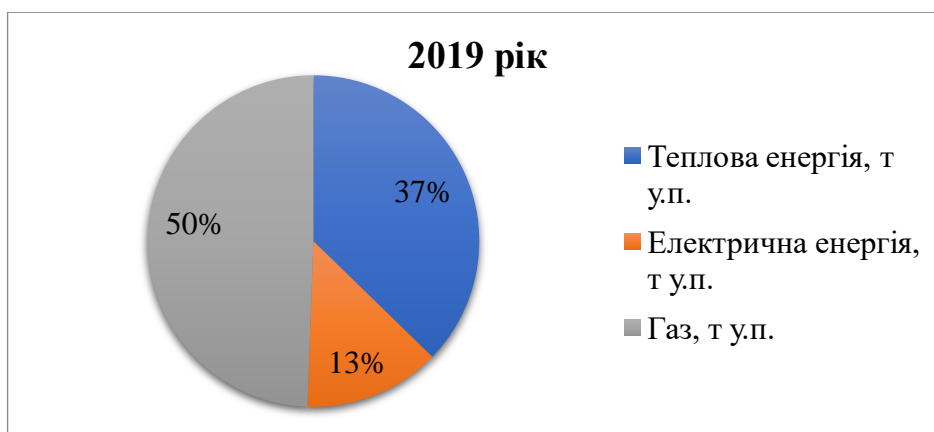


Рисунок 2.8 - Загальне споживання енергоресурсів за 2019 рік

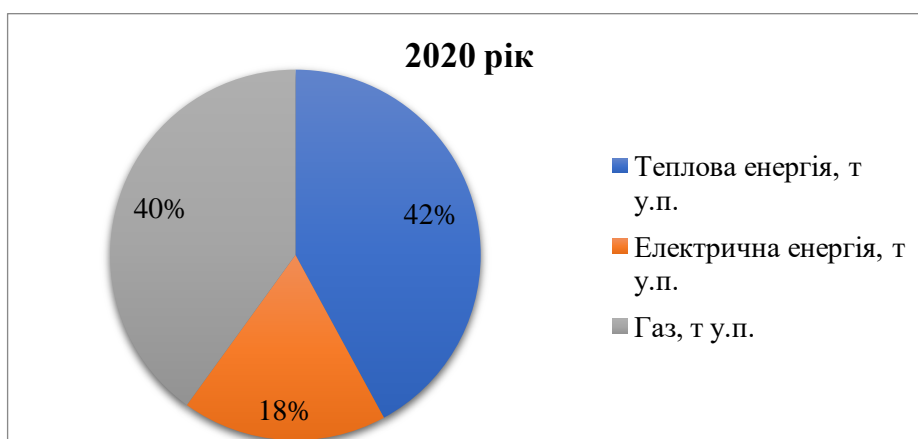


Рисунок 2.9 - Загальне споживання енергоресурсів за 2020 рік

## 2.4 Коротка характеристика споживачів електричної енергії цеху

В цеху по виготовленню сирів є відділення для виготовлення сирів та відділення для виготовлення кисломолочної продукції.

Основними споживачами електричної енергії цеху по виготовленню сирів молокозаводу є такі електроприймачі (ЕП):

- у відділенні для виготовлення сирів: сировиготовлювач, відділювач сироватки, відцентрові насоси, прес для сиру та солільний басейн;
- у відділенні для виготовлення кисломолочної продукції: сировиготовлювач, відцентрові насоси, резервуар для сироватки та охолоджувач сироватки;

- холодильне обладнання (холодильний агрегат дозрівання сиру, холодильний агрегат солильного відділення та холодильні агрегати камери зберігання кисломолочної продукції);
- компресори (компресори для виробництва холоду та компресори стисненого повітря);
- освітлення;
- вентиляція.

Енергоспоживаюче обладнання цеху по виготовленню сирів наведене в таблиці 2.4. Для кожного споживача наведена їх кількість, встановлена потужність та тривалість роботи.

Таблиця 2.4 - Енергоспоживаюче обладнання цеху по виготовленню сирів

Найменування енергоспоживаючого обладнання	Встановлена потужність, кВт	Кількість одиниць обладнання, шт.	Тривалість роботи, год/добу
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
Сировиготовлювач	2	1	13
	1,5	1	22
Насос відцентровий	30	2	8
	2,2	1	4
	3,5	1	5
Холодильний агрегат камери дозрівання сиру	6	2	24
Холодильний агрегат солильного відділення	8	1	
Холодильний агрегат камери зберігання кисломолочної продукції	4,5	1	
	9,5	1	
	10,5	1	
Компресор для виробництва холоду	160	2	8
Компресор стисненого повітря	315	1	7
	18,5	1	8
Відділювач сироватки	2,5	1	4
Прес для сиру	3	1	4



Продовження табл. 2.4

1	2	3	4
Солильний басейн	6	1	18
Резервуар для сироватки	1,5	1	4
Охолоджувач сироватки	5	1	4
Припливний вентилятор	2,2	3	16
Витяжний вентилятор	2,2	2	
Витяжний вентилятор	1,5	2	

Усі електропристачі розраховані на напругу 380 В, струм змінний трифазний, частотою 50 Гц.

Площа цеху по виготовленню сирів становить: 2867 м<sup>2</sup>.

Загальна кількість ЕП становить 28 шт. ЕП відносяться до II категорії надійності, перерва в електропостачанні яких призводить до значних збитків підприємства, масового браку продукції, розладу складного технологічного процесу, масового недовідпуску продукції, простоїв робочих місць, механізмів і промислового транспорту [20].

Найпотужнішим споживачем електричної енергії є: компресор стисненого повітря номінальною потужністю 315 кВт.

Найменш потужним споживачем є відцентровий насос потужністю 1 кВт.

Все обладнання цеху знаходиться в задовільному технічному стані та придатне для використання за призначенням, відповідає вимогам державних стандартів.

## 2.5 Оцінка рівня компенсації реактивної потужності об'єкта

На підприємстві наявна компенсація реактивної потужності. Компенсація реактивної потужності здійснюється конденсаторними установками на 450 квар, підключеними на шини 0,4 кВ ТП.

Підприємством надане погодинне споживання активної та реактивної енергії, яке представлено в таблиці 2.5. Добовий графік активного та реактивного електричного навантаження за 20 червня 2020 р. зображений на рисунку 2.10.

Таблиця 2.5 – Погодинне споживання активної та реактивної енергії

Година	P (кВт)	Q (квар)
1	915,75	323,75
2	878,75	314,5
3	860,25	291,375
4	823,25	300,625
5	777	300,625
6	758,5	291,375
7	878,75	309,875
8	869,5	300,625
9	962	374,625
10	1008,25	388,5
11	925	360,75
12	980,5	351,5
13	999	388,5
14	971,25	383,875
15	980,5	365,375
16	989,75	379,25
17	925	333
18	906,5	323,75
19	878,75	314,5
20	851	305,25
21	730,75	279,35
22	753,875	282,125
23	841,75	286,75
24	777	277,5

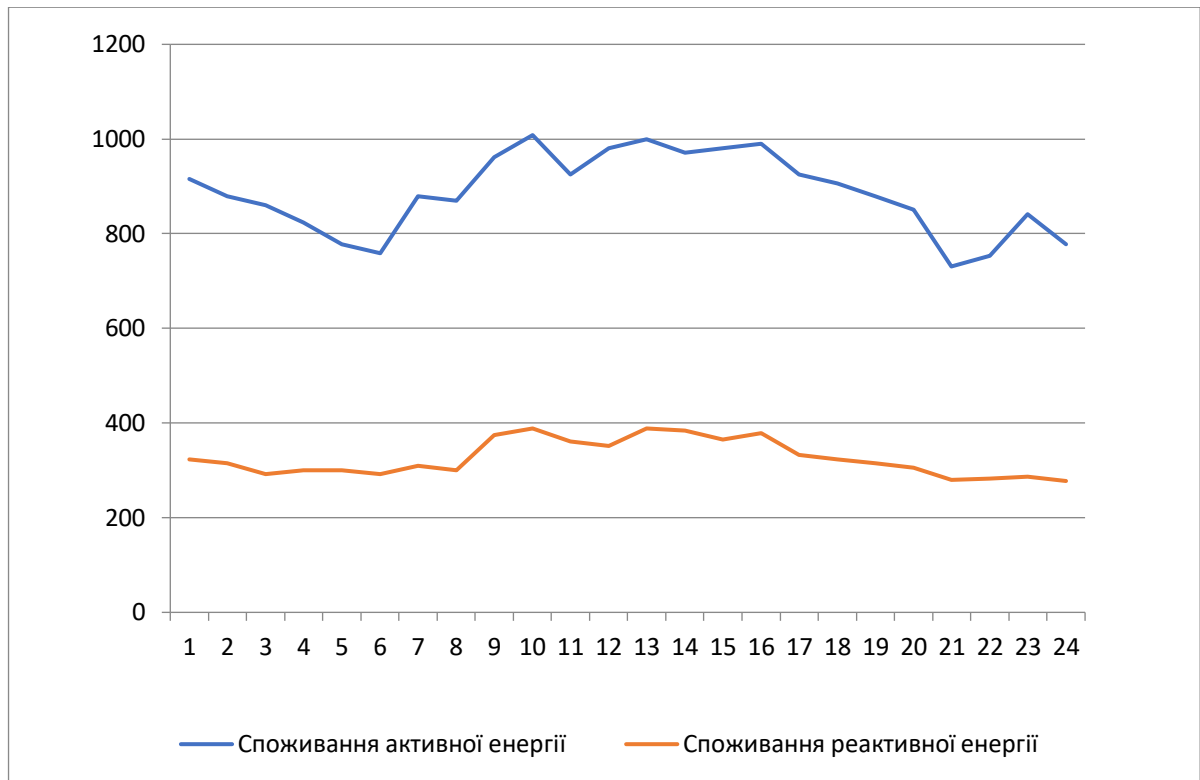


Рисунок 2.10 – Добовий графік активного та реактивного електричного навантаження за 20 червня 2020 р

## 2.6 Розрахунок основних складових для складання балансу споживання електричної енергії цеху у аналітичній формі

За допомогою балансу споживання електричної енергії можна наочно побачити які саме споживачі є найбільш енергоємними. Щоб з огляду на це обрати першочергові заходи з енергозбереження. Складемо баланс споживання електроенергії цеху по виготовленню сирів за 2020 рік.

Загальне споживання електричної енергії розраховується за формулою:

$$W_i = P_{\text{вст.і}} \cdot n \cdot k_{\text{в.і}} \cdot T_{\text{роб і}} \quad (2.1)$$

де  $P_{\text{вст.і}}$  - встановлена потужність обладнання, кВт;

$n$  - кількість обладнання, шт;

$k_{\text{в.і}}$  - коефіцієнт використання;

$T_{\text{роб } i}$  - тривалість роботи відповідного обладнання за рік.

Згідно з формулою (2.1) розрахуємо загальне споживання електричної енергії для всього обладнання і результати розрахунків занесемо у таблицю 2.6.

Таблиця 2.6 – Електричний баланс цеху по виготовленню сирів

Найменування обладнання	Встановл. потужн. одиниці обладнання, кВт	Кіл-ть одиниць обладнання, шт.	Загальна встан. потужність, кВт	$K_v$	Тривалість роботи, год/рік	Загальне електросп., $W$ , кВт·год
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
Насосне обладнання						
Насос відцентровий	30	2	60	0,75	2 008	90360
	2,2	1	2,2	0,65	1 004	1435,7
	3,5	1	3,5	0,65	1 255	2855,1
Всього	-	-	-	-	-	94650,8
Холодильне обладнання						
Холодильний агрегат камери дозрівання сиру	6	2	12	0,45	6 024	32529,6
Холодильний агрегат сольного відділення	8	1	8	0,45	6 024	21686,4
Холодильний агрегат камери зберігання кисломолочної продукції	4,5	1	4,5	0,4	6 024	10843,2
	9,5	1	9,5	0,5	6 024	28614
	10,5	1	10,5	0,5	6 024	31626
Всього	-	-	-	-	-	125299,2
Компресорне обладнання						
Компресор для виробництва холоду	160	2	320	0,8	2 008	514048
Компресор стисненого повітря	315	1	315	0,85	1 757	470436,8
	18,5	1	18,5	0,7	2 008	26003,6
Всього	-	-	-	-	-	1010488,4
Інше технологічне обладнання						
Сировиготовлювач	2	1	2	0,75	3 263	4894,5
	1,5	1	1,5	0,7	5 522	5798,1
Відділювач сироватки	2,5	1	2,5	0,75	1 004	1882,5

Продовження таблиці 2.6

Прес для сиру	3	1	3	0,6	1 004	
Солильний басейн	6	1	6	0,55	4518	
Резервуар для сироватки	1,5	1	1,5	0,45	1 004	
Охолоджувач сироватки	5	1	5	0,45	1 004	
Всього	-	-	-	-	-	
Освітлення						
ЛД (ЛБ) - 36	0,036	470	16,92	1,1	4 769	88760,63
Вентиляція						
Припливний вентилятор	2,2	3	6,6	0,8	4 016	21204,5
Витяжний вентилятор	2,2	2	4,4	0,75	4 016	13252,8
	1,5	2	3	0,75	4 016	9036
Всього	-	-	-	-	-	43493,3

На рисунку 2.11 представлено електричний баланс цеху по виготовленню сирів у вигляді кругової діаграми.

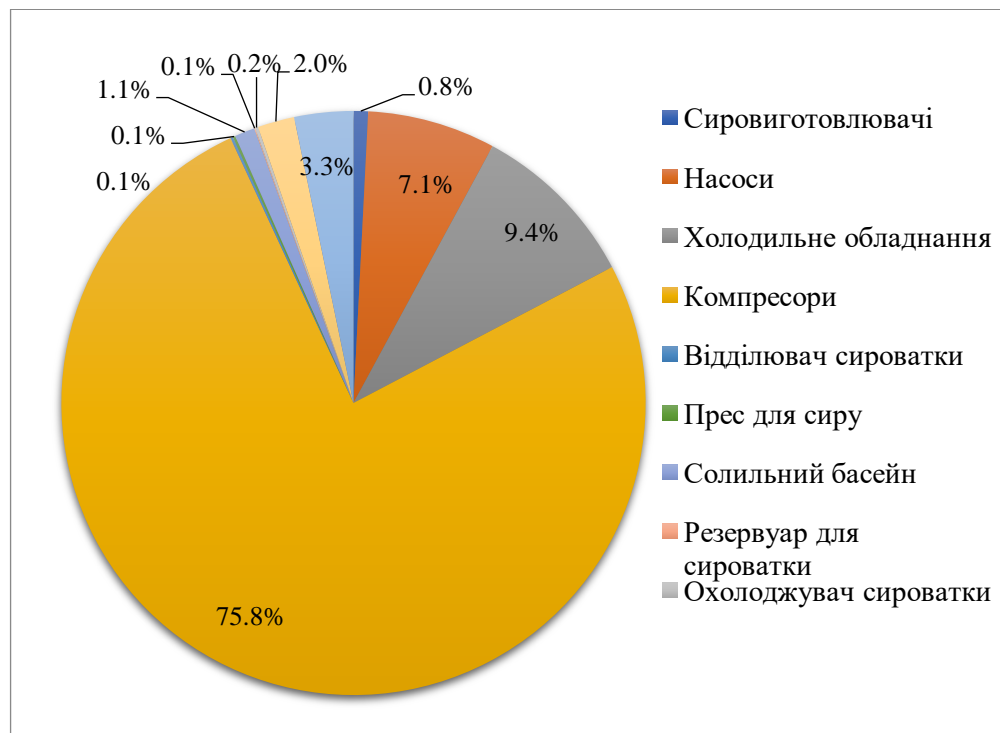


Рисунок 2.11 – Електричний баланс цеху по виготовленню сирів

## 2.7 Розроблення заходів з енергоефективності для суттєвих споживачів електричної енергії

### 2.7.1 Заміна внутрішнього освітлення цеху

В відділенні цеху по виготовленню сирів встановлено люмінесцентні лампи типу ЛД(ЛБ) - 36 у кількості 144 шт., світловий потік яких не задовольняє нормовану освітленість. Тому пропонується провести заміну даних ламп на LED лампи без заміни світильників. Характеристики ламп типу ЛД (ЛБ) – 36 наведено в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Характеристика ламп типу ЛД(ЛБ) - 36

Тип лампи	Кіл-ть, шт.	Номінальна потужність, кВт	Цоколь	Номінальний світловий потік, лм	Час роботи, год
ЛД(ЛБ)-36	144	0,036	G13	2300	12 000

Для заміни зазначених ламп на LED джерела доцільно із збереженням світильників незначною мірою переобладнати електричну схему без заміни самого світильника, чим зменшуються витрати при модернізації. Характеристики нових ламп зазначено в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Характеристики LED ламп типу V-Tac Samsung Chip

Тип лампи	Кількість, шт.	Номінальна потужність, кВт	Цоколь	Номінальний світловий потік, лм	Час роботи, год
LED V-Tac Samsung Chip	144	0,022	G13	3000	40 000

Час роботи ламп становить 19 годин на добу. Тобто за рік час роботи складе 4 769 годин.

Споживання старими лампами становило:  $W_{\text{ЛД}} = 27194,7 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{рік}$  (згідно з табл. 2.6).

Розрахуємо споживання електроенергії новими лампами:

Підставивши у формулу (2.2), отримаємо:

$$W_{LED} = 0,022 \cdot 144 \cdot 1 \cdot 4769 = 15108,2 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

Отже, річна економія буде становити:

$$W = W_{LD} - W_{LED}, \quad (2.2)$$

Згідно з формулою (2.3), отримаємо:

$$W = 27194,7 - 15108,2 = 12086,6 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

Оскільки тариф на електроенергію становить 3,9 грн/кВт·год, тоді річна економія в грошовому еквіваленті буде складати:

$$E = W \cdot b, \quad (2.3)$$

де  $b$  –тариф на електроенергію, грн/кВт·год.

Згідно з формулою (2.3), отримаємо:

$$E = 12086,6 \cdot 3,9 = 47137,6 \text{ грн/рік}$$

Розглянемо капіталовкладення.

Вартість LED ламп типу V-Tac Samsung Chip потужністю 22 Вт у кількості 144 шт. становить 44016 грн (<https://www.ledoutlet.com.ua/ua/led-lampi-dnjevnogo-svjeta/t8-22w-3000lm-150sm-led-lampa-v-tac-samsung-chip-garant-ja-5-rok-v-njeijtralnje-b-lje-sv-tlo-4000k-85882>).

Витрати на введення в експлуатацію становлять 2500 грн.

Отже, загальні витрати на введення в експлуатацію даного заходу будуть становити:  $B = 46516$  грн.

Витрати на експлуатацію даного обладнання становлять: 4 016 грн. кожен рік. Ставка дисконту Національного банку України становить 7,5%

[12]. Термін експлуатації LED ламп типу V-Tac Samsung Chip, враховуючи дні та час роботи на підприємстві молочної галузі складе близько 8 років.

Всі розрахунки проводились за допомогою Microsoft Excel і наведені в таблиці 2.9 разом з усіма необхідними вихідними даними, зазначеними вище.

Для того, аби розрахувати простий термін окупності, спочатку рахуємо грошовий потік як різницю капітальних, експлуатаційних витрат, а також економії. Кумулятивний грошовий потік визначений як грошовий потік n-ого року + кумулятивний грошовий потік n-1-ого року.

Таблиця 2.9 - Результати розрахунків, для визначення простого терміну окупності

Термін експлуатації обладнання	Капітальні витрати, грн	Експлуатаційні витрати, грн	Економія, грн	Грошовий потік, грн	Кумулятивний грошовий потік, грн
0	46516	0	0	-46516	-46516
1	-	4401,6	47137,6	42736	-3780
2	-	4401,6	47137,6	42736	38956
3	-	4401,6	47137,6	42736	81692
4	-	4401,6	47137,6	42736	124428
5	-	4401,6	47137,6	42736	167164
6	-	4401,6	47137,6	42736	209900
7	-	4401,6	47137,6	42736	252636
8	-	4401,6	47137,6	42736	295372

Простий термін окупності буде розраховуватися як:

$$T_{ок} = \frac{3780 \cdot 12}{42736} = 1 \text{ рік } 1 \text{ місяць}$$

Аналогічний розрахунок проведемо з врахуванням ставки дисконту, що становить 7,5 % [12]. Всі відповідні результати занесені до таблиці 2.10.



Визначення коефіцієнту дисконту здійснюється за формулою:

$$\text{Коефіцієнт дисконту} = \frac{1}{\left(1 + \left(\frac{\text{ставка диск.}}{100}\right)\right)^{\text{рік}}} \quad (2.4)$$

Дисконтований грошовий потік = коефіцієнт дисконту \* грошовий потік. Кумулятивний дисконтований грошовий потік визначається аналогічно до звичайного.

Дисконтований термін окупності буде розраховуватися як:

$$T_{\text{дис ок}} = \frac{6762 \cdot 12}{36981} = 1 \text{ рік } 2 \text{ місяці}$$

Таблиця 2.10 - Результати розрахунків, для визначення дисконтованого терміну окупності

Термін експлуатації обладнання	Капіт. витрати, грн	Експлуатаційні витрати, грн	Економія, грн	Грошовий потік, грн	Коеф. диск. (7,5%)	Дисконтований грошовий потік	Кумулятивний грошовий потік, грн.
0	46516	0	0	-46516	1	-46516	-46516
1	-	4401,6	47137,6	42736	0,93	39754	-6762
2	-	4401,6	47137,6	42736	0,87	36981	30219
3	-	4401,6	47137,6	42736	0,8	34401	64620
4	-	4401,6	47137,6	42736	0,75	32001	96621
5	-	4401,6	47137,6	42736	0,7	29768	126389
6	-	4401,6	47137,6	42736	0,65	27691	154080
7	-	4401,6	47137,6	42736	0,6	25759	179840
8	-	4401,6	47137,6	42736	0,56	23962	203802
NPV = 203802							

Розрахуємо чисту приведену вартість проєкту, як:

$$NPV = \sum \text{Диск. грош. потік} = -46516 + \dots + 23962 = 203802 \text{ грн}$$

Отже, після 8 років експлуатації зазначеного обладнання, буде отримано прибуток в розмірі 203 802 грн.

Отже, індекс прибутковості (IP) буде становити:

$$IP = \frac{203802}{46516} = 4,4$$

Для розрахунку внутрішньої норми прибутку задамося ставкою дисконту, при якій NPV буде від'ємним. Такою ставкою буде 92 %, при якій NPV = - 315,36 грн. Всі розрахунки представлені в таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 - Результати розрахунків, для визначення внутрішньої норми рентабельності

Термін експлуатації обладнання	Капітальні витрати, грн	Експлуатаційні витрати, грн	Економія, грн	Грошовий потік (cash flow), грн	Коеф. диск. (92%)	Дисконтований грошовий потік
0	46516	0	0	-46516	1	-46516
1	-	4401,6	47137,6	42736	0,52	22258
2	-	4401,6	47137,6	42736	0,27	11593
3	-	4401,6	47137,6	42736	0,14	6038
4	-	4401,6	47137,6	42736	0,07	3145
5	-	4401,6	47137,6	42736	0,04	1638
6	-	4401,6	47137,6	42736	0,02	853
7	-	4401,6	47137,6	42736	0,01	444
8	-	4401,6	47137,6	42736	0,01	231
					NPV = - 315,4	

$$IRR = A + \frac{a(B - A)}{(a - b)}, \quad (2.5)$$

де  $A = 7,5\%$  - ставка дисконту, при якій NPV додатне;

$B = 92\%$  - ставка дисконту, при якій NPV від'ємне;

$a = 203802$  грн – значення додатного NPV, при ставці дисконту  $A$ ;

$b = -315,4$  грн – значення від'ємного NPV, при ставці дисконту  $B$ ;

Отже, підставивши у формулу (2.5) будемо мати:

$$IRR = 7,5 + \frac{203802 \cdot (92 - 7,5)}{(203802 - (-315,4))} = 91,87\%.$$

Висновок: оскільки,  $IRR = 91,87\% > 7,5\%$ , запропонований захід є однозначно прибутковим.

### 2.7.2 Впровадження АСЕМ

Обладнання системою енергомоніторингу не знизить само по собі рівень енергоспоживання, але змінить дисципліну споживання і дозволить контролювати і стимулювати даний процес.

Електрична схема модернізована у зв'язку з модернізацією точки комерційного обліку і перенесенням її на рівень 35 кВ трансформатора ТМ-2500/35. Але існуюча схема тех. обліку по стороні 0,4 кВ потребує модернізації точок обліку з можливістю телепередачі даних. Таким чином електрична схема по 0,4 кВ з основними споживачами, що потребують технічного обліку складе відповідно до схеми РУ-0,4 кВ – 8 точок технічного обліку споживачів електроенергії.

Для підвищення ефективності управління енергоспоживанням пропонується впровадження автоматизованої системи енергомоніторингу (АСЕМ), що забезпечить оперативне отримання даних про енергоспоживання та параметри мікроклімату безпосередньо від вузлів обліку енергоресурсів та давачів. Даний захід підвищує ефективність моніторингу (дані надходять в

режимі реального часу) та дозволяє: відслідковувати споживання енергоресурсів; контролювати умови мікроклімату в середині приміщень; формувати звітні відомості по споживанню енергоресурсів; в автоматичному режимі виявляти випадки перевитрат та нештатних ситуацій; підвищити точність управління режимами енергоспоживання. Структурну схему АСЕМ зазначено на рисунку 2.12.



Рисунок 2.12 – Структурна схема АСЕМ

Річна економія буде становити приблизно 2% від споживання енергоресурсів. Тоді економія електроенергії буде становити:  $\Delta W = 27000$  кВт год/рік.

За формулою (2.3) будемо мати:

$$E = 27000 \cdot 3,9 = 105300 \text{ грн/рік}$$

Розглянемо капіталовкладення.

Вартість системи становить приблизно 150000 грн.

Вартість введення в експлуатацію системи становить 30000 грн.

Витрати на обслуговування системи та додаткові витрати (оплата за послуги енергоменеджера та інші витрати) складають 45000 грн.

Отже, загальні капітальні витрати складають:  $B = 225000$  грн.

Простий термін окупності буде розраховуватися за формулою:

$$T_{\text{ок}} = \frac{B}{E}, \quad (2.6)$$

Підставимо значення за формулою (2.6):

$$T_{\text{ок}} = \frac{225000}{105300} = 2 \text{ роки } 2 \text{ місяці}$$

Отже, даний захід дає економію електроенергії 27000 кВт·год/рік, тобто зменшує можливі грошові витрати на 105300 грн/рік.

### 2.7.3 Оптимізація системи охолодження компресорних установок

Джерелом повітропостачання підприємства є центральна компресорна станція з повітряними компресорами. На даний час у зв'язку із зниженням потреби виробництва в стисненому повітрі працює один компресор, зазвичай це ВП-50/8, для охолодження якого необхідно 6 м<sup>3</sup>/год води. Система охолодження компресорної станції розрахована на загальну витрату охолоджувальної води 60 м<sup>3</sup>/год і складається з двох контурів: I контур – витратна місткість – насос типу 6K8 з потужністю електропривода 17 кВт, продуктивністю 60 м<sup>3</sup>/год – компресор – накопичувальний резервуар місткістю 25 м<sup>3</sup>;

II контур накопичувальний резервуар – насос типу 6K8 – бризкаючий басейн – витратна місткість. Цикл роботи насосу I контуру – безперервний протягом 7 годин на добу; насосу II контуру – включення в роботу на 15 хв. для спорожнення накопичувальної місткості через кожні 40 хв.

Пропонується привести параметри насосу І контуру у відповідність з реальною потребою компресорної станції, для чого встановити насос типу 6К18 з параметрами: максимальна продуктивність  $G = 6 \text{ м}^3/\text{год}$ , потужність електропривода  $P = 7 \text{ кВт}$ , що дозволить знизити витрату електроенергії на потреби охолодження компресорної станції насосами І і II контуру.

Насос І контуру заповнює накопичувальний резервуар  $V = 25 \text{ м}^3$  за 40 хв. За характеристикою насоса типу 6К8 знаходимо, що насос споживає  $P_1 = 12,7 \text{ кВт}$  при продуктивності  $G_1 = 37,5 \text{ м}^3/\text{год}$  [13].

Споживання електроенергії насосом типу 6К8 І контуру:

$$W_i = P_i \cdot t_i \cdot n, \quad (2.7)$$

Згідно з формулою (2.7), отримаємо:

$$W_1 = 12,7 \cdot 7 \cdot 251 = 22\,313,9 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{рік}$$

де  $P_1$  – потужність, споживана насосом за  $G_1 = 37,5 \text{ м}^3/\text{год}$ , кВт;

$t_1$  – тривалість роботи насоса за добу, годин;

$n$  – кількість робочих днів у році, днів.

Споживання електроенергії насосом типу 6К18 І контуру згідно з формулою (2.7):

$$W_2 = 0,7 \cdot 7 \cdot 251 = 1229,9 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{рік}$$

де  $P_2$  – потужність, споживана насосом за  $G_2 = 6 \text{ м}^3/\text{год}$ , кВт.

Споживання електроенергії насосом типу 6К8 II контуру, якщо в І контурі працює насос типу 6К8 згідно з формулою (2.7):

$$W_3 = 17 \cdot 2,63 \cdot 251 = 11\,200,9 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{рік}$$

де  $P_3$  – потужність, споживана насосом за  $G_3 = 100 \text{ м}^3/\text{год, кВт}$ ;

$t_2$  – тривалість роботи насосу на добу (годин), яка визначена наступним чином.

Кількість води, що подається в резервуар:

$$Q_i = G_i \cdot t_i, \quad (2.8)$$

Згідно з формулою (2.8), отримаємо:

$$Q_1 = 37,5 \cdot 7 = 262,5 \text{ м}^3$$

Кількість 15 хвилинних циклів насосу II контура:

$$\frac{262,5}{25} = 10,5 \text{ циклів}$$

Тривалість роботи насосу:

$$10,5 \cdot 0,25 = 2,63 \text{ год}$$

Споживання електроенергії насосом типу 6К8 II контуру, якщо в I контурі працює насос типу 6К18 згідно з формулою (2.7):

$$W_4 = 17 \cdot 0,42 \cdot 251 = 1792,14 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

де  $t_3$  – тривалість роботи насосу на добу (годин), яка визначена наступним чином.

Кількість води, що попадає у контур згідно з формулою (2.8):

$$Q_2 = 6 \cdot 7 = 42 \text{ м}^3$$

Кількість 15 хвилинних циклів насосу II контура:

$$\frac{42}{25} = 1,7 \text{ циклів}$$

Тривалість роботи насосу:

$$1,7 \cdot 0,25 = 0,42 \text{ год}$$

Загальна економія електроенергії буде становити:

$$\Delta W = W_1 + W_3 - W_2 - W_4, \quad (2.9)$$

Згідно з формулою (2.9), отримаємо:

$$\Delta W = 22\,313,9 + 11\,200,9 - 1229,9 - 1792,14 = 30\,492,74 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

Оскільки тариф на електроенергію становить 3,9 грн/кВт·год, тоді річна економія в грошовому еквіваленті за формулою (2.3) буде складати:

$$E = 30\,492,74 \cdot 3,9 = 118\,921,7 \text{ грн/рік}$$

Розглянемо капітальні вкладення.

Вартість насосу типу 6K18 становить орієнтовно 80000 грн.

Вартість додаткових матеріалів становить приблизно 20000 грн.

Витрати на монтаж становлять приблизно: 20000 грн.

Отже, загальні витрати на введення в експлуатацію будуть складати:  
120000 грн.

Простий термін окупності за формулою (2.9) буде становити :



$$T_{\text{ок}} = \frac{120000}{118921,7} = 1 \text{ рік}$$

Отже, даний захід дає економію електроенергії 30493 кВт·год/рік, тобто зменшує можливі грошові витрати на 118922 грн/рік.

Отже, на підприємстві молочної галузі було запропоновано ряд заходів з енергоефективності для цеху по виготовленню сирів. Результати розрахунків основних показників щодо впровадження таких заходів зазначено в таблиці 2.12.

Таблиця 2.12 – Заходи з енергоефективності для цеху по виготовленню сирів

Найменування заходу	Капіталовкладення, грн	Економія енергії, кВт·год/рік	Економія, грн/рік	Простий термін окупності
Заміна внутрішнього освітлення цеху	46 516	12 087	47 138	1 рік 1 місяць
Впровадження АСЕМ	225 000	27 000	105 300	2 роки 2 місяці
Оптимізація системи охолодження компресорних установок	120 000	30 493	118 922	1 рік

## 2.8 Системи паливо- та теплопостачання об'єкта та їх аналіз

Теплопостачання підприємства здійснюється від власної котельні, оснащеної паровими котлами. Пара від котлів використовується на власні та технологічні потреби підприємства.

Кожен котел оснащений вентиляторами марки ВДН10у та димососами – ДН10у. Котли укомплектовані економайзерами, для підігріву живильної води. Забезпечують підготовку живильної води деаератор та двоступенева На-катионова хімводоочистка. Живильними насосами Грюгфос CR 32-12 HQQE –

3 шт. вода подається до котлоагрегатів. На 2020 рік повернення конденсату відбувається на рівні 40-60%.

Молокозавод використовує природний газ для роботи теплогенеруючого обладнання, розташованого на території підприємства.

Природний газ поступає на підприємство з міської мережі, пониження тиску відбувається в газорозподільному пункті. Система обліку природного газу приладна. Перелік та основні характеристики обладнання, що використовує природний газ наведені в таблиці 2.13. А також, наведемо фотографії деяких котлів нижче, на рисунках А.1 – А.2 Додатку А.

Водопостачання підприємства молочної галузі здійснюється від існуючого водопроводу та свердловин. Дана вода використовується для виробничих та побутових потреб. Вода із системи розподіляється по споживачах. Каналізаційні стоки відводяться в існуючу міську каналізаційну мережу.

Таблиця 2.13 – Паливоспоживаюче обладнання

Назва	Рік випуску	Потужність, Гкал/год (т/год)	Норматив на (паспортна) витрата палива, кг у.п./Гкал	ККД, брутто %	Теплоносій	Кількість, шт.	Місце розміщення
Паровий котел ДЕ-6,5-14	2016	5,5 (6,5)	168	85	Пара	1	Котельня
Паровий котел ДЕ-4-14	1995	3 (4)	159	92	Пара	2	Котельня
Водогрійний котел КСВ-1	2005	1 (-)	162	90	вода	1	Котельня
Теплогенератор сушарки TVA 1800-200	2009	1(-)	151	92-94	гаряче повітря	1	Цех СЗМ
Газові водогрійні котли							
Маяк 50 кВт	2005	0,043	159	90	вода	1	Склад

На рисунку 2.13 відображено в процентному співвідношенні крізь яку огорожувальну конструкцію відбуваються найбільші втрати теплової енергії.

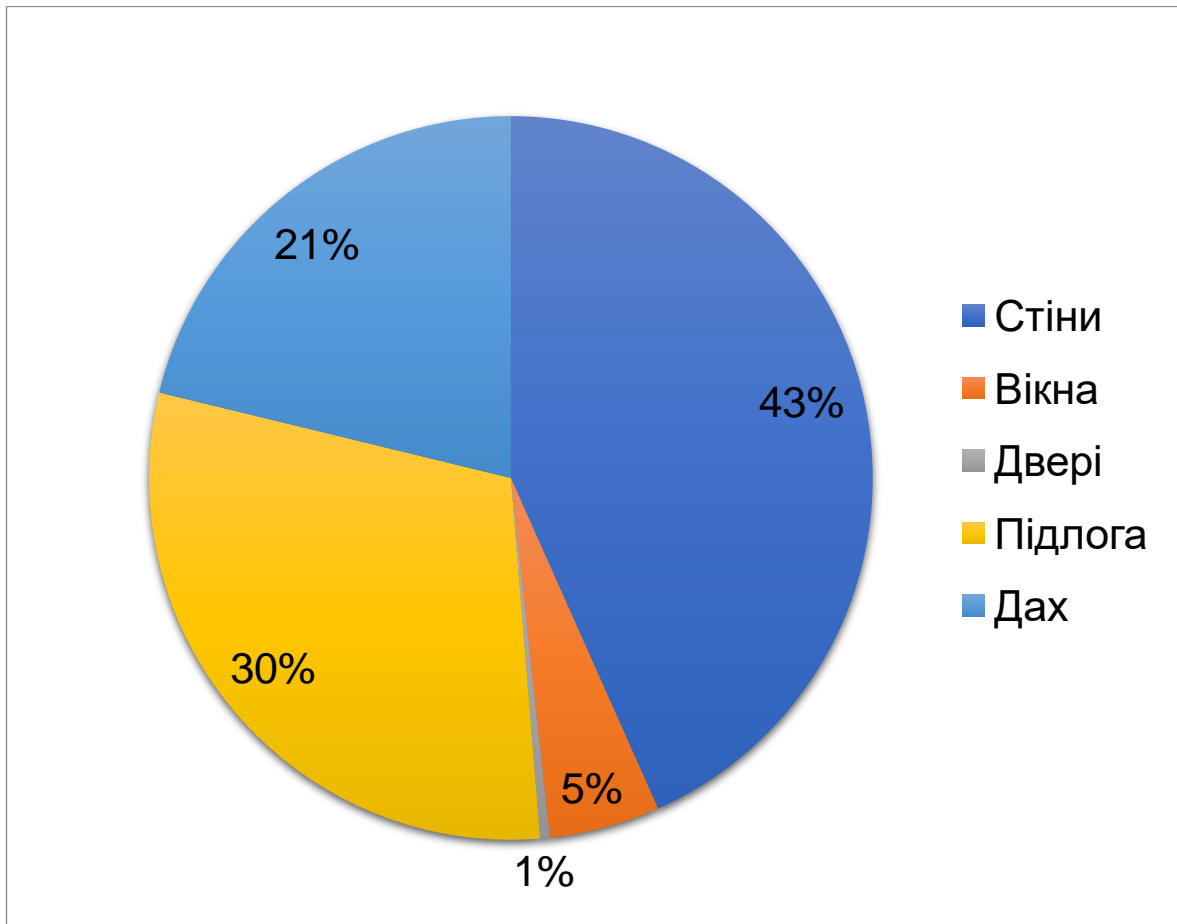


Рисунок 2.13 – Втрати крізь огорожувальні конструкції

З діаграми на рисунку 2.13 видно, що найбільші втрати теплової енергії відбуваються крізь стіни, підлогу та дах. Тому в подальшому будемо пропонувати заходи щодо певних огорожувальних конструкцій.

## 2.9 Розроблення типових заходів з енергоефективності

### 2.9.1 Утеплення стін

Додаткова тепла ізоляція дозволить зменшити понаднормові втрати тепла через стіни та покращити зовнішній вигляд будівлі. Площа зовнішніх стін, які необхідно вкрити тепловою ізоляцією, становить 1296,5 м<sup>2</sup>. В якості утеплювача пропонується використовувати мінеральну вату

( $\lambda = 0,036 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ ) товщиною 0,1 м. Приклад утеплення стіни наведений на рисунку 2.14.



Рисунок 2.14 – Послідовність шарів утеплювача

Розрахуємо термічний опір для утепленої стіни:

$$R_{\text{сн}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,03}{0,81} + \frac{0,51}{0,87} + \frac{0,03}{0,87} + \frac{0,1}{0,036} + \frac{1}{23} = 3,59 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$$

Дане значення задовольняє мінімально допустимому:  $R_{\text{qmin}} = 2,2 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$ .

Тоді коефіцієнт теплопередачі знаходимо як:

$$k_{\text{сн}} = \frac{1}{3,59} = 0,28 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Розрахуємо тепловтрати з новим коефіцієнтом теплопередачі для всіх сторін світу цеху по виготовленню сирів:

$$Q_{\text{ПдЗх}} = 368,56 \cdot 0,28 \cdot (18 - (-22)) \cdot 1 \cdot 1 = 4102 \text{ Вт}$$

$$Q_{\text{ПнСх}} = 364,02 \cdot 0,28 \cdot (18 - (-22)) \cdot 1,1 \cdot 1 = 4456,7 \text{ Вт}$$

$$Q_{\text{ПдСх}} = 279,28 \cdot 0,28 \cdot (18 - (-22)) \cdot 1,05 \cdot 1 = 3263,8 \text{ Вт}$$

$$Q_{\text{ПнЗх}} = 284,64 \cdot 0,28 \cdot (18 - (-22)) \cdot 1,1 \cdot 1 = 3484,8 \text{ Вт}$$

Сумарні тепловтрати через стіни після утеплення становлять:

$$\sum Q_{\text{сн}} = 4102 + 4456,7 + 3263,8 + 3484,8 = 15307,3 \text{ Вт}$$

Сумарні тепловтрати через стіни до утеплення становлять:

$$\sum Q_{\text{с}} = 67406 \text{ Вт}$$

Знайдемо економію теплової енергії за формулою:

$$Q_{\text{ек}} = \frac{(\sum Q_{\text{с}} - \sum Q_{\text{сн}}) \cdot n \cdot 24 \cdot 10^{-3}}{1163}, \quad (2.10)$$

Підставимо значення у формулу (2.10):

$$Q_{\text{ек}} = \frac{(67406 - 15307,3) \cdot 176 \cdot 24 \cdot 10^{-3}}{1163} = 189,22 \text{ Гкал/рік}$$

Економія в грошовому еквіваленті знаходиться за формулою:

$$E = Q_{\text{ек}} \cdot b, \quad (2.11)$$

де  $b$  – тариф на теплову енергію, грн/Гкал.

Підставимо значення у формулу (2.11):

$$E = 189,22 \cdot 1506,95 = 285147,62 \text{ грн/рік}$$

Розглянемо капіталовкладення.

Вартість необхідного обладнання становить:

– утеплювач (мінеральна вата, 100 мм) – 342 000 грн  
(<https://epicentrk.ua/shop/bazaltovaya-vata-rockwool-rockslab-acoustic-2-44-kv-m-1000x610x100-mm.html>).

Вартість додаткових матеріалів становить 100 000 грн  
(<https://kievrem.com.ua/kalkulyator-uteplenie-fasadov/>).

Вартість монтажних робіт становить 450 000 грн  
(<https://kievrem.com.ua/kalkulyator-uteplenie-fasadov/>).

Отже, загальні капіталовкладення складуть:  $B = 892\,000$  грн.

Простий термін окупності знайдемо за формулою:

$$T_{\text{ок}} = \frac{B}{E}, \quad (2.12)$$

Підставимо значення за формулою (2.12):

$$T_{\text{ок}} = \frac{892000}{285147,62} = 3 \text{ роки } 2 \text{ місяці}$$

Отже, даний захід дає економію теплової енергії 189,22 Гкал/рік, тобто зменшує можливі грошові витрати на 285 148 грн/рік.

### 2.9.2 Заміна вікон

Площа дерев'яних вікон з подвійним заскленням становить 43,2 м<sup>2</sup>. Такі старі вікна потребують заміни через великі тепловтрати, просадку конструкції та її розгерметизацію.

Для зменшення тепловтрат пропонується замінити дерев'яні вікна з подвійним заскленням цеху по виготовленню сирів на металопластикові з подвійним склопакетом. За рахунок даного заходу, зменшаться значно тепловтрати та покращать умови в середині приміщення за рахунок зменшення протягів. На рисунку 2.15 представлено обране металопластикове вікно фірми Rehau.

**Розмір конструкції**

Ширина: 1350 мм Висота: 1600 мм

**Тип профілю**

- ☒ Rehau
- ☐ Salamander
- ☐ OpenTeck
- ☐ WDS

**Система**

- ☒ Ecosol-60
- ☐ Ecosol-70
- ☐ Brilliant Desing
- ☐ Synego
- ☐ Geneo

**Склопакет**

- ☐ Однокамерний
- ☒ Двокамерний
- ☐ Енергозберігаючий
- ☐ Сонцезахисний

**Дод. опції**

- ☐ Підвіконня
- ☐ Відлив
- ☐ Відкоси
- ☐ Москітна сітка 1 шт.
- ☒ Монтаж / Демонтаж

**Ціна**

6 911 грн

**У КОШИК**

Рисунок 2.15 – Металопластикове вікно Rehau

Відомо, що термічний опір нових вікон становить:  $R_{\text{вн}} = 0,75 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$ , що задовольняє мінімально допустимому:  $R_{\text{qmin}} = 0,45 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$ .

Розрахуємо новий коефіцієнт теплопередачі, знаючи термічний опір вікон:

$$k_{\text{CH}} = \frac{1}{0,75} = 1,33 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Розрахуємо тепловтрати з новим коефіцієнтом теплопередачі:

$$Q_{\text{ПнСх}} = 21,6 \cdot 1,33 \cdot (18 - (-21)) \cdot 1,1 \cdot 1 = 1267,2 \text{ Вт}$$

$$Q_{\text{ПдЗх}} = 21,6 \cdot 1,33 \cdot (18 - (-21)) \cdot 1 \cdot 1 = 1152 \text{ Вт}$$

Сумарні тепловтрати через вікна після заміни:

$$\sum Q_{\text{ВН}} = 1267,2 + 1152 = 2419,2 \text{ Вт}$$

Сумарні тепловтрати через вікна до заміни:

$$\sum Q_{\text{В}} = 7700,7 \text{ Вт}$$

Знайдемо економію теплової енергії за формулою (2.10):

$$Q_{\text{ек}} = \frac{(7700,7 - 2419,2) \cdot 176 \cdot 24 \cdot 10^{-3}}{1163} = 19,18 \text{ Гкал/рік}$$

Знайдемо економію в грошовому еквіваленті за формулою (2.11):

$$E = 19,18 \cdot 1506,95 = 28907,03 \text{ грн/рік}$$

Розглянемо капіталовкладення.

Вартість необхідного обладнання, тобто вікон у кількості 20 шт., додаткових матеріалів та вартість монтажних робіт становлять 140 000 грн



([https://liniavikon.com.ua/ua/calc/#okno\\_trehstvorchatoe\\_s\\_povorotno\\_otkodnoy\\_stvorkoy](https://liniavikon.com.ua/ua/calc/#okno_trehstvorchatoe_s_povorotno_otkodnoy_stvorkoy)).

Отже, загальні капіталовкладення складуть 140 000 грн.

Простий термін окупності визначається за формулою (2.12):

$$T_{\text{ок}} = \frac{140000}{28907,03} = 4 \text{ роки } 11 \text{ місяців}$$

Отже, даний захід дає економію теплової енергії 19,18 Гкал/рік, тобто зменшує можливі грошові витрати на 28 907 грн/рік.

### 2.9.3 Впровадження теплової завіси

Встановлення теплової завіси позбавить приміщення від протягів, що добре вплине як на персонал, так і на клімат всередині цеху, а також за допомогою цього заходу зменшаться витрати теплової енергії.

*Теплова завіса відсутня.*

Визначимо витрату зовнішнього повітря, що поступає через ворота за відсутності завіси [21]:

$$G_n = A + (\alpha + K \cdot w) \cdot F \cdot 1/30, \quad (2.13)$$

де  $A$  і  $\alpha$  – витрати повітря, що визначаються залежно від розрахункової температури  $t_{p.o}$  зовнішнього повітря для проєктування опалювання (ці величини знаходяться по таблиці 2.14);

$K$  – умовний коефіцієнт, для воріт розміром 3х3, як в нашому випадку становить 0,25;

$w$  – швидкість вітру,  $w = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ;

$F$  – площа перетину воріт, що відкриваються, 9 м<sup>2</sup>.

Таблиця 2.14 – Значення  $A$  і  $\alpha$  при визначенні витрати зовнішнього повітря, що надходить через ворота виробничого приміщення при відсутності повітряної завіси [21]

Розміри воріт, м	Внутрішня температура повітря, °C	Значення $A$ і $\alpha$ , кг/с	Температура зовнішнього повітря $t_z$ , °C						
			-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
3x3 і 4x4	+5	$\alpha$	-	-	1,27	1,38	1,46	1,51	1,55
	+15...+20		-	1,27	1,4	1,5	1,55	1,58	1,6
3x3	+5	$A$	6	5	5,8	6,6	7,4	8,1	8,9
	+15...+20			6,5	7,3	8	8,8	9,4	10
4x4	+5	$A$	10	11,6	13	14,5	16	17,5	19
	+15...+20		12,7	13,9	15	16,3	17,5	18,8	20

Підставимо значення у формулу (2.13), будемо мати:

$$G_n = 7,58 + (1,44 + 0,25 \cdot 2) \cdot 9 \cdot \frac{1}{30} = 8,16 \frac{\text{кг}}{\text{с}} \text{ або } 29376 \frac{\text{кг}}{\text{год}}$$

Теплова потужність, необхідна для нагріву повітря, що уривається у ворота, без завіси розраховується за формулою:

$$Q = G_n \cdot c_p \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{с.о}}), \quad (2.14)$$

де  $t_{\text{с.о}} = -0,1^\circ\text{C}$ ;

$c_p = 1,005 \text{ кДж/кг}\cdot\text{K}$  – теплоємність повітря.

Підставивши значення у формулу (2.14) отримаємо:

$$Q = 8,16 \cdot 1,005 \cdot (18 - (-0,1)) = 148,47 \text{ кВт}$$

Витрата теплоти за період часу без діючої завіси розраховується за формулою:

$$Q_{\text{рік}} = G_n \cdot c_p \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{с.о}}) \cdot n_o \cdot 24 \cdot k, \quad (2.15)$$

де  $k$  - коефіцієнт, що враховує фактичний час відкривання воріт протягом години та розраховується за формулою:

$$k = \frac{\tau}{60}, \quad (2.16)$$

де  $\tau$  – час відкривання воріт в хвилинах, приймаємо рівним 3 хвилинам, тоді підставивши у формулу (2.16) будемо мати:

$$k = \frac{3}{60} = 0,05$$

Підставивши значення у формулу (2.15) отримаємо:

$$Q_{\text{рік}} = 8,16 \cdot 1,005 \cdot (18 - (-0,1)) \cdot 176 \cdot 24 \cdot 0,05 = 31357,05 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

### **Діюча завіса.**

Визначимо витрату повітря, що створюється завісою за формулою:

$$G_n^3 = q \cdot G_n, \quad (2.17)$$

Значення коефіцієнта  $q$  визначили з графіка на рисунку 2.16 по кривій 2 та  $K_q=0,4$ .

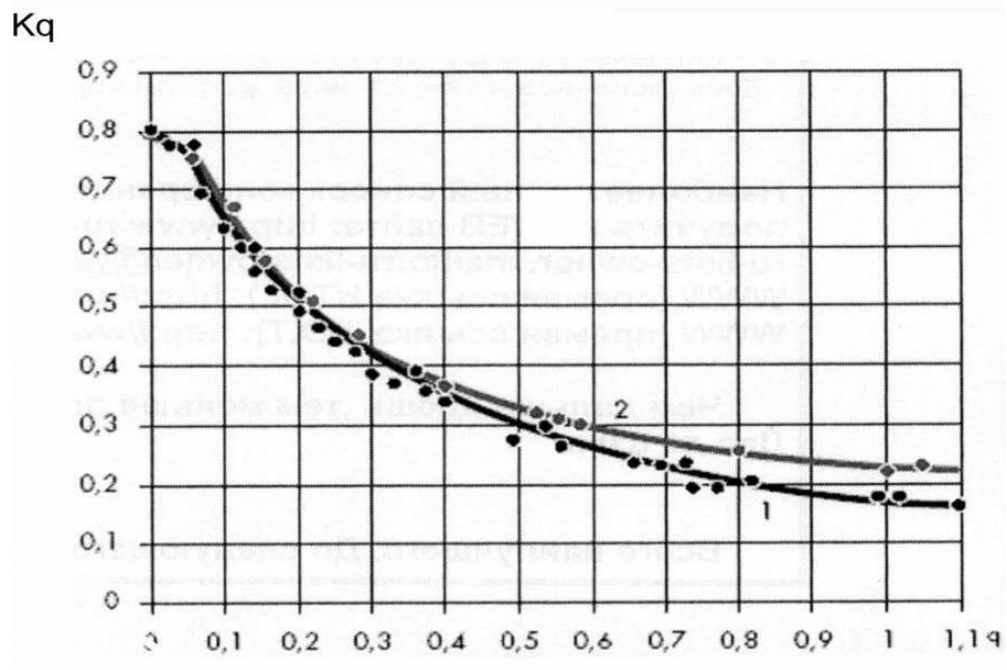


Рисунок 2.16 – Залежності коефіцієнту витрати повітря через ворота, захищені завісою від відносної витрати повітря

За формулою (2.17) будемо мати:

$$G_n^3 = 0,35 \cdot 8,16 = 2,86 \text{ кг/с}$$

Теплова потужність, необхідна для нагріву повітря, що уривається у ворота, з працюючою завісою розраховується за формулою:

$$Q = G_n^3 \cdot c_p \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{с.о}}), \quad (2.18)$$

Підставивши значення у формулу (2.18) отримаємо:

$$Q = 2,86 \cdot 1,005 \cdot (18 - (-0,1)) = 51,96 \text{ кВт}$$

Витрата теплоти за період часу з діючою завісою розраховується за формулою:

$$Q_{\text{рік}}^3 = G_n^3 \cdot c_p \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{с.о}}) \cdot n_o \cdot 24 \cdot k, \quad (2.19)$$

Підставивши значення у формулу (2.19) отримаємо:

$$Q_{\text{рік}}^3 = 2,86 \cdot 1,005 \cdot (18 - (-0,1)) \cdot 176 \cdot 24 \cdot 0,05 = 10974,97 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Визначимо зниження споживання енергії за формулою:

$$\Delta Q = Q_{\text{рік}} - Q_{\text{рік}}^3, \quad (2.20)$$

За формулою (2.20) отримаємо:

$$\Delta Q = 31357,05 - 10947,97 = 20382,1 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 17,53 \text{ Гкал/рік}$$

Таким чином, можливе зниження теплової енергії майже в 3 рази.

Знайдемо економію в грошовому еквіваленті за формулою (2.11):

$$E = 17,53 \cdot 1506,95 = 26410 \text{ грн/рік}$$

Розглянемо капіталовкладення.

Вартість теплової завіси становить 40 000 грн

(<https://volcano.ua/vozdushnaya-zavesa-wing>).

Вартість монтажних робіт та додаткових матеріалів становить 3000 грн.

Отже, загальні капіталовкладення складуть 43 000 грн.

Простий термін окупності визначається за формулою (2.12):

$$T_{\text{ок}} = \frac{43000}{26410} = 1 \text{ рік } 8 \text{ місяців}$$

Отже, даний захід дає економію теплової енергії 17,53 Гкал/рік, тобто зменшує можливі грошові витрати на 26 410 грн/рік.

### 2.9.4 Утеплення даху

Теплова ізоляція даху дозволить зменшити тепловтрати через перекриття. Будемо пропонувати в якості утеплювача – мінеральну вату ( $\lambda = 0,037 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$ ) товщиною 0,15 м. Площа даху становить  $2867 \text{ м}^2$ . Приклад утеплення даху наведений на рисунку 2.17.

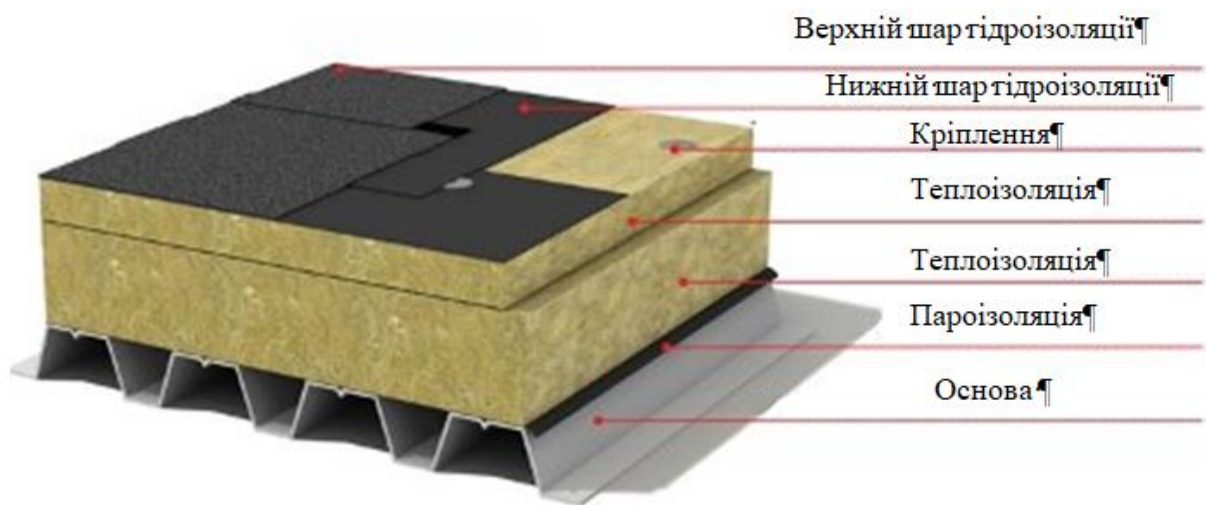


Рисунок 2.17 – Шари утеплювача даху

Розрахуємо термічний опір для утепленого даху:

$$R_{\text{дн}} = \frac{1}{7,6} + \frac{0,22}{1,2} + \frac{0,15}{0,11} + \frac{0,05}{0,58} + \frac{2 \cdot 0,01}{0,17} + \frac{0,01}{0,27} + \frac{0,15}{0,037} + \frac{1}{6} = 6,14 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$$

Дане значення задовольняє мінімально допустимому:  $R_{\text{qmin}} = 2,2 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$ .

Тоді коефіцієнт теплопередачі знаходимо:

$$k_{\text{дн}} = \frac{1}{6,14} = 0,16 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Розрахуємо тепловтрати з новим коефіцієнтом теплопередачі:

$$Q_{\text{дн}} = 2867 \cdot 0,16 \cdot (18 - (-21)) \cdot 0,6 = 11206,2 \text{ Вт}$$

Тепловтрати через дах до утеплення становили:

$$Q_{\text{д}} = 32983,9 \text{ Вт}$$

Знайдемо економію теплової енергії за формулою (2.10):

$$Q_{\text{ек}} = \frac{(32983,9 - 11206,2) \cdot 176 \cdot 24 \cdot 10^{-3}}{1163} = 79,1 \text{ Гкал/рік}$$

Знайдемо економію в грошовому еквіваленті за формулою (2.11):

$$E = 79,1 \cdot 1506,95 = 119194,26 \text{ грн/рік}$$

Розглянемо капіталовкладення.

Вартість необхідного обладнання становить:

– утеплювач (мінеральна вата, 150 мм) – 250 000 грн  
(<https://epicentrk.ua/shop/mineralnaya-vata-isover-profi-4-88-kv-m-4000x1220x150-mm.html>).

Вартість додаткових матеріалів становить 100 000 грн.

Вартість монтажних робіт становить 300 000 грн  
(<https://domremonta.com.ua/krovelnye-raboty/uteplenie-kryshi/>).

Отже, загальні капіталовкладення складуть 650 000 грн.

Простий термін окупності визначається за формулою (2.12):

$$T_{\text{ок}} = \frac{650000}{119194,26} = 5 \text{ років } 6 \text{ місяців}$$

Отже, даний захід дає економію теплової енергії 79,1 Гкал/рік, тобто зменшує можливі грошові витрати на 119194 грн/рік.

З діаграми на рисунку 2.13 видно, що найбільші втрати теплової енергії відбуваються крізь такі огорожувальні конструкції, як: стіни, підлогу та дах, саме тому на підприємстві молочної галузі було впроваджено ряд заходів з енергоефективності для цеху по виготовленню сирів. Результати розрахунків основних показників щодо впровадження таких заходів зазначено в таблиці 2.15.

Таблиця 2.15 – Заходи з енергоефективності для цеху по виготовленню сирів

Найменування заходу	Капіталовкладення, грн	Економія енергії, Гкал/рік	Економія, грн/рік	Простий термін окупності
Утеплення стін	892 000	189	285 148	3 роки 2 місяці
Заміна вікон	140 000	19	28 907	4 роки 11 місяців
Впровадження теплової завіси	43 000	18	26 410	1 рік 8 місяців
Утеплення даху	650 000	79	119 194	5 років 6 місяців

## Висновки до розділу 2

В даному розділі зазначено ряд заходів з енергоефективності, які пропонують для впровадження на даному підприємстві молочної галузі. Проаналізувавши дані підприємства можна зробити висновок, що найбільшу частку споживання електричної енергії складає саме компресорне обладнання, а також, не такий значний відсоток займає холодильне обладнання та насосне обладнання. Відповідно, на основі цих висновків і були запропоновані вище вказані заходи для підприємства. Оскільки компресорне обладнання є найбільшим споживачем електричної енергії, в подальшому, для прогнозування електроспоживання буде обрано дані саме по компресорній станції для того, щоб виведена математична модель була показовою.



### 3 ОЦІНЮВАННЯ ЕНЕРГОРЕЗУЛЬТАТИВНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА НА ОСНОВІ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ

#### 3.1 Етапи та критерії створення математичної моделі для оцінювання енергорезультативності підприємства

При побудові математичної моделі системи можна виділити кілька етапів. **Перший етап** - постановка задачі. Етапу передують виникнення ситуацій чи проблем, усвідомлення яких призводить до думки їх узагальнення чи вирішення подальшого досягнення, будь-якого ефекту. Виходячи з цього, об'єкт описується, наголошуються питання, що підлягають вирішенню, і ставиться мета дослідження. Тут потрібно усвідомити, що саме потрібно отримати в результаті досліджень. Попередньо слід оцінити, чи не можна отримати ці результати іншим, дешевшим або доступнішим шляхом. На даному етапі відбувається ідентифікація системи. Звідси вибирається завдання дослідження, що може вирішувати питання: оптимізації, порівняння, оцінки, прогнозу, аналізу чутливості, виявлення функціональних співвідношень, тощо. Виходячи із завдання дослідження, можна визначити призначення математичної моделі, яка має бути побудована для дослідження. Такі моделі можуть вирішувати завдання:

- виявлення функціональних співвідношень, що полягають у визначенні кількісних залежностей між вхідними факторами моделі та вихідними характеристиками досліджуваного об'єкта;
- аналізу чутливості, що полягає у встановленні факторів, які більшою мірою впливають на вихідні характеристики системи, що цікавлять;
- прогнозу - оцінки поведінки системи за певного передбачуваного поєднання зовнішніх умов;
- оцінки - визначення, наскільки добре досліджуваний об'єкт відповідатиме деяким критеріям;
- порівняння, що полягає у зіставленні обмеженого числа

альтернативних варіантів систем або у зіставленні кількох запропонованих принципів чи методів дії;

- оптимізації, яка полягає у точному визначенні такого поєднання змінних керування, при яких забезпечується екстремальне значення цільової функції [22].

**Другий етап** - складання математичної моделі. Вигляд математичної моделі значною мірою залежить від мети дослідження. Спочатку краще пошукати відповідну модель у літературі або використовувати ті чи інші відомі закономірності у вигляді функцій, що пов'язують змінні та постійні фактори моделі між собою.

Математична модель може бути у вигляді математичного виразу, що являє собою рівняння алгебри, або нерівність, що не має розгалуження обчислювального процесу при визначенні будь-яких змінних стану моделі, цільової функції і рівнянь зв'язку [23].

Для побудови такої моделі формулюються такі поняття [24]:

- критерій оптимальності - показник, що обирається та має зміст, який служить для формалізації конкретної мети управління об'єктом дослідження, а також виражається за допомогою цільової функції;

- цільова функція - характеристика об'єкта, встановлена з умови подальшого пошуку критерію оптимальності, що математично зв'язує між собою ті чи інші фактори об'єкта дослідження. Цільова функція та критерій оптимальності - різні поняття. Вони можуть бути описані функціями одного і того ж виду або різними функціями;

- обмеження - межі, що звужують область здійснених, прийнятних або допустимих рішень і фіксують основні внутрішні та зовнішні властивості об'єкта. Обмеження визначають область дослідження, перебігу процесів, межі зміни параметрів та факторів об'єкта.

Основну роль розробки алгоритму пошуку оптимальних рішень відіграють характер чинників математичної моделі, число критеріїв оптимальності, вид цільової функції і рівнянь зв'язку. Вид цільової функції та

обмежень визначає вибір одного з трьох основних методів вирішення математичних моделей:

- аналітичного дослідження;
- дослідження за допомогою чисельних методів;
- дослідження алгоритмічних моделей за допомогою методів експериментальної оптимізації.

Аналітичні методи відрізняються тим, що крім точного значення змінних, що шукаються, вони можуть давати оптимальне рішення у вигляді готової формули, куди входять характеристики і початкові умови, які можна змінювати в широких межах, не змінюючи самої формули.

Чисельні методи дають можливість отримати рішення шляхом багаторазового обчислення за певним алгоритмом, що реалізує той чи інший чисельний метод. Як вихідні дані, для обчислення використовуються числові значення параметрів об'єкта, початкових умов, тощо. Чисельні методи є ітеративними процедурами: для проведення наступного кроку розрахунків (при новому значенні керованих змінних) використовуються результати попередніх розрахунків, що дає змогу отримувати в процесі обчислень покращені результати і тим самим знаходити оптимальне рішення [25].

Імітаційне моделювання завдань, що містять випадкові параметри, прийнято називати статистичним моделюванням [26].

**Третій етап** - обчислення. При розв'язанні задачі необхідно ретельно розібратися з розмірністю всіх величин, що входять в математичну модель, і визначити межі, в яких лежатиме цільова функція, а також необхідну точність обчислень. Якщо можливо, то обчислення проводяться за незмінних умов кілька разів, щоб переконатися, що цільова функція не змінюється [26].

**Четвертий етап.** Заключним кроком створення моделі є складання її опису, що містить відомості, необхідні для вивчення моделі, її подальшого використання, а також усі обмеження та припущення. Ретельний та повний облік факторів при побудові моделі та формулюванні припущень дозволяє

оцінити точність моделі, уникнути помилок під час інтерпретації її результатів [26].

**Вимоги до математичної моделі.** Створення математичних моделей є головним напрямом сучасного процесу математизації наук (природних, технічних, гуманітарних). Для будь-якого об'єкту можна побудувати безліч моделей, у тому числі і математичних. Щоб математичну модель можна було використовувати для дослідження реального об'єкту, вона повинна задовольняти наступним вимогам [27]:

- бути практично корисною;
- відповідати вирішуваним завданням. Аналіз використання моделювання численними дослідниками дозволяє говорити про те, що математична модель також повинна відповідати наступним вимогам:
- бути простою в змістовному сенсі і такою, що легко інтерпретується;
- бути «адаптованою» до наявних початкових даних про об'єкт і легко модифікуватися при появі нових даних;
- бути повною з погляду вирішуваних завдань;
- бути зрозумілою;
- гарантувати відсутність абсурдних результатів.

### 3.2 Підготовка вихідних даних для аналізу

З балансу споживання електричної енергії споживачами цеху по виготовленню сирів, який зображено на рисунку 2.11, зроблено висновок, що найбільшим споживачем електроенергії даного цеху є компресорне обладнання (75,8%). Всі інші споживачі електричної енергії мають значно меншу частку споживання.

Враховуючи вище зазначене, в даній роботі буде проведено дослідження саме для компресорної станції. Для виконання оцінювання енергорезультативності було обрано вихідні дані щодо показників компресорної станції, які наведено в таблиці 3.1, а саме: продуктивність, тиск та температура.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані

Дата	Продуктивність, м3/добу	Тиск, бар	Температура, °C	Споживання ел/ен, кВт·год
01.12.2020	245980,8	4,000	28,0	22765,60
02.12.2020	256776	6,300	30,0	21606,36
03.12.2020	239442,5	6,300	30,0	19546,78
04.12.2020	185275,7	3,780	30,0	13750,70
05.12.2020	128479,1	3,030	30,0	11905,04
06.12.2020	109910,5	3,200	27,0	15967,51
07.12.2020	105134,3	3,550	22,0	21336,89
08.12.2020	283376,6	4,800	22,0	24659,31
09.12.2020	188323,2	4,700	23,0	22105,28
10.12.2020	176086,4	4,500	23,0	23774,16
11.12.2020	115188,5	2,630	23,0	24282,83
12.12.2020	283075	4,150	23,0	16379,87
13.12.2020	198422,4	2,630	18,0	16997,16
14.12.2020	158540,4	3,230	14,0	19791,42
15.12.2020	211558,2	3,230	14,0	17014,94
16.12.2020	272378,4	6,100	14,0	19480,16
17.12.2020	378777,1	6,100	11,0	22888,58
18.12.2020	303014,3	3,580	11,0	26076,20
19.12.2020	275311,4	3,550	11,0	22672,13
20.12.2020	251052,8	3,380	13,0	22114,99
21.12.2020	191209,6	4,000	18,0	26158,92
22.12.2020	274302,6	4,450	18,0	24174,15
23.12.2020	258191,7	3,850	20,0	21286,72
24.12.2020	163278	3,070	20,0	18217,92
25.12.2020	108240	2,530	20,0	8596,06
26.12.2020	96092,85	2,250	20,0	11030,67
27.12.2020	86061,36	2,430	20,0	11860,02
28.12.2020	143635,7	2,600	14,0	13390,26
29.12.2020	153566,6	2,600	13,0	14703,80

## Продовження таблиці 3.1

30.12.2020	147478,5	2,600	13,0	16353,87
31.12.2020	173787,1	3,600	13,0	17792,31
01.01.2021	156168	2,480	20,0	12830,87
02.01.2021	135462	2,050	20,0	11908,32
03.01.2021	130505	2,160	18,0	11535,04
04.01.2021	146944	2,330	10,0	12216,65
05.01.2021	245447	4,900	10,0	15223,04
06.01.2021	294489	3,430	10,0	23917,66
07.01.2021	283817	3,220	10,0	23175,32
08.01.2021	272065	3,100	10,0	21739,51
09.01.2021	221825	3,000	10,0	18301,26
10.01.2021	230322	2,760	10,0	18883,20
11.01.2021	280374	4,000	17,0	24143,60
12.01.2021	255840	3,300	20,0	21704,15
13.01.2021	241825	3,400	19,0	19759,80
14.01.2021	148096	3,600	19,0	19169,04
15.01.2021	218306	3,730	19,0	15452,54
16.01.2021	199048	2,900	19,0	12941,04
17.01.2021	234018	2,780	19,0	16475,81
18.01.2021	282257	3,230	25,0	17315,64
19.01.2021	288523	5,350	35,0	15426,45
20.01.2021	186608	2,600	35,0	15964,30
21.01.2021	212138	3,000	41,0	15198,24
22.01.2021	235823	3,400	41,0	19129,76
23.01.2021	269996	3,820	41,0	20256,60
24.01.2021	200729	2,580	41,0	15850,32
25.01.2021	217075	3,600	38,0	19548,87
26.01.2021	207231	3,600	38,0	18946,83
27.01.2021	209070	4,000	33,0	17526,54
28.01.2021	156965	4,000	33,0	15868,45

Продовження таблиці 3.1

29.01.2021	158904	3,600	38,0	20185,61
30.01.2021	191047	4,130	38,0	23434,84
31.01.2021	215309	4,400	38,0	21030,98

### 3.3 Модель енергоспоживання підприємства на основі регресійного аналізу

Даний аналіз описано у пп. 1.3.2, п.1.3, розділу 1 даного документу. За вихідні дані обрано всі чинники та споживання електричної енергії у період з 01.12.2020 по 31.12.2020, які було обрано з наведеної вище таблиці 3.1. Обрано саме місяць грудень 2020 року, аби в подальшому прогнозувати дані на січень 2021 року та прораховувати похибку щодо виведеної математичної моделі для прогнозування електроспоживання на компресорній станції (відповідно «відштовхуючись» від фактичних даних, які наявні саме за січень 2021 року). Всі розрахунки проводилися за допомогою програмного забезпечення MS Excel, а саме за допомогою пакета «Аналіз даних». Вихідні дані для регресійного аналізу наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Вихідні дані по компресорній станції за грудень 2020 року

Дата	Продуктивність, м3/добу	Тиск, бар	Температура, °C	Споживання ел/ен, кВт·год
01.12.2020	245980,8	4,000	28,0	22765,60
02.12.2020	256776	6,300	30,0	21606,36
03.12.2020	239442,5	6,300	30,0	19546,78
04.12.2020	185275,65	3,780	30,0	13750,70
05.12.2020	128479,12	3,030	30,0	11905,04
06.12.2020	109910,5	3,200	27,0	15967,51
07.12.2020	105134,25	3,550	22,0	21336,89
08.12.2020	283376,6	4,800	22,0	24659,31
09.12.2020	188323,2	4,700	23,0	22105,28
10.12.2020	176086,4	4,500	23,0	23774,16

## Продовження таблиці 3.2

11.12.2020	115188,5	2,630	23,0	24282,83
12.12.2020	283075	4,150	23,0	16379,87
13.12.2020	198422,4	2,630	18,0	16997,16
14.12.2020	158540,4	3,230	14,0	19791,42
15.12.2020	211558,2	3,230	14,0	17014,94
16.12.2020	272378,4	6,100	14,0	19480,16
17.12.2020	378777,1	6,100	11,0	22888,58
18.12.2020	303014,25	3,580	11,0	26076,20
19.12.2020	275311,4	3,550	11,0	22672,13
20.12.2020	251052,75	3,380	13,0	22114,99
21.12.2020	191209,6	4,000	18,0	26158,92
22.12.2020	274302,6	4,450	18,0	24174,15
23.12.2020	258191,7	3,850	20,0	21286,72
24.12.2020	163278	3,070	20,0	18217,92
25.12.2020	108240	2,530	20,0	8596,06
26.12.2020	96092,85	2,250	20,0	11030,67
27.12.2020	86061,36	2,430	20,0	11860,02
28.12.2020	143635,7	2,600	14,0	13390,26
29.12.2020	153566,55	2,600	13,0	14703,80
30.12.2020	147478,5	2,600	13,0	16353,87
31.12.2020	173787,12	3,600	13,0	17792,31

На рисунках 3.1 - 3.3 представлено результати регресійного аналізу.

В процесі кожного регресійного аналізу були відібрані найвпливовіші чинники, інші ж «відкидалися». По величині «р-значення» були «відкидані» значення, що були більші, ніж 0,05 (було виключення у випадку регресійного аналізу для двох місяців). Також, був встановлений рівень надійності 95%.



Вывод итогов									
Регрессионная статистика									
Множественный R	0,618547								
R-квадрат	0,3826								
Нормированный R-квадрат	0,314								
Стандартная ошибка	3929,401								
Наблюдения	31								
Дисперсионный анализ									
	df	SS	MS	F	значимость F				
Регрессия	3	258341851,4	86113950,48	5,577257881	0,004129				
Остаток	27	416885271	15440195,22						
Итого	30	675227122,4							
Коэффициенты									
Y-пересечение	11405,95	3478,109892	3,279351877	0,00286642	4269,454	18542,44	4269,454	18542,44	
Переменная X 1	0,026176	0,01637287	1,598744519	0,121515732	-0,00742	0,05977	-0,00742	0,05977	
Переменная X 2	1011,869	1017,465511	0,994499169	0,328809625	-1075,8	3099,535	-1075,8	3099,535	
Переменная X 3	-73,1096	142,0893811	-0,514532471	0,611066161	-364,653	218,4337	-364,653	218,4337	

Рисунок 3.1 – Всі три чинники

ВЫВОД ИТОГОВ						
Регрессионная статистика						
Множественный R	0,613634					
R-квадрат	0,376546					
Нормированный R-квадрат	0,332014					
Стандартная ошибка	3877,467					
Наблюдения	31					
Дисперсионный анализ						
	df	SS	MS	F	значимость F	
Регрессия	2	2,54E+08	1,27E+08	8,455550602	0,00134	
Остаток	28	4,21E+08	15034749			
Итого	30	6,75E+08				
	Коэффициент	Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение	нижние 95%	верхние 95%
Y-пересечение	10136,67	2419,5	4,18957	0,000252266	5180,545	15092,79
Переменная X 1	0,030774	0,013538	2,273057	0,030892311	0,003041	0,058506
Переменная X 2	726,6873	841,9748	0,863075	0,395429088	-998,02	2451,394

Рисунок 3.2 – Перші два чинники

ВЫВОД ИТОГОВ									
Регрессионная статистика									
Множественный R	0,599967								
R-квадрат	0,35996								
Нормированный R-квадрат	0,33789								
Стандартная ошибка	3860,375								
Наблюдения	31								
Дисперсионный анализ									
	df	SS	MS	F	значимость F				
Регрессия	1	2,43E+08	2,43E+08	16,309673	0,00036				
Остаток	29	4,32E+08	14902494						
Итого	30	6,75E+08							
Коэффициент стандартной ошибки t-статистика P-Значение нижние 95% верхние 95% нижние 95,0% верхние 95,0%									
Y-пересечение	11249,78	2038,083	5,519785	5,98943E-06	7081,43	15418,12	7081,43	15418,12	
Переменная X 1	0,038939	0,009642	4,038524	0,000360293	0,019219	0,058658	0,019219	0,058658	

Рисунок 3.3 – Перший чинник (найвпливовіший)

Отже, найвпливовішим чинником є саме продуктивність. Згідно з результатами регресійного аналізу були визначені коефіцієнти рівняння лінійної регресії (рис. 3.3) і в результаті цього, було отримано математичну модель для прогнозування електроспоживання на компресорній станції (формула 3.1):

$$y = 11249,78 + 0,039 \cdot x_1, \quad (3.1)$$

де  $y$  – споживання електричної енергії, кВт·год,

$x_1$  – продуктивність, м<sup>3</sup>/добу.

На рисунку 3.4 наведено графік базової лінії електроспоживання та фактичне значення електроспоживання на компресорній станції.

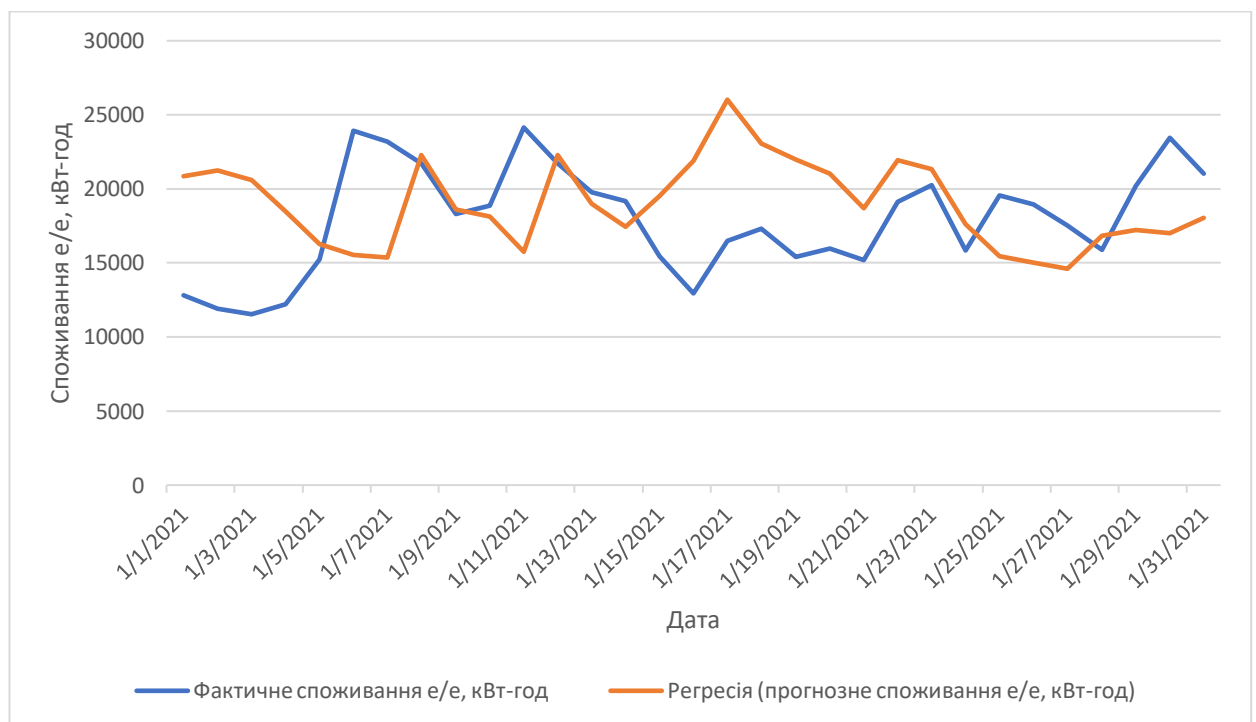


Рисунок 3.4 – Базова модель споживання електричної енергії

З зазначеного графіка видно, що побудована базова лінія споживання електричної енергії відрізняється від фактичного споживання е/е. Похибку буде прораховано далі.

### 3.4 Модель на основі методу головних компонент (МГК)

З числа методів, які дозволяють узагальнювати значення елементарних ознак, метод головних компонент виділяється простою та логічною конструкцією; на його прикладі стають зрозумілими загальна ідея і цільові настанови численних методів факторного аналізу.

Для виявлення найбільш значущих факторів і їх структури - найбільш виправданим є метод головних компонент. Суть методу полягає в заміні корельованих компонентів некорельованими факторами. Іншою важливою характеристикою методу є можливість виокремлення найбільш значущих головних компонент і виключення інших з аналізу, що спрощує інтерпретацію результатів. Переваги даного методу також у тому, що він є математично обґрунтованим методом факторного аналізу. За твердженням ряду дослідників, метод головних компонент не є методом факторного аналізу, оскільки не розщеплює дисперсію індикаторів на загальну й унікальну.

Метод головних компонент дає можливість за  $m$  вхідними ознаками виділити  $m$  головних компонент, або узагальнених ознак. Простір головних компонентів є ортогональним. Математична модель головних компонент базується на логічному допущенні, що значення безлічі взаємозалежних ознак породжують деякий загальний результат [19].

Метод головних компонент використовується для вивчення взаємозв'язків між досліджуваними показниками. За його допомогою можна виявляти приховані показники (фактори), які відповідають за наявність лінійних статистичних зв'язків (кореляцій) між ними. Крім того, визначення більш впливових за умов проведення досліджень факторів серед первинно обраних показників, а також виявлення статистичного зв'язку визначають обґрунтованість висновків щодо ефективності тих чи інших впливів на досліджувану систему [19].

Алгоритм застосування та реалізації методу головних компонент стосовно дослідження груп кредитних ризиків відображено на рис. 3.5.

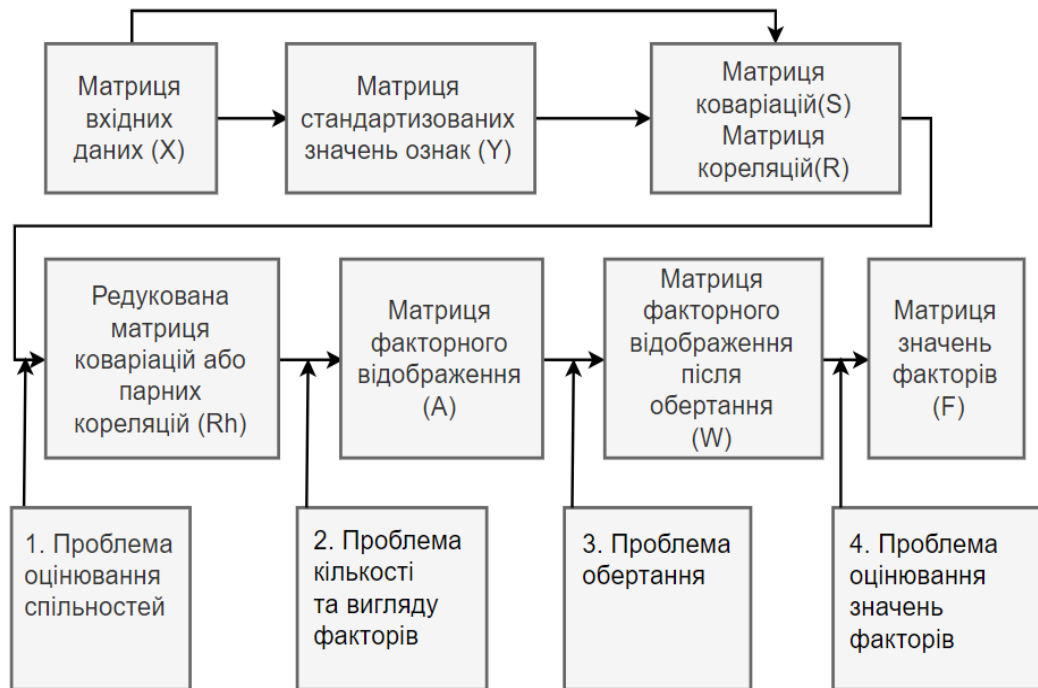


Рисунок 3.5 – Загальний алгоритм (схема) реалізації методу [11]

Оцінювання за цим методом починається з побудови матриці вихідних даних  $X$  і завершується отриманням матриць факторного відображення та значень факторів  $A$  і  $F$ . З урахуванням прийнятих позначень:  $n$  — кількість спостережень,  $m$  — кількість аналітичних ознак  $X$ ,  $r$  — кількість значущих узагальнених ознак (латентних факторів) [19].

Розглянемо обчислювальні процедури методу головних компонент. Розв’язання задачі методом головних компонент зводиться до поетапного перетворення матриці вихідних даних  $X$  (формула 3.2):

$$X \rightarrow Z \rightarrow R(s) \rightarrow \left\{ \begin{matrix} \Lambda \\ U \rightarrow V \end{matrix} \right\} \rightarrow A \rightarrow F, \quad (3.2)$$

де  $X$  – матриця вихідних даних розмірністю  $n \times m$ ,

$m$  – кількість елементарних ознак,

$Z$  – матриця стандартизованих ознак, елементи матриці обчислюють за формулою:

$$Z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{\sigma_j}$$

$R$  - матриця парних кореляцій  $R = \frac{1}{n} \cdot Z'Z$ ,

$n$  - кількість об'єктів спостереження,

$A$  - матриця факторного відображення, її елементи  $a_{rj}$  – вагові коефіцієнти,

$\Lambda$  - діагональна матриця власних (характеристичних) чисел.

Якщо попередня стандартизація даних не проводилася, то на даному кроці отримують матрицю  $S = \frac{1}{n} \cdot X'X$ , елементи матриці  $X$  для розрахунку  $S$  будуть центрованими величинами:  $x'_{ij} = x_{ij} - \bar{x}_j$ ;  $\Lambda$  — діагональна матриця власних (характеристичних) чисел розраховують таким чином (формула 3.3):

$$\Lambda = \begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \lambda_m \end{pmatrix}, \quad (3.3)$$

Значення  $\lambda_j$  знаходять рішенням характеристичного рівняння (формула 3.4):

$$|R - \lambda| = 0, \quad (3.4)$$

де  $\lambda_j$  — характеристики варіації; точніше, показники дисперсії кожної головної компоненти.

Сумарне значення  $\sum \lambda_j$  дорівнюють сумі дисперсій елементарних ознак  $X_j$ . За умови стандартизації вихідних даних, коли  $D(z_{ij})=1$ ,  $\sum \lambda_j$  дорівнює кількості елементарних ознак  $m$ .

Розв'язання характеристичного рівняння відносно, коли число ознак  $m$  досить велике та матриця  $R$  великої розмірності, виникають труднощі щодо розрахунку визначника  $|R|$ . Найбільш ефективним є метод, що базується на рекурентних співвідношеннях Фаддєєва. Якщо  $A$  — деяка симетрична матриця розмірністю  $m \times m$ , то її визначник знаходять за слідом матриць, похідних з  $A$  (формула 3.5):

$$\begin{array}{lll}
 A_1 = A & P_1 = t_r A_1 & B_1 = A_1 - P_1 E \\
 A_2 = AB_1 & P_2 = \frac{1}{2} 2 t_r A_2 & B_2 = A_2 - P_2 E \\
 \dots & \dots & \dots \\
 A_{m-1} = AB_{m-2} & P_{m-1} = \frac{1}{m-1} t_r A_{m-1} & B_{m-1} = A_{m-1} - P_{m-1} E \\
 A_m = AB_{m-1} & P_m = \frac{1}{m} t_r A_m & B_m = A_m - P_m E
 \end{array} \quad (3.5)$$

На заключному етапі розрахунків  $P_m$  і є визначник матриці  $A$  ( $P_m = |A|$ ). Для перевірки обчислень може використовуватися умова:  $B_m = 0$ .

Після обчислень рекурентних співвідношень записується характеристичний багаточлен (формула 3.6):

$$P_m(\lambda) = \lambda^m - P_1 \lambda^{m-1} - P_2 \lambda^{m-2} - \dots - P_m, \quad (3.6)$$

Значення  $\lambda$  знаходять після того, як характеристичний багаточлен дорівнюють нулю, отримують характеристичне рівняння та розв'язують його щодо характеристичних коренів  $\lambda_j$ . Спочатку  $A$  має розмірність  $m \times m$  — за кількістю елементарних ознак  $X_j$ ; потім в аналізі залишається  $r$  найбільш значущих компонент,  $r \leq m$ . Обчислюють матрицю  $A$  за відомими даними матриці власних чисел  $\Lambda$  і нормованими власними векторами  $V$  за формулою  $A = V \Lambda V^T$  [19].

$F$  — матриця значень головних компонент розмірністю  $r \times n$  розраховується таким чином (формула 3.7):

$$F = A^{-1} Z' \text{ або } F = \Lambda^{-1} A' Z', \text{ або } F = \Lambda^{1/2} V' Z' \quad (3.7)$$

де  $V$  — матриця нормованих власних (характеристичних) векторів.

Матриця  $F$  у загальному виді зазначена в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Матриця  $F$  у загальному вигляді

Головні компоненти	Об'єкти			
	n1	n2	...	nn
F1	f11	f12	...	f1n
F2	F21	f22	...	f2n
....	...	...	...	...
Fr	fr1	fr2	...	frn

Кількість векторів  $V_j$  спочатку дорівнює  $m$ , тобто  $j = \overline{1, m}$ .

Отримують  $V_j$  перетворенням ненормованих власних векторів  $U$  (формула 3.8):

$$V_j = \frac{U_j}{|U_j|}, \quad (3.8)$$

де  $|U_j|$  — норма вектора  $U$ , тобто  $|U_j| = (u_{1j}^2 + u_{2j}^2 + \dots + u_{mj}^2)^{\frac{1}{2}}$ .

У свою чергу, власні вектори  $U_j$  знаходять з матричного рівняння:  $(R - \lambda_j E)U = 0$ . Реально це означає розв'язання  $m$  систем лінійних рівнянь для кожного  $\lambda_j$  за  $j = \overline{1, m}$ . У загальному випадку система рівнянь має вигляд (формула 3.9):

$$\begin{aligned}
 (1 - \lambda_j)u_{1j} + r_{12j}u_{2j} + r_{13j}u_{3j} + \dots + r_{1mj}u_{mj} &= 0 \\
 r_{21j}u_{1j} + (1 - \lambda_j)u_{2j} + r_{23j}u_{3j} + \dots + r_{2mj}u_{mj} &= 0 \\
 r_{31j}u_{1j} + r_{32j}u_{2j} + (1 - \lambda_j)u_{3j} + \dots + r_{3mj}u_{mj} &= 0, \\
 &\dots \\
 r_{m1j}u_{1j} + r_{m2j}u_{2j} + r_{m3j}u_{3j} \dots + (1 - \lambda_j)u_{mj} &= 0
 \end{aligned} \quad (3.9)$$

Приведена система поєднує однорідні лінійні рівняння; оскільки кількість її рівнянь дорівнює кількості невідомих  $u_{mj}$ , вона має нескінченну множину рішень. Конкретні значення власних векторів можна знайти, задаючи принаймні величину компонента кожного вектора, і щоб не ускладнювати розрахунків; вона дорівнює одиниці [19].

Розрахунки методом головних компонент для виведення математичної моделі, з метою прогнозування електроспоживання на компресорній станції, реалізовано за допомогою програмного забезпечення STATISTICA.

Statistica - програмний пакет для статистичного аналізу, розроблений компанією StatSoft, що реалізує функції аналізу даних, управління даними, видобутку даних, візуалізації даних із залученням статистичних методів. Пакет має широкі графічні можливості, дозволяє виводити інформацію у вигляді різних типів графіків (включаючи наукові, ділові, тривимірні та двовимірні графіки в різних системах координат, спеціалізовані статистичні графіки — гістограми, матричні, категоровані графіки та ін.), всі компоненти графіків налаштовуються [28].

Вихідні дані обрано такі ж самі, як і для методу регресії, тобто обрано дані з таблиці 3.2 за грудень 2020 року.

Відповідно, в програмному забезпеченні STATISTICA першим кроком було обрано метод (рис. 3.6 – 3.7), а також обрано змінні (чинники), що будуть використані для аналізу (рис. 3.8).

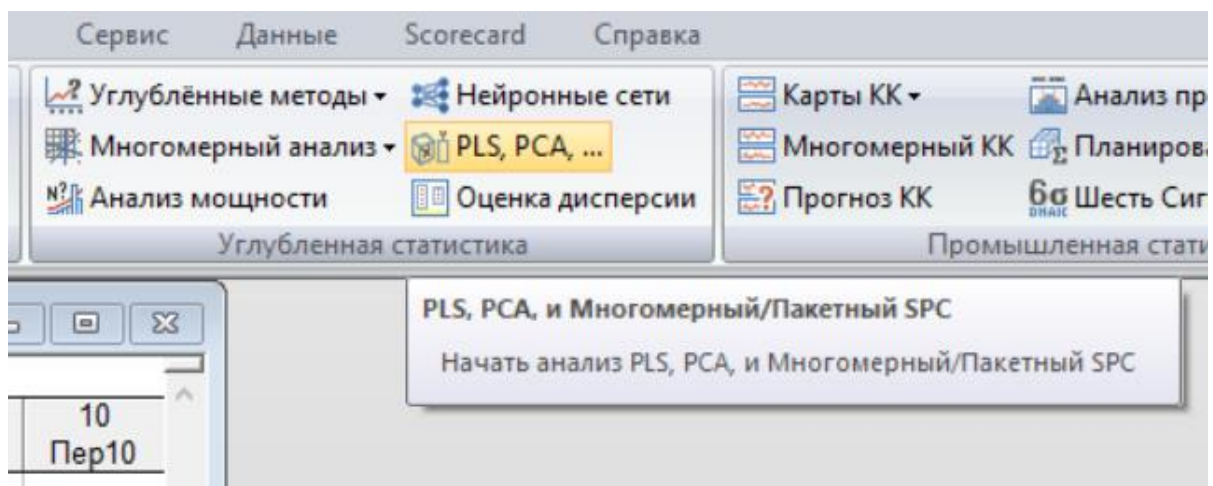


Рисунок 3.6 – Вибір методу



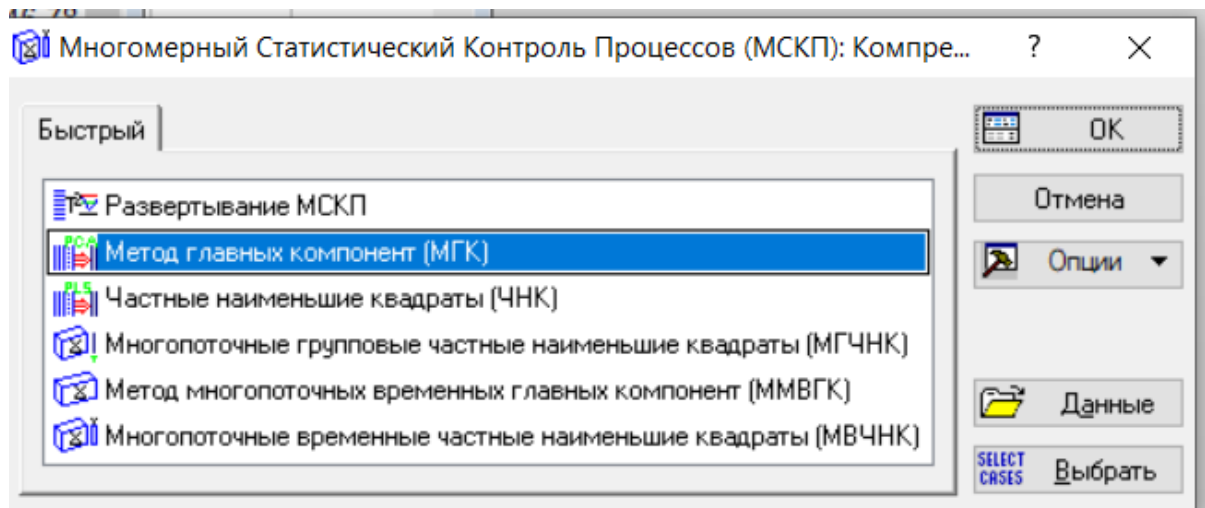
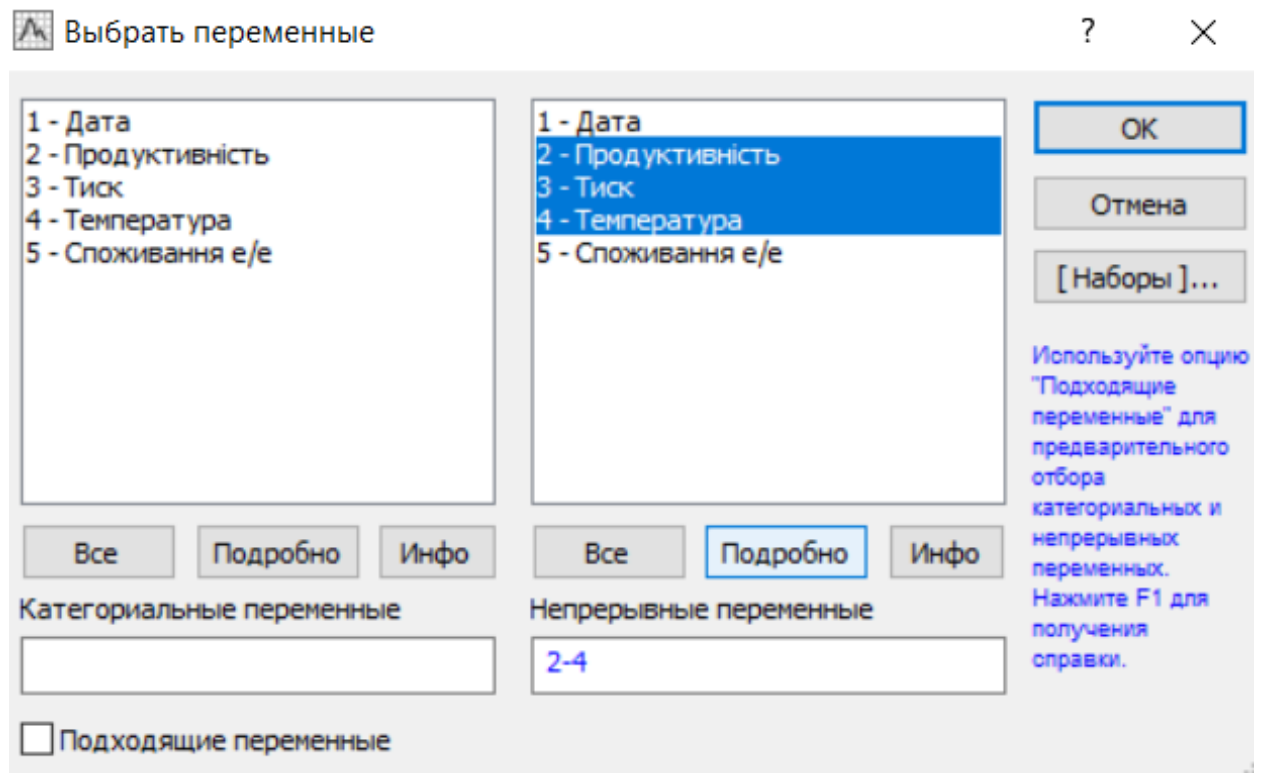


Рисунок 3.7 – Вибір методу



3.8 – Вибір змінних (чинників)

Під час формування математичної моделі методом головних компонент, програмним забезпеченням було автоматично визначено оптимальну кількість головних компонент, а саме – 2 компоненти (рис. 3.9). Зазначені компоненти є фіктивними, а це означає, що вони не мають фізичної реалізації, але в свою чергу надають можливість об'єднання реальних кореляційно пов'язаних

факторів в один. Детальну інформацію про обрані компоненти зазначено в таблиці 3.4.

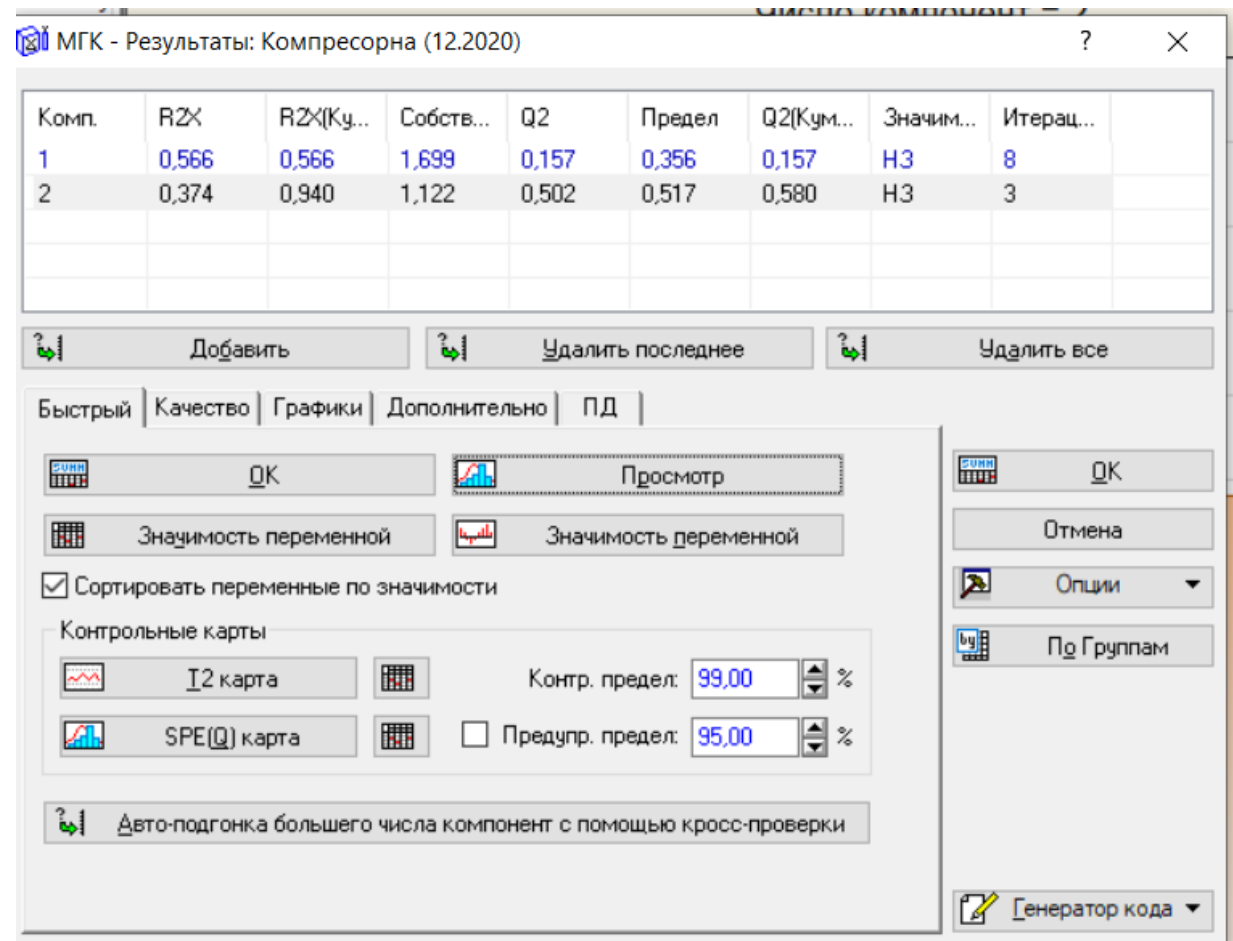


Рисунок 3.9 – Автоматичне визначення програмним забезпеченням оптимальної кількості головних компонент

Таблиця 3.4 – Результати опису головних компонент

Components	Principal Components Analysis Summary (Компресорна) Number of components is 1 94,03% of sum of squares has been explained by all the extracted components.					
	R <sup>2</sup> X	R <sup>2</sup> X (Cumul.)	Eigenvalues	Q <sup>2</sup>	Limit	Q <sup>2</sup> (Cumul.)
1	0,566	0,566	1,699	0,157	0,356	0,157
2	0,374	0,94	1,122	0,502	0,517	0,58

На рисунку 3.10 зазначена гістограма кумулятивних  $R^2X$  та  $Q^2$ . Дана гістограма показує, що кумулятивний  $R^2X$  покращується, а отже прагне стати одиницею. Це пов'язано зі збільшенням компонент до моделі. За допомогою кумулятивного  $Q^2$  відбувається визначення оптимального значення головних компонент в моделі, пікове значення даного параметра фіксує оптимальну кількість головних компонент в моделі.

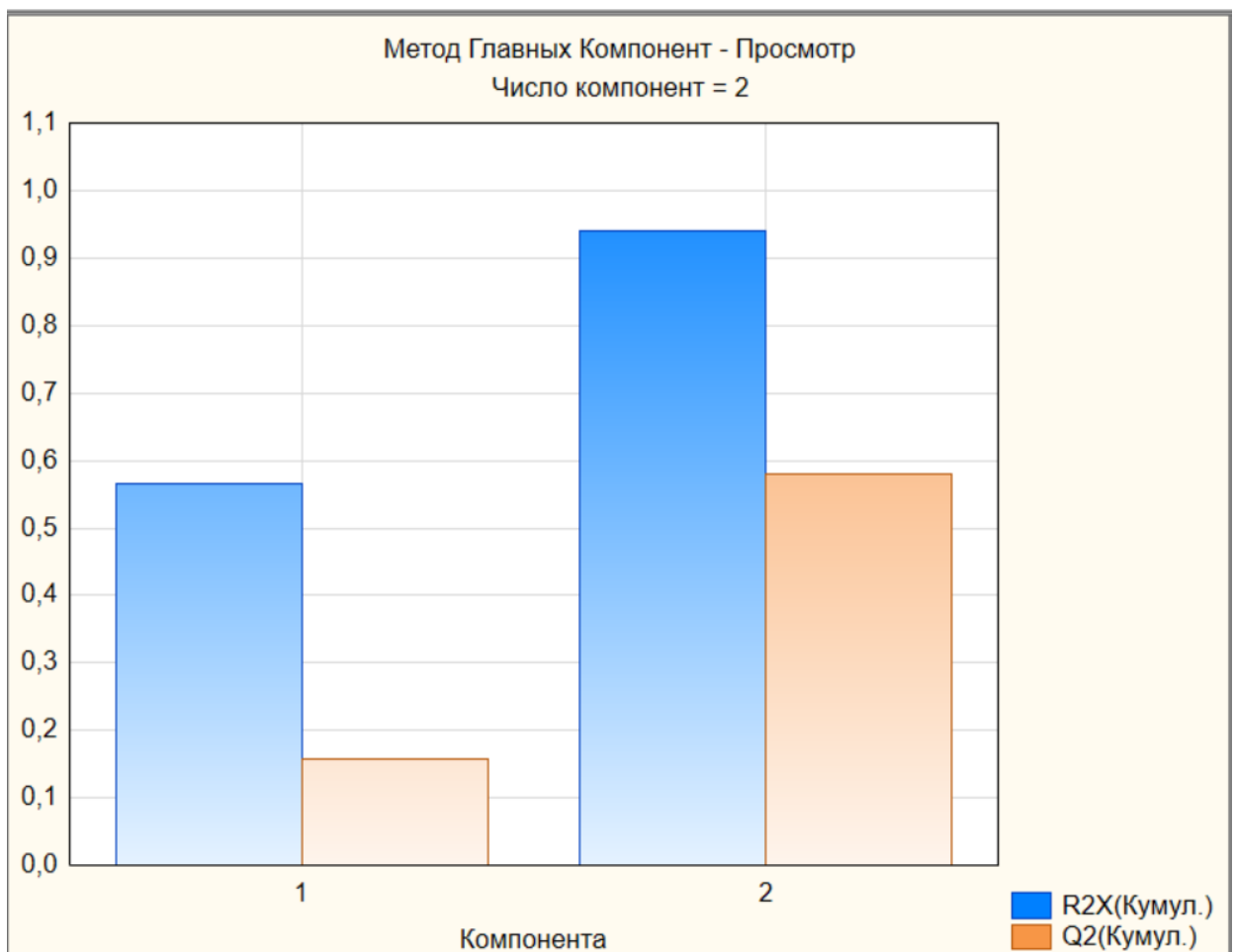


Рисунок 3.10 – Гістограма кумулятивних  $R^2X$  та  $Q^2$

В таблиці 3.5 зазначено виведену з програмного забезпечення значущість змінних і видно, що найбільш впливовим є чинник продуктивності компресорної станції.

Таблиця 3.5 – Значущість змінних

Variable	Variable importance (Компресорна) Number of components is 2		
	Variable number	Power	Importance
Продуктивність	2	0,7448	1
Тиск	3	0,6695	2
Температура	4	0,0006	2

В аналізі методом головних компонент важливе значення «потужності» змінної (чинника), тобто суть даного значення в тому, на скільки та чи інша змінна представлена в компоненті. Гістограма щодо значущості змінних наведена на рисунку 3.11.

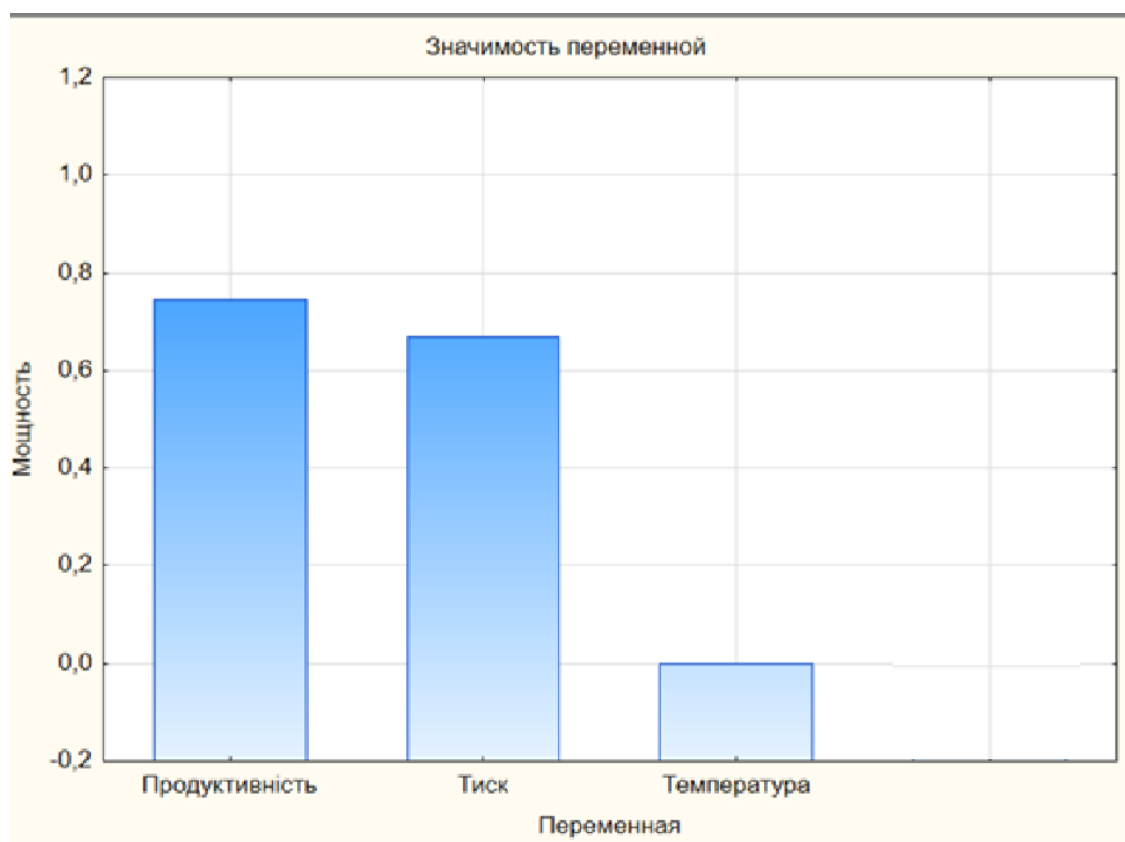


Рисунок 3.11 – Гістограма щодо значущості змінних

В таблиці 3.6 наведені значення власних векторів кореляційної матриці.

Таблиця 3.6 – Розрахунок векторів кореляційної матриці

Variable	Eigenvector spreadsheet (Компресорна) Number of components is 1	
Продуктивність	2	0,074
Тиск	3	0,063
Температура	4	-0,07

Отже, математична модель буде мати вигляд (формула 3.10):

$$y = 0,074 \cdot x_1 + 0,063 \cdot x_2 - 0,072 \cdot x_3, \quad (3.10)$$

де  $y$  – споживання електричної енергії, кВт·год,

$x_1$  – продуктивність, м<sup>3</sup>/добу,

$x_2$  – тиск, бар,

$x_3$  – температура, °C.

На рисунку 3.12 наведено графік щодо власних значень головних компонент. З графіка видно, що перше власне значення головної компоненти (першої компоненти) охоплює близько 52% мінливості даних, але дана тенденція зменшується у процесі додавання до моделі компонент.

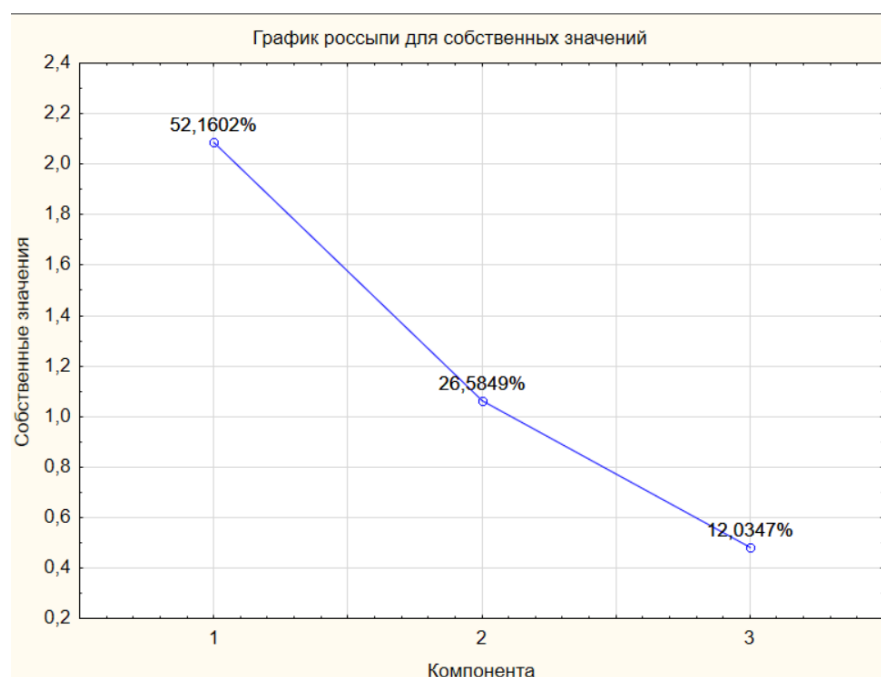


Рисунок 3.12 – Власні значення головних компонент

На рисунку 3.13. представлено графік залежності споживання електричної енергії від продуктивності компресорної станції.

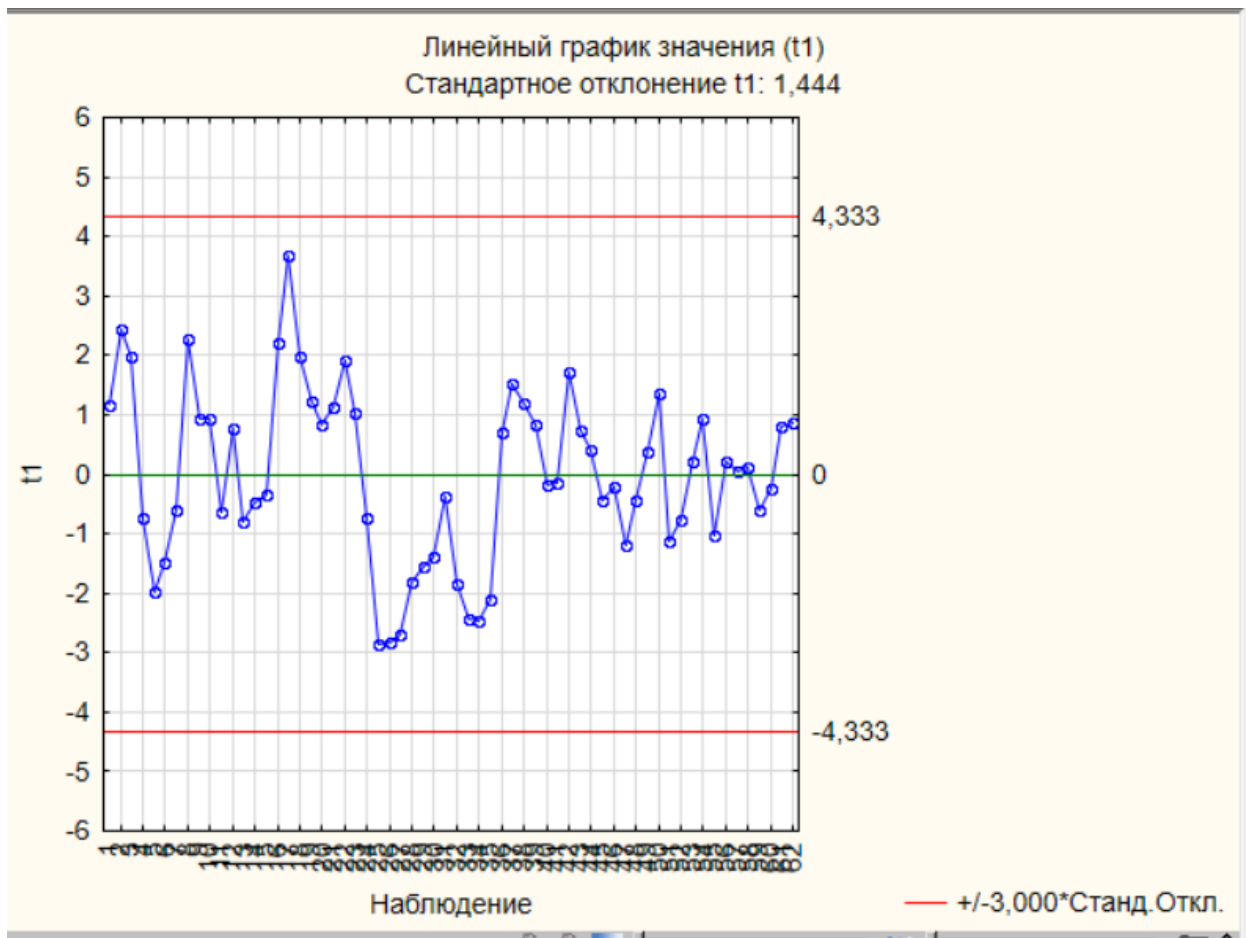


Рисунок 3.13 - Залежність споживання електричної енергії від продуктивності компресорної станції

### 3.5 Оцінювання точності побудованих математичних моделей

На рисунку 3.14 наведено графік з зазначенням на ньому фактичного споживання електроенергії за січень 2021 року, а також прогнозованими значеннями споживання електроенергії на січень 2021 року, виведеними за допомогою математичних моделей у результаті використання регресійного аналіз та методу головних компонент.

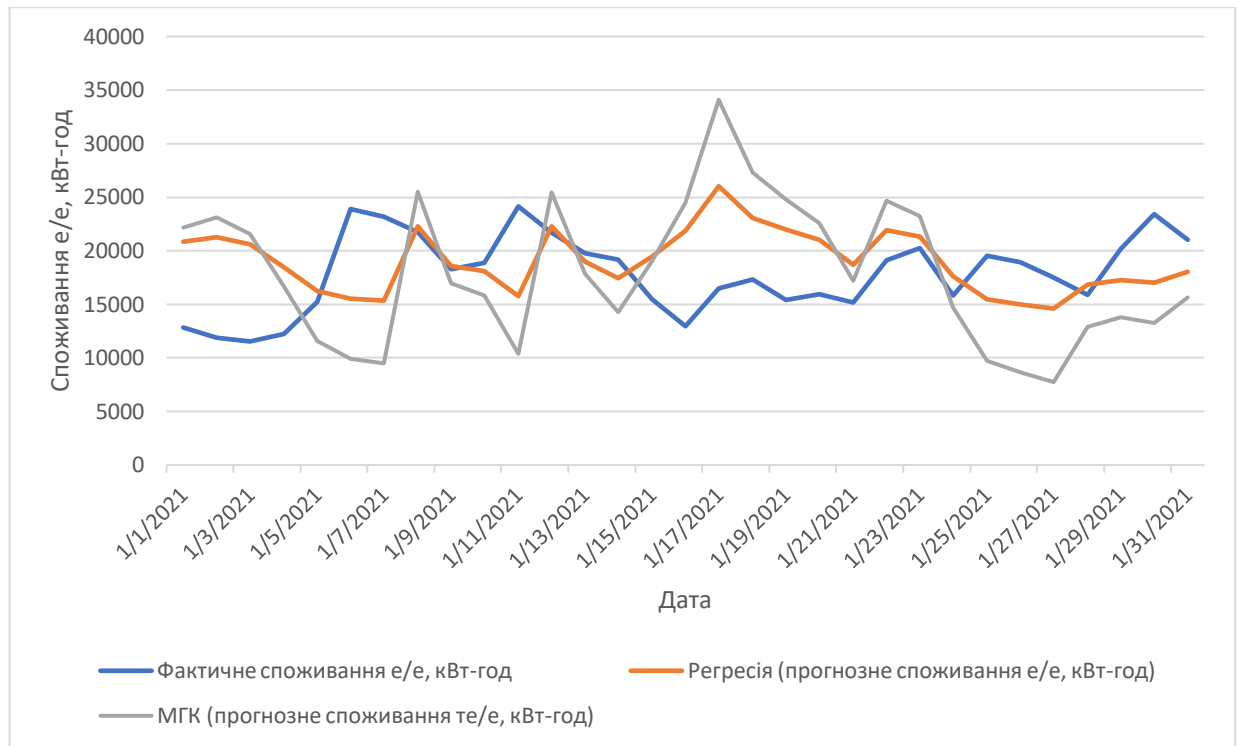


Рисунок 3.14 – Порівняння фактичного споживання електричної енергії за січень 2021 року та прогнозованих значень на даний період

Показники для оцінювання точності:

– MAPE (mean absolute percentage error) середня відносна похибка (формула 3.11):

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|W_{\text{факт}} - W_{\text{прогноз}}|}{W_{\text{факт}}} \cdot 100\%, \quad (3.11)$$

– PMSE (root mean squared error) середньоквадратична похибка (формула 3.12):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (W_{\text{факт}} - W_{\text{прогноз}})^2}, \quad (3.12)$$

– CV (coefficient of variation) коефіцієнт варіації (формула 3.13):

$$CV = \frac{RMSE}{\bar{W}_{\text{факт}}}, \quad (3.13)$$

де  $W_{\text{факт}}$  - фактичне споживання електроенергії,

$W_{\text{прогноз}}$  – прогнозоване значення електроенергії, виведена за допомогою математичної моделі, при тому ж наборі чинників,

$\bar{W}_{\text{факт}}$  – середньоарифметичне значення фактичного споживання електроенергії,

$n$  – обсяг вибірки.

Розрахунки за формулами 3.11 – 3.13 проводилися за допомогою програмного забезпечення MS Excel. Результати даних розрахунків представлено в зведеній таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Результати щодо оцінювання точності побудованих математичних моделей

Назва методу	MAPE, %	PMSE, кВт-год	CV
Регресійний аналіз	27,12	5164,55	0,288
Метод головних компонент (МГК)	36,45	7076,48	0,395

Отже, можна зробити висновок, що регресійний аналіз є більш точним, ніж метод головних компонент під час прогнозуванні електроспоживання на компресорній станції підприємства молочної галузі.

Регресійний аналіз є більш точним, оскільки для прогнозування було обрано досить маленький діапазон періоду даних та сам прогноз є короткостроковим. Метод головних компонент в даному випадку дає не точний результат прогнозування, оскільки обрано відповідно маленький діапазон даних (тобто дані тільки за один місяць), тому модель виходить не



зовсім точна та коректна для використання в подальшому, з метою прогнозування.

### 3.6 Оцінювання енергорезультативності підприємства за допомогою функції CUSUM

Отже, згідно з попередніми розрахунками, проведеними в розділі 3 даної магістерської дисертації, було розроблено математичну модель задля прогнозування електроспоживання компресорної станції підприємства молочної галузі та задля оцінювання енергорезультативності підприємства. Найвпливовішим чинником виявилася продуктивність компресорної станції.

Отримана математична модель має вигляд:

$$y = 11249,78 + 0,039 \cdot x_1, \quad (3.14)$$

де  $y$  – споживання електричної енергії, кВт·год,

$x_1$  – продуктивність, м<sup>3</sup>/добу.

Вихідні дані для оцінювання енергорезультативності за допомогою функції CUSUM було обрано з таблиці 3.2. За допомогою функції CUSUM буде побудовано графіки реальної економії CUSUM та цільове споживання CUSUM. Для цього потрібно провести деякі розрахунки. А саме, розрахунки було зроблено згідно з таким алгоритмом:

- 1) Розрахунок очікуваного споживання за математичною моделлю базового рівня, яка наведена у формулі 3.14.
- 2) Розрахунок  $EnPC$  – відношення загального споживання електроенергії до очікуваного. Якщо в результаті  $EnPC > 1$ , тоді отримана перевитрата, якщо ж  $EnPC < 1$ , тоді отримано економію.
- 3) Розрахунок реальної економії - це різниця між загальним споживанням електроенергії та очікуваним.
- 4) Для того, щоб розрахувати реальну економію CUSUM та потім побудувати графік, потрібно спочатку розрахувати суму реальної економії

CUSUM за перший день (вона дорівнює рельній економії за перший день) та реальної економії за другий день, а потім до отриманої суми додати реальну економію за третій день і т.д.

5) Розрахунок цільового споживання, яке приймається на рівні 2%. Даний показник розраховується як очікуване значення, помножене на 0,98.

6) Розрахунок цільового споживання - це різниця цільового споживання та очікуваного споживання електроенергії.

7) Цільове споживання CUSUM розраховується, як сума цільового споживання CUSUM за перший день (вона дорівнює цільовому споживанню за перший день) та цільового споживання за другий день, потім до отриманої суми додається цільове споживання за третій день і т.д.

Всі вище зазначені розрахунки (згідно описаного алгоритму дій) проводилися за допомогою програмного забезпечення MS Excel та наведені в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Розрахунок прогнозу споживання електроенергії на підприємстві, кВт·год

Доба	Продуктивність, м3/добу	Споживання ел/ен, кВт·год	Очікувано	ЕнР С	Реальна економія	Реальна економія CUSUM	Цільове споживання (2 %)	Цільове споживання	Цільове споживання CUSUM
1	245980,8	22765,6	20828,0	1,09	1937,6	1937,6	20411,5	-416,6	-416,6
2	256776,0	21606,36	21248,4	1,02	358,0	2295,6	20823,4	-425,0	-841,5
3	239442,5	19546,78	20573,4	0,95	-1026,7	1268,9	20162,0	-411,5	-1253,0
4	185275,7	13750,7	18464,2	0,74	-4713,5	-3444,6	18094,9	-369,3	-1622,3
5	128479,1	11905,04	16252,6	0,73	-4347,6	-7792,2	15927,6	-325,1	-1947,3
6	109910,5	15967,51	15529,6	1,03	437,9	-7354,3	15219,0	-310,6	-2257,9
7	105134,3	21336,89	15343,6	1,39	5993,3	-1361,0	15036,7	-306,9	-2564,8
8	283376,6	24659,31	22284,2	1,11	2375,1	1014,1	21838,5	-445,7	-3010,5
9	188323,2	22105,28	18582,9	1,19	3522,4	4536,5	18211,2	-371,7	-3382,1
10	176086,4	23774,16	18106,4	1,31	5667,8	10204,3	17744,3	-362,1	-3744,3
11	115188,5	24282,83	15735,1	1,54	8547,7	18752,0	15420,4	-314,7	-4059,0
12	283075,0	16379,87	22272,4	0,74	-5892,6	12859,4	21827,0	-445,4	-4504,4
13	198422,4	16997,16	18976,1	0,90	-1979,0	10880,4	18596,6	-379,5	-4883,9
14	158540,4	19791,42	17423,2	1,14	2368,2	13248,7	17074,7	-348,5	-5232,4
15	211558,2	17014,94	19487,6	0,87	-2472,7	10776,0	19097,9	-389,8	-5622,2
16	272378,4	19480,16	21855,9	0,89	-2375,8	8400,2	21418,8	-437,1	-6059,3
17	378777,1	22888,58	25999,0	0,88	-3110,4	5289,8	25479,0	-520,0	-6579,3

Продовження таблиці 3.8

18	303014,3	26076,2	23048,9	1,13	3027,3	8317,1	22587,9	-461,0	-7040,2
19	275311,4	22672,13	21970,1	1,03	702,0	9019,1	21530,7	-439,4	-7479,6
20	251052,8	22114,99	21025,5	1,05	1089,5	10108,6	20605,0	-420,5	-7900,1
21	191209,6	26158,92	18695,3	1,40	7463,6	17572,2	18321,4	-373,9	-8274,1
22	274302,6	24174,15	21930,8	1,10	2243,3	19815,5	21492,2	-438,6	-8712,7
23	258191,7	21286,72	21303,5	1,00	-16,8	19798,7	20877,4	-426,1	-9138,7
24	163278,0	18217,92	17607,7	1,03	610,3	20409,0	17255,5	-352,2	-9490,9
25	108240,0	8596,06	15464,5	0,56	-6868,5	13540,5	15155,2	-309,3	-9800,2
26	96092,9	11030,67	14991,5	0,74	-3960,9	9579,7	14691,7	-299,8	-10100,0
27	86061,4	11860,02	14600,9	0,81	-2740,9	6838,8	14308,9	-292,0	-10392,0
28	143635,7	13390,26	16842,8	0,80	-3452,6	3386,2	16506,0	-336,9	-10728,9
29	153566,6	14703,8	17229,5	0,85	-2525,7	860,5	16884,9	-344,6	-11073,5
30	147478,5	16353,87	16992,4	0,96	-638,6	221,9	16652,6	-339,8	-11413,3
31	173787,1	17792,31	18016,9	0,99	-224,6	-2,6	17656,5	-360,3	-11773,7
Сума						220976,5			-191298,7

На рисунку 3.15 наведено графік цільового споживання та реальної економії CUSUM для електричної енергії на компресорній станції підприємства молочної галузі.

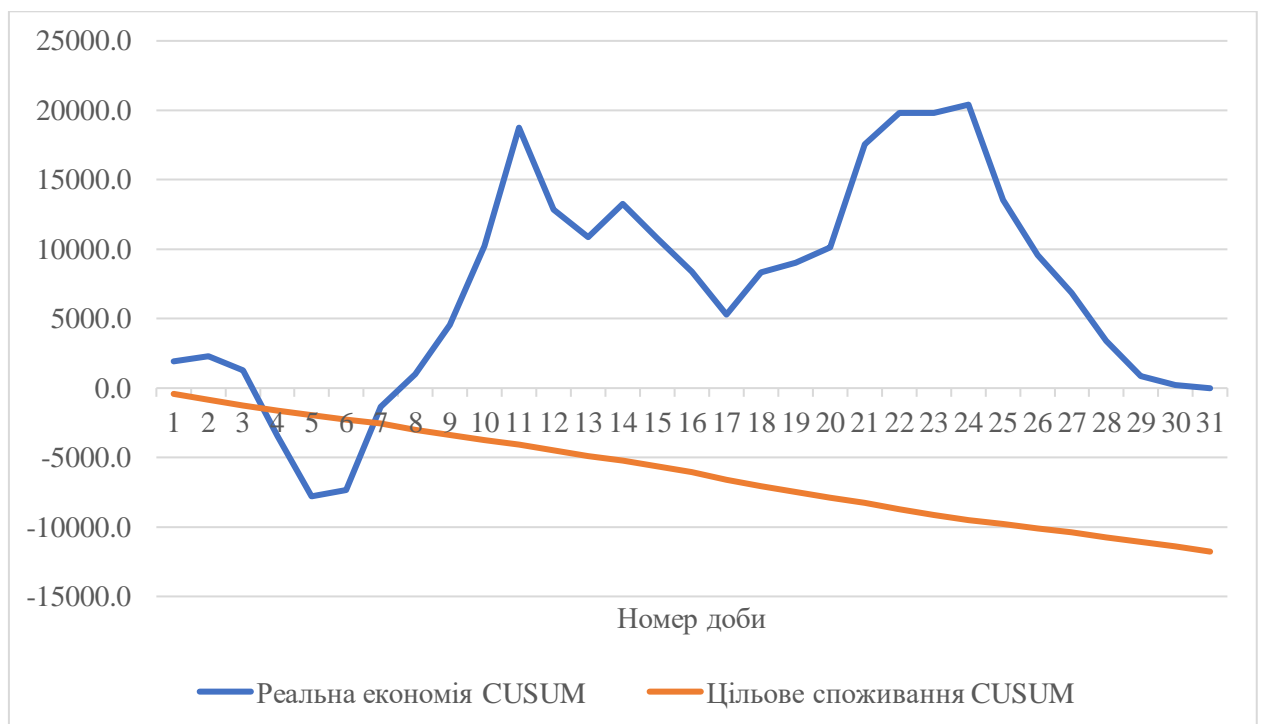


Рисунок 3.15 - Графік цільового споживання та реальної економії CUSUM для електричної енергії

Отже, згідно з результатами, які наведено в таблиці 3.8 та на рис. 3.15, можна сказати про те, що реальна економія майже не відповідає встановленій цілі для споживання електроенергії на компресорній станції підприємства молочної галузі (відповідність наявна лише для деяких діб та зазначена на рис. (3.15).

### **Висновок до розділу 3**

В даному розділі було побудовано математичні моделі прогнозування споживання електроенергії на компресорній станції підприємства молочної галузі за допомогою двох методів прогнозування, а саме регресійного аналізу та методу головних компонент. Регресійний аналіз було реалізовано за допомогою програмного забезпечення MS Excel, а метод головних компонент за допомогою програмного забезпечення STATISTICA.

На основі отриманих математичних моделей були спрогнозовані значення споживання електроенергії на компресорній станції на січень 2021 року, а також оцінено точність побудованих моделей, шляхом визначення відхилення між фактичними значеннями споживання за січень 2021 року та прогнозними значеннями, виведеними за допомогою методів прогнозування.

В результаті досліджень та розрахунків, було виведено, що в даному випадку регресійний аналіз є більш точним при прогнозуванні електроспоживання на компресорній станції підприємства молочної галузі. Але, рекомендується все ж таки для точності прогнозування завжди використовувати декілька методів прогнозування. Можливо, варто знайти більш точний метод, але в даній роботі відбувається суто дослідження двох обраних методів на предмет точності виведеної математичної моделі для подальшого оцінювання енергорезультативності на підприємстві молочної галузі.

Також, в даному розділі було проведено оцінювання енергорезультативності підприємства молочної галузі за допомогою побудови графіків кумулятивної суми CUSUM. Відповідно до результатів можна

зробити висновок, що значення реальної економії електроенергії на компресорній станції підприємства молочної галузі порівняно з цільовим споживанням електричної енергії є надзвичайно малим.

## 4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЄКТУ

### 4.1 Етапи розроблення стартап-проєкту

Етапи розвитку стартапу асоціюються з життям рослини: насіння садять і поливають, воно виростає у стебло з листками, розвивається і на верхівці з'являється квітка. Квітка – це символ зрілості рослини, а у сфері підприємництва зрілість означає, що стартап переріс у стабільний бізнес. Це така собі метафора, з якою можна провести аналогію по відношенню до стартапу [28].

**Перший етап.** Даний етап можна розділи на такі пункти [29]:

- Першочергово потрібно мати ідею або гіпотезу продукту, знайти прихильників ідеї, а також відпрацювати ідею. Потрібно ділитися своєю ідеєю, шукати людей, яких вона зацікавить;
- Далі потрібно поставити цілі, аналізувати ринок в частині напрямку стартапу, визначити та вивчити потенційних клієнтів а також аргументувати попит на продукт;
- Необхідно починати з чогось базового, тобто інвестувати гроші в щось нехай елементарне, але почати, щоб потім по ходу допрацьовувати концепцію і тд;
- В подальшому потрібно пропрацьовувати маркетингову стратегію, знайти нішу на ринку, сформувати первинну базу клієнтів, працювати над подачею стартапу клієнтів, аби їх було все зрозуміло та аргументовано;
- Також, необхідно накопичувати свої ресурси до повноцінного запуску продукту, підтримувати стартап, отримуючи дохід від додаткових робіт, подаватись на гранти, залучати додаткові кошти і тд.

**Другим етапом** є посилене просування продукту, вирішення юридичних питань (реєстрація і тд), проводити тестування, оптимізувати проєкт та усувати помилки, вдосконалювати продукт, концепцію, шукати інвесторів [30].

**Третій етап** – це найм спеціалісті, постійний пошук нових ніш на ринку, формування корпоративної культури [30].

**На четвертому етапі** відбувається делегування управління, розширення штату, пошук відкриття філіалів за кордоном і тд, і в цілому – постійний пошук шляхів розвитку [30].

#### 4.2 Опис ідеї проєкту та визначення напрямку застосування

Ідея стартап-проєкту полягає у створенні програмного забезпечення на підприємстві, з можливістю застосування декількох відомих методів прогнозування, для прогнозування даних споживання електричної енергії, з метою оцінювання енергорезультативності підприємства, а також планування своєї діяльності. Ідею стартап-проєкту наведено у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Опис ідеї стартап-проєкту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Прогнозування електроспоживання на підприємстві за допомогою методів відомих прогнозування з метою оцінювання енергорезультативності підприємства	Практичний - створення програмного забезпечення для прогнозування споживання електроенергії на підприємстві для подальшого використання цих даних	<ul style="list-style-type: none"> <li>– зручність у використанні;</li> <li>– гнучкість застосунки (оскільки пропонується на вибір декілька методів прогнозування і можна обрати оптимальний для точного прогнозу);</li> <li>– планування діяльності підприємства;</li> <li>– виведення математичної моделі для</li> <li>– оцінювання енергорезультативності підприємства</li> </ul>

Аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї в порівнянні з пропозиціями конкурентів. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 - Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

Техніко-економічні характеристики ідеї	Потенційні товари / концепції конкурентів			Слабка сторона	Нейтральна сторона	Сильна сторона
	Мій проєкт	Конкурент №1	Конкурент №2			
Комплексність	2	2	2	3	2	1
Оперативність	1	3	2	2	3	1
Сучасність	3	3	3	-	2,3	1
Безпека та надійність	1	1	3	-	2,3	
Вартість	1	1	1	-	1,3	2
Оптимізація витрат, знижки	1	2	2	-	1,2,3	

Визначений перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик та властивостей ідеї потенційного товару є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності.

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту представлено в таблиці 4.3.



Таблиця 4.3 - Технологічна здійсненність ідеї проекту

Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Оцінка та аналіз споживання електроенергії	Виконання оцінки чинників, що впливають на споживання електроенергії за методом головних компонент з використанням програмного забезпечення STATISTICA. Аналіз отриманих результатів	наявна	доступна
Прогнозування споживання електроенергії	Розробка моделі та побудова прогнозу з використанням програмного забезпечення STATISTICA та MS Excel	наявна	доступна

Отже, технічна реалізація проекту можлива. Технології є наявними та доступними. Існує необхідність закупівлі ліцензійного програмного забезпечення.

### 4.3 Аналіз ринкових можливостей реалізації стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можливо використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрямки розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів (таблиця 4.4).

Таблиця 4.4 - Попередня характеристика потенційного ринку стартап- проекту

Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
Кількість головних гравців, од	10
Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
Наявність обмежень для входу	Немає
Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	ДСТУ ISO 50001 ДСТУ ISO 50006
Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	23%

Визначення групи потенційних клієнтів, їх характеристики, та орієнтовний перелік вимог до послуги наведено в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 - Характеристика потенційних клієнтів

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до послуги
Оцінювання енергорезультативності підприємства, планування діяльності підприємства, прогнозування споживання для самостійного виходу на ринок електричної енергії (оптовий ринок)	Промислові підприємства	— характер споживання електр-енергії; — кількість споживачів електро-енергії; — визначення суттєвого споживача електроенергії	— точність ре- зультату прогнозування; — оперативність виконання аналізу.

В таблицях 4.6, 4.7 представлено аналіз ринкового середовища.

Таблиця 4.6 - Фактори загроз

Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
недосягнення спрогнозованих результатів	наявність похибки	проведення додаткових розрахунків, розгляд іншого методу
не точність моделювання	наявність помилок	Розгляд іншого методу, пошук та усунення помилок
не достатня забезпеченість	відсутня спроможність підприємства самостійно здійснювати моделювання	найм спеціалістів для моделювання або навчання працівників

Таблиця 4.7 - Фактори можливостей

Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
новизна	застосування нових, більш точних методів оцінки та аналізу споживання електроенергії	витрати на вдосконалення програмного забезпечення
комплексність	комплексний підхід до аналізу споживання електроенергії, визначення суттєвого споживача, побудова базової лінії та прогнозу	вдосконалення складової
вдосконалення моделей	застосування нових методів	підвищення конкурентоспроможності

З урахуванням характеристик ідеї проекту (табл. 4.1), вимог споживачів до товару (табл. 4.5) та факторів маркетингового середовища (табл. 4.6 - 4.7)

визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності (табл. 4.8).

Таблиця 4.8 - Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
Новизна	Комплексний підхід
Якість	Методи, які застосовуються при виконанні аналізу є досить точними, оскільки наявна комплексність
Термін виконання робіт	Досить оперативне виконання аналізу.

За визначеними факторами конкурентоспроможності (табл. 4.8) проведено аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (табл. 4.9).

Таблиця 4.9 - Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін з компанією-конкурентом

Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг послуг у порівнянні з іншою компанією-конкурентом						
		-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
Новизна	7	-	-	-	-	+	-	-
Точність та якість	9	-	-	-	-	-	+	-
Термін виконання робіт	12	-	-	-	-	+	-	-
Ціна	9	-	-	+	-	-	-	-
Інформаційне забезпечення	15	-	-	-	-	-	+	-

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проєкту є складання SWOT-аналізу (табл. 4.10) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін (табл. 4.9).

Таблиця 4.10 - SWOT - аналіз стартап-проекту

Сильні сторони	Слабкі сторони
<ul style="list-style-type: none"> <li>- новизна;</li> <li>- комплексний підхід до вирішення питань</li> <li>- оперативність виконання заявлених робіт;</li> <li>- інформаційне забезпечення.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- складність використання програмного забезпечення;</li> <li>- невелика команда розробників моделей.</li> </ul>
Можливості	Загрози
<ul style="list-style-type: none"> <li>- підвищення точності;</li> <li>- вдосконалення моделей;</li> <li style="padding-left: 20px;">- лояльність цін;</li> <li>- застосування нових методів.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- наявність похибки;</li> <li>- можлива відсутність кваліфікації робітників для створення програмного забезпечення.</li> </ul>

#### 4.4 Розробка стратегії ринкового впровадження проєкту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає ви-значення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (табл. 4.11).

Таблиця 4.11 - Вибір цільових груп потенційних споживачів

Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти послуги	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
Промислові підприємства	Висока	Високий	Висока	Середня
Інші великі підприємства	Висока	Помірний	Помірний	Помірна
Малі підприємства	Низька	Слабкий	Низька	Низька
Обрано: промислові підприємства				

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 4.12).

Таблиця 4.12 - Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики послуги конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
Ні	Так. Застосування методів прогнозування для прогнозування електроспоживання на підприємстві	Якість послуг, комплексний підхід

Також, розроблено стратегію позиціонування (табл. 4.13).

Таблиця 4.13 - Визначення стратегії позиціонування

Вимоги до послуги цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту
Досягнення очікуваного результату	Вдосконалення	Актуальність, комплексність	Інтелектуальний; ефективний, результативний.

### Висновки до 4 розділу

А даному розділі було запропоновано концепцію стартап-проекту, ідея якого полягає у створенні на підприємстві молочної галузі програмного забезпечення з можливістю за допомогою декількох (на вибір) методів прогнозування здійснювати прогнозування електроспоживання для оцінювання енергорезультативності підприємства, а також для планування діяльності підприємства.

Виконано маркетинговий аналіз стартап-проекту. Визначено загальний напрямок використання запропонованої послуги. Виконано аналіз ринкових можливостей щодо реалізації проекту. Розроблено стратегії ринкового впровадження.

## ВИСНОВКИ

1. Кожне підприємство повинно відслідковувати кількість спожитої енергії з метою ефективного керування рівнями досягнутої ефективності своїх об'єктів, систем, а також процесів та обладнання. Організації визначають завдання для рівня досягнутої енергоефективності в рамках процесу енергетичного планування у своїх системах енергетичного менеджменту. Відповідно, організація встановлює ПЕЕ і БРЕ з метою ефективного вимірювання та кількісного оцінювання свого рівня досяжної енергоефективності.

2. Побудовано математичні моделі прогнозування споживання електроенергії на компресорній станції підприємства молочної галузі за допомогою двох методів прогнозування, а саме регресійного аналізу та методу головних компонент. Регресійний аналіз було реалізовано за допомогою програмного забезпечення MS Excel, а метод головних компонент за допомогою програмного забезпечення STATISTICA.

3. На основі отриманих математичних моделей були спрогнозовані значення споживання електроенергії на компресорній станції на січень 2021 року, а також оцінено точність побудованих моделей, шляхом визначення відхилення між фактичними значеннями споживання за січень 2021 року та прогнозними значеннями, виведеними за допомогою методів прогнозування.

4. В результаті досліджень та розрахунків, було виведено, що в даному випадку регресійний аналіз є більш точним при прогнозуванні електроспоживання на компресорній станції підприємства молочної галузі. Але, рекомендується все ж таки для точності прогнозування завжди використовувати декілька методів прогнозування. Можливо, варто знайти більш точний метод, але в даній роботі було проведено дослідження суто двох обраних методів на предмет точності виведеної математичної моделі для подальшого оцінювання енергорезультативності на підприємстві молочної галузі.



5. Проведено оцінювання енергорезультативності підприємства молочної галузі за допомогою побудови графіків кумулятивної суми CUSUM. Відповідно до результатів можна зробити висновок, що значення реальної економії електроенергії на компресорній станції підприємства молочної галузі порівняно з цільовим споживанням електричної енергії є надзвичайно малим.

6. Запропоновано концепцію стартап-проекту, ідея якого полягає у створенні на підприємстві молочної галузі програмного забезпечення з можливістю за допомогою декількох (на вибір) методів прогнозування здійснювати прогнозування електроспоживання для оцінювання енергорезультативності підприємства, а також для планування діяльності підприємства. Виконано маркетинговий аналіз стартап-проекту. Визначено загальний напрямок використання запропонованої послуги. Виконано аналіз ринкових можливостей щодо реалізації проекту. Розроблено стратегії ринкового впровадження.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Україна – кандидат в ЄС [електронний ресурс]: [Веб-сайт]. – Режим доступу: [https://jurliga.ligazakon.net/news/212345\\_ukrana--kandidat-v-s-yak-zakonodavch-zmni-sld-ochkuvati](https://jurliga.ligazakon.net/news/212345_ukrana--kandidat-v-s-yak-zakonodavch-zmni-sld-ochkuvati) (дата звернення 10.12.2022) – Назва з екрана.
2. Директива Європейського Парламенту і Ради 2012/27/ЄС від 25 жовтня 2012 року про енергоефективність, внесення змін до директив 2009/125/ЄС і 2010/30/ЄС та про скасування директив 2004/8/ЄС і 2006/32/ЄС.
3. Закон України «Про енергетичну ефективність» від 21.10.2021 №1818-IX.
4. ДСТУ ISO 50006:2016 Системи енергетичного менеджменту. Вимірювання рівня досягнутої енергоефективності з використанням базових рівнів енергоспоживання та показників енергоефективності. Загальні положення і настанова (ISO 50006:2014, IDT) – [Чинний від 01.09.2016]. – (Державний стандарт України).
5. Чернявський А., Сафьянц А. та ін. Практичний посібник з енергетичного аудиту промислових підприємств: навч. посіб. Київ: 2020.
6. ДСТУ ISO 50001:2020 Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанова щодо використання. (ISO 50001:2018, IDT) – [Чинний від 03.06.2020]. – (Державний стандарт України).
7. Екстраполяція та метод найменших квадратів [електронний ресурс]: [Веб-сайт]. – Режим доступу: <https://tsg3.home.blog/2021/03/19/extrapoliation-ta-metod-naimen-shih-kvadrat-iv/>

(дата звернення 10.12.2022) – Назва з екрана.

8. Андерсон, Т. Статистичний аналіз часових рядів / Т. Андерсон; Перекл. з англ. - М.: Мир, 1976. - 760 с.

9. Методи побудови загальної лінійної моделі [електронний ресурс]: [Веб-сайт]. – Режим доступу: <https://lib.chmnu.edu.ua/pdf/posibnuku/299/5.pdf> (дата звернення 10.12.2022) – Назва з екрана.

10. Льюїс, К.Д. Методи прогнозування економічних показників / К.Д. Льюїс; перекл. з англ.: Е. З. Демиденко. - М.: Фінанси и статистика, 1986.

11. Прогнозування за допомогою кількісних методів [електронний ресурс]: [Веб-сайт]. – Режим доступу: [https://stud.com.ua/18794/ekonomika/prognozuvannya\\_dopomogoyu\\_kilkisnih\\_metodiv](https://stud.com.ua/18794/ekonomika/prognozuvannya_dopomogoyu_kilkisnih_metodiv) (дата звернення 10.12.2022) – Назва з екрана.

12. Регресійний аналіз [електронний ресурс]: [Веб-сайт]. – Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Регресійний\\_аналіз](https://uk.wikipedia.org/wiki/Регресійний_аналіз) (дата звернення 10.12.2022) – Назва з екрана.

13. Кобець С.П., А.О. Лузіна Застосування адаптивних моделей для прогнозування чистого доходу від реалізації продукції – Електронне фахове видання «Ефективна економіка», 2019. – с. 3-4.

14. Прогнозування та аналіз часових рядів [електронний ресурс]: [Веб-сайт]. – Режим доступу: <http://ir.stu.cn.ua/bitstream/handle> (дата звернення 10.12.2022) – Назва з екрана.

15. В.О. Пономаренко. Короткострокове прогнозування та керування електроспоживанням промислового підприємства. - Київ 2018. – 47-54 с.

16. Бокс, Дж. Аналіз часових рядів. Прогноз і управління / Дж. Бокс, Г. Дженкінс. - М.: Мир, 1974. - 520 с.

17. Воронов, І. В. Огляд типів штучних нейронних мереж і методів їх навчання [Текст] / І. В. Воронов, Е. А. Політов, В. М. Єфременко // Вісник КузГТУ. - 2007. - № 3. - С. 38 - 42.

18. Евланов, Л. Г. Экспертные оценки в управлении / Л. Г. Евланов, В. А. Кутузов. - М.: Экономика, 1978. - 134 с.

19. Метод головних компонент [електронний ресурс]: [Веб-сайт]. – Режим доступу: <http://ebooks.git-elt.hneu.edu.ua/babap/8-4-id8-4.html#> (дата звернення 05.12.2022) – Назва з екрана.

20. ПУЕ. Правила улаштування електроустановок: Офіц. Вид. Київ: Міненерговугілля України, 2017. 13 с. (Розділ 1. Загальні правила).

21. Дешко В.І., Шовкалюк М.М. та ін. Практичний посібник з енергозбереження для об'єктів промисловості, будівництва та житлово-комунального господарства України [заг. ред. В.М. Беленький]. Розділ «Опалення, вентиляція, кондиціонування». Луганськ, вид-во "Місячне сяйво", 2009. 680 с.

22. Економіко-математичне моделювання [електронний ресурс]: [Веб-сайт]. – Режим доступу: <https://financial.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2017/09/%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%97-4.pdf> (дата звернення 10.12.2022) – Назва з екрана.

23. Математичне моделювання систем і процесів [електронний ресурс]: [Веб-сайт]. – Режим доступу: [https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/48765/1/MMSP\\_konspekt](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/48765/1/MMSP_konspekt) (дата звернення 10.12.2022) – Назва з екрана.

24. Поняття моделі. Моделювання. Побудова моделей [електронний ресурс]: [Веб-сайт]. – Режим доступу: [https://klasnaocinka.com.ua/ru/dl/lection/view/id/1/course\\_id/8381](https://klasnaocinka.com.ua/ru/dl/lection/view/id/1/course_id/8381) (дата звернення 10.12.2022) – Назва з екрана.

25. Чисельні методи [електронний ресурс]: [Веб-сайт]. – Режим доступу: <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/bitstream/lib/16377/1/%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D1%87%D0%BA%D0%B0%20%D1%87%D0%B8%D1%81%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%96%20%D0%BC%D0%B5%D1%82.pdf> (дата звернення 10.12.2022) – Назва з екрана.

26. Математичне моделювання [електронний ресурс]: [Веб-сайт]. – Режим доступу: <https://naurok.com.ua/urok-matematichne-modelyuvannya-43697.html> (дата звернення 10.12.2022) – Назва з екрана.

27. Д'яконов В. П. Нові інформаційні технології: навчальний посібник / В. П. Дияконів [та ін]; за ред. В. П. Дияконова. 2005. - 640 с.

28. Statistica [електронний ресурс]: [Веб-сайт]. – Режим доступу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Statistica> (дата звернення 05.12.2022) – Назва з екрана.

## ДОДАТОК А



Рисунок А.1 - Твердопаливний котел ДЕ-6,5-14



Рисунок А.2 - Котел КСВ-1 водогрійний газовий 1 МВт



Рисунок А.3 - Котел ДЕ 4-14 паровий газовий, діючий, в наявності 2 шт