

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

Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту
(повна назва інституту)

Кафедра електропостачання
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри

_____ Денис ДЕРЕВ'ЯНКО

«___» _____ 2022 р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

за освітньо-професійною програмою «Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології»

на тему: «Моніторинг енергетичної результативності заходів з енергоефективності підприємства молочної галузі»

Виконала: студентка 2-го року навчання, групи ОН-311мп

Чеховська Анна Сергіївна

Науковий керівник:

к.т.н., доц. Бориченко О.В.

Консультант з нормоконтролю:

ас. Прокопенко І.Д.

Рецензент:

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»**

Інститут/факультет Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту

Кафедра електропостачання

(повна назва)

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'янку

« ____ » _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Чеховській Анні Сергіївні

1. Тема дисертації «Моніторинг енергетичної результативності заходів з енергоефективності підприємства молочної галузі»,
науковий керівник дисертації к.т.н., доц. Бориченко О.В.,
затверджені наказом по університету від «09» листопада 2022 р. № 4128-с
2. Термін подання студентом дисертації “15” грудня 2022 р.
3. Об'єкт дослідження підприємство молочної галузі.
4. Предмет дослідження методи та інструменти моніторингу енергетичної результативності заходів з енергоефективності.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити 1) аналіз енергорезультативності підприємства молочної галузі та проведення його енергетичного обстеження; 2) аналіз методів моніторингу результатів впровадження

заходів з енергоефективності для підприємства молочної галузі; 3) створення системи моніторингу результатів впровадження заходів з енергоефективності для підприємства молочної галузі.

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: презентація- наочні матеріали за результатами дослідження (алгоритми розрахунків та діаграми).

7. Орієнтовний перелік публікацій доповіді, що опубліковані в збірнику науково-технічної конференції «ЕНЕРГЕТИКА. ЕКОЛОГІЯ. ЛЮДИНА» 2022 р. та у збірнику V Науково-технічної конференції магістрантів НН ІЕЕ (за результатами дисертаційних досліджень магістрантів).

8. Консультанти розділів дисертації

Нормоконтроль

ас. Прокопенко І.Д.

9. Дата видачі завдання «30» травня 2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів МД	Примітка
1.	Отримання завдання	01.09.2022	
2.	Аналіз літературних джерел	05.09.22- 09.06.22	
3.	Складання плану роботи	12.09.22- 13.09.22	
4.	Робота над першим та другим розділом	14.09.22-10.10.22	
5.	Робота над третім розділом	11.10.22-18.10.22	
6.	Розробка стартап проекту	19.10.22- 30.10.22	
7.	Оформлення дисертації		
8.	Оформлення ПЗ та презентації, перевірка на плагіат та нормоконтроль	03.11.22-05.11.22	
9.	Передзахист магістерської дисертації	12.11.22-15.11.22	
10.	Захист магістерської дисертації	19.11.22-22.11.22	

Студент

А.С.Чеховська

Науковий керівник дисертації

О.В. Бориченко

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація на тему: «Моніторинг енергетичної результативності заходів з енергоефективності підприємства молочної галузі» містить 94 сторінок основного тексту, 33 рисунків, 28 таблиць та 34 бібліографічні найменування за переліком посилань.

Актуальність теми дослідження. Українська промисловість є надзвичайно енерговитратною, споживання паливно-енергетичних ресурсів промисловістю України складає понад 30% у загальному паливно-енергетичному балансі нашої країни та водночас саме промисловий сектор має найбільший потенціал енергоефективності. Однією з ознак які характеризують здатність виробничої системи ефективно функціонувати в наявних умовах є її енергетична ефективність. Систематичний контроль та моніторинг енергетичної результативності є однією з головних умов досягнення високого рівня енергоефективності на підприємстві.

Метою магістерської дисертації є створення системи моніторингу енергетичної результативності заходів з енергоефективності на підприємстві молочної галузі.

Для досягнення зазначеної мети дослідження були вирішені наступні завдання:

- проведення аналізу існуючих методів моніторингу результатів впровадження заходів з енергоефективності на промисловому підприємстві;
- проведення енергетичного обстеження підприємства молочної галузі;
- встановлення базового рівня енергоспоживання в цеху по переробці молока;
- створення системи моніторингу енергетично результативності впровадження заходів з енергоефективності в цеху по переробці молока.
- розроблення стартап-проєкту за результатами дослідження.

Об'єктом дослідження є процес енергетичного моніторингу та аналізу впроваджених заходів з енергоефективності на підприємстві молочної галузі.

Предметом дослідження є методи та способи моніторингу енергетичної результативності впровадження заходів з енергоефективності.

Методи дослідження. У дослідженні використано теоретичні методи та дослідження, для створення енергетичного моніторингу впроваджених заходів з енергоефективності. В дисертації використані таке програмне забезпечення: MS Word, MS Excel (внутрішні програмні функції, пакет «аналіз даних»).

Наукова новизна одержаних результатів. Удосконалено процедуру моніторингу енергетичної результативності впровадження заходів з енергоефективності, яка ґрунтується на використанні метода послідовного аналізу Вальда та побудови контрольних графіків CUSUM, що дає можливість оперативно визначати моменти зниження або підвищення енергоефективності.

Практичне значення роботи. Отримані в дисертації результати можна використовувати для оперативного і об'єктивного здійснення моніторингу енергетичної результативності впроваджених заходів з енергоефективності та оцінювання ефективності їх впровадження на промислових підприємствах України.

Апробація результатів роботи. Відбулася на VIII Міжнародній конференції «Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку - REMS`22 та на V Науково-технічній конференції магістрантів НН ІЕЕ (за результатами дисертаційних досліджень магістрантів).

Публікації: тези доповіді, що опублікован в збірнику VIII Міжнародній конференції «Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку - REMS`22 та у збірнику V Науково-технічної конференції магістрантів НН ІЕЕ (за результатами дисертаційних досліджень магістрантів).

Ключові слова: ЕНЕРГЕТИЧНА РЕЗУЛЬТАТИВНІСТЬ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МОНІТОРИНГ, ЗАХОДИ З ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ, ПІДПРИЄМСТВО МОЛОЧНОЇ ГАЛУЗІ.

ABSTRACT

The master's thesis on the topic: "Monitoring of the energy performance of energy efficiency measures of a dairy enterprise" contains 94 pages of the main text, 33 figures, 28 tables and 34 bibliographic names according to the list of references.

Relevance of the research topic. Ukrainian industry is extremely energy-intensive, the consumption of fuel and energy resources by Ukrainian industry makes up more than 30% of the total fuel and energy balance of our country, and at the same time, it is the industrial sector that has the greatest potential for energy efficiency. One of the signs that characterize the ability of the production system to function effectively in the existing conditions is its energy efficiency. Systematic control and monitoring of energy performance is one of the main conditions for achieving a high level of energy efficiency at the enterprise.

The goal of the master's thesis is to create a system for monitoring the energy performance of energy efficiency measures at a dairy enterprise.

In order to achieve the specified goal of the study, the following tasks were solved:

- conducting an analysis of the existing methods of monitoring the results of the implementation of energy efficiency measures at the industrial enterprise;
- conducting an energy audit of a dairy enterprise;
- establishment of the basic level of energy consumption in the milk processing shop;
- creation of a system for monitoring the energy efficiency of the implementation of energy efficiency measures in the milk processing plant.
- development of a startup project based on research results.

The object of the study is the process of energy monitoring and analysis of implemented energy efficiency measures at a dairy enterprise.

The subject of the study is the methods and ways of monitoring the energy efficiency of the implementation of energy efficiency measures.

Research methods. Theoretical methods and research were used in the study to create energy monitoring of implemented energy efficiency measures. The dissertation uses the following software: MS Word, MS Excel (internal software functions, data analysis package).

Scientific novelty of the obtained results. The procedure for monitoring the energy effectiveness of the implementation of energy efficiency measures has been improved, which is based on the use of the Wald sequential analysis method and the construction of CUSUM control charts, which makes it possible to quickly determine the moments of energy efficiency reduction or improvement.

Practical meaning of work. The results obtained in the dissertation can be used for prompt and objective monitoring of the energy performance of implemented energy efficiency measures and evaluation of the effectiveness of their implementation at industrial enterprises of Ukraine.

Approbation of work results. Held of the VIII International Conference "Energy Management: State and Prospects of Development -PEMS'22 and of the V Scientific and Technical Conference of Master's Students of NN IEE (based on the results of master's thesis research).

Publications: abstracts of the report published in the collection of the VIII International Conference "Energy Management: Status and Development Prospects -PEMS'22 and in the collection of the V Scientific and Technical Conference of NN IEE Master's Students (based on the results of master's thesis research).

Key words: ENERGY EFFICIENCY, ENERGY EFFICIENCY, ENERGY SAVING, ENERGY MONITORING, ENERGY EFFICIENCY MEASURES, DAIRY ENTERPRISE.

ЗМІСТ

ВСТУП	11
1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ МОНІТОРИНГУ РЕЗУЛЬТАТІВ ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАХОДІВ З ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ.....	14
1.1 Загальна характеристика проблем енергоефективності та тенденцій щодо їх забезпечення.....	14
1.2 Роль моніторингу енергетичної результативності в створенні системи енергетичного менеджменту.....	18
1.3 Необхідність моніторингу енергоефективності на промислових підприємствах в Україні.....	21
1.4 Методи моніторингу та аналізу енергоефективності впроваджених заходів з енергоефективності.....	26
2 ЕНЕРГЕТИЧНЕ ОБСТЕЖЕННЯ ПІДПРИЄМСТВА МОЛОЧНОЇ ГАЛУЗІ	34
2.1 Загальні відомості про підприємство молочної галузі.....	34
2.2 Аналіз динаміки виробничої діяльності на підприємстві.....	35
2.3 Аналіз динаміки споживання ПЕР	39
2.4 Коротка характеристика споживачів електричної енергії цеху	44
2.5 Розрахунок основних складових для складання балансу споживання електричної енергії цеху у аналітичній формі	45
2.6 Обстеження огорожуючих конструкцій та розрахунок коефіцієнта теплопередачі	47
2.7 Розрахунок максимальних теплових витрат	53
2.8 Перелік впроваджених заходів з енергоефективності	55
2.9 Оцінка відповідності стану існуючої на об'єкті системи енергетичного менеджменту вимогам ДСТУ ISO 50001:2020	56
2.10 Представлення «Енергетичної політики» підприємства	57
3 МОНІТОРИНГ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТІ ЗАХОДІВ З ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА МОЛОЧНОЇ ГАЛУЗІ.....	59
3.1 Побудова базових рівнів енергетичного споживання за допомогою лінійної регресії.....	59
3.2 Побудова базового рівня споживання електричної енергії за допомогою методу найменших квадратів.....	63

3.3 Моніторинг енергетичної результативності за допомогою метода Вальда	64
3.4 Моніторинг енергетичної результативності за допомогою графіка CUSUM.....	70
4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ	75
4.1 Опис ідеї проекту	75
4.2 Технологічний аудит стартап-проекту	76
4.3 Аналіз ринкових можливостей реалізації стартап-проекту	77
4.4 Розробка ринкової стратегії стартап-проекту	81
4.5 Побудова маркетингової програми стартап-проекту	82
ВИСНОВКИ.....	85
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	87
ДОДАТКИ.....	92

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

ПЕЕ – показники енергоефективності;
ПЕР – паливно-енергетичні ресурси;
МЕА – Міжнародне енергетичне агентство;
СЕНМ – система енергетичного менеджменту;
БРЕ – базовий рівень енергоспоживання;
ПЕБ – паливно-енергетичний баланс;
ККШ – контрольна карта Шухарта;
CUSUM – графік кумулятивних сум;
кВт·год – кіловат-година;
ПЗ– програмне забезпечення.

ВСТУП

У нас час енергозбереження та енергоефективність в Україні є досить актуальною та важливою темою для обговорення серед суспільства. Кожен українець повинен розуміти, що дуже важливо раціонально та економічно використовувати енергетичні ресурси, як і в приватному будинку, так і на будь-якому підприємстві.

Проблеми в даній сфері досить тісно пов'язані з проблемами енергетики, економіки та екології. На відмінну від розвинутих країн, де енергозбереження є елементом економічної та екологічної доцільності, для України – це питання виживання в ринкових умовах та входження в європейські ринки.

Актуальність теми дослідження. Українська промисловість є надзвичайно енерговитратною, споживання паливно-енергетичних ресурсів промисловістю України складає понад 30% у загальному паливно-енергетичному балансі нашої країни та водночас саме промисловий сектор має найбільший потенціал енергоефективності. Однією з ознак які характеризують здатність виробничої системи ефективно функціонувати в наявних умовах є її енергетична ефективність. Систематичний контроль та моніторинг енергетичної результативності є однією з головних умов досягнення високого рівня енергоефективності на підприємстві.

Метою магістерської дисертації є створення системи моніторингу енергетичної результативності заходів з енергоефективності на підприємстві молочної галузі.

Для досягнення зазначеної мети дослідження були вирішені наступні завдання:

- проведення аналізу існуючих методів моніторингу результатів впровадження заходів з енергоефективності на промисловому підприємстві;
- проведення енергетичного обстеження підприємства молочної галузі;

- встановлення базового рівня енергоспоживання в цеху по переробці молока;
- створення системи моніторингу енергетично результативності впровадження заходів з енергоефективності в цеху по переробці молока.
- розроблення стартап-проєкту за результатами дослідження.

Об'єктом дослідження є процес енергетичного моніторингу та аналізу впроваджених заходів з енергоефективності на підприємстві молочної галузі.

Предметом дослідження є методи та способи моніторингу енергетичної результативності впровадження заходів з енергоефективності.

Методи дослідження. У дослідженні використано теоретичні методи та дослідження, для створення енергетичного моніторингу впроваджених заходів з енергоефективності. В дисертації використані таке програмне забезпечення: MS Word, MS Excel (внутрішні програмні функції , пакет «аналіз даних»).

Наукова новизна одержаних результатів. Удосконалено процедуру моніторингу енергетичної результативності впровадження заходів з енергоефективності, яка ґрунтується на використанні метода послідовного аналізу Вальда та побудови контрольних графіків CUSUM, що дає можливість оперативно визначати моменти зниження або підвищення енергоефективності.

Практичне значення роботи. Отримані в дисертації результати можна використовувати для оперативного і об'єктивного здійснення моніторингу енергетичної результативності впроваджених заходів з енергоефективності та оцінювання ефективності їх впровадження на промислових підприємствах України.

Апробація результатів роботи. Відбулася на VIII Міжнародній конференції «Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку - REMS`22 та на V Науково-технічній конференції магістрантів НН ІЕЕ (за результатами дисертаційних досліджень магістрантів).

Публікації: тези доповіді, що опублікован в збірнику VIII Міжнародній конференції «Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку - REMS`22 та у збірнику V Науково-технічної конференції магістрантів НН ІЕЕ (за результатами дисертаційних досліджень магістрантів).

Ключові слова: ЕНЕРГЕТИЧНА РЕЗУЛЬТАТИВНІСТЬ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МОНІТОРИНГ, ЗАХОДИ З ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ, ПІДПРИЄМСТВО МОЛОЧНОЇ ГАЛУЗІ.

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ МОНІТОРИНГУ РЕЗУЛЬТАТІВ ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАХОДІВ З ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

1.1 Загальна характеристика проблем енергоефективності та тенденцій щодо їх забезпечення

Відповідно до позиції експертів Міністерства енергетики США енергоефективність неможливо виразити єдиним показником, тому існують різні способи до її визначення:

- енергоефективність – необхідний рівень витрат енергетичних ресурсів для досягнення певного рівня благополуччя (наприклад, економічного, соціального, стану навколишнього природного середовища);
- енергоефективність – показник, зворотній енергоємності;
- енергоефективність – комплексний набір показників, визначення яких залежить від системи, для якої він визначається, а найголовнішим при цьому є спостереження за динамікою цих показників і забезпечення їх постійного покращення за рахунок усіх економічно обґрунтованих доступних заходів (вдосконалення сучасних технологій, а також, що дуже важливо, заміни існуючих технологій використання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) на принципово нові) [1].

Директива ЄС стверджує, що на рівні країн-членів енергоефективність може бути виражена через первинне, або кінцеве споживання енергії; первинне, або кінцеве енергозбереження, або ж енергоємності продукції [2]. Систематизацією різних підходів до поняття енергоефективності слід вважати її визначення, наведене у міжнародному стандарті ISO 50001:2018, згідно якого термін енергетична ефективність означає співвідношення (коефіцієнт) або інший кількісний взаємозв'язок між отриманим показником діяльності (вихідним показником), тобто між виконаною роботою, послугами, товарами чи енергією і вхідним показником, тобто вхідним рівнем енерговитрат [3]. Отже, енергоефективність трактується як

характеристика якості будь-якого технологічного процесу з позицій використання енергоресурсів.

Найбільшою організацією, яка впливає на світову політику у сфері енергоефективності є Міжнародне енергетичне агентство (МЕА). Згідно думок експертів МЕА оцінка енергоефективності має різні форми, різні цілі та сфери застосування [4]. Враховуючи складність поняття енергоефективності, методи та способи визначення системи показників енергоефективності та оцінювання рівня ефективності енергоспоживання є також різноманітними.

Фізичні методи базуються на даних енергоспоживання підприємства, включаючи загальне споживання енергії та його розподіл по окремих об'єктах. Порівнюючі фактичні значення енергоспоживання з базовими (нормативними) значеннями, можна визначити основні відхилення та виконати первинну оцінку енергоефективності. При цьому слід визначити фактори, що впливають на енергоспоживання, а також визначити найменш енергоефективні об'єкти і системи з точки зору енергоспоживання. Методи економічного аналізу дозволяють розрахувати втрати від нераціонального використання ПЕР та розробити конкретні рекомендації щодо підвищення рівня енергоефективності.

Класичний метод оцінювання енергоефективності передбачає використання критеріїв ефективності енергоспоживання, отриманих на основі показників енергоефективності (ПЕЕ) , за допомогою яких можна порівняти рівень ефективності споживання енергоресурсів в агрегатах, технологічних процесах, підприємствах, в галузях промисловості та регіонах [5]. Організації використовують ПЕЕ як міру їх рівня досягнутої енергоефективності [6]. Основним призначенням більшості показників є оцінка енергоефективності виробництва товарів і послуг у загальному розумінні цих понять. Більшість показників належить до системи нормування паливно-енергетичних ресурсів. В Україні найчастіше як ПЕЕ використовується співвідношення виміряних значень, а саме питома

споживання на одиницю продукції [7]. Традиційний метод оцінки енергетичної ефективності полягає в аналізуванні питомих витрат енергоресурсів на підприємствах або цехах; енергоємності та ККД різних машин, установок та технологічних процесів. Проте єдиної теоретичної та методологічної бази визначення та аналізу ПЕЕ на різних ієрархічних рівнях не існує, а наявні напрацювання охоплюють лише окремі аспекти цієї проблематики. Також є проблема з відсутністю або не в повній мірі узгодженості інформації в статистичних даних з підходами, що використовуються світовими організаціями, необхідної для розрахунків показників енергетичної ефективності.

Одним з базових та найпопулярніших методів аналізу енергетичної ефективності є побудова паливно-енергетичних балансів (ПЕБ) використання ПЕР. Під паливно-енергетичним балансом розуміють систему взаємозв'язаних показників, які відображають кількісну відповідність між надходженням і використанням ПЕР на тому чи іншому виробничому об'єкті. Такими об'єктами, є окремі установки, технологічні процеси, виробничі підрозділи та підприємства в цілому [8]. Складання і аналіз ПЕБ дозволяє: виявляти нераціональні витрати та втрати ПЕР та спланувати заходи щодо їх усунення, визначати напрямки модернізації застарілого обладнання, обґрунтувати величину і режими енергоспоживання, виявити об'єкти з найбільшим потенціалом економії ПЕР, вибирати раціональні схеми енергопостачання, встановлювати технічно обґрунтовані показники ефективності енерговикористання, зокрема, норми питомої витрати електроенергії тощо [9]. На жаль, єдиної методики побудови та аналізу ПЕБ не існує, тому на практиці такі баланси будують найбільш доступними і простими методами. Крім того, є ще ряд недоліків самого ПЕБ : даний баланс фіксує сформовані на момент складання підсумків діяльності і є застарілим для наступного моменту; ПЕБ характеризує стан об'єкту в певний період часу, але не пояснює причин такого стану; дані статистичної звітності

дають змогу розрахувати низку аналітичних показників, однак це не забезпечує їх просторової та часової порівнянності [10].

Важливим напрямком в аналізі енергоефективності є створення системи оперативного управління ефективністю використання ПЕР, а саме система контролю і планування енергоспоживанням (Monitoring and Targeting Systems або система КіП) [11]. Метою створення і функціонування даної системи, крім оперативного управління ефективністю використання ПЕР, є також моніторинг досягнутих результатів впровадження заходів з енергоефективності на об'єкті дослідження. Системи КіП будують виключно для локальних технологічних об'єктів: для окремих агрегатів, машин, технологічних ліній або процесів тощо. Важливо зауважити, що моніторинг ефективності використання ПЕР в системах КіП на відміну, від системи нормування їх питомих витрат, повинен проводитись на підставі фактичних обсягів споживання паливно енергетичних ресурсів, отриманих за допомогою приладів обліку [12].

Необхідно зазначити, що не існує ідеального методу, який можливо застосовувати до будь-якого випадку, не існує комплексних показників енергоефективності, які б відрізняли одне підприємство від іншого як за зовнішніми, так і за внутрішніми параметрами. Оскільки, зі сторони енергетичної ефективності кожне підприємство має свої специфічні особливості. Оцінювання рівня енергетичної ефективності будь-якого підприємства, чи галузі потребує індивідуальної методики аналізу і залежить, в першу чергу, від особливостей технологічних процесів. Для різних сфер застосування можливо використовувати різні показники енергоефективності, і комбінація цих показників може дати правильне уявлення про стан енергоефективності на досліджуваній об'єкті. Розробляти та впроваджувати показники енергетичної ефективності потрібно на кожному рівні підприємства.

Підвищення енергоефективності можливо досягти не тільки за рахунок впровадження енергозберігаючих технологій, а й за рахунок внесення змін в

управління режимом роботи досліджувального об'єкту. Досвід країн ЄС свідчить, що впровадження політики енергоефективності вимагає змін на рівні управлінських рішень шляхом впровадження системи енергетичного менеджменту (СЕНМ). В документі [13], який окреслює стратегічні орієнтири розвитку паливно-енергетичного комплексу України на період до 2035 року, серед пріоритетів зазначено необхідність формування свідомого та енергоефективного суспільства, в тому числі, шляхом: впровадження на державному і муніципальному рівнях, а також на підприємствах, та постійне вдосконалення СЕНМ відповідно до вимог стандартів та міжнародних угод; забезпечення повноти та прозорості обліку та контролю споживання всіх форм енергії та ПЕР.

Згідно [14] серед основних принципів забезпечення енергетичної ефективності відзначено наступне:

- розроблення та впровадження системи енергетичного менеджменту;
- системний підхід до забезпечення енергоефективності (тобто проведення обліку всіх важливих аспектів і взаємозв'язків між процесами і установками, що функціонують на підприємстві);
- визначення можливих зниження енергоспоживання та основні аспекти забезпечення енергоефективності;
- визначення, оцінка, перегляд та покращення показників енергоефективності;
- порівняльний аналіз або бенчмаркінг (порівняння з найкращими досягнутими результатами);
- розробка та впровадження методів постійного вдосконалення енергоефективності, включаючи моніторинг та планування.

1.2 Роль моніторингу енергетичної результативності в створенні системи енергетичного менеджменту

Система енергетичного менеджменту є частиною загальної системи управління підприємством, основним завданням якої є управління

ефективністю споживання паливно-енергетичних ресурсів. Система енергоменеджменту – сукупність взаємопов’язаних або взаємодіючих елементів для створення енергетичної політики та енергетичних цілей, а також процесів і процедур для досягнення цих цілей [15]. СЕНМ базується на вимогах національного стандарту ISO 50001 [3]. Даний стандарт допомагає організаціям у всіх галузях ефективніше використовувати енергію через розроблення системи енергетичного менеджменту. Отже, метою ISO 50001 є дати можливість організаціям налагодити системи і процеси для постійного підвищення енергетичної результативності, що включає енергоефективність, енерговикористання та енергоспоживання.

Функціонування СЕНМ у даному стандарті відбувається відповідно до циклу постійного поліпшення PDCA («Плануй - Виконуй - Перевіряй - Дій») [16], яка приєднує енергетичний менеджмент до існуючої практики діяльності організацій. Цикл PDCA продемонстровано на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 - Цикл «Плануй-Виконуй-Перевіряй-Дій»

Процес впровадження СЕНМ відповідно стандарту можна умовно поділити на три етапи:

1) Етап розроблення. До якого входить: отримання залучення підтримки найвищого керівництва; призначення енергетичного менеджера; визначення та формулювання енергетичної політики організації та планування СЕНМ. Планування складається з таких етапів: розгляд

зовнішніх та внутрішніх чинників, проведення аналізу діяльності організації і процесів, які можуть впливати на енергетичну результативність; енергетичний аналіз; оцінка та встановлення існуючого рівня енергоефективності; складання плану збору енергетичних даних та складання енергетичного плану.

2) Етап впровадження та функціонування. До якого входить: забезпечення компетентності, підготовки та обізнаності персоналу організації; організація комунікації на підприємстві; створення документації; оперативне управління та контроль за технічним обслуговуванням; проектування та закупівлі.

3) Етап перевірки функціонування СЕнМ. До якого входить: моніторинг, вимірювання, аналіз та оцінка енергетичної результативності та СЕнМ; внутрішній аудит; аналіз з боку найвищого керівництва та постійне поліпшення СЕнМ.

Згідно ISO 50001 [3] енергетична результативність – вимірні результати, пов'язані з енергетичною ефективністю, використанням енергії та споживанням енергії. Система енергетичного менеджменту застосовується до всіх аспектів, що впливають на рівень енергетичної результативності, які організація може відстежувати завдяки енергетичному моніторингу та на які воно спроможне впливати. Енергетичний моніторинг та систематичний контроль є дуже важливим елементом кожної ефективної системи енергоменеджменту.

В основі стандартів ISO покладено процесний підхід. Тому енергомоніторинг потрібно розглядати як постійне спостереження за вхідними, чи вихідними показниками процесу, тобто в нашому випадку за показниками енергоефективності. При цьому ці показники повинні бути конкретними, зрозумілими, доступними, вимірними, здатні точно відображати процес або мету та прив'язаними до певного періоду часу. Отже, обов'язково потрібно зауважити, що моніторинг є інструментом, який

використовується в циклі постійного вдосконалення, як показано на рисунку 1.2.

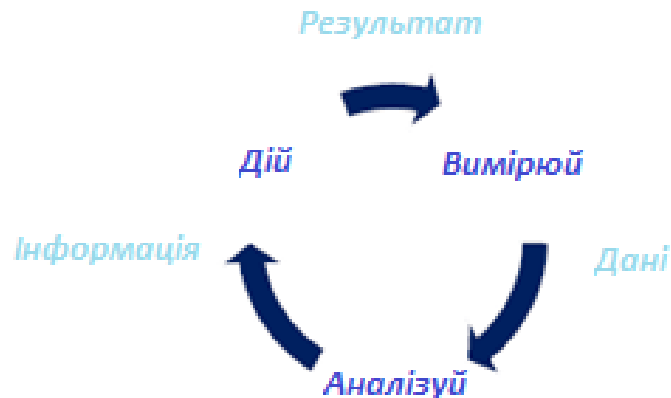


Рисунок 1.2 - Цикл безперервного вдосконалення

У загальному випадку енергетичний моніторинг в рамках СЕнМ може мати на меті вирішення різних поставлених задач, які в значній мірі будуть залежати від об'єкта моніторингу. До таких задач можна віднести [17]:

- моніторинг своєчасності та якості виконання плану реалізації заходів з енергозбереження та програми енергозбереження;
- моніторинг досягнення цільових показників енергоефективності та результативності СЕнМ;
- моніторинг рівня енергетичної результативності організації або її окремих структурних підрозділів;
- моніторинг змінних, які впливають на енергоспоживання;
- моніторинг розробки та / або виконання коригувальних і попереджувальних дій тощо.

1.3 Необхідність моніторингу енергоефективності на промислових підприємствах в Україні

Українська промисловість є надзвичайно енерговитратною, споживання паливно-енергетичних ресурсів промисловістю України складає понад 30% у загальному паливно-енергетичному балансі нашої країни та водночас саме промисловий сектор має найбільший потенціал енергоефективності. Виснаження викопних джерел енергії, зростання цін на

енергоносії та обмеження державного регулювання мотивують більшість галузей промисловості шукати способи скорочення своїх виробничих витрат та підвищення енергоефективності у виробничих системах.

Будь-яке промислове підприємство являє собою складний механізм, що складається з множини взаємопов'язаних елементів, які використовують різні види енергії для реалізації виробничих процесів. Необхідно відмітити, що однією з ознак які характеризують здатність виробничої системи ефективно функціонувати в наявних умовах є її енергоефективність. Однією з головних умов досягнення високого рівня енергоефективності на підприємстві є систематичний контроль та моніторинг споживання енергетичних ресурсів.

Енергетичний моніторинг та встановлення цілей - це техніка управління енергією, яка використовує дані про енергоспоживання та інші дані як основу для усунення відходів, зменшення та контролю споживання енергії [18]. Моніторинг дає можливість відслідкувати рівень енергоспоживання, отриману економію або перевитрату енергії.

Система енергетичного моніторингу на промисловому підприємстві має безліч переваг, таких як:

- економія витрат на енергію, яка приблизно буде становити 5–15%, завдяки здатності визначення та усунення надмірного споживання, щойно воно виникає;
- покращення даних для обґрунтування капіталовкладень;
- покращена калькуляція продукції;
- уникнення відходів – не лише енергії, а й води та матеріалів;
- краща продуктивність, якість, технічне обслуговування та термін служби обладнання завдяки здатності виявляти порушення – ефективний моніторинг діє як система раннього попередження, яка може висвітлювати проблеми до того, як вони матимуть значний вплив [18].

При проведенні моніторингу енергоефективності повинен здійснюватись всебічний системний аналіз ефективності та оцінка стану використання енергоносіїв. Забезпечуватись регулярний аналіз інформації

стосовно обсягів, структури енергоспоживання та динаміки системи показників енергоефективності.

Проведення моніторингу потрібно починати зі збору даних про споживання основних енергетичних ресурсів, таких як: електрична енергія, вугілля, газ та ін. Також потрібно зібрати дані про використання енергетичних ресурсів суттєвими споживачами енергії, наприклад насосами, печами, котлами, печами, сушарками, парогенераторами, тощо. Дані повинні включати не тільки споживання енергії, але й відповідні змінні, які можуть збільшувати або зменшувати споживання енергії – продуктивність виробництва, кількість робочих годин, асортимент продукції, погодні умови тощо. Потрібно зауважити, що частота збору даних має бути однаковою як для споживання, так і для відповідних змінних даних [19].

Після збору даних потрібно обов'язково їх проаналізувати. Існує кілька методів аналізу даних про енергоспоживання, опишемо деякі з них.

Найпростіший спосіб є моніторинг термодинамічної ефективності установки. Даний спосіб є ефективним для моніторингу (аналізу) споживання енергії певного обладнання – котлів, насосів, холодильного обладнання, когенераційних установок тощо. Кількість виробленої енергії порівнюється з кількістю вхідної енергії, щоб визначити коефіцієнт перетворення, який потім порівнюється з попередніми показниками. Наприклад, якщо ККД котла або коефіцієнт продуктивності охолоджувача змінюється, то це необхідно дослідити, щоб визначити, чи це пов'язано з проблемою в системі чи процесі, чи це пов'язано зі зміною навантаження на систему. Тоді відповідно потрібно вжити необхідні заходи [11].

Порівняння поточного споживання енергії з попереднім [20]. Даний метод показує кількісні зміни використання енергетичного ресурсу, але не несе інформацію про причини цих змін. Такий аналіз можна представити в графічному вигляді, де продемонстровано щомісячне споживання енергетичного ресурсу (рис.1.3).

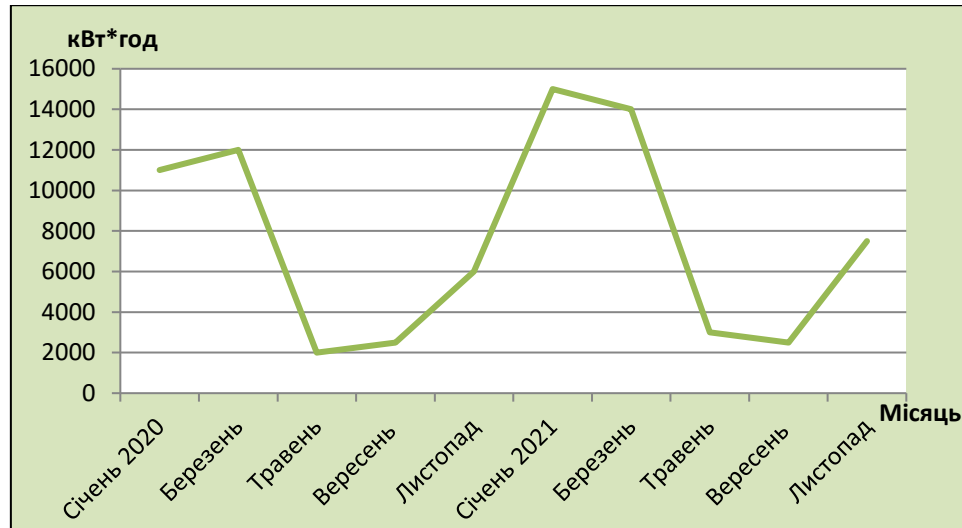


Рисунок 1.3 – Щомісячне споживання електроенергії у 2020 та 2021 році

Для подальшого аналізу застосовується моніторинг питомого споживання енергії, яке визначається як відношення кількості спожитої енергії на одиницю виробленої продукції [11]. Даний метод може бути корисним для порівняння з іншими компаніями, що виробляють продукцію у подібному середовищі, а також для визначення тенденцій на глобальному рівні, на рівні країни чи галузі. Отже, зі збільшенням питомого енергоспоживання зростає енергія, споживана на одиницю продукції, і навпаки, але для моніторингу енергоефективності цей метод потрібно використовувати обережно. Це пояснюється тим, що показник питомого споживання енергії може покращитися виключно завдяки підвищенню попиту з боку ринку, а не завдяки ініціативам з енергозбереження.

Для більшості процесів споживана енергія складається з фіксованої кількості (також називається «базовим навантаженням»), яка споживається незалежно від обсягу виробництва та змінної кількості, яка збільшується зі збільшенням обсягу виробництва, зобразимо це у формульному вигляді:

$$\begin{aligned}
 \text{Питома витрата енергії} &= \frac{\text{Споживання енергії}}{\text{Обсяг виробництва}} = \\
 &= \frac{\text{Фіксоване споживання}}{\text{Обсяг виробництва}} + \frac{\text{Змінне споживання}}{\text{Обсяг виробництва}}.
 \end{aligned}
 \tag{1.1}$$

Як бачимо, питоме споживання енергії зазвичай падає у міру збільшення обсягу виробництва. Продемонструємо це на рисунку 1.4, де чітко видно тенденцію до зниження зі збільшенням виробництва.

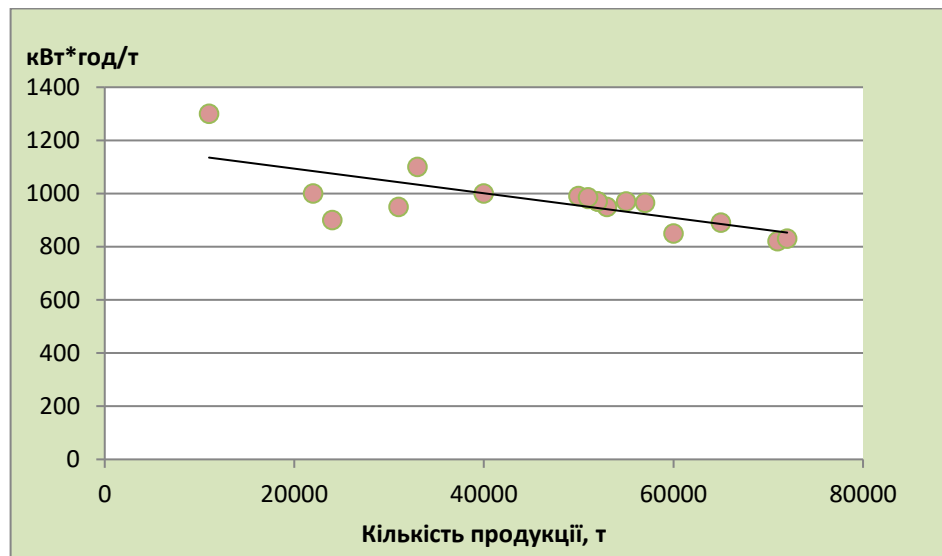


Рисунок 1.4 - Графік залежності питомого споживання від кількості випущеної продукції

Отже, питома енерговитрата є недосконалим показником енергетичної ефективності. Щоб перевірити, чи діяльність з енергоменеджменту, яка впроваджується в організації, сприяє покращенню енергетичної ефективності, необхідні інші показники.

Моніторинг споживання енергії можливо проводити за допомогою встановлення базового рівня енергетичної ефективності використовуючи регресійний аналіз [20]. БРЕ являє собою математичну модель, що базується на чинниках, які впливають на енергоспоживання. В якості таких чинників можуть бути [21]:

- вихідні параметри і характеристики продукції на вході в систему: вологість, інші якісні показники;
- опис роботи системи, технологічної лінії (вид енергоносіїв, номінальні параметри споживаних енергоресурсів): температура і тиск пари, показники якості підготовки води, і т.д.;
- характеристики споживача енергії, технологічного обладнання: обсяг продукції, що випускається, режим роботи тощо.

Щоб подолати проблему з питомим споживанням енергії для процесів, які мають значне базове навантаження, можливо використовувати регресійний аналіз, щоб визначити зв'язок між споживанням енергії та змінними чинниками, які обумовлюють споживання енергії - це має назву нормальне, «базове» або очікуване споживання енергії для досліджувального рівня. Однофакторне лінійне рівняння регресії має вигляд [7]:

$$W = c_0 + c_1 \cdot X_1, \quad (1.2)$$

де W – очікуване споживання енергії;

c_0 - значення коефіцієнта на Y -перетині;

c_1 - значення коефіцієнтів при відповідних змінних, X_1 .

Якщо, споживання енергії залежить від багатьох змінних, то доцільно застосувати моніторинг споживання енергії порівняно з базовим рівнем за допомогою багатофакторного регресійного аналізу і тоді лінійне рівняння регресії буде мати вигляд:

$$W = c_0 + c_1 \cdot X_1 + \dots + c_n \cdot X_n \quad (1.3)$$

Якщо порівняти фактичне споживання енергії з нормальним (очікуваним) споживанням енергії і воно буде менше за норму для цього рівня, це вказує на високу енергоефективність, якщо ж споживання енергії перевищує норму для, це вказує на низьку енергоефективність.

1.4 Методи моніторингу та аналізу енергоефективності впроваджених заходів з енергоефективності

Коли розроблений надійний базовий рівень, залежність між фактичним споживанням та очікуваним для аналізу ефективності впроваджених заходів з енергоефективності можна використовувати контрольні карти Шухарта (ККШ) та графіки CUSUM.

Контрольна карта – це один із графічних засобів застосування статистичних методів, вперше розвинутий У.Шухартом в 1931р. [22], що представляє собою графік залежності контрольованої характеристики від часу або від порядкового номера даної характеристики. Принципи побудови

контрольної карти Шухарта охоплюють коло понять, пов'язаних зі стабілізацією виробничого процесу, оцінюванням ефективності впровадження енергозберігаючих заходів, а реалізація цих принципів сприяє взаємозв'язку різних напрямків господарської діяльності. Якщо єдиним джерелом варіації параметрів процесу служать випадкові чинники, то на графіку, що показує цей процес у часі, буде помітний випадковий характер поведінки даних [23]. ККШ невід'ємна частина промислової статистики, вони активно використовуються у виробничих цілях.

Контрольна карта - це графік, який виконує роботу з розділення варіабельності або мінливості на варіабельність, викликану загальними (випадковими) і спеціальними (особливими) причинами. Вона складається з графіка ходу самого процесу і трьох додаткових ліній: центральної лінії, верхньої (ВКМ) і нижньої (НКМ) контрольних меж.

$$\text{ВКМ(НКМ)} = \Delta X_{\text{сер}} \pm \sigma_{\Delta X} \cdot A_3, \quad (1.4)$$

де $\Delta X_{\text{сер}}$ - середнє значення функції;

$\sigma_{\Delta X}$ - стандартне відхилення, визначене по вихідним даним;

A_3 , - таблична величина, яка залежить від кількості спостережень, протягом якого ведеться моніторинг.

Запропоноване Шухартом правило аналізування цього графіку звучить так: якщо всі точки знаходяться між верхньою і нижньою контрольними межами, то спеціальні причини відсутні, і процес за визначенням вважають статистично керованим (стабільним), що означає його передбачуваність. Якщо є точки, що виходять за верхню чи нижню контрольні межі, то спеціальні причини присутні.

Для прикладу на рисунку 1.5 продемонстровано побудовану контрольну карту. Нанесено різницю між фактичним споживанням і базовим споживанням з верхньою та нижньою межами, встановленими для відображення нормальних коливань споживання енергії і якщо, проаналізувати її, то бачимо, що значення за 16 квітня виходить за верхню

межу, а за 16 грудня виходить за нижню межу, отже ці місяці потребують додаткового дослідження.

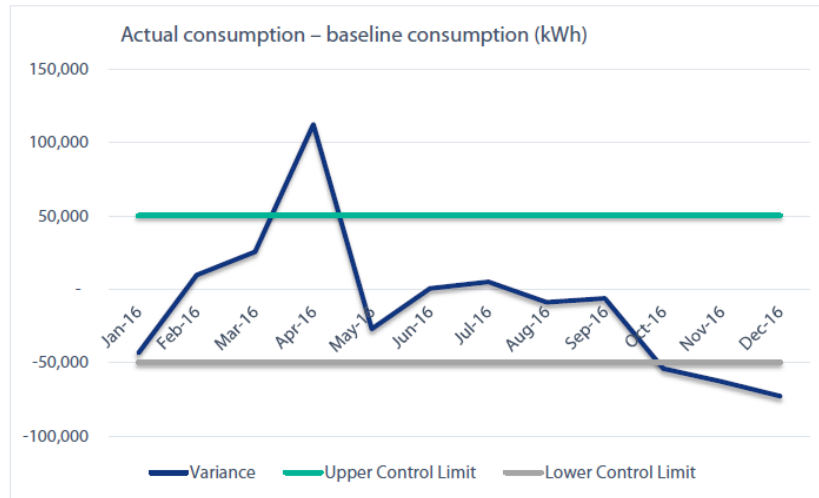


Рисунок 1.5 – Приклад застосування контрольної карти

У випадку лінійного однофакторного рівняння регресії верхня та нижня межі можуть бути визначені за наступною формулою [24]:

$$W(p) = W_{\text{розра}}(p) \mp T\left(\frac{\alpha}{2}, f_e\right) S_e \sqrt{1 + \frac{1}{N} + \frac{(X_{\text{сер}} - X(p))^2}{N \cdot D(X)}}, \quad (1.5)$$

де $W_{\text{розра}}(p)$ – розрахункове значення витрат електроенергії, отримані за допомогою багатфакторного рівняння регресії;

$T\left(\frac{\alpha}{2}, f_e\right)$ – коефіцієнт розподілу Стюдента за двосторонньої імовірності α і кількості степенів вільності f_e ;

S_e – середньоквадратичне відхилення індивідуальних значень фактичних витрат електроенергії від результатів моделювання за допомогою визначеного рівняння регресії;

N – число одиниць сукупності;

$X_{\text{сер}}$ – середнє значення змінної X ;

$X(p)$ – поточне значення змінної X ;

$D(X)$ – дисперсія за вибіркою індивідуальних значень змінної X .

У випадку лінійного багатфакторного рівняння регресії верхня та нижня межі можуть бути визначені за наступною формулою [24]:

$$W(p) = W_{\text{розр}}(p) \mp T\left(\frac{\alpha}{2}, f_e\right) S_e \sqrt{[X(p)][D][X(p)]^T}, \quad (1.6)$$

де $[X(p)]$ – матриця значень змінних (факторів), які використовуються у математичній моделі;

$[X(p)]^T$ – транспонована матриця $[X(p)]$;

$[D]$ – коваріаційно-дисперсійна матриця вектора параметрів (констант) рівняння математичної моделі.

У разі встановлення на будь-якому об'єкті складних базових рівнів енергоспоживання, що являють собою лінійні або нелінійні багатфакторні рівняння регресії, застосовувати графічний спосіб контролю ефективності використання палива чи енергії вже неможливо. У такому випадку для контролю досягнутих результатів енергозбереження використовують спеціальний графік, який в зарубіжній практиці називають графіком CUSUM (графіком кумулятивної суми). CUSUM— це потужний метод для ілюстрації енергетичних показників установки або енергоспоживаючої системи. Споживання енергії відстежується та порівнюється з тижневим/місячним базовим рівнем [25]. CUSUM – це кумулятивна сума різниці між фактичним споживанням і базовим рівнем. Для прикладу на рисунку 1.6 продемонстровано графік CUSUM, який побудований на основі базового рівня споживання електричної енергії впродовж семи днів.

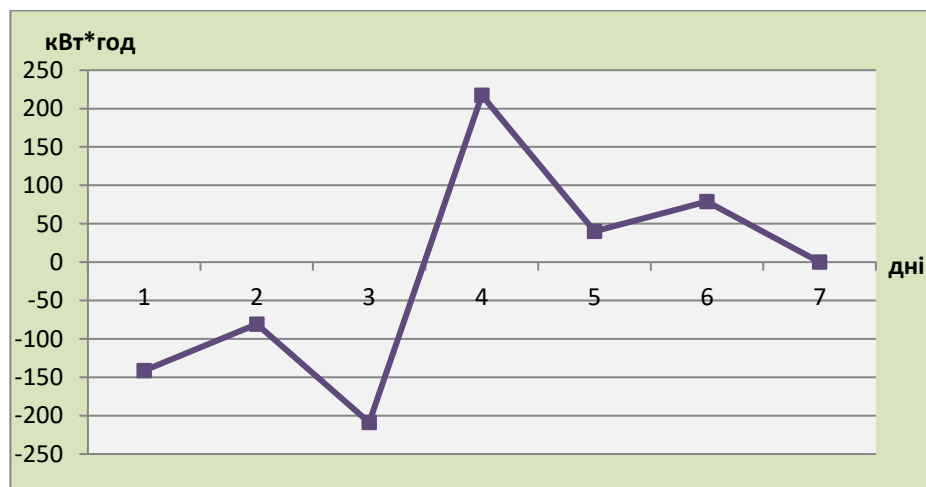


Рисунок 1.6 - Графік CUSUM

Графік CUSUM являє собою ламану лінію на зламі якої є точки, які показують отримання економії, або перевитрати, після впровадження заходів з енергоефективності. Якщо графік зростає, то це означає, що відбулась перевитрата і отже запропонований захід не ефективний, а якщо графік спадає, то відбулась економія.

Як було зазначено раніше в підрозділі 1.2, енергетичний моніторинг є інструментом, який використовується в циклі постійного вдосконалення, тому повинен виконуватись безперервно. Вирішити дане завдання можливо використовуючи метод послідовного аналізу Вальда [26].

Дана методика базується на тому, що у процесі контролю ефективності використання енергії досліджується вибірка даних щодо знаходження фактичних обсягів енергоспоживання технологічного об'єкту, що розглядають, в межах встановленого довірчого інтервалу або за його межами (що і буде ознакою підтримання або не підтримання на об'єкті заданого рівня ефективності використання енергії) [27].

За методикою Вальда у разі появи у досліджуваній вибірці кожного нового фактичного значення параметру, що контролюють, розраховують так званий коефіцієнт правдоподібності, величина якого порівнюється із заздалегідь встановленими для нього граничними значеннями: максимальним та мінімальним. Отже, необхідно визначити мінімальну та максимально допустиму кількість випадків виходу фактичних обсягів споживання енергії на об'єкті за межі довірчого інтервалу, яким було встановлено відповідне базове енергоспоживання. Граничні значення p_0 і p_1 , можна визначати у вигляді відповідних частот чи ймовірностей появи «неякісних виробів» у контрольованій вибірці n . Використовуючи типові операційні характеристики [26], за обраними значеннями p_0 та p_1 визначаються ймовірності появи похибок першого та другого роду: α та β .

Щоб мати найбільш достовірні результати моніторингу ефективності енерговикористання порібно виконати максимальну необхідну кількість контролів, яка визначається залежністю:

$$M[n]_{\max} = - \frac{\ln \frac{\beta}{1-\alpha} \ln \frac{1-\beta}{\alpha}}{\ln \frac{p_1}{p_0} \ln \frac{1-p_0}{1-p_1}} \quad (1.7)$$

На рисунку 1.7 для більшої наочності представлено процес послідовного моніторингу методом Вальда.

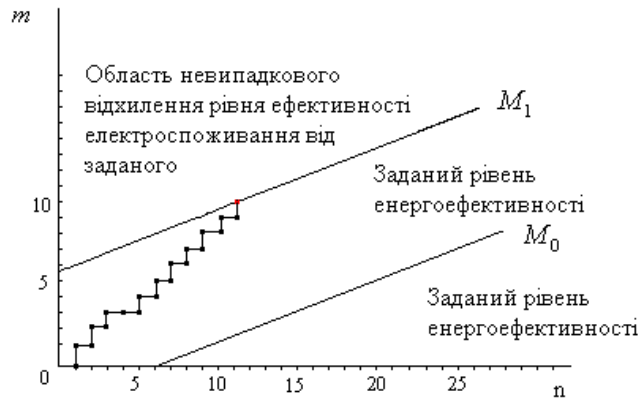


Рисунок 1.7 - Графічне відображення процедури послідовного моніторингу методом Вальда

В даній системі координат (рис.1.8) границі довірчого інтервалу для кількості випадків виходу фактичних величин енергоспоживання за межі встановленого базового рівня являють собою прямі M_0 та M_1 , параметри яких h_0 , h_1 , та s визначають на підставі прийнятого плану контролю за виразами:

$$h_0 = \frac{\ln \frac{\beta}{1-\alpha}}{\ln \frac{p_1}{p_0} - \ln \frac{1-p_1}{1-p_0}}, \quad (1.8)$$

$$h_1 = \frac{\ln \frac{1-\beta}{\alpha}}{\ln \frac{p_1}{p_0} - \ln \frac{1-p_1}{1-p_0}}, \quad (1.9)$$

$$s = \frac{\ln \frac{1-p_0}{1-p_1}}{\ln \frac{p_1}{p_0} - \ln \frac{1-p_1}{1-p_0}}. \quad (1.10)$$

Прямі M_0 та M_1 , які називають контрольною картою, наносять на графік перед його початком. Якщо після проведення n контролів для кількості m випадків виходу фактичних величин енергоспоживання за межі встановленого базового рівня виконується нерівність $m \geq h_1 + sn$, то можна

стверджувати, що рівень ефективності енерговикористання на об'єкті суттєво та не випадково відрізняється від заданого. Якщо ж зазначена нерівність не виконується, то приймають, що ефективність енерговикористання відповідає заданому рівню, а всі зафіксовані в процесі контролю відхилення фактичних обсягів споживання енергії від встановленого базового рівня є випадковими.

Висновки до розділу 1

В даному розділі було теоретично розглянуто ряд питань, а саме загальну характеристику проблем енергоефективності та тенденцій щодо їх забезпечення, вплив моніторингу енергетичної результативності на СЕНМ, необхідність моніторингу на промислових підприємствах в Україні та саме методи моніторингу енергетичної результативності впроваджених заходів з енергоефективності.

Отже, енергетична ефективність – це сукупність понять, що визначаються постановкою задачі дослідження та ієрархічним рівнем розгляду проблеми. Враховуючи складність поняття енергоефективності, методи та способи визначення системи показників енергоефективності та оцінювання рівня ефективності енергоспоживання є також різноманітними. Не існує ідеального методу, який можливо застосовувати до будь-якого випадку, не існує комплексних показників енергоефективності, які б відрізняли одне підприємство від іншого як за зовнішніми, так і за внутрішніми параметрами. Оскільки, зі сторони енергетичної ефективності кожне підприємство має свої специфічні особливості. Перерахувавши особливості та проблеми аналізу енергетичної ефективності, можна зробити висновок, що потрібно розробляти такі методи оцінювання енергоефективності, які б забезпечили можливість комплексно розглянути всі аспекти питань енергоефективності, допомогли виявити причини неефективного енергоспоживання, виявити недоліки в технологічних процесах тощо.

Система енергетичного менеджменту застосовується до всіх аспектів, що впливають на рівень енергетичної результативності, які організація може відстежувати завдяки енергетичному моніторингу та на які воно спроможне впливати. Енергетичний моніторинг та систематичний контроль є дуже важливим елементом кожної ефективної системи енергоменеджменту.

Будь-яке промислове підприємство являє собою складний механізм, що складається з множини взаємопов'язаних елементів, які використовують різні види енергії для реалізації виробничих процесів. Одна з ознак які характеризують здатність виробничої системи ефективно функціонувати в наявних умовах є її енергоефективність. Саме систематичний контроль та моніторинг споживання енергетичних ресурсів допомагає в досягненні високого рівня енергоефективності на підприємстві.

Популярними методами для аналізу ефективності впроваджених заходів з енергоефективності є контрольні карти Шухарта та графіки CUSUM. А оскільки енергетичний моніторинг є інструментом, який використовується в циклі постійного вдосконалення, то додатково було розглянуто метод послідовного аналізу Вальда, який допоможе вирішити поставлену задачу.

2 ЕНЕРГЕТИЧНЕ ОБСТЕЖЕННЯ ПІДПРИЄМСТВА МОЛОЧНОЇ ГАЛУЗІ

2.1 Загальні відомості про підприємство молочної галузі

В роботі досліджується моніторинг енергетичної результативності впроваджених заходів з енергоефективності на підприємстві молочної галузі, а саме в цеху який займається переробкою молока в середньому 21,9 т/добу при однозмінному робочому графіку з 7:00 до 15:00 годин. Загальна кількість працівників становить 86 осіб. Площа цеху по переробці молока становить: 2576 м².

Основними продуктами виробництва є:

- молоко знежирене;
- молоко пастеризоване;
- масло селянське;
- інші види продукції: вершки, кефір, сметана, молоко.

Основними первинними енергоносіями, що закуповуються підприємством є вугілля та брикети (соняшник) в середньому 660 тис. тонн та електрична енергія в обсягах близько 612 МВт·год/рік. Обсяг споживання холодної води за 2020 рік склав 6 тис. м³/рік.

Теплопостачання підприємства здійснюється від власної парової твердопаливної котельні, оснащеної трьома паровими котлами типу Е1/9 з передтопками типу ТП-ВТЄ (СВД-1,5) паропродуктивністю 1 т/год кожний із температурою пари 140 °С при тиску 0,3 МПа. В свою чергу пара використовується для технологічних потреб, що переважно представляють нагрівання води, як проміжного теплоносія. Теплова схема котельні представлена в додатку А, рисунок А.1.

Електроенергія використовується переважно для виробничих потреб. Принципова схема електропостачання молокозаводу схематично представлена в додатку А, рисунок А.2.

Водопостачання здійснюється від існуючої свердловини. Свердловина подає воду на водонапірну башту, з неї відбувається розподіл води по споживачах. Каналізаційні стоки після очистки методом флотації на локальних каналізаційних очисних спорудах відводяться в існуючу міську каналізаційну мережу.

2.2 Аналіз динаміки виробничої діяльності на підприємстві

Для аналізу обсягів щодо прийому молока на переробку та виробництва продукції були використані дані надані підприємством у повному обсязі за 2019-2020 рік, які наведені в таблиці 2.1 та зображені на рисунку 2.1.

Таблиця 2.1 – Обсяги прийнятого молока за 2019-2020 рік

Місяць	Щомісячний обсяг прийнятого молока	
	літри	
	2019	2020
Січень	349991,40	422783,25
Лютий	381707,15	475310,65
Березень	660762,05	948763,1
Квітень	538698,7	1286140,4
Травень	600806,4	1731193,55
Червень	1493546,30	1733350,05
Липень	1150722,65	1672200,45
Серпень	1201513,45	1362739,85
Вересень	993546,3	1032396,5
Жовтень	735223,05	701704,2
Листопад	490480,25	710378,65
Грудень	367947,35	710378,65
<i>Всього</i>	<i>8964945</i>	<i>12384908</i>

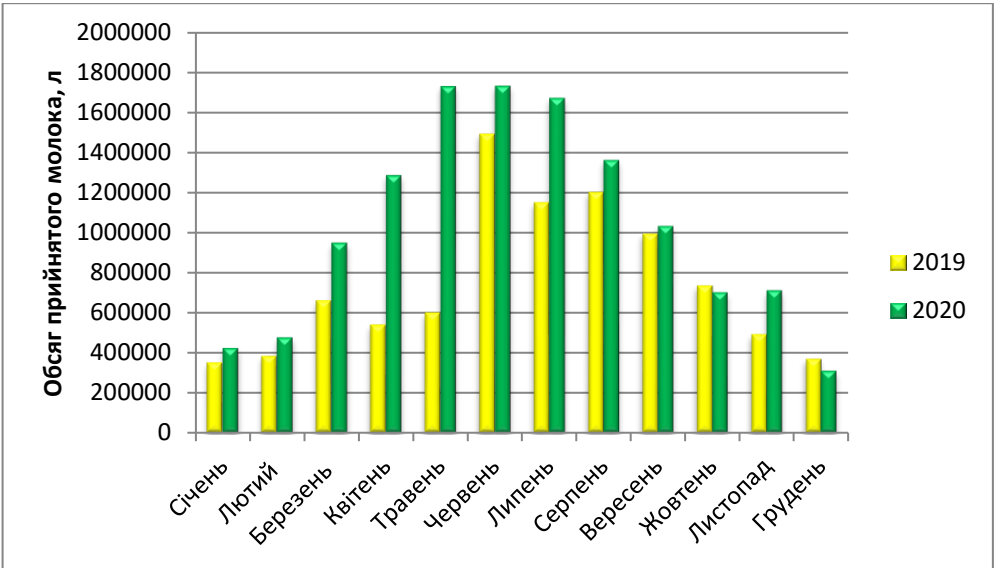


Рисунок 2.1 - Динаміка щомісячних обсягів прийнятого молока за 2019 - 2020 роки

В таблиці 2.2 наведено дані щодо помісячного виробництва основних видів продукції за 2019 - 2020 роки та узагальнена динаміка помісячних обсягів виробництва продукції за 2019 - 2020 роки наведена на рисунку 2.2.

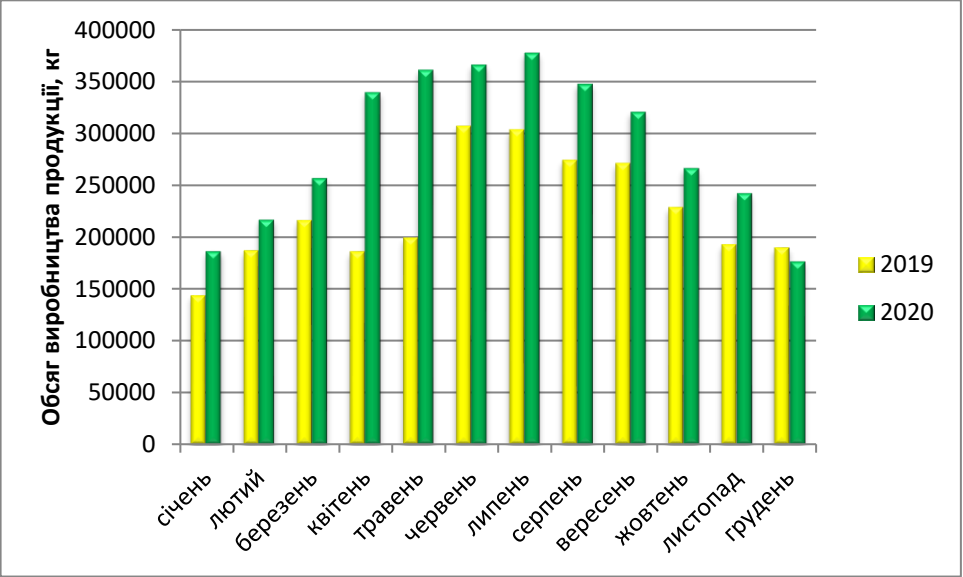


Рисунок 2.2 - Динаміка помісячних обсягів виробництва продукції за 2019-2020 роки

Таблиця 2.2 - Помісячні обсяги виробництва основних видів продукції за 2019 - 2020

Найменування продукції (в асортименті)	січень	лютий	березень	квітень	травень	червень	липень	серпень	вересень	жовтень	листопад	грудень	загалом
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2019 рік													
Вершки 35%	14	10	2	10	13	6	8	0	3	0	0	2	67
Казеїн технічний	2185	85	5767	8550	49486	42299	10196	14535	4750	2779	10001	879	151511
Кефір 1% п/е пак (0,5л)	8417	9738	9885	9063	7705	8298	8118	8113	7349	9339	738	8769	95530
Масло селянське (моноліт 10 кг)	6897	7388	9077	29352	56932	54839	34257	40107	19494	16254	4560	5406	284562
Масло селянське вагове (пергамент)	0	0	6154	4689	3962	3800	2831	3158	5286	8037	760	3439	42115
Масло селянське вагове (пергамент)	2546	1131	5415	4735	3577	5292	5263	4137	6964	4275	5273	2812	51418
Масло селянське вагове (плівка)	1311	1235	2971	2624	2836	5354	10646	814	3362	1064	2242	1663	36121
Молоко знежирене 0,05%	39710	79724	10199 ₂	75934	32357	142795	188917	155211	173413	133380	111749	11085 ₆	1346036
Молоко пастеризоване 2,5 п/е пак	38681	42265	36593	32136	30462	30175	33403	35599	39224	42244	43620	43370	447773
Молоко пастеризоване 2,5 п/е пак	8932	11864	10376	7623	7592	7338	5217	8321	5967	5267	7413	6346	92256
Сметана 20% (відро 10л)	2138	3173	2755	2432	266	2955	1843	1340	2233	2328	2917	2280	26657
Сметана 20% (відро 5л)	4057	4600	4817	4351	4148	3655	2736	2719	2931	3615	3534	3714	44874
Всього	143515	187023	21597 ₇	18611 ₈	199334	306803	303435	274054	270974	228580	192805	18953 ₄	2698153

Продовження таблиця 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2020 рік													
Вершки 35%	0	2	0	28	23	16	8	11	9	10	5	6	118
Казеїн технічний	19000	19000	15651	25356	44944	42331	32201	24020	13714	8921	10593	5448	261179
Кефір 1% п/е пак (0,5л)	7795	10327	8906	7643	10474	7947	9904	8925	8811	10626	9358	9453	110167
Масло селянське (моноліт 10 кг)	1463	5995	19608	36831	61737	56676	52341	42154	14897	9795	9227	6280	317003
Масло селянське вагове (пергамент)	2955	1197	3686	5092	4435	4104	5843	4802	7521	6645	8171	5472	59922
Масло селянське вагове (пергамент)	4769	3629	5577	8408	9690	9235	9433	7962	10920	11391	9600	12131	102743
Масло селянське вагове (плівка)	3696	3867	5482	5221	6435	5045	5292	3658	9441	4955	5584	8190	66865
Молоко знежирене 0,05%	97926	119510	14489 ₄	20179 ₉	173983	99826	219811	211850	209418	159790	134786	29527 ₇	2068870
Молоко пастеризоване 2,5 п/е пак	38084	40295	42779	38281	36764	31328	33586	35243	35888	41702	43142	40155	457248
Молоко пастеризоване 2,5 п/е	4490	5702	6090	5174	5506	3996	3930	4080	5327	5823	5825	5039	60981
Сметана 20% (відро 10л)	1710	2518	2717	2470	2983	2351	2090	1463	1710	2100	2271	2261	26643
Сметана 20% (відро 5л)	4505	4394	1463	3179	4126	3306	3278	3529	2993	4560	3629	2446	41407
Всього	186391	216434	25685 ₃	33948 ₀	361099	266162	377715	347698	320649	266316	242190	39215 ₇	3573145

2.3 Аналіз динаміки споживання ПЕР

Представимо річне споживання всіх видів енергетичних ресурсів та холодної води на даному підприємстві за 2018-2020 роки в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Споживання всіх енергетичних ресурсів та холодної води

Місяць	Вугілля, т	Соняшник (брикет), т	Електрична енергія, кВт•год	Холодна вода, м³
1	2	3	4	5
2018 рік				
січень	34639	13823	48356,0	370
лютий	26367	1520	12573,4	430
березень	43945	-	46820,4	499
квітень	78622	-	59490,2	606
травень	126336	16397	89667,4	697
червень	72117	37544	82372,6	658
липень	12925	58083	70086,7	592
серпень	34639	48878	69395,6	580
вересень	28933	39815	48125,7	577
жовтень	24872	28006	34227,3	456
листопад	8695	13281	30771,9	374
грудень	24412	10602	33229,1	427
<i>Загалом</i>	<i>516502</i>	<i>267948</i>	<i>625116,3</i>	<i>6266</i>
2019 рік				
січень	22278	3620	41675,7	374
лютий	23914	2109	34380,9	420
березень	41529	7401	54959,7	495
квітень	46323	4123	53193,7	656
травень	67229	6356	70701,0	684
червень	58957	28880	64020,6	813
липень	52508	40470	71085,0	614
серпень	36998	34485	67783,1	488
вересень	38230	17290	47050,7	548
жовтень	31847	7097	28698,7	471
листопад	15275	7315	45207,8	361
грудень	-	1169	27546,9	379
<i>Загалом</i>	<i>435088</i>	<i>160313</i>	<i>606303,6</i>	<i>6303</i>
2020 рік				
січень	28700	9567	44931,7	372
лютий	26272	1853	40700,9	415
березень	42050	5378	52958,7	400

Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4	5
квітень	43787	3867	50091,7	504
травень	64219	9354	67467,0	631
червень	61546	5331	69278,6	711
липень	48939	40223	69849,0	604
серпень	36745	35763	68785,1	511
вересень	37774	21526	47275,7	563
жовтень	30594	11886	30587,7	459
листопад	13707	9884	43848,8	390
грудень	23158	8337	29635,9	404
<i>Загалом</i>	<i>457491,2</i>	<i>162967</i>	<i>602770,6</i>	<i>5964</i>

Також, дані щодо споживання вугілля підприємством представимо на рисунку 2.3.

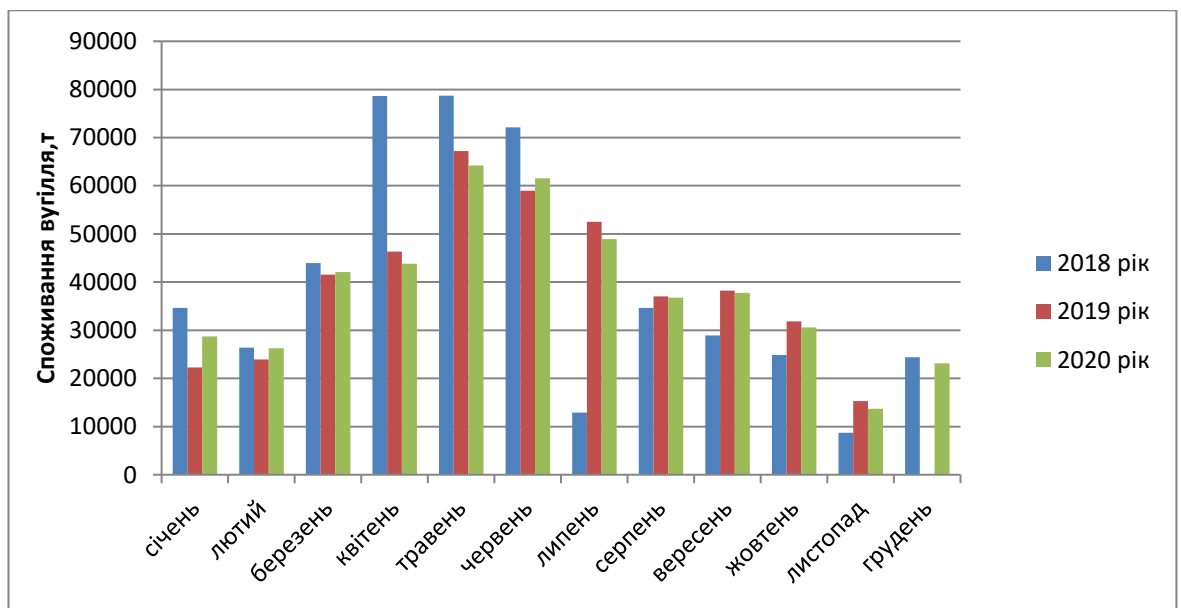


Рисунок 2.3 – Динаміка помісячного споживання вугілля

Дані щодо споживання соняшнику (брикети) підприємством представимо на рисунку 2.4.

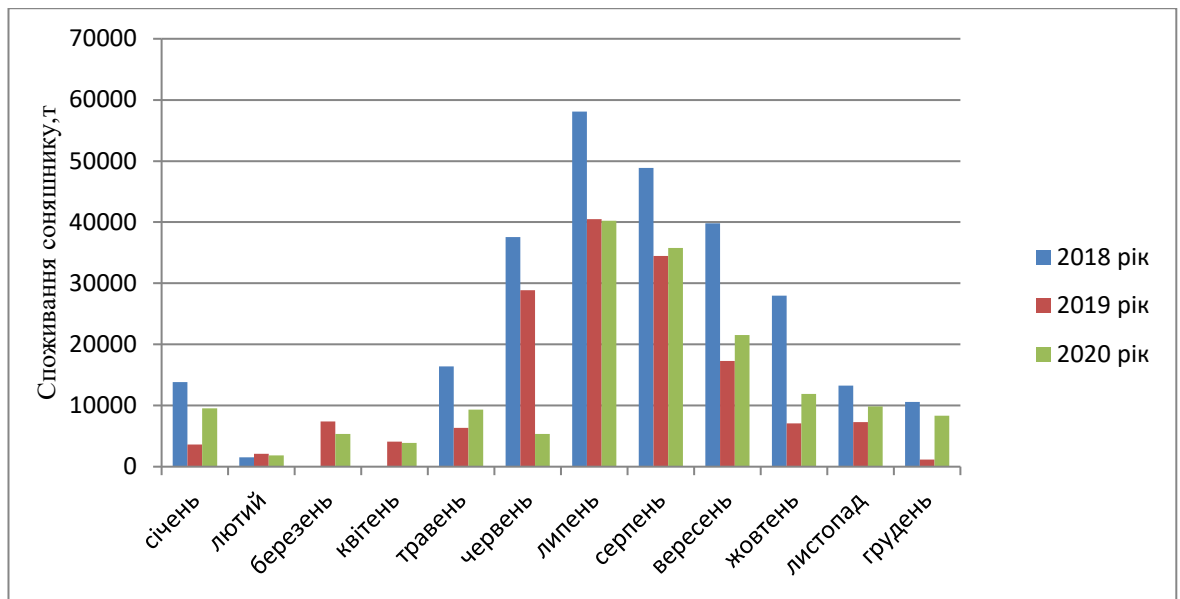


Рисунок 2.4 – Динаміка помісячного споживання соняшнику(брикети)

Дані щодо споживання електричної енергії підприємством представимо на рисунку 2.5.

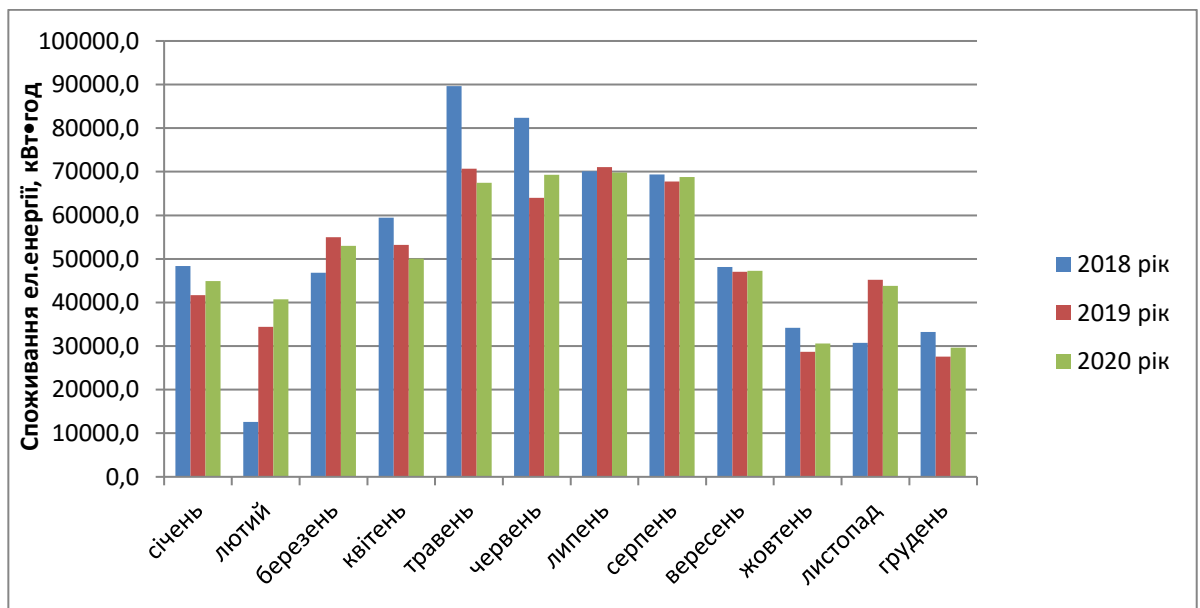


Рисунок 2.5 – Динаміка помісячного споживання електричної енергії

Дані щодо споживання холодної води підприємством представимо на рисунку 2.6.

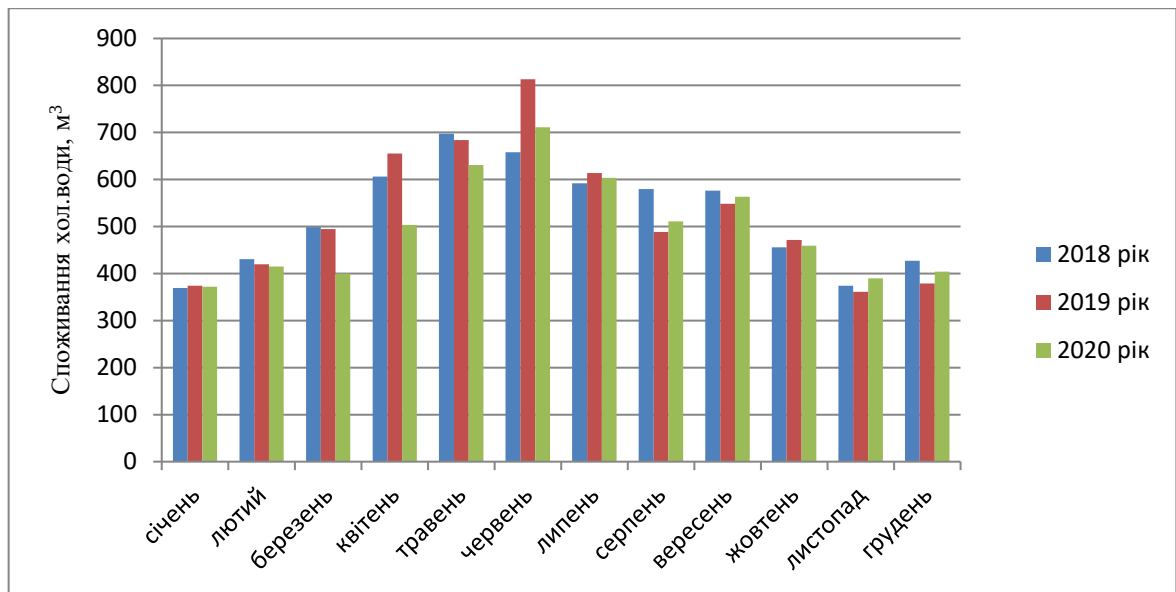


Рисунок 2.6 – Динаміка помісячного споживання холодної води

Представимо загальне споживання всіх видів енергоресурсів на підприємстві в таблиці 2.4 та на рисунку 2.7, 2.8, 2.9. Добовий графік електричного споживання представлено на рисунку 2.10.

Таблиця 2.4 - Загальне споживання енергоресурсів

Найменування	2018		2019		2020	
	т.ум.пал.	%	т.ум.пал.	%	т.ум.пал.	%
Вугілля, т	323330	57	160769	61	76889,3	62
Соняшник (брикети), т	272365	29	96188	22	74575,3	21
Електрична енергія, кВт•год	286389	14	97780	17	75695,5	17

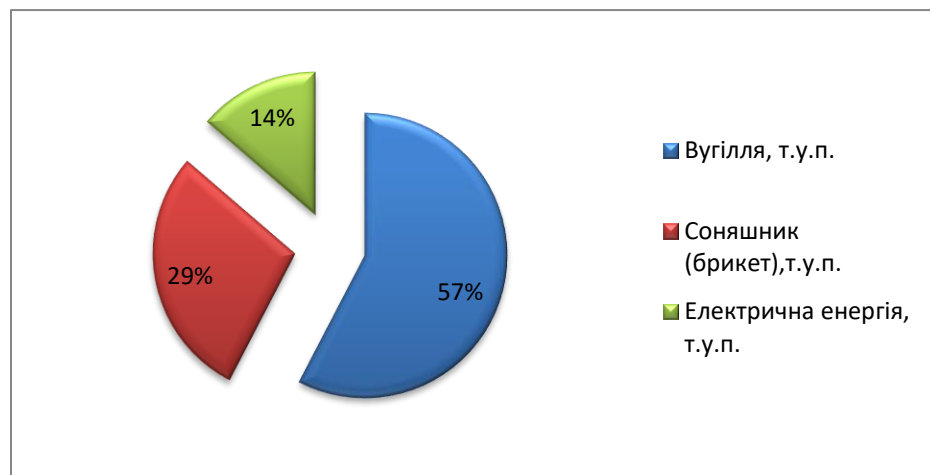


Рисунок 2.7- Споживання енергоресурсів за 2018 рік

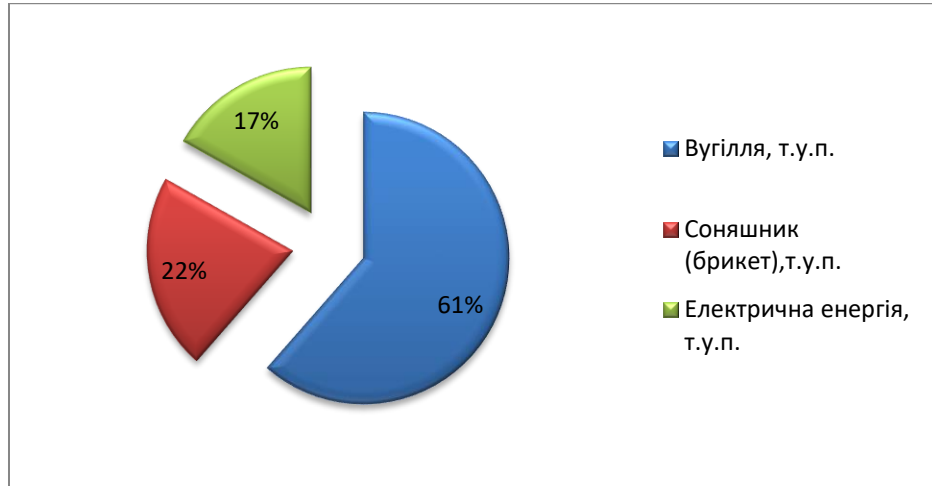


Рисунок 2.8 - Споживання енергоресурсів за 2019 рік

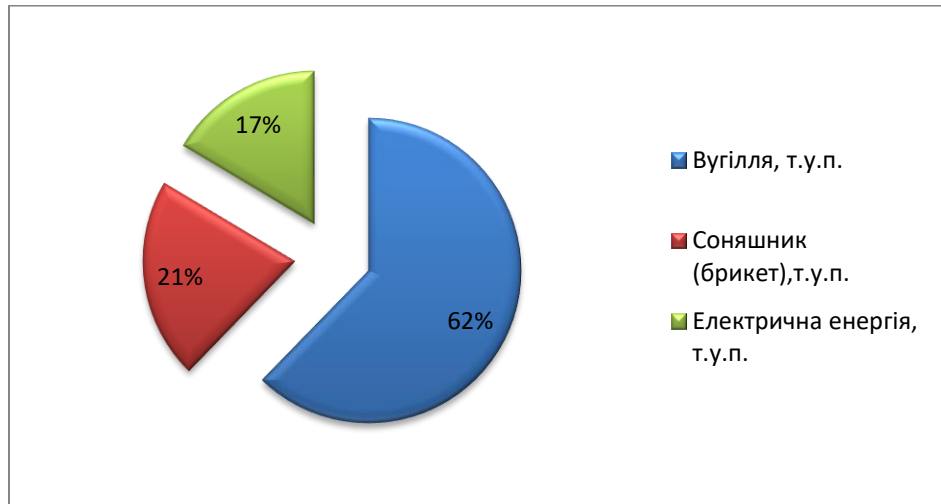


Рисунок 2.9 - Споживання енергоресурсів за 2020 рік



Рисунок 2.10 - Добовий графік електроспоживання

На даному підприємстві присутня компенсація реактивної потужності. Компенсація реактивної потужності здійснюється конденсаторною установкою ККУ-0,4-200-20-21УЗ.

2.4 Коротка характеристика споживачів електричної енергії цеху

Розглянемо споживачі електричної енергії в цеху по переробці молока:

- насоси;
- резервуари;
- вакуумний деаератор;
- охолоджувач молока;
- сепаратор для відокремлення вершків;
- пастеризаційна установка;
- вентиляція;
- освітлення.

Електрична енергія цеху використовується в основному на роботу насосів . Для більш наочного представлення електрообладнання цеху, зведемо в таблицю 2.5 споживачі електричної енергії, їх кількість, встановлену потужність та тривалість роботи.

Таблиця 2.5 - Електроспоживаюче обладнання

ЕП	Кількість, шт.	Встановлена потужність, кВт	Тривалість роботи, год/добу
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
Відцентровий насос	2	7,5	5
	3	5,5	8
	3	3	2
	2	3,5	2
	4	2,2	3
Резервуари	2	3	8
	3	3	6
	1	2,2	8
	1	2	8
	2	1,5	8
	2	1,8	7
Вакуумний деаератор	1	2,5	5

1	2	3	4
Охолоджувач молока	1	3	8
Сепаратор для відокремлення вершків	1	15	8
Пастеризаційна установка	1	5	8
Витяжний вентилятор	3	1,1	8
Припливний вентилятор	2	2,2	8

Всі електроприймачі розраховані на напругу 380 В, струм змінний трифазний, частотою 50 Гц. Загальна кількість електроприймачів: 34 штуки. Електроприймачі 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 [28].

Найпотужніший споживач електричної енергії є сепаратор для відокремлення вершків номінальною потужністю 15 кВт. Найменш потужним споживачем є витяжний вентилятор 1,1 кВт. Все обладнання цеху знаходиться в задовільному стані та придатне для використання за призначенням, відповідає вимогам державних стандартів [29].

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

За допомогою балансу споживання електричної енергії продемонструємо які саме споживачі є найбільш енергоємними. Складемо баланс споживання електроенергії цеху по переробці молока за 2020 рік. 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, яка береться із паспортних даних, кВт;

n - кількість обладнання, шт;

$k_{в.і}$ - коефіцієнт використання встановленої потужності;

$T_{роб.і}$ - тривалість роботи відповідного обладнання за рік, год/рік.

Використовуючи формулу (2.1) розраховано загальне річне споживання електричної енергії для кожного споживача, результати зведені до таблиці 2.6.

Таблиця 2.6– Електричний баланс цеху для 2020 року

Наймен-я електроспож. обладнання	Встановл. потужність одиниці обладнання кВт	Кіль-ть одиниць обладн., шт	Загальна встановлена потужність обладнання, кВт	Кв	Тривал. роботи, год/рік	Загальне електроспоживання, кВт*год/рік
Відцентровий насос	7,5	2	15	0,75	1255	14118,75
	5,5	3	16,5	0,75	2008	24849
	3	3	9	0,7	502	3162,6
	3,5	2	7	0,65	502	2284,1
	2,2	4	8,8	0,65	753	4307,16
Всього						48721,61
Резервуар	3	2	6	0,5	2008	6024
	3	3	9	0,5	1506	6777
	2,2	1	2,2	0,45	2008	1987,92
	2	1	2	0,45	2008	1807,2
	1,5	2	3	0,45	2008	2710,8
	1,8	2	3,6	0,45	1757	2846,34
Всього						22153,26
Вакуумний деаератор	2,5	1	2,5	0,65	1255	2039,375
Охолоджувач молока	3	1	3	0,4	2008	2409,6
Сепаратор для відокремлення вершків	15	1	15	0,6	2008	18072
Пастеризаційна установка	5	1	5	0,65	2008	6526
Вентиляція						
Витяжний вентилятор	1,1	3	3,3	0,75	2008	4969,8
Припливний вентилятор	2,2	2	4,4	0,75	2008	6626,4
Всього						10823,12
Освітлення						
ЛД 40	0,04	420	16,8	1,1	2510	46384,8

Побудовано діаграму балансу споживання електричної енергії для цеху по переробці молока і продемонстровано на рисунку 2.11.

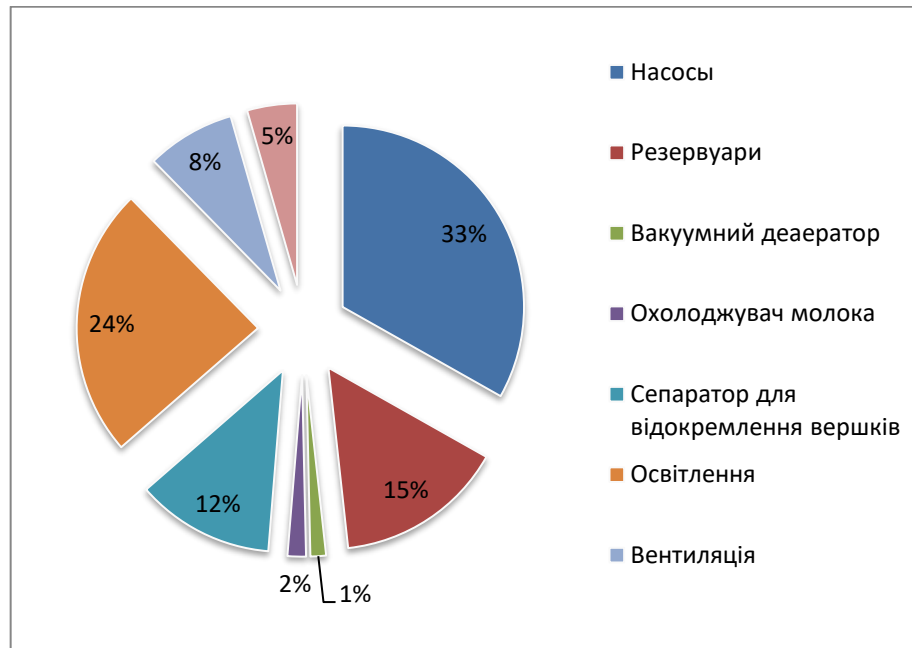


Рисунок 2.11 – Баланс споживання електроенергії цеху

Отже, баланс показує, що найбільшу частку споживання електричної енергії цеху споживає робота насосів.

2.6 Обстеження огорожувачих конструкцій та розрахунок коефіцієнта теплопередачі

Непрозорі огорожувальні конструкції.

Зовнішні стіни цеху мають такий склад:

- розчин цементно-піщаний, товщина $\delta_1 = 0,03$ м, теплопровідність $\lambda_1 = 0,81 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$;

- біла силікатна цегла подвійної кладки, товщина $\delta_2 = 0,51$ м, теплопровідність $\lambda_2 = 0,87 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$;

- шар штукатурки, товщина $\delta_3 = 0,03$ м; теплопровідність $\lambda_3 = 0,87 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$.

Розрахуємо коефіцієнт теплопередачі через огорожувальні конструкції будівлі.

Для початку розрахуємо термічний опір за формулою:

$$R = \frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}, \quad (2.2)$$

де α_1 - коефіцієнт тепловіддачі з внутрішньої сторони будівлі, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$;

δ_i - товщина i -го шару зовнішніх стін, м;

λ_i - теплопровідність матеріалу i -го шару зовнішніх стін, $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$;

α_2 - коефіцієнт тепловіддачі з зовнішньої сторони будівлі, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$.

Отже, відповідно формулі (3.1) розрахуємо термічний опір зовнішніх стін:

$$R_{\text{ст}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,03}{0,81} + \frac{0,51}{0,87} + \frac{0,03}{0,87} + \frac{1}{23} = 0,82 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

Для II температурної зони (Запорізька область), значення мінімального термічного опору для стін, становить[30]:

$$R_{\text{qmin}} = 2 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}};$$

$$R_{\text{qmin}} > R_{\text{ст}}.$$

Отже, значення термічного опору не відповідає нормативному значенню, тому в майбутньому запропонуємо захід з енергоефективності по утепленню зовнішніх стін.

Коефіцієнт теплопередачі визначається за формулою:

$$k_i = \frac{1}{R_i} \quad (2.3)$$

Підставимо значення термічного опору зовнішніх стін у формулу (2.3) і отримаємо коефіцієнт теплопередачі зовнішніх стін:

$$k_{\text{ст}} = \frac{1}{0,82} = 1,22 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Світлопрозорі огорожувальні конструкції.

В цеху встановлені дерев'яні вікна з подвійним склінням, кількістю 32 штуки. Термічний опір дерев'яних вікон розраховується, за формулою:

$$R_{\text{вік}} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{2 \cdot \delta}{\lambda} + \frac{\delta_{\text{пз}}}{\lambda_{\text{пз}}} + \frac{1}{\alpha_2}, \quad (2.4)$$

де δ - товщина одного скла, $\delta = 0,004$ м;

λ - теплопровідність скла, $\lambda = 0,76 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$;

$\delta_{\text{пз}}$ - відстань між склом, $\delta_{\text{пз}} = 0,2$ м;

$\lambda_{\text{пз}}$ - теплопровідність повітряного зазору, $\lambda_{\text{пз}} = 3 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$.

Підставимо дані в формулу (2.4) та отримаємо :

$$R_{\text{вік}} = \frac{1}{8,7} + \frac{2 \cdot 0,004}{0,76} + \frac{0,2}{3} + \frac{1}{23} = 0,24 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

Для II температурної зони (Запорізька область), значення мінімального термічного опору для стін, становить[30]:

$$R_{\text{qmin}} = 0,42 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}};$$

$$R_{\text{qmin}} > R_{\text{вік}}.$$

Отже, значення термічного опору не відповідає нормативному значенню, тому в майбутньому потрібно замінити вікна на більш сучасні з показниками, які будуть задовольняти всім вимогам.

Підставимо значення термічного опору вікон у формулу (2.3) і отримаємо коефіцієнт теплопередачі вікон:

$$k_{\text{вік}} = \frac{1}{0,24} = 4,2 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Дверні конструкції.

Вхідні двері (ворота) в цех по переробці молока металеві, їх товщина становить: $\delta_1 = 0,06$ м, теплопровідність металу алюмінію становить: $\lambda_1 = 0,17 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$.

Розраховуємо термічний опір дверей за формулою (2.2):

$$R_{\text{д}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,06}{0,17} + \frac{1}{23} = 0,51 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

Для II температурної зони (Запорізька область), значення мінімального термічного опору для дверей, становить[30]:

$$R_{qmin} = 0,55 \frac{m^2 \cdot K}{Вт};$$

$$R_{qmin} > R_d.$$

Отже, значення термічного опору не відповідає нормативному значенню.

Підставимо значення термічного опору дверей у формулу (2.3) і отримаємо коефіцієнт теплопередачі через двері (ворота):

$$k_d = \frac{1}{0,51} = 1,96 \frac{Вт}{m^2 \cdot K}.$$

Підлога.

Підлога цеху складається з таких шарів:

- бетон на щебені, товщина $\delta_1 = 0,2$ м, теплопровідність $\lambda_1 = 1,3 \frac{Вт}{m \cdot K}$;
- керамзит, товщина $\delta_2 = 0,07$ м, теплопровідність $\lambda_2 = 0,075 \frac{Вт}{m \cdot K}$;
- цементно-шлаковий розчин, товщина $\delta_3 = 0,03$ м; теплопровідність $\lambda_3 = 0,35 \frac{Вт}{m \cdot K}$;
- плитка, товщина $\delta_4 = 0,01$ м; теплопровідність $\lambda_4 = 0,64 \frac{Вт}{m \cdot K}$.

Отже, відповідно формулі (2.2) розрахуємо термічний опір підлоги:

$$R_{під} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,2}{1,3} + \frac{0,07}{0,075} + \frac{0,03}{0,35} + \frac{0,01}{0,64} + \frac{1}{6} = 1,47 \frac{m^2 \cdot K}{Вт}.$$

Для II температурної зони (Запорізька область), значення мінімального термічного опору для підлоги, становить[30]:

$$R_{qmin} = 2,2 \frac{m^2 \cdot K}{Вт};$$

$$R_{qmin} > R_{під}.$$

Отже, значення термічного опору не відповідає нормативному значенню.

Підставимо значення термічного опору підлоги у формулу (2.3) і отримаємо коефіцієнт теплопередачі підлоги:

$$k_{\text{під}} = \frac{1}{1,47} = 0,68 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Стеля.

Стеля складається з таких складових:

- залізобетонні плити, товщина $\delta_1 = 0,15$ м, теплопровідність $\lambda_1 = 2,04 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$;
- гравій на бітумі, товщина $\delta_2 = 0,05$ м, теплопровідність $\lambda_2 = 0,075 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$;
- цементна стяжка, товщина $\delta_3 = 0,02$ м, теплопровідність $\lambda_3 = 0,93 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$;
- гідроізоляція, товщина $\delta_4 = 0,002$ м, теплопровідність $\lambda_4 = 0,27 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$;
- бітумна мастика, товщина $\delta_5 = 0,003$ м, теплопровідність $\lambda_5 = 0,27 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$.

Отже, відповідно формулі (3.1) розрахуємо термічний опір стелі:

$$R_c = \frac{1}{7,6} + \frac{0,15}{2,04} + \frac{0,05}{0,075} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,002}{0,27} + \frac{0,003}{0,27} + \frac{1}{6} = 1,08 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

Для II температурної зони (Запорізька область), значення мінімального термічного опору для стелі, становить [30]:

$$R_{q\min} = 2,1 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}};$$

$$R_{q\min} > R_c.$$

Отже, бачимо, що значення термічного опору не відповідає нормативному значенню.

Підставимо значення термічного опору стелі у формулу (2.3) і отримаємо коефіцієнт теплопередачі стелі:

$$k_c = \frac{1}{1,08} = 0,93 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Наведемо порівняльну таблицю діючих термічних опорів з нормативними у таблиці 2.7

Таблиця 2.7 – Порівняння розрахункового та мінімально допустимого термічного опору

Огорожа	$R_{\text{існ.}}, \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$	$R_{\text{норм.}}, \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$	Відношення нормативного значення термічного опору до розрахункового
Стіни	0,82	2,0	менше в 2,44 рази
Вікна	0,24	0,42	менше в 1,75 рази
Двері(ворота)	0,51	0,55	менше в 1,08 рази
Підлога	1,47	2,2	менше в 1,5 рази
Стеля	1,08	2,1	менше в 1,94 рази

Всі отримані розрахунки продемонструємо в підсумковій таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Розрахунок характеристик огорожувальних конструкцій

Огорожа	Матеріал огорожі (шару)	Товщина шару, м	Коефіцієнт теплопровідності, $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$	Внутрішній коефіцієнт тепловіддачі, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	Зовнішній коефіцієнт тепловіддачі, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	Термічний опір Огорожі, $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$	Нормативний термічний опір огорожі, $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$	Коефіцієнт. Теплопередачі огорожі, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$
		δ_i	λ_i	α_1	α_2	R_i	$R_{q\text{min}}$	k_i
Стіни	Розчин цементно-піщаний	0,03	0,81	8,7	23	0,82	2,0	1,22
	Біла силікатна цегла подвійної кладки	0,51	0,87					
	Штукатурка	0,03	0,87					
Вікна	Дерев'яні	0,004/ 0,2	0,76/ 3	8,7	23	0,24	0,42	4,2
Двері	Металеві	0,06	0,17	8,7	23	0,51	0,55	1,96
Підлога	Бетон на щебені	0,2	1,3	8,7	6	1,47	2,2	0,68
	Керамзит	0,07	0,075					
	Розчин цементно-шлаковий	0,03	0,35					
	Плитка	0,01	0,64					
Стеля	Залізобетонні плити	0,15	2,04	7,6	6	1,08	2,1	0,93
	Гравій на бітумі	0,05	0,075					
	Цементна стяжка	0,02	0,93					
	Гідроізоляція	0,002	0,27					
	Бітумна мастика	0,003	0,27					

2.7 Розрахунок максимальних теплових витрат

Теплові витрати розраховуються за формулою [31]:

$$Q = F \cdot k \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{р.о.}}) \cdot (1 + \sum \beta) \cdot n \quad (2.5)$$

де F – площа огорожувальних конструкцій, м^2 ;

k – коефіцієнт теплопередачі, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

$t_{\text{вн}}$ – температура всередині приміщення, $t_{\text{вн}} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$;

$t_{\text{р.о.}}$ – розрахункова температура зовнішнього повітря, $t_{\text{р.о.}} = -21 \text{ }^\circ\text{C}$ для Запорізької області;

$\sum \beta$ – сумарні додаткові втрати теплоти у відсотках від основних тепловтрат, які визначаються відповідно рисунку 2.12.

n – коефіцієнт, який враховує зменшення розрахункової різниці температур, залежить від положення зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції по відношенню до зовнішнього повітря.

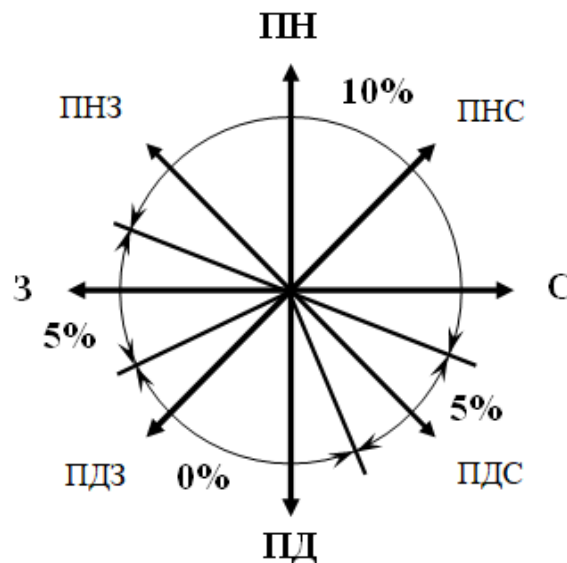


Рисунок 2.12 - Додаткові тепловтрати крізь огорожувальні конструкції в залежності від орієнтації будівлі.

Проведемо всі розрахунки за формулою (2.5) та занесемо отримані результати в таблицю 2.9.

Таблиця 2.9 – Теплові втрати через огорожувальні конструкції

Найменування	Орієнтація огорожі	Кількість, шт	Площа огорожі, м ²	Коефіцієнт теплопередачі, $k_i, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$	n	$1+\beta$	Тепловтрати, $Q_{\text{огор}}, \text{Вт}$
Стіни	ПдСх	-	337,42	1,22	1	1,05	16857,17
	ПнСх		324,24			1,1	16970,07
	ПдЗх		322,7			1,0	15354,07
	ПнЗх		338,54			1,1	17718,51
Вікна	ПдСх	10	21,6	4,2	1	1,05	3714,98
	ПнСх	6	12,96			1,1	2335,13
	ПдЗх	6	12,96			1	2122,85
	ПнЗх	10	21,6			1,1	3891,89
Ворота	ПдСх	1	9	1,96	1	1,05	722,358
Підлога	-	-	2576	0,68	0,6	-	40989,312
Стеля	-	-	2576	0,93	0,6	-	56058,912

Отже, визначимо загальні втрати тепла через огорожувальні конструкції за формулою:

$$Q_{\text{огор}} = Q_{\text{ст}} + Q_{\text{вік}} + Q_{\text{дв}} + Q_{\text{під}} + Q_{\text{стел}} \quad (2.6)$$

Підставивши значення з таблиці 3.3 у формулу (2.6), отримаємо:

$$\begin{aligned} Q_{\text{огор}} &= (16857,17 + 16970,07 + 15354,07 + 17718,51) \\ &+ (3714,98 + 2335,13 + 2122,85 + 3891,89) + 722,358 \\ &+ 40989,312 + 56058,912 = 176,735 \text{ кВт}. \end{aligned}$$

Розрахуємо витрати теплоти на вентиляцію будинку. Так як висота приміщення більше 3,5 м, тоді розрахунок ведемо за формулою :

$$Q_v = 0,7 \cdot V \cdot (h + 0,8 \cdot p) \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{по}}) \cdot 10^{-3}, \quad (2.7)$$

де h - висота будівлі, $h = 7\text{м}$;

p - кількість людей, що знаходяться в будівлі, $p = 86$.

Тоді, підставивши дані у формулу (2.7), отримаємо :

$$Q_v = 0,7 \cdot 1 \cdot (7 + 0,8 \cdot 86) \cdot (18 + 21) \cdot 10^{-3} = 2,07 \text{ кВт}.$$

У тепловому енергобалансі, зображеному на рисунку 2.13, представимо розподіл тепловтрат через огорожувальні конструкції у відсотковому відношенні.

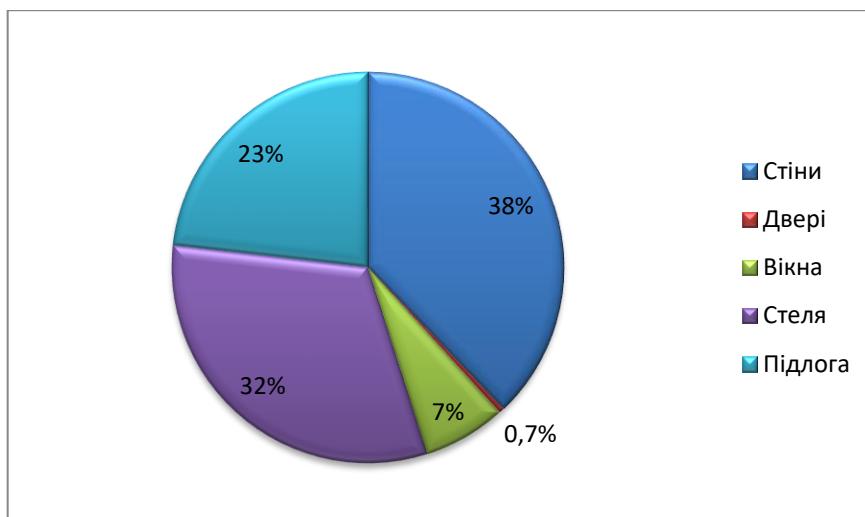


Рисунок 2.13 - Розподіл тепловтрат через огорожувальні конструкції

Тепловий енергобаланс демонструє, що найбільша частка теплової енергії втрачається через стіни.

2.8 Перелік впроваджених заходів з енергоефективності

Запропоновані заходи зі збереження електричної та теплової енергії продемонструємо в таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 – Впроваджені заходи з енергоефективності

Назва заходу	Витрати на впровадження заходу, грн	Річна економія, грн/рік	Річна Економія електричної (кВт·год/рік)/ теплової енергії, (МВт/рік)	Простий термін окупності
1	2	3	4	5
Заміна внутрішнього освітлення	39 179	25 843	6 626,4	1 рік та 6 місяців
Заміна насосів по перекачці молока	45 000	33 037	8 471	1 рік та 4 місяці
Впровадження частотного регулювання електропривода насосних установок	58 161	30 307	7 770,96	1 рік та 11 місяців
Утеплення зовнішніх стін	803 389	385 796	194,65	2 роки
Заміна дерев'яних вікон на металопластикові	187 744	59 202	29,87	3 роки та 2 місяці

1	2	3	4	5
Впровадження теплової завіси	43 456	36 291	18,31	1 рік
Промивка системи опалення	110 000	253 558	127,93	5 місяців
Теплоізоляція паропроводів та трубопроводів гарячого водопостачання	38 635	161 811	81,64	3 місяці

2.9 Оцінка відповідності стану існуючої на об'єкті системи енергетичного менеджменту вимогам ДСТУ ISO 50001:2020

Проведено оцінку відповідності стану існуючої системи енергетичного менеджменту на молокозаводі до положень стандарту ISO 50001 і продемонстровано в таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 – Оцінка стану впровадження СЕнМ на підприємстві

Назва компоненту СЕнМ	Питання	Оцінка стану
Сфера застосування СЕнМ	Чи задокументовані всі джерела енергії в СЕнМ?	5
Залучення найвищого керівництва	Чи приймає найвище керівництво участь у перевірці результатів СЕнМ ?	2
Ролі та обов'язки в СЕнМ	Чи наявна команда з енергетичного менеджменту, яка відповідальна за енергетичні показники?	2
Енергетична політика	Чи розроблена та доведена до всього персоналу енергетична політика?	3
Енергетичні дані	Чи проводиться аналіз зібраних даних?	3
Енергетичний баланс та Суттєве використання енергії	Чи побудований енергетичний баланс?	3
	Чи визначенні СВЕ відповідно до балансу?	0
Експлуатація і технічне обслуговування	Чи розроблені процедури оперативного контролю стану обладнання?	3
Внутрішній аудит СЕнМ	Чи описаний процес та план проведення внутрішніх аудитів СЕнМ?	2

Отже, проаналізувавши стан існуючої системи енергетичного менеджменту на даному об'єкті, можна зробити висновок, що вона знаходиться не в дуже поганому стані, але й не в найкращому, тому підприємству потрібно вдосконалювати дану систему.

2.10 Представлення «Енергетичної політики» підприємства

Згідно ISO 50001 енергетична політика - офіційна заява найвищого керівництва організації про основні наміри та напрямки діяльності і зобов'язання щодо її енергетичної результативності [3].

В загальному стандарт ISO 50001 встановлює наступні вимоги до енергетичної політики:

- відповідати намірам організації;
- бути основою для встановлення та перегляду цілей і завдань;
- містити зобов'язання щодо наявності інформації й необхідних ресурсів для досягнення поставлених цілей і завдань, щодо постійного підвищення рівня енергетичної результативності.

Представимо енергетичну політику даного молокозаводу.

Дане підприємство зобов'язується:

1. Прагнути до ефективного та раціонального використання енергетичних ресурсів для виробництва молочної продукції.
2. Забезпечувати надійну експлуатацію технологічного обладнання за рахунок періодичних перевірок та своєчасного ремонту.
3. Покращувати показники енергетичної ефективності, за рахунок впровадження заходів з енергозбереження.
4. Використовувати відновлюванні джерела енергії, такі як сонячна, вітрова енергія.
5. Підвищувати обізнаність персоналу з питань раціонального використання енергетичних ресурсів та енергозбереження.
6. Постійно поліпшувати системи енергетичного менеджменту відповідно до вимог ISO 50001.

Висновок до розділу 2

В даному розділі було поведено енергетичне обстеження підприємства молочної галузі, а саме цеху по переробці молока. Основними первинними енергоносіями підприємства, що закуповуються є вугілля, брикети (соняшник) та електрична енергія. Підприємство має стабільний обсяг виробництва основних видів продукції протягом всього року. Проаналізувавши все електроспоживаюче обладнання цеху по переробці молока був складений баланс споживання електричної енергії (рис.2.11). Баланс показує, що найбільшу частку споживає робота насосів, а саме 33% від всього електроспоживання. Тепловий енергобаланс (рис.2.12) демонструє, що найбільша частка теплової енергії втрачається через стіни. Основні заходи з енергоефективності, які були запропоновані для впровадження стосуються ефективного споживання електричної та теплової енергії та продемонстровані в таблиці 2.6.

Також, в даному розділі був проаналізований стан системи енергетичного менеджменту на молокозаводі та був зроблений висновок, що підприємству потрібно вдосконалювати дану СЕнМ, щоб в майбутньому зберегти більше енергоресурсів та відповідно грошей.

3 МОНІТОРИНГ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТІ ЗАХОДІВ З ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА МОЛОЧНОЇ ГАЛУЗІ

3.1 Побудова базових рівнів енергетичного споживання за допомогою лінійної регресії

Визначимо модель базового рівня споживання електричної енергії та вугілля, базуючись на середніх значеннях отриманих за березень місяць 2020 року.

В якості чинників, які впливають на споживання енергетичних ресурсів, в даному випадку на споживання електричної енергії та вугілля, обрано:

- обсяг переробленого молока, м³/год;
- вхідний тиск насосів, кПа;
- середня температура зовнішнього повітря, °С;
- середня температура внутрішнього повітря, °С.

Вибір факторів саме такий, оскільки це єдині параметри, які вимірювалися на даному підприємстві кожен день впродовж місяця. В таблиці 3.1 продемонстровано середні значення перелічених чинників, що впливають на енергоспоживання відповідно значення спожитої електроенергії в кВт*год та спожитого вугілля в тоннах.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані для визначення базового рівня енергоспоживання

Дата	Споживання електричної енергії (W_1), кВт*год	Споживання вугілля (W_2), т	Обсяг перероблено го молока (Q), м ³ /год	Тиск (p), кПа	Середня температура зовнішнього повітря (t_z), °С	Середня температура внутрішнього повітря ($t_{\text{в}}$), °С
1	2	3	4	5	6	7
01.08.2020	1628,34	1366,45	5,967	26,9	3,7	16,8
02.08.2020	1700,23	1380,36	7,523	26,8	4,5	17
03.08.2020	1801,5	1301,1	7,935	26,9	6,4	17,2
04.08.2020	1688,23	1298,33	6,002	26,1	9,8	17,5
05.08.2020	1625,34	1288,39	6,189	26,3	12,4	18
06.08.2020	1700,36	1293,2	6,899	27,1	12	17,2
07.08.2020	1719,33	1386,23	6,967	27,2	8,4	16,2

1	2	3	4	5	6	7
08.08.2020	1895,37	1279,25	8,923	29,1	9,6	16,2
09.08.2020	1605,97	1260,55	6,123	26,2	10,9	16,8
10.08.2020	1523,96	1366,7	5,223	26,1	14	17
11.08.2020	1600,12	1300,2	6,122	26,3	9,4	17,3
12.08.2020	1719	1320,33	6,2	26,15	9,4	17,5
13.08.2020	1789	1353,2	7,3	27,6	9,8	17,8
14.08.2020	1801,23	1361,89	8,896	29	5,5	16,2
15.08.2020	1752,36	1380,62	7,665	27,8	2	16
16.08.2020	1688,2	1480,22	6	26,3	1,5	16
17.08.2020	1662,2	1487	7,235	27,5	2,9	16,3
18.08.2022	1598,99	1459,32	5,998	26,7	5,3	16,8
19.08.2020	1703,6	1342,58	7,124	27,5	8,6	16,8
20.08.2020	1688,2	1398,9	6,2	27,1	9,9	17,1
21.08.2020	1642	1356,88	6,996	27,2	7	17,2
22.08.2020	1719	1390,65	6,895	27,3	1,2	16,3
23.08.2020	1782	1388,25	7,125	27,4	1,1	16,1
24.08.2020	1850,23	1375,26	8,986	29,1	2,2	16
25.08.2020	1752,36	1479,14	7,12	27,6	2,4	16
26.08.2020	1688,77	1324,25	6,125	26,8	5,7	16,2
27.08.2020	1702,99	1320,89	6,598	27	9,5	17,2
28.08.2020	1791,34	1230,89	7,562	27,8	10,9	17,8
29.08.2020	1726	1398,2	7,225	27,6	11,2	17,6
30.08.2020	1689,23	1260,47	6,598	26,9	12,2	17,9
31.08.2020	1723,25	1420,3	8,256	28,8	0,8	16,8

Регресійний аналіз даних проведено за допомогою функції «Аналіз даних» Microsoft Excel. Спочатку проведено регресійний аналіз для споживання електричної енергії, тому в якості вхідного інтервалу Y обрано дані по споживанню електричної енергії, а в якості вхідного інтервалу X обрано чинники, які були перелічені в таблиці 3.1, даний крок продемонстровано на рисунку 3.1. Рівень надійності при аналізі було встановлено 90%.

При отриманні результату регресійного аналізу, в першу чергу потрібно обов'язково звернути увагу на такий критерій, як Р – значення- ймовірність відхилення гіпотези, показує зв'язок між двома величинами. Якщо Р-значення більше встановленого рівня значимості, в даному випадку більше 0,1, то чинник бажано видалити з отриманої моделі і провести регресійний аналіз, ще раз, але вже без цього чинника.

Результат першого регресійного аналізу (рис.3.2) показав, що Р-значення другого, третього та четвертого чинника набагато більше ніж 0,1, тобто вони є незначимі, потрібно вибрати з них найбільший, в даному випадку це третій чинник, а саме тиск та провести ще один регресійний аналіз, але вже без цього фактору. Вилучивши даний чинник, все одно Р-значення середньої температури зовнішнього та внутрішнього повітря були більше ніж 0,1, тому проводимо аналогічну процедуру, до того моменту поки Р-значення чинників, які залишаться не буде меншим за 0,1. Послідовність даного етапу детальніше продемонстровано в Додатку Б (рис.Б.1, рис.Б.2).

2									
3	<i>Регрессионная статистика</i>								
4	Множественный R	0,840584635							
5	R-квадрат	0,706582529							
6	Нормированный R-квадрат	0,66144138							
7	Стандартная ошибка	45,8286857							
8	Наблюдения	31							
9									
10	Дисперсионный анализ								
11		<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Значимость F</i>			
12	Регрессия	4	131499,7959	32874,94898	15,6527368	1,21703E-06			
13	Остаток	26	54606,97925	2100,268433					
14	Итого	30	186106,7752						
15									
16	<i>КоэффициентСтандартная ошибкаt-статистикаP-ЗначениеНижные 95%Верхние 95%нижные 90,0%верхние 90,0%</i>								
17	Y-пересечение	1490,182603	699,7223984	2,129676864	0,04282961	51,88261408	2928,48259	296,7235413	2683,641664
18	Переменная X 1	76,51892983	21,61443051	3,540177928	0,00153141	32,08983161	120,948028	39,65296982	113,3848898
19	Переменная X 2	-7,88428052	24,3164001	-0,32423716	0,74835261	-57,86735678	42,0987957	-49,3587683	33,59020724
20	Переменная X 3	0,887833422	3,129805934	0,283670439	0,77890963	-5,545574812	7,32124166	-4,45041966	6,226086508
21	Переменная X 4	-6,318429827	20,08653446	-0,314560475	0,75560583	-47,60689273	34,9700331	-40,5783829	27,94152329

Рисунок 3.2 – Результат першого регресійного аналізу

3	Регрессионная статистика								
4	Множественный R	0,889411591							
5	R-квадрат	0,81461182							
6	Нормированный R-квадрат	0,69442602							
7	Стандартная ошибка	43,53902002							
8	Наблюдения	31							
9									
10	Дисперсионный анализ								
11		df	SS	MS	F	Значимость F			
12	Регрессия	1	131133,0335	131133,0335	69,17589849	3,6143E-09			
13	Остаток	29	54973,74165	1895,646264					
14	Итого	30	186106,7752						
15									
16	Коэффициент		Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 90,0%	Верхние 90,0%
17	Y-пересечение	1220,469838	59,17750708	20,62388055	7,12943E-19	1099,438246	1341,50143	1119,91974	1321,01994
18	Переменная X 1	70,02660021	8,419487133	8,317204969	3,6143E-09	52,80681556	87,2463849	55,7208221	84,3323783

Рисунок 3.3 – Кінцевий результат регресійного аналізу для побудови математичної моделі базового рівня споживання електричної енергії

Як видно з рисунку 3.3 залишився лише один найвпливовіший чинник, а саме обсяг переробленого молока. Також потрібно звернути увагу на такі критерії як R^2 та F-значення. Якщо значення R^2 більше або дорівнює 0,8, та F-значення менше 0,1, то можна вважати, що отримана модель є значима і її можна використовувати надалі для моніторингу енергетичної ефективності.

Визначивши коефіцієнти рівняння лінійної регресії, отримаємо математичну модель базового рівня споживання електричної енергії:

$$W_1 = 1220,47 + 70,026 \cdot Q \quad (3.1)$$

В даному випадку бачимо, що дані критерії R^2 та F-значення відповідають вище описаним вимогам, отже отримана модель значима.

Аналогічно проведемо регресійний аналіз для споживання вугілля. Проміжні результати продемонстровано в додатку Б на рисунку Б.3. Остаточний результат показано на рисунку 3.4.

Як видно з рисунку 3.4 залишилось три найвпливовіших чинників, а саме обсяг переробленого молока, тиск та зовнішня температура повітря. Визначивши коефіцієнти рівняння лінійної регресії, отримаємо математичну модель базового рівня споживання вугілля:

$$W_2 = 653,692 - 52,156 \cdot Q + 42,288 \cdot t_3 - 12,024 \cdot t_B \quad (3.2)$$

Але в даному випадку бачимо, що критерій R^2 менше ніж 0,8, це означає, що при побудові моделі були врахованні не всі чинники, або зібрані дані не є точними, тому отримана модель не є точною. В такому випадку

потрібно зібрати ще дані на підприємстві, які можуть впливати на споживання вугілля і провести регресійний аналіз повторно.

3	Регрессионная статистика								
4	Множественный R	0,744360676							
5	R-квадрат	0,554072817							
6	Нормированный R-	0,504525352							
7	Стандартная ошибка	46,7996999							
8	Наблюдения	31							
9									
10	Дисперсионный анализ								
11		df	SS	MS	F	Значимость F			
12	Регрессия	3	73477,23362	24492,41	11,18266734	5,99579E-05			
13	Остаток	27	59135,7216	2190,212					
14	Итого	30	132612,9552						
15									
16	Коэффициенты	Стандартная ошибка	татистика	P-Значение	Нижние 95%	Верхние 95%	Нижние 90,0%	Верхние 90,0%	
17	Y-пересечение	653,6922682	521,8883197	1,252552	0,221109551	-417,1341123	1724,518649	-235,234077	1542,618613
18	Переменная X 1	-52,15598789	21,56338788	-2,41873	0,022589876	-96,40040519	-7,91157059	-88,8846573	-15,42731846
19	Переменная X 2	42,2884849	23,82312992	1,775102	0,08715681	-6,592540064	91,16950987	1,71082297	82,86614684
20	Переменная X 3	-12,02448252	2,299277575	-5,22968	1,64385E-05	-16,74221041	-7,30675462	-15,9408154	-8,108149591
21									

Рисунок 3.4 – Результат регресійного аналізу для побудови математичної моделі базового рівня споживання вугілля

3.2 Побудова базового рівня споживання електричної енергії за допомогою методу найменших квадратів

За допомогою Microsoft Excel обравши функцію «КОРРЕЛ» визначимо коефіцієнт кореляції між споживанням електричної енергії та кожним з чинників: обсяг переробленого молока, тиск, температура зовнішнього та внутрішнього повітря, дані для розрахунку взято з таблиці 3.1. Отримаємо: $R_{(W1,Q)} = 0,839$, $R_{(W1,p)} = 0,75$, $R_{(W1,t3)} = -0,276$, $R_{(W1,tb)} = -0,27$.

Порівняємо розраховані значення по модулю і виберемо, який з цих факторів є найбільш впливовий. Як бачимо більше значення по модулю має $R_{(W1,Q)} = 0,839$. Значення вибраного коефіцієнта кореляції $> 0,8$, це означає, що між даними по споживанню електричної енергії та обсягом переробленого молока спостерігається тісний лінійний зв'язок.

Наступним кроком визначимо коефіцієнти лінійної однофакторної регресії. За допомогою Microsoft Excel та функції «СТАНДОТКЛОН», розрахуємо середньоквадратичне відхилення і отримаємо значення: $\sigma_{w1} = 78,763$; $\sigma_Q = 0,944$ та за допомогою функції «СРЗНАЧ» отримаємо середні значення: $\bar{W}_1 = 1708,35$ кВт · год; $\bar{Q} = 6,967$ м³/год.

Отже, отримаємо коефіцієнти за наступними формулами:

$$b = R_{(W_1, Q)} \cdot \frac{\sigma_{W_1}}{\sigma_Q}, \quad (3.3)$$

$$b = 0,839 \cdot \frac{78,763}{0,944} = 70,026;$$

$$a = \bar{W}_1 - b \cdot \bar{Q}, \quad (3.4)$$

$$a = 1708,35 - 70,026 \cdot 6,967 = 1220,47.$$

Отже, отримаємо рівняння лінійної однофакторної регресії:

$$W_1 = 1220,47 + 70,026 \cdot Q \quad (3.5)$$

Відмітимо, що в даному випадку за допомогою методу лінійної регресії та найменших квадратів було побудовано однакову математичну модель базового рівня споживання електричної енергії.

3.3 Моніторинг енергетичної результативності за допомогою метода Вальда

В період 2020-2021 року на підприємстві були впроваджені заходи з енергозбереження, що представлені в другому розділі таблиці 2.6. Після впровадження даних заходів впродовж березня місяця були зібрані нові дані по споживанню електричної енергії, а також дані про обсяги переробленого молока та занесені в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Дані по споживанню електричної енергії після впровадження заходів з енергоефективності

Дата	Споживання електричної енергії ($W_{\text{факт}}$), кВт•год	Обсяг переробленого молока (Q), м ³ /год
1	2	4
01.08.2021	1548,34	5,072
02.08.2021	1625,23	6,395
03.08.2021	1711,5	6,745
04.08.2021	1700,23	5,102
05.08.2021	1550,34	6,715
06.08.2021	1610,36	5,865
07.08.2021	1634,33	5,922
08.08.2021	1815,37	7,585
09.08.2021	1525,97	5,205
10.08.2021	1448,96	4,44

Продовження таблиці 3.2

1	2	3
11.08.2021	1510,12	5,892
12.08.2021	1629	6,2
13.08.2021	1704	7,65
14.08. 2021	1711,23	9,246
15.08. 2021	1662,36	6,515
16.08. 2021	1598,2	5,1
17.08.2021	1577,2	6,15
18.08.2021	1518,99	5,098
19.08.2021	1628,6	6,055
20.08.2021	1598,2	5,27
21.08.2021	1557	5,947
22.08.2021	1634	7,895
23.08.2021	1707	7,125
24.08.2021	1760,23	8,786
25.08.2021	1667,36	6,052
26.08.2021	1608,77	5,20
27.08.2021	1627,99	5,608
28.08.2021	1701,34	7,912
29.08.2021	1641	7,813
30.08.2021	1599,23	5,608
31.08.2021	1633,25	7,018

Для початку потрібно встановити межі довірчих інтервалів математичної моделі базового рівня споживання електричної енергії, яка була отримана в підрозділі 3.1 та 3.2. Оскільки, в даному випадку було отримане лінійне однофакторне рівняння регресії, тоді верхня та нижня межі можуть бути визначені за формулою (1.5), яка наведена в підрозділі 1.4.

Отже, наведемо приклад розрахунку меж довірчих інтервалів для 1-го березня:

- Розрахункове (очікуване) значення витрат електроенергії, отримано за допомогою багатфакторного рівняння регресії буде становити :

$$W_{\text{очік.1}} = 1220,74 + 70,026 \cdot 5,072 = 1575,638 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

- Згідно [32] значення коефіцієнта Стюдента для ступенів свободи $f_e = 31-1=30$ і для рівня значимості $\alpha = 0,95$ буде становити: $T\left(\frac{0,95}{2}, 30\right) = 2,042$.

- Середньоквадратичне відхилення індивідуальних значень фактичних витрат електроенергії від результатів моделювання за допомогою визначеного рівняння регресії визначимо за допомогою Microsoft Excel та функції «СТАНДОТКЛОН» і отримаємо: $S_e = 82,131$.

- Число одиниць сукупності становить $N = 31$.
- Середнє значення змінної Q становить: $Q_{\text{сер}} = 6,361$.
- Дисперсія за вибіркою індивідуальних значень змінної визначимо за допомогою Microsoft Excel та функції «Дисп» і отримаємо: $D(Q) = 1,392$.

Отже, верхня та нижня межа довірчого інтервалу значень споживання електричної енергії для 1-го березня становлять:

$$W_{\text{верх}} = 1575,638 + 2,042 \cdot 82,131 \sqrt{1 + \frac{1}{31} + \frac{(6,361 - 1,392)^2}{31 \cdot 1,392}}$$

$$= 1749,18 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

$$W_{\text{нижн}} = 1575,638 - 2,042 \cdot 82,131 \sqrt{1 + \frac{1}{31} + \frac{(6,361 - 1,392)^2}{31 \cdot 1,392}}$$

$$= 1402,09 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Аналогічні розрахунки проведено для інших днів місяця та продемонстровано їх в таблиці 3.3. На рисунку 3.5 зобразимо межі довірчих інтервалів та значення фактичного споживання електричної енергії.

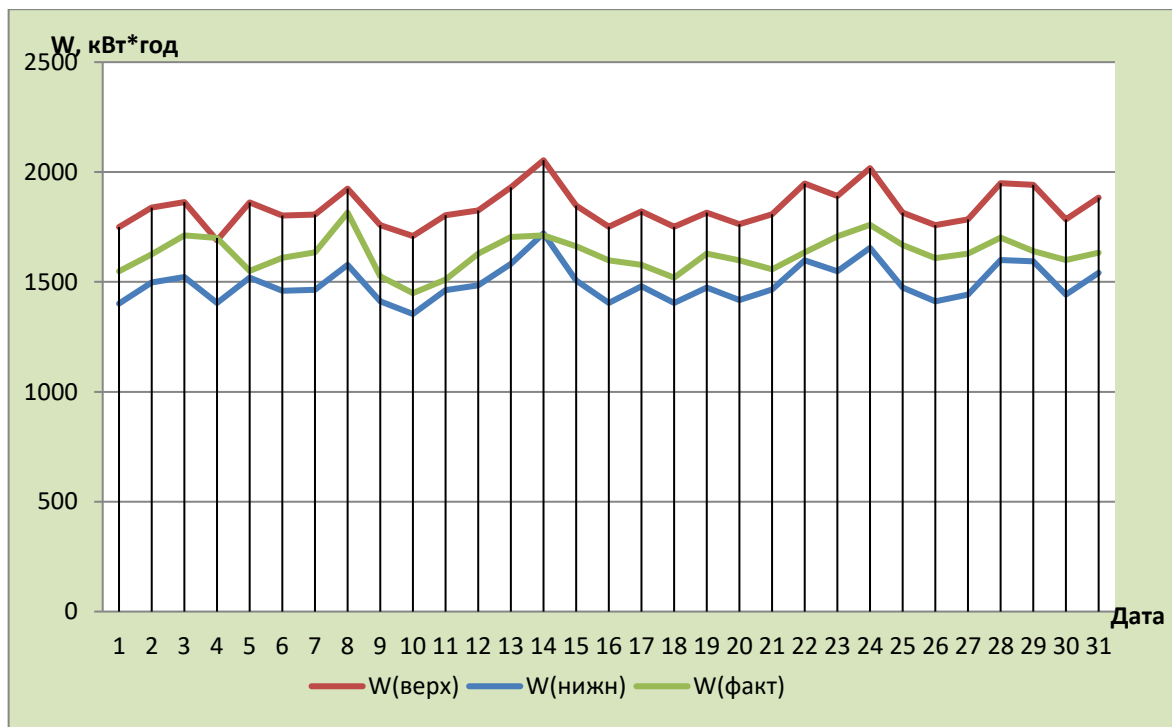


Рисунок 3.5 – Графік меж довірчих інтервалів та значення фактичного споживання електричної енергії

Таблиця 3.3- Розрахунок довірчих меж для значень споживання електроенергії за березень 2021 року

Дата	Q , м ³ /ГОД	$W_{\text{факт}}$, кВт•ГОД	$W_{\text{очік}}$, кВт•ГОД	$T\left(\frac{\alpha}{2}, f_e\right)$	S_e	$\sqrt{1 + \frac{1}{N} + \frac{(X_{\text{сер}} - X(p))^2}{N \cdot D(X)}}$	$W_{\text{верх}}$, кВт•ГОД	$W_{\text{ниж}}$, кВт•ГОД
01.08	5,072	1548,34	1575,638	2,042	82,131	1,035	1749,183	1402,093
02.08	6,395	1625,23	1668,255	2,042	82,131	1,016	1838,652	1497,858
03.08	6,745	1711,5	1692,778	2,042	82,131	1,018	1863,454	1522,102
04.08	5,102	1700,23	1577,743	2,042	82,131	1,034	1688,85	1404,342
05.08	6,715	1550,34	1690,695	2,042	82,131	1,017	1861,33	1520,06
06.08	5,865	1610,36	1631,113	2,042	82,131	1,019	1801,979	1460,247
07.08	5,922	1634,33	1635,16	2,042	82,131	1,018	1805,923	1464,397
08.08	7,585	1815,37	1751,586	2,042	82,131	1,033	1924,821	1578,351
09.08	5,205	1525,97	1584,924	2,042	82,131	1,031	1757,858	1411,99
10.08	4,44	1448,96	1531,354	2,042	82,131	1,057	1708,671	1354,037
11.08	5,892	1510,12	1633,063	2,042	82,131	1,019	1803,878	1462,248
12.08	6,2	1629	1654,631	2,042	82,131	1,016	1825,075	1484,187
13.08	7,65	1704	1756,169	2,042	82,131	1,035	1929,714	1582,624
14.08	9,246	1711,23	1867,93	2,042	82,131	1,107	2053,567	1720,66
15.08	6,515	1662,36	1676,707	2,042	82,131	1,016	1847,147	1506,267
16.08	5,1	1598,2	1577,603	2,042	82,131	1,034	1751,013	1404,193
17.08	6,15	1577,2	1651,112	2,042	82,131	1,017	1821,592	1480,632
18.08	5,098	1518,99	1577,484	2,042	82,131	1,034	1750,902	1404,066
19.08	6,055	1628,6	1644,505	2,042	82,131	1,017	1815,078	1473,932
20.08	5,27	1598,2	1589,507	2,042	82,131	1,029	1762,164	1416,85
21.08	5,947	1557	1636,887	2,042	82,131	1,018	1807,61	1466,164
22.08	7,895	1634	1773,325	2,042	82,131	1,042	1948,164	1598,486
23.08	7,125	1707	1719,405	2,042	82,131	1,023	1890,913	1547,897
24.08	8,786	1760,23	1835,718	2,042	82,131	1,081	2017,015	1654,421
25.08	6,052	1667,36	1644,267	2,042	82,131	1,017	1814,844	1473,69
26.08	5,20	1608,77	1585,043	2,042	82,131	1,031	1757,97	1412,116
27.08	5,608	1627,99	1613,197	2,042	82,131	1,022	1784,672	1441,722
28.08	7,912	1701,34	1774,516	2,042	82,131	1,043	1949,453	1599,579
29.08	7,813	1641	1767,583	2,042	82,131	1,040	1941,965	1593,201
30.08	5,608	1599,23	1613,197	2,042	82,131	1,022	1784,672	1441,722
31.08	7,018	1633,25	1711,884	2,042	82,131	1,021	1883,102	1540,666

Після встановлення меж довірчого інтервалу проведемо моніторинг впроваджених заходів з енергоефективності за допомогою методу Вальда.

Як бачимо з таблиці 3.3 та рисунку 3.5, значення фактичного споживання електричної енергії за перше березня не виходить за межі нижнього та верхнього довірчого інтервалу. Отже, після першого контролю ($n=1$) ефективність електровикористання на об'єкті відповідає заданому рівню та не виходить за межі, тоді $m_1=1$ та $m_2=1$. Результат наступних двох контролів був аналогічним, тобто величини $m_1=3$ та $m_2=3$. (рис.3). Після четвертого контролю величина фактичного електроспоживання перевищує верхню межу, це означає, що на об'єкті відбулося зниження ефективності електровикористання відносно заданого її рівня і тоді m_1 залишається незмінним. Визначені таким чином величини m_1 та m_2 всіх наступних контролів наведено на рисунку 3.6 та 3.7.

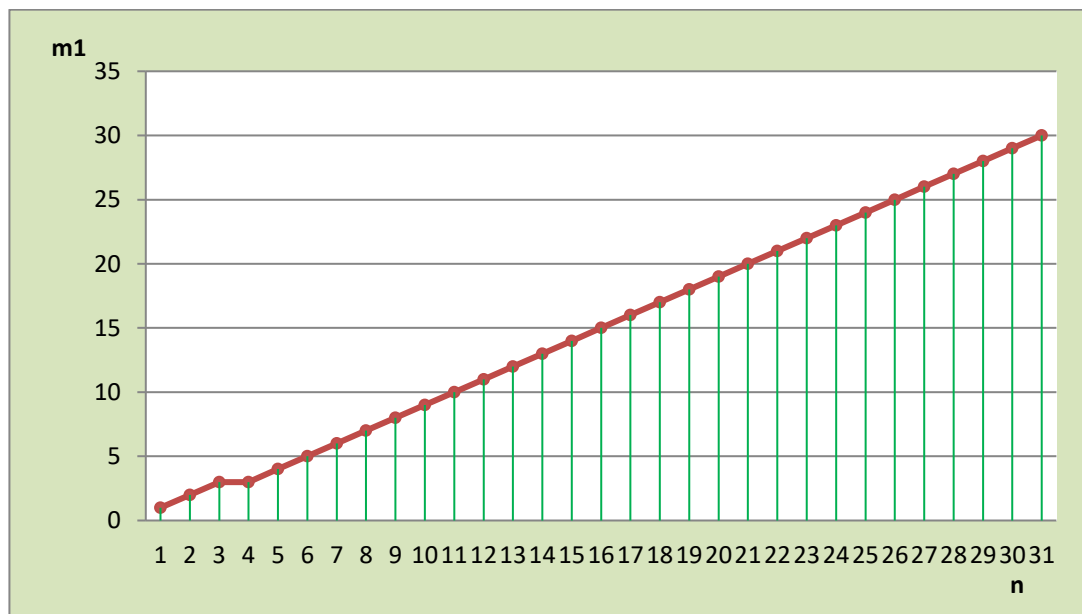


Рисунок 3.6 – Контроль виходу фактичного споживання електроенергії за верхню межу довірчого інтервала

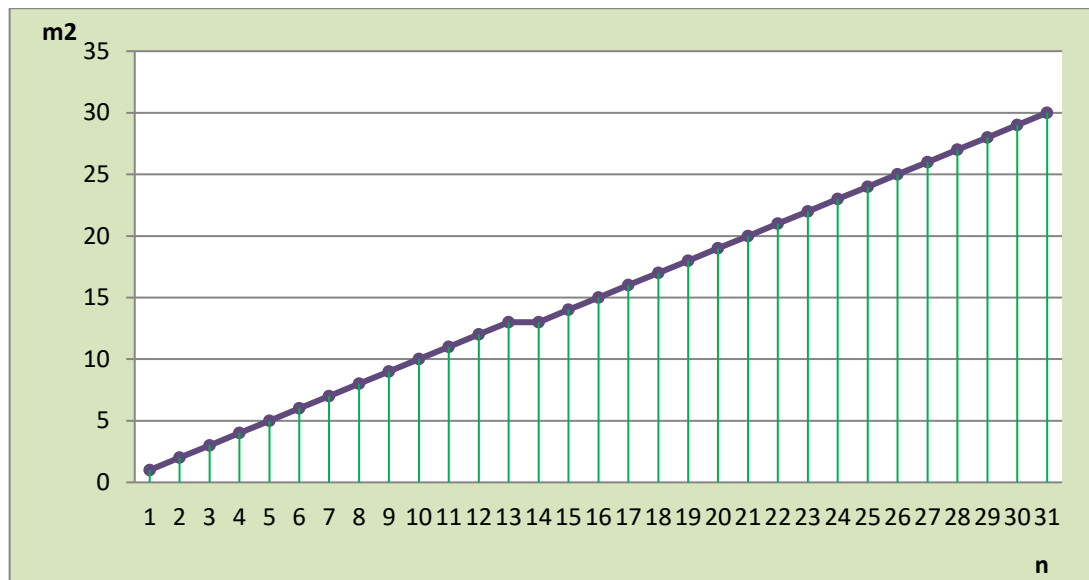


Рисунок 3.7 – Контроль виходу фактичного споживання електроенергії за нижню межу довірчого інтервала

Як було зазначено в підрозділі 2.4, при застосуванні методики послідовного аналізу Вальда необхідно заздалегідь визначити певний план контролю. Приймаємо, що $p_0 = 5\%$, $p_1 = 15\%$. Використовуючи типові операційні характеристики [33], за обраними значеннями p_0 та p_1 визначимо ймовірності появи похибок першого та другого роду: $\alpha = 0,1$; $\beta = 0,15$.

Відповідно формул (1.8) - (1.10) визначимо параметри h_1 та s які являють собою карту контролю:

$$h_1 = \frac{\ln \frac{1 - 0,15}{0,1}}{\ln \frac{0,05}{0,15} - \ln \frac{1 - 0,05}{1 - 0,15}} = 1,348;$$

$$s = \frac{\ln \frac{1 - 0,05}{1 - 0,15}}{\ln \frac{0,05}{0,15} - \ln \frac{1 - 0,05}{1 - 0,15}} = 0,092.$$

Отже, тепер перевіримо, чи випадково рівень енергоефективності відрізнявся від заданого, чи ні. Для цього перевіримо виконання нерівності:

$$m_{1,2} \geq h_1 + s \cdot n, \quad (3.6)$$

де $m_{1,2}$ - це кількість фактичного споживання електричної енергії за які виходять за межі верхнього (1) та нижнього (2) довірчого інтервалу;

n – кількість проведених контролів.

Оскільки, в даному випадку фактичне споживання електроенергії один раз виходило, як за верхні межі, так і за нижні, то маємо однакову нерівність:

$$1 \geq 1,348 + 0,092 \cdot 31;$$

$$1 \geq 4,2, \text{ бачимо що рівність не виконується.}$$

Отже, оскільки зазначена нерівність не виконується, то приймається, що ефективність електровикористання на даному об'єкті відповідає заданому рівню, а всі зафіксовані в процесі контролю відхилення фактичних обсягів споживання енергії від встановленого базового рівня є випадковими.

3.4 Моніторинг енергетичної результативності за допомогою графіка CUSUM

Проведемо моніторинг енергетичної результативності після впровадження заходів з ефективного використання електричної енергії за допомогою графіка кумулятивних сум (CUSUM).

Для початку визначимо очікуване споживання електричної енергії на березень місяці, для цього в математичну модель базового рівня споживання електроенергії, яку було отримано в підрозділі 3.1 підставляємо дані з таблиці 3.2. Тоді за формулою 3.1 за 1-ше березня очікуване споживання електроенергії буде становити:

$$W_{\text{очік.1}} = 1220,74 + 70,026 \cdot 5,072 = 1575,638 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Наступним визначимо $EnPC$ - відношення загального (фактичного) споживання електроенергії до очікуваного за формулою :

$$EnPC_i = \frac{W_{\text{факт.і}}}{W_{\text{очік.і}}}, \quad (3.7)$$

де $W_{\text{факт.і}}$ – фактичний обсяг споживання електричної енергії за відповідний період, кВт·год;

$W_{\text{очік.і}}$ - розрахований обсяг споживання електричної енергії за допомогою встановленого базового рівня протягом відповідного періоду, кВт·год;

Тоді за формулою (3.6) обчислимо $EnPC$ за 1-ше березня:

$$EnPC_1 = \frac{1548,34}{1575,638} = 0,98.$$

Отримане значення вийшло менше 0,1, отже одразу можемо зробити висновок, що в цей день відбулась економія електричної енергії.

Визначимо величину відхилень фактичного обсягу споживання електричної енергії відносно очікуваного значення за формулою:

$$\Delta W_i = W_{\text{факт.і}} - W_{\text{очік.і}} \quad (3.8)$$

Тоді за формулою (3.7) маємо:

$$\Delta W_1 = 1548,34 - 1575,638 = -27,298 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Отримане значення вийшло від'ємне, отже це ще раз підтверджує, що першого березня відбулась економія електричної енергії на 27, 298 кВт·год.

Значення кумулятивної суми відхилення фактичного споживання електроенергії на k -му кроці контролю від очікуваного (базового) значення розраховується за наступною формулою:

$$\Delta W_{\Sigma k} = \sum_{i=1}^k \Delta W_i = \Delta W_{\Sigma k-1} + \Delta W_k, \quad (3.9)$$

де $\Delta W_{\Sigma k-1}$ - сумарне відхилення споживання електроенергії від його встановлених значень за допомогою базового рівня протягом попередніх $k-1$ періодів контролю, кВт·год;

ΔW_k - відхилень фактичного обсягу споживання електричної енергії відносно очікуваного значення протягом відповідного періоду, кВт·год;

Тоді за формулою (3.8) значення кумулятивної суми за 1-ше березня буде дорівнювати отриманому значенню величини відхилень фактичного обсягу споживання електричної енергії відносно очікуваного за 1-ше число $\Delta W_{\Sigma k} = -27,298 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$

Аналогічні розрахунки проводимо для наступних днів місяця за допомогою Microsoft Excel і отримані дані заносимо в таблицю 3.4.

Таблиця 3.4 – Дані для побудови графіка CUSUM

Дата	$W'_{\text{факт}},$ кВт•год	$Q',$ м ³ /год	$W'_{\text{очік.}},$ кВт•год	ЕпРС	$\Delta W,$ кВт•год	$\Delta W_{\Sigma k},$ кВт•год
1	1548,34	5,07195	1575,638	0,982675	-27,2984	-27,2984
2	1625,23	6,39455	1668,255	0,97421	-43,0248	-70,3231
3	1711,5	6,74475	1692,778	1,01106	18,72214	-51,601
4	1700,23	5,102	1577,743	1,077635	122,4873	70,88636
5	1550,34	6,715	1690,695	0,916984	-140,355	-69,4682
6	1610,36	5,86415	1631,113	0,987277	-20,753	-90,2212
7	1634,33	5,92195	1635,16	0,999492	-0,83047	-91,0517
8	1815,37	7,58455	1751,586	1,036415	63,7843	-27,2674
9	1525,97	5,20455	1584,924	0,962803	-58,9538	-86,2212
10	1448,96	4,43955	1531,354	0,946195	-82,3939	-168,615
11	1510,12	5,892	1633,063	0,924716	-122,943	-291,558
12	1629	6,2	1654,631	0,984509	-25,6312	-317,19
13	1704	7,65	1756,169	0,970294	-52,1689	-369,358
14	1711,23	9,246	1867,93	0,91611	-156,7	-526,059
15	1662,36	6,51525	1676,707	0,991443	-14,3469	-540,406
16	1598,2	5,1	1577,603	1,013056	20,5974	-519,808
17	1577,2	6,14975	1651,112	0,955235	-73,9124	-593,721
18	1518,99	5,0983	1577,484	0,96292	-58,4936	-652,214
19	1628,6	6,0554	1644,505	0,990328	-15,9054	-668,12
20	1598,2	5,27	1589,507	1,005469	8,69298	-659,427
21	1557	5,9466	1636,887	0,951196	-79,8866	-739,313
22	1634	7,895	1773,325	0,921433	-139,325	-878,639
23	1707	7,125	1719,405	0,992785	-12,4053	-891,044
24	1760,23	8,786	1835,718	0,958878	-75,4884	-966,532
25	1667,36	6,052	1644,267	1,014044	23,09265	-943,44
26	1608,77	5,20625	1585,043	1,014969	23,72714	-919,712
27	1627,99	5,6083	1613,197	1,00917	14,79318	-904,919
28	1701,34	7,912	1774,516	0,958763	-73,1757	-978,095
29	1641	7,813	1767,583	0,928386	-126,583	-1104,68
30	1599,23	5,6083	1613,197	0,991342	-13,9668	-1118,64
31	1633,25	7,0176	1711,884	0,954066	-78,6345	-1197,28

Побудуємо графік CUSUM (рис.3.8) та проаналізуємо його.

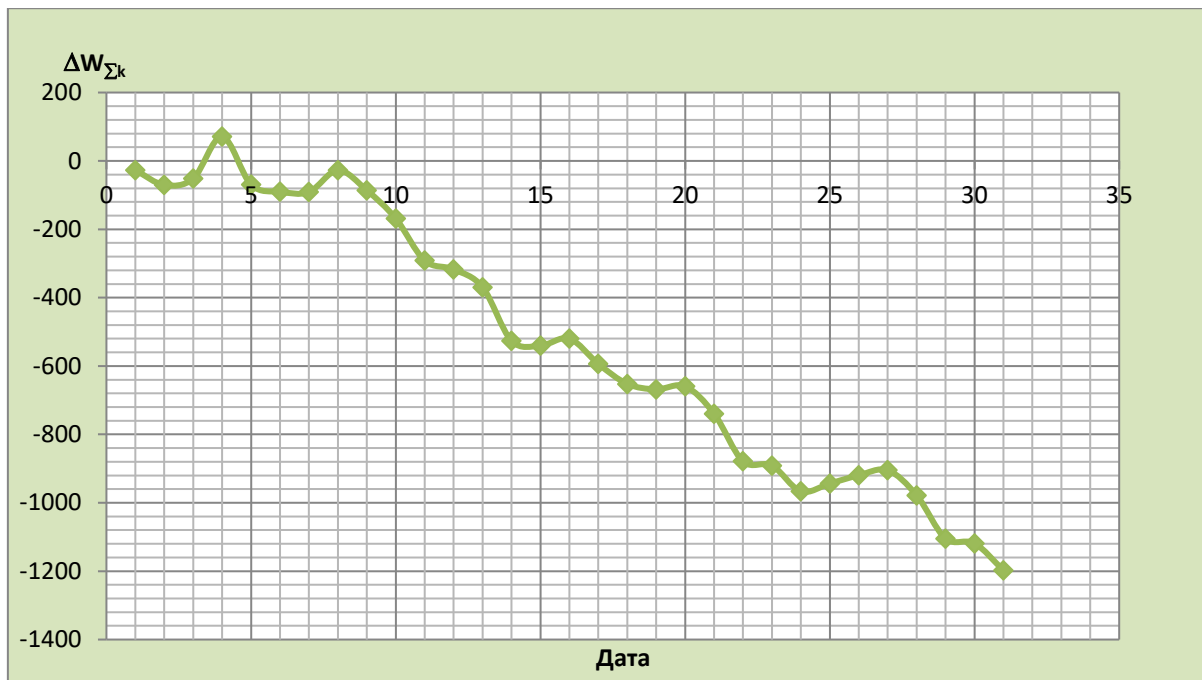


Рисунок 3.8 – Графік кумулятивної суми

Побудований графік CUSUM дає можливість контролювати (моніторити) ефективність використання електричної енергії після впровадження заходів з енергоефективності для обраного об'єкту. Отже, проведемо аналіз отриманої таблиці 3.4 та графіку на рисунку 3.8. Для початку відмітимо, що значення $EnPC$ за третю, четверту, восьму, шістнадцяту, двадцяту, двадцять п'яту, двадцять шосту та двадцять сьому добу більше 1, а це означає, що в цей час була перевитрата електричної енергії. Відповідно і значення відхилення фактичного обсягу споживання електричної енергії відносно очікуваного за перелічені є додатними, що теж підтверджує перевитрату і показує на скільки кВт•год вона була. За всі інші дні прослідковується економія по споживанню електричної енергії.

Після розрахунків реальної економії CUSUM (кумулятивна сума, яка показує саме накопичувану економії за відповідні проміжки часу) ми бачимо, що в кінці кінців за 31 добу ми отримали економію, що становить 1197,28 кВт•год. Як бачимо графік CUSUM, являє собою ламану лінію на зламі якої є точки, які показують отримання економії, або перевитрати, після впровадження заходів з енергоефективності. Якщо графік зростає, то це означає, що відбулась перевитрата, а якщо графік спадає, то відбулась

економія. Взагалом отриманий графік йде постійно на спад, але за 4 число явно прослідковується перевитрата по споживанню електричної енергії, тому потрібно детальніше проаналізувати дані саме за цей день. Також, графік показує, що невелика перевитрата відбувалась саме в ті дні, які було описано вище в даному аналізі.

Висновок до розділу 3

Метою даного розділу було розроблення моніторингу енергетичної результативності заходів з енергоефективності для підприємства молочної галузі, а саме цеху по переробці молока. За допомогою регресійного аналізу побудовано математичні моделі базові рівня по споживанню електричної енергії та вугілля. Було доведено, що побудована математична модель по споживанню вугілля не є достовірною, тому запропоновано зібрати додаткові чинники на підприємстві і провести аналіз повторно. В наслідок цього на підприємстві порібно встановити прилади обліку для чинників, фактичне значення яких неможливо було отримати шляхом прямого вимірювання.

Завдяки методу найменших квадратів, було підтверджено, що між даними по споживанню електричної енергії та обсягом переробленого молока спостерігається тісний лінійний зв'язок. Також, відмічено, що за допомогою методу лінійної регресії та найменших квадратів було побудовано однакову математичну модель базового рівня споживання електричної енергії.

Після впровадження заходів з енергоефективності був проведений послідовний моніторинг за допомогою метода Вальда, який показав, що в цеху по переробці молока ефективність електровикористання відповідає заданому рівню. Також, проведено моніторинг енергетичної результативності впроваджених заходів з енергоефективності за допомогою графіка кумулятивних сум (CUSUM), який показав, що в кінці кінців за березень місяць в цеху по переробці молока відбулась економія електричної енергії на 1197,28 кВт•год.

4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

4.1 Опис ідеї проекту

Ідея стартап-проекту полягає в створенні автоматизованої системи моніторингу та управління енергоспоживанням на досліджуваному підприємстві, яка буде складатись з двох частин: апаратної частини (набір технічних засобів, які будуть зчитувати і відправляти дані) та програмне забезпечення (ПЗ), яке в свою чергу буде приймати, зберігати та аналізувати отримані дані в режимі реального часу, крім того, проводити розрахунок показників енергоефективності, які, з якихось причин, не були виміряні в режимі онлайн.

Опис, зміст та особливості запропонованого стартап-проекту продемонстровано в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Створення автоматизованої системи моніторингу та управління споживання енергетичних ресурсів	- збір, зберігання, передача та візуалізація реєстрованих даних; - автоматичне аналізування даних в режимі реального часу; - розрахунок показників енергоефективності, які, показують витрати енергетичних ресурсів на різних режимах роботи; - сповіщення про збій технологічного процесу.	- контроль споживання всіх енергетичних ресурсів; - підвищення рівня енергоефективності; - збільшення конкурентоспроможності на ринку за рахунок зменшення собівартості; - можливість відслідкувати коректність роботи обладнання.

Також, дана ідея дозволить швидко та якісно оцінити стан енергоефективності на підприємстві після впроваджених заходів з енергозбереження. Для зручності пропонується можливість здійснювати експорт отриманих даних, в форматі «Excel» для проведення подальшого аналізу і перевірок та експорт всіх сформованих графіків і таблиць в форматі «PDF».

В таблиці 4.2 наведено особливості проекту в порівнянні з потенційними конкурентами, визначено перелік слабких, нейтральних та сильних сторін запропонованого проекту.

Таблиця 4.2 – Порівняльний аналіз альтернатив стартап-проекту

Техніко-економічні характеристики	Потенційні товари, концепції конкурентів			W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
	Мій проєкт	Конкурент 1 (АСЕМ)	Конкурент 2 (EOS)			
Надійність системи	1	2	3		3	1,2
Глобальність	1	2	3		2,3	1
Комплексність	1	2	3		2,3	1
Оперативність	1	2	3			1,2,3
Достовірність	1	2	3		2	1,3

З отриманої таблиці 4.2 можна зробити висновок, що запропонований стартап-проект характеризується високою надійністю, глобальністю, комплексністю, оперативністю та достовірністю.

4.2 Технологічний аудит стартап-проекту

В межах даного підрозділу проведено аудит технології, за допомогою якого можливо реалізувати ідею стартап-проекту. Описано методи написання коду програми для запропонованого програмного забезпечення та

особливості підключення апаратної частини. Результат дослідження представлено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 - Технологічна здійсненність ідеї проекту

Ідея проекту	Мови програмування	Наявність технологій	Доступність технологій
Створення автоматизованої системи моніторингу та управління споживання енергетичних ресурсів	Java	Є в наявності	Доступна
	Javascript	Є в наявності	Доступна
	Python	Є в наявності	Доступна
	C++	Є в наявності	Доступна
	C#	Є в наявності	Доступна

Оскільки мова програмування C# має можливість розробки як мобільних, так і десктопних версій ПЗ, а також обробляти велику кількість даних, то для написання програмного коду обрано саме цю мову.

Що стосується апаратної частини (набір технічних засобів, які будуть зчитувати і відправляти дані), то для передачі даних пропонується використовувати локальну мережу (підключення до Інтернет) та gsm-мережу як резервну. При цьому необхідно передбачити можливість підключення обладнання різного типу, оскільки це гарантуватиме розвиток системи та відсутність залежності від одного розробника чи певного типу технічного обладнання. Складові пункту збору та передачі даних: вузли обліку енергоресурсів, додаткові давачі, пристрій для підключення до каналу зв'язку (модем, мережевий або безпроводний адаптер), що забезпечуватиме передачу даних через Інтернет.

4.3 Аналіз ринкових можливостей реалізації стартап-проекту

Для оцінки майбутнього напрямку розвитку стартап-проекту з врахуванням стану ринкового середовища та потреб потенційних клієнтів

необхідно дослідити ринкові можливості та загрози, провести характеристику потенційних клієнтів та розробити етапи впровадження запропонованої ідеї.

Аналіз динаміки зміни попиту на програмний продукт продемонстровано у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 - Попередня характеристика потенційного ринку проекту

Показники стану ринку	Характеристика
1. Кількість головних гравців, од	100
2. Загальний обсяг продаж, грн./ум. од	10000
3. Динаміка ринку	Розвивається
4. Наявність обмежень для входу	Обмежений. Дана система ще не використовується в Україні на необхідному рівні
5. Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Стандарт ISO - 50001
6. Середня норма рентабельності в галузі, %	15

Ринок характеризується середнім рівнем привабливості для освоєння. Досить висока конкуренція надає проекту ризику у реалізації.

В таблиці 4.5 наведена характеристика потенційних клієнтів запропонованого стартап-проекту. Аналіз загроз та можливостей на ринку продемонстровано у таблицях 4.6 та 4.7, відповідно.

Таблиця 4.5 - Характеристика потенційних клієнтів

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних потенційних споживачів	Вимоги споживачів до товару
Підвищення енергоефективності	Промислові малі та великі підприємства	Не передбачено	Надійність, ефективність, доступність

Таблиця 4.6 – Фактори загроз

Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
Помилка в коді	Виявлення помилки у написанні коду під часу експлуатації товару	Бонуси для споживачів як тестувальників програми
Конкуренція	Вихід на ринок продукту з аналогічними властивостями	Підвищення якості продукції при незмінній ціні; встановлення безкоштовного оновлення ПЗ; маркетингова реклама
Підвищення кваліфікації	Необхідно часто проводити кваліфікаційні тренінги для персоналу	Назначити відповідального за проведення тренінгів та підвищення кваліфікації працівників

Таблиця 4.7 – Фактори можливості

Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
Вдосконалення програмного забезпечення	Оновлення ПЗ та виправлення помилок у коді	Слідкувати за автоматичним оновленням ПЗ при змінах у версії програми
Комплексність	Комплексний підхід до аналізу споживання енерго-ресурсів, даних, графіків та діаграм.	Вдосконалення складової

Далі у таблиці 4.8 та 4.9 подемонструємо аналіз факторів конкурентоспроможності стартап-проекту на ринку

Таблиця 4.8 - Характеристика факторів конкурентоспроможності

Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
Новизна	Доступний комплексний підхід, який об'єднує в собі апаратну частину та програмне забезпечення
Комплексність	Комплексний підхід до аналізу споживання енерго-ресурсів, даних, графіків та діаграм.
Якість	Методи, які використовуються при моніторингі досить точні

Таблиця 4.9 - Порівняння конкурентоспроможності аналогів

Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг послуг у порівнянні з іншою компанією-конкурентом						
		-3	-2	-1	0	1	2	3
Гнучкість використання	6						V	
Термін підготовки	4		V					
Оновлення	5			V				
Корисність на ринку	10						V	
Експлуатація	6			V				
Ціна	5				V			
Новизна	6						V	

Наступним проведемо SWOT-аналіз стартап-проекту і продемонструємо його в таблиці 4.10. Даний аналіз допоможе розібратись у внутрішніх та зовнішніх факторах, які впливають на реалізацію ідеї,

мінімізувати її слабкі місця, проаналізувати можливості та спрогнозувати загрози [34].

Таблиця 4.10 - SWOT- аналіз проекту

Сильні сторони	Слабкі сторони
1. Наявність попиту на підвищення енергетичної ефективності 2. Постійна онлайн-підтримка програмного забезпечення 3. Точність результатів аналізу	1. Висока вартість послуг представників у галузі інформаційних технологій; 2. Вимагає внесення індивідуальних частин коду в залежності від технічного обладнання, що споживає ресурси
Можливості	Загрози
1. Вдосконалення ПЗ 2. Комплексний підхід до аналізу	1. Конкуренція 2. Підвищення кваліфікації 3. Помилки при написанні коду

4.4 Розробка ринкової стратегії стартап-проекту

Проведемо вибір цільових груп споживачів та представимо його в таблиці 4.11.

4.11 - Вибір цільових груп потенційних споживачів

Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції	Простота входу
Малі промислові підприємства	Вище середнього	Середній	Середня	Висока
Великі промислові підприємства	Вище середнього	Високий	Висока	Низька

Взагалі попит присутній в усіх розглянутих цільових групах, а запропоноване програмне забезпечення є відносно універсальним та комплексним продуктом, але досить висока конкуренція в межах великих промислових підприємств та складність написання коду створюють перешкоди для входу у даний сегмент.

На базі обраної стратегії розвитку обирається стратегія конкурентної поведінки стартап-проекту, яка продемонстрована в таблиці 4.12.

Таблиця 4.12 - Вибір стратегії конкурентної поведінки

Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики послуги конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
Ні	Так, буде здійснюватись пошук нових споживачів	Ні, буде написано новий код ПЗ для моніторингу енергоспоживання.	Якість послуг

4.5 Побудова маркетингової програми стартап-проекту

Завершальним етапом даного розділу є формування маркетингової програми кінцевого продукту, який отримує потенційний клієнт. Опишемо ключові переваги запропонованого продукту в таблиці 4.13.

Таблиця 4.13 - Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
Надійність та безпека	Особистий вхід у кабінет користувача	Вхід у систему як індивідуальний користувач, зберігання даних на окремому хмарному сховищі для кожного клієнта
Підтримка та оновлення	Необхідне оновлення та постійне покращення ПЗ	Своєчасне виправлення несправностей та помилок, надання бонусів за виявлення недоліків програми
Повнота та достовірність даних	Інформація записується без коригування даних з малим інтервалом часу	Достовірність даних, постійний моніторинг енергоефективності

Висновки до розділу 4

В даному розділі було запропоновано та описано стартап-проект ідея якого полягала у створенні автоматизованої системи моніторингу та управління енергоспоживанням, яка складатиметься з двох частин: апаратної частини та програмного забезпечення, яке буде приймати, зберігати та аналізувати отримані дані в режимі реального часу, крім того, проводити розрахунок показників енергоефективності, які, з якихось причин, не були виміряні в режимі онлайн. Також, за допомогою запропонованої програми можливо буде швидко та якісно оцінити стан енергоефективності на підприємстві після впроваджених заходів з енергозбереження, що і було

основною метою всього дослідження. Описано методи написання коду програми для запропонованого програмного забезпечення та особливості підключення апаратної частини.

При проведенні аналізу ринкових можливостей стартап-проекту було виявлено, що основними загрозами проекту є помилка в написанні коду програми, оскільки він є досить важким і містить багато нюансів, також існує загроза високої конкурентності та підвищення кваліфікації працівників, які будуть працювати з даною системою. Для усунення даних загроз запропоновано проводити підвищення якості продукції при незмінній ціні, застосовувати маркетингову рекламу, впроваджувати бонуси для споживача, як тестувальниці нової програми та назначити відповідального за проведення тренінгів по підвищенню кваліфікації працівників в роботі з запропонованим ПЗ.

Запропоноване програмне забезпечення є досить універсальним продуктом, але висока конкуренція в межах великих промислових підприємств та складність написання коду створюють перешкоди для входу у даний сегмент.

Аналіз підтвердив, що наявність входу у систему як індивідуальний користувач, зберігання даних на окремому хмарному сховищі для кожного клієнта, постійна підтримка проекту в режимі онлайн, виправлення недоліків дає можливість бути комерційно привабливим для потенційних користувачів даного продукту.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання дисертаційної роботи було проаналізовано загальну характеристику проблем енергоефективності та тенденцій щодо їх забезпечення, вплив моніторингу енергетичної результативності на систему енергетичного менеджменту, необхідність моніторингу на промислових підприємствах в Україні та розглянуті методи моніторингу енергетичної результативності впроваджених заходів з енергоефективності.

Проведено енергетичне обстеження підприємства молочної галузі, а саме цеху по переробці молока. Проаналізовано ефективність використання електричної та теплової енергії на даному об'єкті. Запропоновано три заходи з енергоефективності для суттєвих споживачів електричної енергії, а саме заміна внутрішнього освітлення, заміна двох насосів по перекачці молока та впровадження частотного регулювання електропривода трьох насосних установок. Аналіз огорожуючих конструкцій цеху показав, що більшість теплової енергії втрачається через огорожуючі конструкції, а саме найбільше через зовнішні стіни. Було запропоновано п'ять заходів з енергоефективності теплової енергії, а саме утеплення мінеральною ватою зовнішніх стін цеху, заміна старих дерев'яних вікон на металопластикові, впровадження теплової завіси над воротами, гідрохімічне очищення системи опалення та теплоізоляція паропроводів та трубопроводів гарячого водопостачання.

Оцінивши систему енергетичного менеджменту, був зроблений висновок, що молокозаводу потрібно вдосконалювати СЕнМ, щоб в майбутньому зберегти більше енергоресурсів та відповідно грошей. Також, було представлено енергетичну політику підприємства.

Проведений моніторинг енергетичної результативності впроваджених заходів з енергоефективності в цеху по переробці молока. Для цього побудовано математичну модель базового рівня по споживанню електроенергії та вугілля за допомогою регресійного. За допомогою метода

Вальда було доведено, що в цеху по переробці молока ефективність електровикористання відповідає заданому рівню. Також, проведено моніторинг енергетичної результативності впроваджених заходів з енергоефективності за допомогою графіка кумулятивних сум, який показав, що в кінці кінців за березень місяць в цеху по переробці молока відбулась економія електричної енергії.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Денисюк С.П. Формування політики підвищення енергетичної ефективності – сучасні виклики та європейські орієнтири. Енергетика: економіка, технології, екологія. 2013. №2. С. 7-22.
2. Directive (EU) 2018/2002 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 amending Directive 2012/27/EU on energy efficiency (Text with EEA relevance). Official Journal of the European Union. L 328, 21.12.2018, p. С. 210–230.
3. ДСТУ ISO 50001:2020 (ISO 50001:2018, IDT) Системи енергетичного менеджменту. Наказ Державного підприємства «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ»). [Чинний від 2020-03-06].- 33с.
4. Енергоефективність як ресурс інноваційного розвитку: Національна доповідь про стан та перспективи реалізації державної політики енергоефективності у 2008 році / С.Ф. Єрмілов, В.М. Геєць, Ю.П. Яценко, В.В. Григоровський, В.Е. Лір та ін. – К., НАЕР, 2009. – 93 с.
5. Мітрахович М. М., Герасимчук І. С. Методика розрахунку основних показників енергоефективності підприємства. Наукоємні технології. 2009. № 3. С. 93-95.
6. ДСТУ ISO 50006:2015 (ISO 50006:2014, IDT) Системи енергетичного менеджменту. Вимірювання рівня досягнутої енергоефективності з використання базових рівнів енергоспоживання та показників енергоефективності. Вид. Офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ».-51с.
7. Практичний посібник з енергетичного аудиту промислових підприємств / А. Чернявський, А. Сафьянц, Н. Усенко, О.Соловей, О.Бориченко, П. Пертко, Ю. Шишко, А. Гоєнко// За загальною редакцією Н. Усенко та А. Чернявського. – К.: Проект «Консультування підприємств щодо енергоефективності» Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ)

GmbH за дорученням Федерального міністерства економічного співробітництва та розвитку Німеччини (BMZ), 2020.

8. Находов В.Ф., Бориченко О.В. Ймовірно-статистичний підхід до побудови енергобалансів виробничо-господарських об'єктів. Промислова електроенергетика та електротехніка: Промелектро. 2007. № 6. С. 45–54.

9. Находов В.Ф., Бориченко О.В., Іванько Д.О., Якобюк І.В. Виявлення «проблемних» ділянок схеми електропостачання для верифікації розрахункових електробалансів. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2015. № 2/8 (74). С. 4–10.

10. Находов В.Ф., Бориченко О.В. Ймовірно-статистичний підхід до побудови енергобалансів виробничо-господарських об'єктів. Промислова електроенергетика та електротехніка: Промелектро. 2007. № 6. С. 45–54.

11. Находов В.Ф., Бориченко О.В., Іванько Д.О. Контроль ефективності енерговикористання в системі енергетичного менеджменту // Вісник КНУТД. – 2013. - №6. – С. 67-77.

12. Праховник А.В. Контроль ефективності енерговикористання – ключова проблема управління енергозбереженням / А.В. Праховник, В.Ф. Находов, О.В. Бориченко // Энергосбережение, энергетика, энергоаудит. – 2009. – №8(66). – С. 41-54.

13. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». Розпорядження Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 р. № 605-р.

14. European Commission. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). Reference Document on Best Available Techniques for Energy Efficiency. Seville: Institute for Prospective Technological Studies, European IPPC Bureau. 2008. 430 p.

15. Находов, В. Ф., Бориченко, О. В., Іванько, Д. О., Аданіков, О. В., Федорчук, І. І. Універсальна процедура контролю виконання встановлених цільових змінних як інструмент підвищення рівня енергоефективності

промислових об'єктів. Збірник матеріалів конференції:" Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку–PEMS", 2017.

16. Денисенко, Л. О., Малогловець Р. Л. "Система енергетичного менеджменту як основа ефективного управління енергоспоживанням.", 2014.-1-7 С.

17. Керівництво з впровадження системи енергетичного менеджменту відповідно до вимог міжнародного стандарту ISO 50001:2020. – [Режим доступу]: http://www.ukriee.org.ua/wp-content/uploads/2021/03/EnMS-Practical-Guide-2021_Ukraine_ukr.pdf (дата звернення 10.10.2022).

18. A good practice guide to energy monitoring and targeting – [Режим доступу]: <https://www.seai.ie/publications/SEAI-Guide-to-Energy-MT-Final-online.pdf> (дата звернення 11.10.2022).

19. Находов В.Ф. Проблема контролю ефективності енерговикористання –основа практичного вирішення задач енергозбереження / В.Ф. Находов, О.В. Бориченко// Енергозбереження, екологія, ефективність: шляхи зниження енергозалежності України: міжнар. конф., 14 травня 2008 р.: тези доп. – К.: – 2008. – С. 55-57.

20. Карнажук Т.Р., Бориченко О.В., Моніторинг ефективності впровадження енергозберігаючих заходів. XII Науково-технічна конференція «Енергетика. Екологія. Людина»; м. Київ; С. 167-171.

21. Бойко, Т., Столярчук П. "Система енергоуправління в Україні: перспективи та особливості нормування." Стандартизація. Сертифікація. Якість 4 (2013): 38-46.

22. ДСТУ ISO 8258-2001. Контрольні карти Шухарта (ISO 8258:1991, IDT)

23. Володарський, Є. Т., Добролюбова, М. В., Клевцова, М. О. Аналіз чутливості контрольних карт Шухарта. Інформаційні системи, механіка та керування, 2017. 17, 51-60.

24. Матковський, П. Є. "Особливості методів статистичного контролю на підприємствах." Вісник Прикарпатського університету. Серія: Економіка 11 (2015): 149-153.

25. ДСТУ ISO/TR 7871:2004 Статистичний контроль. Контрольні карти кумулятивних сум. Настанови щодо контролю якості та аналізу даних з використанням методик CUSUM (ISO 7871:1997, IDT).

26. Абрагам Вальд. Послідовний аналіз; [пер. с англ. Енергетичний менеджмент / А.В. Праховник, А.І. Соловей, В.В. Прокопенко і ін. // К.: ІЕЕ НТУУ «КПІ», 2001. – 472 с.

27. В. Ф. Находов, к. т. н., доц., О. В. Бориченко, к. т. н. Процес контролю виконання встановлених «стандартів» в системах оперативного контролю ефективності енерговикористання : збірник доповідей.- Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво» , 2014.-111-119 с.

28. Правила улаштування електроустановок [Текст]: вид.3-є, перероб. і доп. Офіц. Вид. Київ : Міненерговугілля України, 2018. 736 с.

29. ДСП 4.4.4-011-98. Державні санітарні правила для молокопереробних підприємств : наказ від 11.09.1998 р. 197с.

30. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31:2016. Офіц. Вид. Київ : Мінрегіонбуд України, 2017.

31. ДСТУ Б EN ISO 13790:2011. Енергоефективність будівель. Розрахунок енергоспоживання при опаленні та охолодженні [Текст]. – На заміну ГОСТ 2662985; чинний з 01.01.2013. – К.: НДІБК, 2011. – 229 с. – (Державний стандарт України).

32. Таблиця коефіцієнтів Стюдента для визначення вірогідності різниці (р) (ймовірність різниці за коефіцієнтом довіри (у %)) [Електронний ресурс] // Навчальний посібник «Основи наукознавства».- 2014. – Режим доступу до ресурсу: <https://studfile.net/preview/1904863/page:20/>.

33.Абрахам Вальд. Послідовний аналіз; [пер. с англ. П.А. Бакута, Б.М. Герасимова, І.Н. Кузнецова, А.А. Курикши]. – Державне видання фізико-математичної літератури, 1960. – 328 с.

34. SWOT-аналіз – основа формування маркетингових стратегій підприємства : [навч. посіб.] ; під ред. д. е. н. проф., академіка АЕН України Л.В. Балабанової. – Донецьк : ДонДУЕТ, 2011. – 180 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

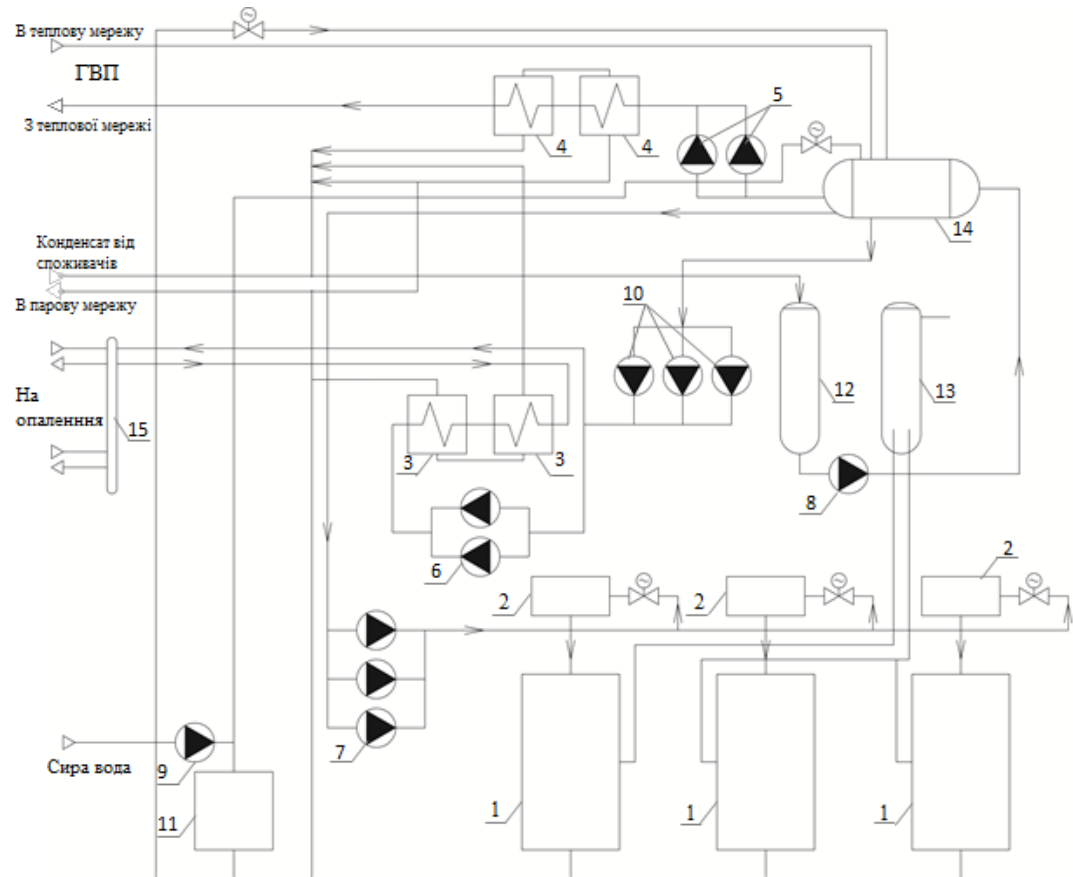


Рисунок А.1 – Теплова схема котельні

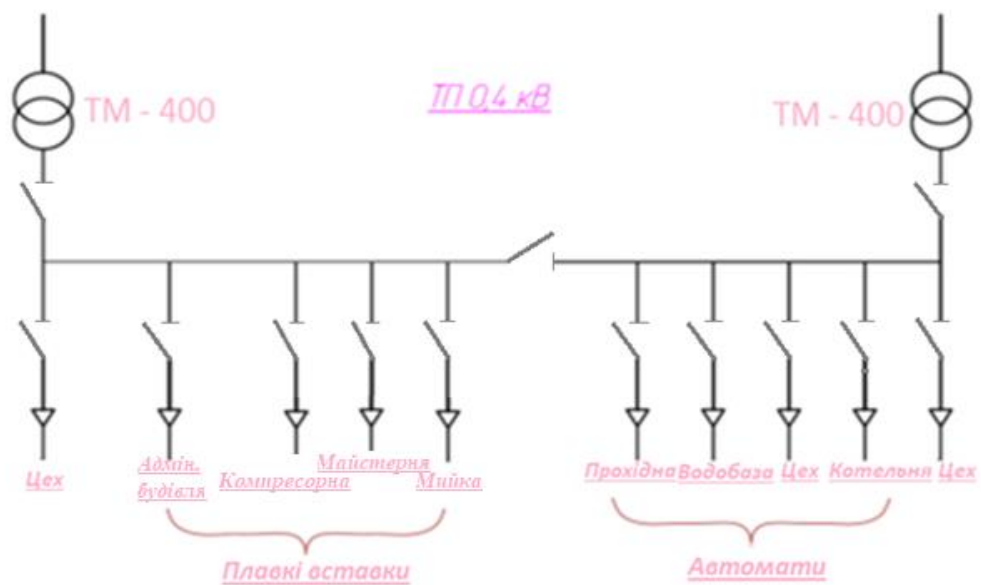


Рисунок А.2- Схематичне представлення електропостачання підприємства

2									
3	<i>Регрессионная статистика</i>								
4	Множественный R	0,747383468							
5	R-квадрат	0,558582049							
6	Нормированный R-квадрат	0,490671595							
7	Стандартная ошибка	47,44946259							
8	Наблюдения	31							
9									
10	<i>Дисперсионный анализ</i>								
11		<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>ачимость F</i>			
12	Регрессия	4	74075,22	18518,8	8,225273366	0,0002			
13	Остаток	26	58537,74	2251,451					
14	Итого	30	132613						
15									
16		<i>Коэффициенты</i>	<i>артная о</i>	<i>татисти</i>	<i>P-Значение</i>	<i>ижние 95%</i>	<i>рхние 95%</i>	<i>ижние 90%</i>	<i>рхние 90,0%</i>
17	Y-пересечение	908,7171611	724,4688	1,254322	0,220884813	-580,45	2397,884	-326,95	2144,384
18	Переменная X 1	-49,69344048	22,37885	-2,22055	0,035304619	-95,6938	-3,69306	-87,8632	-11,5237
19	Переменная X 2	38,62833984	25,17637	1,534309	0,137033693	-13,1224	90,37912	-4,31293	81,56961
20	Переменная X 3	-10,86448026	3,240495	-3,35272	0,002460878	-17,5254	-4,20355	-16,3915	-5,33743
21	Переменная X 4	-10,71795395	20,79691	-0,51536	0,610654049	-53,4666	32,03072	-46,1895	24,75364
22									
23									

Рисунок Б.3 –Результат першого регресійного аналізу для побудови математичної моделі базового рівня споживання вугілля