

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**

**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Факультет інформатики та обчислювальної техніки**

**Кафедра інформаційних систем та технологій**

«На правах рукопису»

УДК \_\_\_\_\_

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Олександр, РОЛІК

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## **Магістерська дисертація**

**на здобуття ступеня магістра**

**за освітньо-науковою програмою «Інтегровані інформаційні системи»**

**зі спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології»**

**на тему: «Автоматизація функціонування балансуючого ринку  
електроенергії на основі смарт-контрактів»**

Виконала:

студентка VI курсу, групи ІА-01мн

Онуфрієва Анастасія Олексіївна \_\_\_\_\_

Керівник:

Професор кафедри, д.т.н., с.н.с.

Чемерис Олександр Анатолійович \_\_\_\_\_

Рецензент:

**Посада, науковий ступінь, вчене звання,**

**Прізвище, ім'я, по батькові** \_\_\_\_\_

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»**  
**Факультет інформатики та обчислювальної техніки**  
**Кафедра інформаційних систем та технологій**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 126 «Інформаційні системи та технології»

Освітньо-наукова програма «Інтегровані інформаційні системи»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Олександр, РОЛІК

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

**на магістерську дисертацію студентці**

**Онуфрієвій Анастасії Олексіївни**

1. Тема дисертації «Автоматизація функціонування балансуючого ринку електроенергії на основі смарт-контрактів», науковий керівник дисертації Чемерис Олександр Анатолійович, д.т.н., с.н.с., затверджені наказом по університету від «26»квітня 2022 р. № НС/88/2022
2. Термін подання студентом дисертації \_\_\_\_\_ «08» червня 2022 р
3. Об'єкт дослідження модель балансуючого ринку електроенергії.
4. Предмет дослідження автоматизація функціонування балансуючого ринку електроенергії на основі смарт-контрактів.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити аналіз алгоритму роботи балансуючого ринку електроенергії; формулювання вимог до системи; аналіз технологій розробки; розробка бази даних; аналіз ринків електроенергії; алгоритм аналізу показників лічильників; алгоритм смарт-контракту для балансуючого ринку електроенергії; проведення тестування стійкості системи в умовах близьких до реальних навантажень.
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу сценарії використання системи, діаграма активності, діаграма діяльності, алгоритм роботи лічильників, схема бази даних, діаграма компонентів системи, графік часу роботи аналізу даних лічильників, графік часу роботи смарт-контракту.
7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_ 31 січня 2022 року

## Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Аналіз алгоритму роботи балануючого ринку електроенергії	31.01.2022 – 15.02.2022	
2.	Формулювання вимог до системи	16.02.2022 – 23.02.2022	
3.	Проектування архітектури системи	01.04.2022 – 07.04.2022	
4.	Проектування бази даних	08.04.2022 – 15.04.2022	
5.	Аналіз технологій	16.04.2022 – 21.04.2022	
6.	Розробка системи	22.04.2022 – 01.05.2022	
7.	Розробка бази даних	02.05.2022 – 07.05.2022	
8.	Тестування системи	08.05.2022 – 15.05.2022	
9.	Оформлення пояснювальної записки	16.05.2022 – 24.05.2022	
10.	Подача дисертації на перевірку	08.06.2022	

Студент

Анастасія, ОНУФРІЄВА

Науковий керівник

Олександр, ЧЕМЕРИС

## РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація на здобуття ступеня «магістр» за освітньо-науковою програмою підготовки «Інтегровані інформаційні системи» на тему «Автоматизація функціонування балансуючого ринку електроенергії на основі смарт-контрактів». Дисертація містить 121 сторінки, 71 рисуноків, 5 таблиць, 46 джерел.

**Актуальність.** Стрімкий розвиток технологій блокчейн розробки дозволяє проводити активні модернізації в різних областях. Не виключенням є і економіка та електроенергетика. Наразі автоматизація роботи усіх процесів, що потребують людських ресурсів, була та досі є однією з найважливіших задач людства. Саме тому, що використання смарт-контрактів в роботі балансуючого ринку електроенергії, пришвидшує та спрощую роботу людини, ця задача і є актуальною в наш час.

**Метою магістерської дисертації** є автоматизація проведення та оптимізація транзакцій на балансуючому ринку електроенергії.

**Об'єкт дослідження:** модель балансуючого ринку електроенергії.

**Предмет дослідження:** автоматизація функціонування балансуючого ринку електроенергії на основі смарт-контрактів.

**Наукова новизна** одержаних у магістерській дисертації результатів полягає у вдосконаленні функціональних можливостей існуючого алгоритму роботи балансуючого ринку електроенергії, а саме – у автоматизації та оптимізації проведення транзакцій, шляхом отримання показників лічильників та автоматичного балансування недостач та надлишків електроенергії.

Ключові слова: БАЛАНСУЮЧИЙ РИНОК ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ, РИНОК НЕБАЛАНСІВ, СМАРТ-КОНТРАКТ, БЛОКЧЕЙН.

## REPORT

Master's dissertation for the degree of "master" in the educational and scientific training program "Integrated Information Systems" on "Automation of electricity balancing market functioning based on smart contracts." The dissertation contains 121 pages, 71 figures, 5 tables, 46 sources.

**Topicality.** The rapid development of blockchain development technologies allows for active modernization in various fields. Economics and electricity are no exception. At present, the automation of all processes that require human resources has been and still is one of the most important tasks of mankind. Precisely because the use of smart contracts in the balancing electricity market speeds up and simplifies human work, this task is relevant today.

**The aim** of the master's dissertation is to automate and optimize transactions in the balancing electricity market.

**Object of research:** model of balancing electricity market.

**Subject of research:** automation of the balancing electricity market on the basis of smart contracts.

**The scientific novelty** of the results obtained in the master's dissertation is to improve the functionality of the existing algorithm of balancing electricity market, namely - automation and optimization of transactions by obtaining meter readings and automatic balancing of electricity shortages and surpluses.

Key words: BALANCING ELECTRICITY MARKET, UNBALANCES MARKET, SMART CONTRACT, BLOCKCHAIN.

## ЗМІСТ

<b>ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ .....</b>	<b>11</b>
<b>ВСТУП .....</b>	<b>12</b>
<b>РОЗДІЛ 1 ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ.....</b>	<b>14</b>
1.1 Актуальність автоматизованих систем функціонування балансуючого ринку електроенергії.....	14
1.2 Поняття ринків електроенергії.....	15
1.3 Робота балансуючого ринку електроенергії в Україні.....	16
1.3.1 Учасники балансуючого ринку.....	17
1.3.2 Особливості функціонування балансуючого ринку .....	17
1.3.3 Алгоритм роботи балансуючого ринку .....	19
1.4 Висновки до розділу .....	19
<b>РОЗДІЛ 2 ФОРМУВАННЯ ВИМОГ ДО СИСТЕМИ.....</b>	<b>20</b>
2.1 Функціональні вимоги .....	20
2.2 Визначення задачі.....	22
2.2.1 Призначення розробки .....	22
2.2.2 Основні цілі та задачі розробки .....	22
2.3 Висновок до розділу .....	23
<b>РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ТЕХНОЛОГІЇ СМАРТ-КОНТРАКТІВ.....</b>	<b>24</b>
3.1 Актуальність технології.....	24
3.2 Смарт-контракти на ринках електроенергії.....	25
3.3 Переваги смарт-контрактів.....	26

3.4	Недоліки смарт-контрактів.....	27
3.5	Блокчейн.....	28
3.6	Розумний контракт.....	30
3.7	Платформа розгортання Smart Contract.....	32
3.7.1	Ethereum.....	32
3.7.2	Переваги Ethereum.....	33
3.8	Застосування розумних контрактів.....	35
3.8.1	Обґрунтування використання смарт-контрактів.....	39
3.9	Висновки до розділу.....	39
<b>РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА СИСТЕМИ.....</b>		<b>40</b>
4.1	Використані технології.....	40
4.1.1	Мови програмування.....	40
4.1.2	Фреймворки.....	45
4.1.3	Бібліотеки.....	45
4.2	Технічні вимоги.....	46
4.3	Розробка бази даних.....	47
4.4	Архітектура програмного забезпечення.....	48
4.4.1	Класи системи та специфікація функцій.....	48
4.4.2	Діаграма активності застосунку.....	52
4.4.3	Діаграма компонентів.....	54
4.5	Розробка пріоритетів транзакцій.....	54
4.6	Розробка смарт-контрактів.....	55
4.7	Аналіз показників лічильників.....	56
4.8	Висновки до розділу.....	57

<b>РОЗДІЛ 5</b>	<b>ІНСТРУКЦІЯ КОРИСТУВАЧА</b>	<b>58</b>
5.1	Інструкція з реєстрації	58
5.1.1	Реєстрація користувача	58
5.1.2	Реєстрація іноземного користувача	59
5.1.3	Реєстрація зберігача	61
5.1.4	Реєстрація регулятора	62
5.2	Інструкція з авторизації	62
5.3	Інструкція використання користувача електроенергії	63
5.3.1	Головна сторінка користувача електроенергії	63
5.3.2	Поповнення балансу	64
5.3.3	Введення ліміту зберігання електроенергії	65
5.3.4	Введення мінімального резерву електроенергії	67
5.3.5	Перегляд наявних пропозицій на ринку	69
5.4	Інструкція використання іноземного користувача електроенергії	69
5.4.1	Головна сторінка іноземного користувача електроенергії	69
5.4.2	Поповнення балансу	70
5.4.3	Створення заявки на продаж	72
5.4.4	Створення заявки на купівлю	73
5.4.5	Перегляд пропозицій на ринку	75
5.5	Інструкція використання зберігача електроенергії	76
5.5.1	Головна сторінка зберігача електроенергії	76
5.5.2	Поповнення балансу	77
5.5.3	Зміна ліміту зберігання електроенергії	78
5.5.4	Перегляд пропозицій на ринку	80

5.6	Інструкція використання регулятора ринку .....	81
5.6.1	Головна сторінка регулятора ринку .....	81
5.6.2	Показник балансу регулятора ринку .....	82
5.6.3	Гаманець регулятора ринку .....	83
5.6.4	Зміна коефіцієнту продажу .....	84
5.6.5	Зміна коефіцієнту купівлі.....	86
5.6.6	Зміна пріоритету продажу.....	88
5.6.7	Зміна пріоритету купівлі .....	90
5.6.8	Перегляд транзакцій .....	92
5.7	Випробування програмного продукту .....	93
5.7.1	Мета випробувань.....	93
5.7.2	Документація .....	93
5.7.3	Випробування .....	93
5.7.4	Реєстрація користувачів .....	95
5.7.5	Некоректні дії користувача електроенергії.....	96
5.7.6	Некоректні дії іноземного користувача електроенергії.....	100
5.7.7	Некоректні дії зберігача електроенергії .....	102
5.7.8	Некоректні дії регулятора ринку електроенергії .....	104
5.7.9	Результати випробувань .....	109
5.8	Висновок до розділу .....	110
<b>РОЗДІЛ 6 ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗРОБЛЕНИХ АЛГОРИТМІВ.....</b>		<b>111</b>
6.1	Умови проведення експериментів .....	111
6.2	Результати експериментів .....	112

6.3 Висновок до розділу .....	114
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>116</b>
<b>ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....</b>	<b>117</b>

## **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ**

БРЕЕ - балансуєчий ринок електричної енергії - ринок, організований оператором системи передачі з метою забезпечення достатніх обсягів електричної потужності та енергії, необхідних для балансування в реальному часі обсягів виробництва та імпорту електричної енергії і споживання та експорту електричної енергії, врегулювання системних обмежень в об'єднаній енергетичній системі України, а також фінансового врегулювання небалансів електричної енергії[1171][45];

балансування - баланс між попитом та пропозицією - задоволення прогнозованого попиту споживачів на електричну енергію без необхідності вжиття заходів для зменшення обсягу споживання[1] [45];

зберігач електроенергії або зберігач - гарантований покупець електричної енергії - суб'єкт господарювання, що відповідно до цього Закону зобов'язаний купувати електричну енергію у виробників, яким встановлено "зелений" тариф, а також у виробників за аукціонною ціною та виконувати інші функції, визначені законодавством[1] [45];

регулятор або регулятор ринку - Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг[1] [45];

користувач - учасник ринку електричної енергії (далі - учасник ринку) - виробник, електропостачальник, трейдер, оператор системи передачі, оператор системи розподілу, оператор ринку, гарантований покупець та споживач, які провадять свою діяльність на ринку електричної енергії у порядку, передбаченому цим Законом[1] [45];

## ВСТУП

Впровадження системи балансуючого ринку електроенергії на основі смарт-контрактів є корисним для українського ринку. Технологія смарт-контрактів застосовується в енергетиці для укладання угод купівлі-продажу між споживачами та виробниками енергії. Ця технологія дозволяє укласти угоди за кілька секунд, не залучаючи третіх осіб. Завдяки прямим продажам вартість електроенергії зменшується.

Не дивлячись на те, що смарт-контракти вже використовуються для забезпечення роботи ринків електроенергії, можливо покращити ефективність їх використання. Сучасні ринки електроенергії мають не тільки забезпечувати можливість купувати та продавати електроенергії, але й повинні забезпечувати баланс використаної та добутої електроенергії.

Стрімкий розвиток технологій блокчейн розробки дозволяє проводити активні модернізації в різних областях. Не виключенням є і економіка та електроенергетика. Наразі автоматизація роботи усіх процесів, що потребують людських ресурсів, була та досі є однією з найважливіших задач людства. Саме тому, що використання смарт-контрактів в роботі балансуючого ринку електроенергії, пришвидшує та спрощую роботу людини, ця задача і є актуальною в наш час.

Метою магістерської дисертації є автоматизація проведення та оптимізація транзакцій на балансуючому ринку електроенергії.

У дисертації вирішені поставлені наступні задачі:

- дослідження та аналіз алгоритм систем ринків електроенергії;
- розроблення алгоритму аналізу показників лічильників;
- розроблення алгоритму смарт-контракту для балансуючого ринку електроенергії;

- проведення тестування стійкості системи в умовах близьких до реальних навантажень.

Об'єктом дослідження є модель балансуєчого ринку електроенергії

Предметом дослідження є автоматизація функціонування балансуєчого ринку електроенергії на основі смарт-контрактів.

Наукова новизна полягає у вдосконаленні функціональних можливостей існуючого алгоритму роботи балансуєчого ринку електроенергії, а саме – у автоматизації та оптимізації проведення транзакцій, шляхом отримання показників лічильників та автоматичного балансування недостач та надлишків електроенергії.

## РОЗДІЛ 1 ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ

### 1.1 Актуальність автоматизованих систем функціонування балансуєчого ринку електроенергії

Електрика – це товар, який можна виробляти та споживати миттєво. Можливості його зберігання поки досить обмежені. Тому виникає потреба виробляти електроенергію саме тоді, коли споживачам необхідно споживати електроенергію. У той же час дотримання балансу між виробництвом і споживанням також важливе для нормального функціонування енергетичної системи.

Ці характеристики електроенергії враховуються при формуванні різних ринків. Як наслідок, новий ринок електроенергії України передбачає послідовне створення та функціонування кількох ринків- від ринків двосторонніх договорів про закупівлю електроенергії на рік чи місяць вперед до фактичної доставки «на день вперед» та внутрішньодобових ринків.

З 1 липня 2019 року відповідно до вимог Закону про ринок електричної енергії (далі – Закон про електроенергію) запрацювала повна модель ринку електроенергії. Метою нової моделі ринку є запровадження механізму конкуренції для функціонування ринку електроенергії та забезпечення права споживачів вільно обирати постачальників електроенергії. Закон регулює купівлю-продаж електроенергії учасниками ринку на таких сегментах ринку, як ринки двосторонніх угод, ринки на добу наперед і на добу, а також збалансовані ринки. Забезпечує балансуєчий ринок та ринок допоміжних послуг для балансування виробництва та споживання в режимі реального часу, імпорту та експорту електроенергії, усуваючи системні обмеження ОЕС України.

## 1.2 Поняття ринків електроенергії

Особливості ринку електроенергії полягають в тому, що товар, а саме, електроенергія не можна зберігати і її необхідно постачати користувачеві одразу після її генерації. Балансуючий ринок електроенергії – це один з інструментів, що використовується для балансування попиту та пропозиції електроенергії практично в реальному часі. Якщо прогнозується, що буде невідповідність між кількістю виробленої електроенергії та тим, на яке буде попиту протягом певного періоду часу, регулятор може прийняти рішення про збільшення або зменшення вироблення. Механізм балансування використовується для балансування попиту та пропозиції у кожному півгодинному торговому періоді кожного дня.

Ринки багатьох країн сформовані таким чином, що умови постачання електроенергії на протяжний період у межах ринків «достовірних договорів», «на добу наперед», «внутрішньодобовий ринок». Балансуючий ринок поділяє свою роботу між двома етапами – закупівля резервів та врегулювання небалансів. Рисунок 1.2.1 - Робота різних ринків електроенергії у часі демонструє схему роботи загального ринку електроенергії з урахуванням моменту поставки електроенергії користувачеві.



Рисунок 1.2.1 - Робота різних ринків електроенергії у часі

З рисунку можна отримати представлення, що БРЕЕ починає свою роботу з етапу закупівлі резервів. Цей етап полягає в тому, що підприємства купляють замовляють електроенергії для забезпечення своїх внутрішніх резервів, а постачальники електроенергії в цей самий час збувають надлишок згенерованої. Перед початком поставок, даний етап балансування припиняє свою роботу і балансує ринку електроенергії переходить на етап балансування небалансів. На цьому етапі основна задача БРЕЕ полягає в врегулюванні попиту та пропозиції.

### 1.3 Робота балансує ринку електроенергії в Україні

Із запровадженням нового ринку в Україні оператор системи передачі «Укренерго» організував єдиний балансує ринку для забезпечення достатньої потужності та енергії, необхідної для балансування виробництва, споживання, експорту та імпорту електроенергії в режимі реального часу. Він також був створений для подолання системних обмежень в об'єднаній енергетичній системі України та фінансового вирішення електричних небалансів.

На збалансованому ринку оператори ТСО будуть купувати та продавати електроенергію:

- Збалансувати попит і постачання електроенергії за день;
- Для усунення дисбалансу сил сторін, відповідальних за балансування.

Цільовою функцією БРЕЕ є мінімізація витрат на компенсацію дисбалансу потужності. Для цього використовуються пропозиції щодо завантаження та розвантаження від постачальників послуг балансування. Витрати на покриття небалансів електроенергії в системі є сумою всіх коштів за прийнятою пропозицією балансу електроенергії.

### 1.3.1 Учасники балансуючого ринку

Балансуючим ринком керує оператор системи передачі. Його основними учасниками є постачальники послуг балансування та сторони, відповідальні за небаланс.

Постачальниками послуг з балансування в Україні можуть бути виробники та споживачі електроенергії, які можуть надавати послуги з балансування операторам систем передачі для балансування системи. У багатьох країнах до них також належать оператори систем зберігання електроенергії. Постачальники послуг з балансування можуть бути учасниками українського ринку електроенергії, які дотримуються вимог правил ринку та зареєстровані для участі в балансуванні.

Сторони, відповідальні за небаланси, включають виробників електроенергії, гарантованих покупців, трейдерів, операторів систем розподілу, операторів ринку, операторів систем передачі та постачальників, які повинні сприяти збалансованості виробництва та споживання електроенергії для запобігання дисбалансу. Усі вони мають скласти договір щодо усунення дисбалансу. Крім того, сторона, відповідальна за дисбаланс, зобов'язана надати оператору системи передачі фінансові гарантії для виконання зобов'язань за договором про усунення небалансу. Ця умова передбачена для забезпечення оплати небалансів електроенергії.

### 1.3.2 Особливості функціонування балансуючого ринку

На балансуючому ринку роль оператора системи передачі полягає у забезпеченні збалансованості попиту та пропозиції при функціонуванні системи близько до реального часу, враховуючи результати ринку «на добу наперед» та внутрішньодобового ринку. Тому основою для функціонування БРЕЕ є добре функціонуючий ринків «на добу наперед» та внутрішньодобовий ринок. Рисунок 1.3.1 показує схему взаємодії ринків електроенергії та учасників ринків.

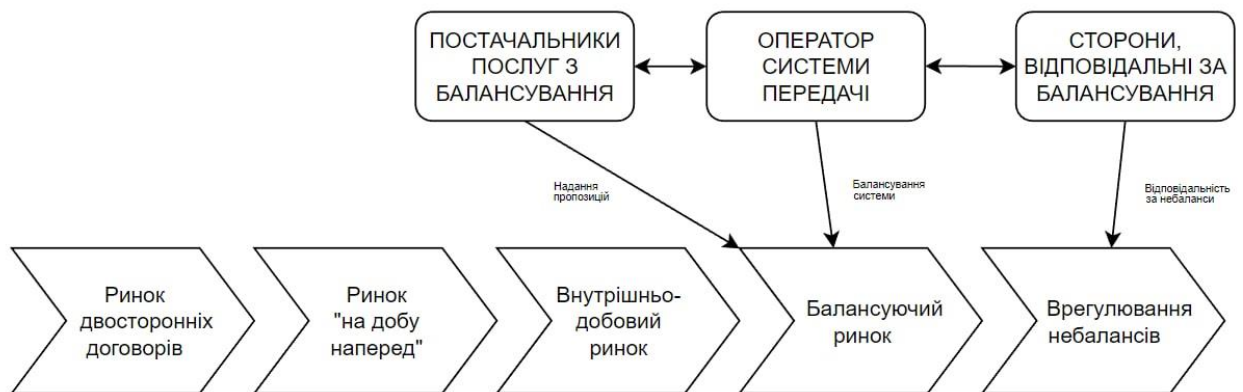


Рисунок 1.3.1 - Місце балансуючого ринку на ринках електричної енергії

Згідно з повідомленнями після закриття ринку, збалансований ринок базується на зобов'язаннях виробників постачати електроенергію. Процес балансування складається з трьох основних етапів:

- оператори системи передачі визначають потребу в балансуючих резервах;
- оператор системи передачі закуповує необхідну балансуючу потужність;
- оператор системи передачі закуповує необхідну балансуючу енергію.

У рамках БРЕЕ його учасники надають послуги з балансування. Це включає послуги купівлі-продажу електроенергії операторам систем передачі. Для надання послуг з балансування учасники ринку повинні укласти договір про обслуговування балансування. Послуги з балансування надаються постачальниками послуг для забезпечення достатньої кількості електроенергії та балансування електроенергії, необхідної для виробництва та споживання електроенергії в режимі реального часу.

### 1.3.3 Алгоритм роботи балансуючого ринку

Постачальники балансуючих послуг повинні надавати операторам систем транспортування пропозиції щодо збільшення (зменшення) свого навантаження.

Оператори систем передачі надають послуги балансування постачальникам послуг для збільшення (зменшення) їхнього навантаження, відбираючи відповідні пропозиції (пропозиції) на ринковій основі.

За підсумками балансуючого ринку за день розраховуються розрахунки за електроенергію операторам ОС та постачальникам послуг балансування, ціни дисбалансу електроенергії та розміри дисбалансу електроенергії для учасників ринку.

### 1.4 Висновки до розділу

В даному розділі були описані ринки електроенергії в Україні та було проведено детальний огляд балансуючого ринку електроенергії, приведено алгоритм його роботи та визначені особливості, що відрізняють його від інших ринків електроенергії.

## РОЗДІЛ 2 ФОРМУВАННЯ ВИМОГ ДО СИСТЕМИ

### 2.1 Функціональні вимоги

В автоматизованій системі роботи балансуючого ринку на основі смарт-контрактів мають бути такі типи користувачів:

- користувач електроенергії – це внутрішні підприємства, що виступають учасниками ринку електроенергії та здійснюють транзакції;
- іноземний користувач електроенергії - це іноземні підприємства, що виступають учасниками ринку електроенергії та здійснюють транзакції;
- зберігач електроенергії – це підприємства, що зобов'язані купувати надлишки електроенергії в разі відсутності попиту на ринку в кінці робочого дня;
- регулятор ринку – державна установа, що слідкує та регулює елементи балансуючого ринку електроенергії.

Далі будуть наведені групи користувачів системи, функції, що на них покладені та процеси, у яких вони задіяні:

Користувач електроенергії:

- авторизація на сайті;
- реєстрація на сайті;
- перегляд своїх транзакцій;
- введення ліміту зберігання електроенергії;
- введення мінімального резерву електроенергії;
- перегляд наявних пропозицій на ринку.

Іноземний користувач електроенергії:

- авторизація на сайті;
- реєстрація на сайті;
- перегляд своїх транзакцій;
- створення заявки на купівлю електроенергії;
- створення заявки на продаж електроенергії;
- перегляд наявних пропозицій на ринку.

Зберігач електроенергії:

- авторизація на сайті;
- реєстрація на сайті;
- перегляд своїх транзакцій;
- введення ліміту зберігання електроенергії;
- перегляд наявних пропозицій на ринку.

Регулятор ринку:

- регулювання послідовності пріоритетів забезпечення надлишків та недостач;
- регулювання коефіцієнтів вартості електроенергії окремо для продажу та купівлі.
- перегляд інформаційної таблиці про транзакції, які відбувалися на балансуєчому ринку електроенергії;
- перегляд показнику балансу на балансуєчому ринку електроенергії.

Функціональні вимоги також продемонстровані у Додатку А на діаграмі варіантів використання застосунку.

## 2.2 Визначення задачі

### 2.2.1 Призначення розробки

Призначення системи балансуючого ринку електроенергії на основі смарт-контрактів полягає у забезпеченні та оптимізації проведення транзакцій, отриманні показників лічильників та балансування недостач та надлишків електроенергії на ринку.

### 2.2.2 Основні цілі та задачі розробки

Цілями розробки даної системи балансування ринку є:

- зменшити участь користувача у здійсненні транзакцій на балансуючому ринку електроенергії;
- забезпечити прозорість та безпеку проведених транзакцій;
- забезпечити регулювання ринку з боку держави.

Для досягнення цілей розробки необхідно вирішити задачі:

- обробка показників лічильників, що надходять від підприємства автоматично на сервер ринку;
- можливість введення мінімальної кількості резервів для кожного підприємства;
- можливість перегляду транзакцій та пропозицій для усіх користувачів;
- слідкування за балансом на ринку;
- можливість регулювання коефіцієнтів та пріоритетів в купівлі продажі електроенергії.

### 2.3 Висновок до розділу

В розділі формування вимог до системи було описано діяльність та функціональні можливості системи, що розробляється. Було виконано опис функціональних вимог та була сформована постановка задачі.

## **РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ТЕХНОЛОГІЇ СМАРТ-КОНТРАКТІВ**

### **3.1 Актуальність технології**

Технологія розумних контрактів змінює звичайні промислові та бізнес-процеси. Будучи вбудованими в блокчейни, смарт-контракти дозволяють автоматично виконувати умови договору без втручання третьої сторони. В результаті використання смарт-контрактів можна скоротити адміністрування та заощадити витрати на послуги, підвищити ефективність бізнес-процесів та знизити ризики. Хоча розумні контракти обіцяють стимулювати нову хвилю інновацій у бізнес-процесах, існує ряд проблем, які потрібно вирішити.

Технологія блокчейн нещодавно викликала великий інтерес як з боку наукових кіл, так і промисловості. Блокчейн — це розподілена програмна система, яка дозволяє обробляти транзакції без необхідності довіреної третьої сторони. В результаті бізнес-діяльність може бути завершена швидше та дешевше. Крім того, незмінність блокчейнів також забезпечує довіру, оскільки практично неможливо підробити будь-які транзакції, що зберігаються в блокчейнах, а всі історичні транзакції піддаються аудиту та відстеженню.

Технологія Blockchain дозволяє укласти розумні контракти, які були вперше запропоновані в 1990-х роках Ніком Сабо [2]. У смарт-контракті умови контракту, написані в комп'ютерних програмах, будуть автоматично виконуватися, коли будуть дотримані заздалегідь визначені умови. Смарт-контракти, що складаються з транзакцій, по суті, зберігаються, тиражуються та оновлюються в розподілених блокчейнах. На відміну від цього, звичайні контракти мають бути заповнені довіреною третьою стороною централізовано, що, як наслідок, призводить до тривалого часу виконання та додаткових витрат. Інтеграція технології блокчейн зі смарт-контрактами втілить мрію про «рівний-рівний ринок».

### 3.2 Смарт-контракти на ринках електроенергії

Розглянемо смарт-контракт між покупцем і постачальником електроенергії. Рисунок 3.2.1, показує, що енергопостачальник(постачальник) спочатку надсилає запит на продаж електроенергії через мережу блокчейн. Цей запит, який містить описи якості електроенергії разом з умовами доставки та оплати, зберігається та розповсюджується в блокчейні, щоб споживач(покупець) міг отримати інформацію про продукт і одночасно перевірити справжність та репутацію постачальника. Потім покупець відправляє замовлення з вказаною кількістю та датою оплати через блокчейн. Вся ця процедура формує договір купівлі-продажу (тобто Контракт 1), укладений у синє поле, що показує Рисунок 3.2.1.

Варто зазначити, що вся процедура між покупцем і постачальником проходить без втручання третьої сторони.

Після виконання контракту 1 постачальник шукатиме оператора доставки електроенергії(перевізника) в блокчейні для завершення етапу постачання Як і у Контракті 1, перевізник також публікує опис доставки, а також умови доставки в блокчейні. Якщо постачальник приймає контракт, виданий перевізником, продукція буде доставлена перевізнику, який нарешті забезпечить електроенергію покупця. Уся ця процедура створює Контракт 2, що показує Рисунок 3.2.1. Аналогічно, вся процедура Договору 2 також проводиться без втручання третьої сторони.

Окрім автоматичного виконання Контракту 1 та Контракту 2, процедури оплати (включаючи оплату від постачальника перевізнику та від покупця до постачальника) також завершуються автоматично. Наприклад, як тільки покупець підтвердить отримання продукції, оплата між покупцем і постачальником буде автоматично ініційована, якщо буде виконана попередньо визначена умова. Фінансові розрахунки від покупця до постачальника здійснюються за допомогою криптовалют (наприклад, Bitcoin

або Ether1.). На відміну від звичайних транзакцій, весь процес виконується однорангово без втручання третіх сторін, наприклад банків. В результаті можна значно заощадити час виконання та транзакційні витрати.

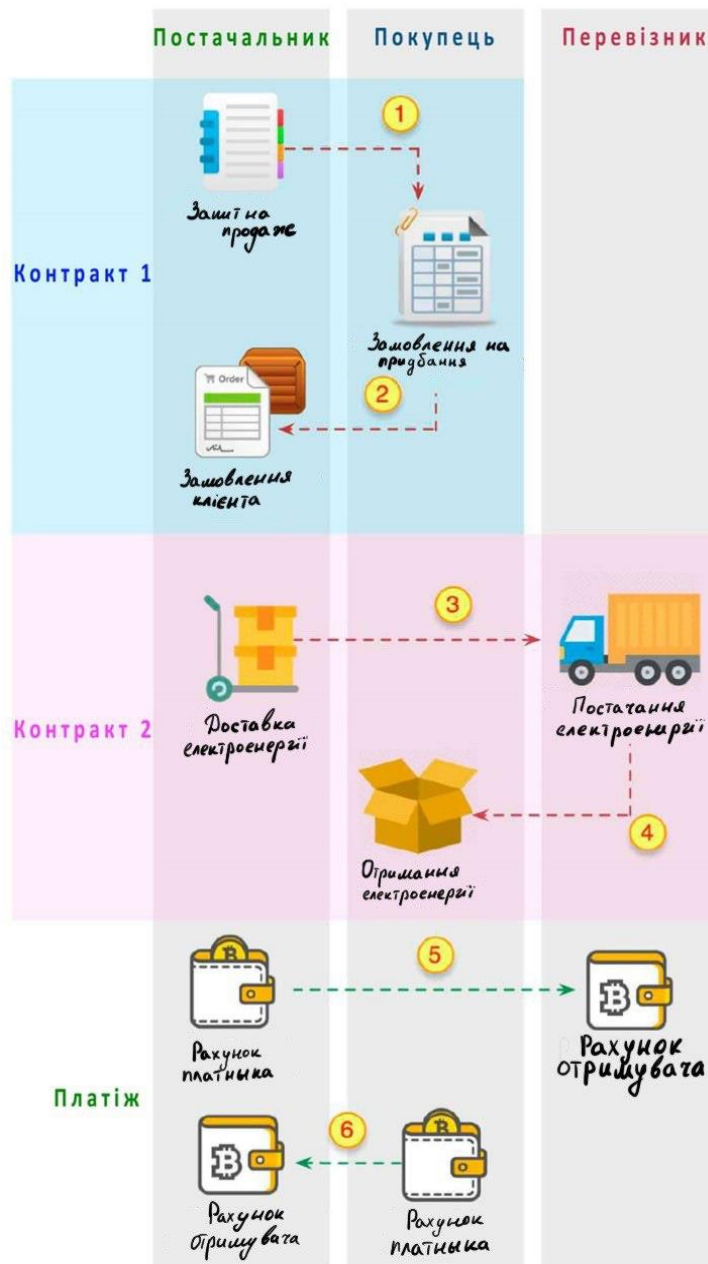


Рисунок 3.2.1 - Смарт-контракт між постачальником та споживачем електроенергії

### 3.3 Переваги смарт-контрактів

Підсумовуючи, розумні контракти мають такі переваги порівняно зі звичайними контрактами:

- Зниження ризиків. Через незмінність блокчейнів смарт-контракти не можна довільно змінювати після їх випуску. Більше того, усі транзакції, які зберігаються та дублюються в усій розподіленій системі блокчейн, можна відстежити та перевірити. В результаті можна значно пом'якшити шкідливу поведінку, як-от фінансове шахрайство.
- Скорочення витрат на адміністрування та обслуговування. Блокчейни забезпечують довіру всієї системи за допомогою розподілених механізмів консенсусу, не звертаючись до центрального брокера чи посередника. Смарт-контракти, що зберігаються в блокчейнах, можуть автоматично запускатися децентралізованим способом. Таким чином, можна значно заощадити витрати на адміністрування та послуги за рахунок втручання третьої сторони.
- Підвищення ефективності бізнес-процесів. Усунення залежності від посередника може значно підвищити ефективність бізнес-процесу. Візьмемо як приклад вищезгадану процедуру ланцюга поставок. Фінансовий розрахунок буде автоматично завершено одноранговим способом, як тільки буде виконано попередньо визначену умову (наприклад, покупець підтвердить отримання продуктів). В результаті можна значно скоротити час виконання.

### 3.4 Недоліки смарт-контрактів

Розумні контракти розширюють широкий спектр застосувань, починаючи від промислового Інтернету і закінчуючи фінансовими послугами. Незважаючи на те, що розумні контракти мають великий потенціал для зміни традиційних бізнес-процедур, існує ряд проблем, які необхідно вирішити. Наприклад, навіть якщо блокчейн може забезпечити певну анонімність сторін контракту, конфіденційність усього виконання контракту може не бути

збережена, оскільки всі транзакції доступні у всьому світі. Крім того, важко забезпечити коректність смарт-контрактів через уразливість комп'ютерних програм до збоїв і збоїв.

Існують останні дослідження розумних контрактів. Однак більшість існуючих робіт не вказують на зростаючі проблеми та не дають всебічного огляду. Наприклад, Ethereum можна використовувати для ведення нелегального бізнесу, наприклад схем Понці, які, як повідомлялося, шахрайством понад 410 000 доларів США, хоча деякі все ж розглядають цю проблему.

### 3.5 Блокчейн

Блокчейн можна розглядати як публічну книгу, в якій не можна сфальсифікувати всі транзакції. Рисунок 3.5.1 ілюструє приклад блокчейну. Блокчейн — це ланцюг блоків, що постійно зростає. Коли створюється новий блок, усі вузли мережі братимуть участь у перевірці блоку. Після перевірки блоку він буде доданий до блокчейна. Блокчейн складається з послідовності блоків, кожен з яких містить зворотний хеш, що вказує на його батьківський блок. Тим часом всередині блоку зберігається ряд транзакцій.

Для перевірки надійності блоків розроблені алгоритми консенсусу. Алгоритми консенсусу визначає, який вузол зберігає наступний блок і як новий доданий блок буде перевірено іншими вузлами. Репрезентативні алгоритми консенсусу включають підтвердження роботи (PoW) [3] і підтвердження долі (PoS) і практичну візантійську відмовостійкість (PBFT) [4], [5]. Алгоритми консенсусу зазвичай виконують користувачі, які першими розв'язують головоломку (наприклад, PoW або PoS). Цих користувачів називають майнерами. Кожен майнер зберігає повну копію блокчейну. На відміну від PoW і PoS, PBFT вимагає багаторундового процесу голосування для досягнення консенсусу. Алгоритми розподіленого консенсусу можуть гарантувати, що транзакції здійснюються без втручання третіх сторін, наприклад банків. В результаті можна заощадити транзакційні витрати.

Більше того, користувачі здійснюють транзакції зі своїми віртуальними адресами замість реальних ідентифікаторів, тому конфіденційність користувачів також є збережено.

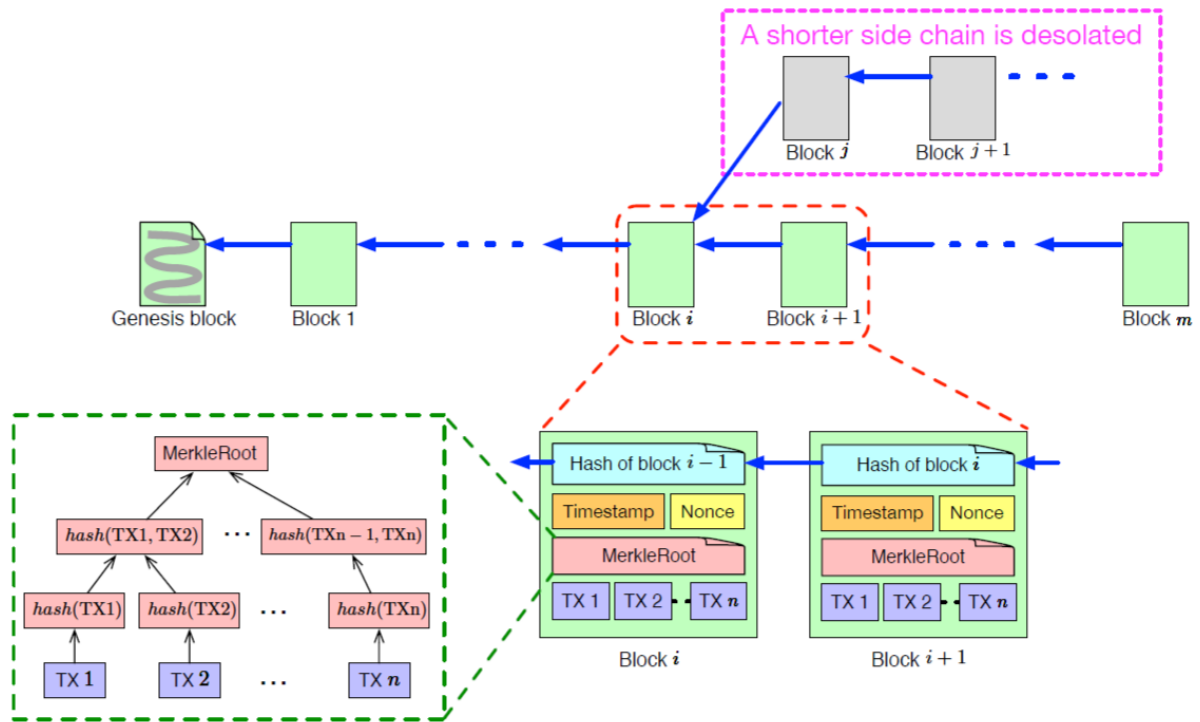


Рисунок 3.5.1 - Структура блокчейну

У системах блокчейну можливо, що кілька вузлів можуть успішно досягти консенсусу (тобто розв'язати головоломку) одночасно, отже, це може спричинити роздвоєння гілок. Щоб усунути невідповідність, короткочасний бічний ланцюг розлучається, як показує Рисунок 3.5.1, а найдовший ланцюг вибирається як дійсний ланцюг. Цей механізм ефективний, оскільки довший ланцюжок більш толерантний до зловмисних атак, ніж короткий ланцюг у розподілених системах. Підсумовуючи, технологія блокчейн має ключові характеристики децентралізації, незмінності, стійкості та анонімності [8], [6], [7].

### 3.6 Розумний контракт

Смарт-контракти можна розглядати як великий прогрес у технології блокчейн [9]. У 1990-х роках смарт-контракт був запропонований як комп'ютеризований протокол транзакції, який виконує договірні умови угоди [2]. Договірні положення, вбудовані в смарт-контракти, будуть автоматично застосовуватися, коли буде виконано певну умову (наприклад, одна сторона, яка порушить договір, буде автоматично покарана).

Блокчейни дозволяють укласти розумні контракти. Смарт-контракти по суті реалізуються поверх блокчейнів. Затверджені договірні положення перетворюються на виконувани комп'ютерні програми. Логічні зв'язки між договірними пунктами також були збережені у формі логічних потоків у програмах (наприклад, оператор if-else-if). Виконання кожного контракту записується як незмінна транзакція, що зберігається в блокчейні. Розумні контракти гарантують належний контроль доступу та виконання контрактів.

Зокрема, розробники можуть призначити дозвіл доступу для кожної функції в контракті. Як тільки будь-яка умова в смарт-контракті буде задоволена, ініційований оператор автоматично передбачуваним чином виконає відповідну функцію.

Весь життєвий цикл смарт-контрактів складається з чотирьох послідовних фаз:

- 1) Створення смарт-контрактів. Кілька залучених сторін спочатку домовляються про зобов'язання, права та заборони за контрактами. Після кількох раундів обговорень і переговорів можна досягти згоди. Юристи або консультанти допоможуть сторонам скласти початкову договірну угоду. Інженери програмного забезпечення потім перетворюють цю угоду, написану природними мовами, у розумний контракт, написаний комп'ютерними мовами, включаючи декларативні мови та мови правил на основі логіки [10]. Подібно до розробки комп'ютерного програмного забезпечення, процедура конвертації смарт-контракту складається з проектування, впровадження та

перевірки (тобто тестування). Варто зазначити, що створення смарт-контрактів — це ітераційний процес, що включає кілька раундів переговорів та ітерацій. У той же час він також залучений до багатьох сторін, таких як зацікавлені сторони, юристи та інженери з програмного забезпечення.

2) Розгортання смарт-контрактів. Перевірені смарт-контракти потім можуть бути розгорнуті на платформах поверх блокчейнів. Контракти, що зберігаються в блокчейнах, не можуть бути змінені через незмінність блокчейнів. Будь-яка зміна вимагає укладання нового договору. Після того, як смарт-контракти будуть розгорнуті на блокчейнах, усі сторони зможуть отримати доступ до контрактів через блокчейни. Крім того, цифрові активи обох сторін смарт-контракту блокуються шляхом заморожування відповідних цифрових гаманців [11]. Наприклад, блокуються перекази монет (вхідних або вихідних) на гаманці, що стосуються контракту. При цьому сторони можуть бути ідентифіковані за їхніми цифровими гаманцями.

3) Виконання смарт-контрактів. Після розгортання смарт-контрактів контрактні положення були відстежені та оцінені. Як тільки умови контракту досягнуть (наприклад, отримання продукту), договірні процедури (або функції) будуть автоматично виконані. Варто зазначити, що смарт-контракт складається з ряду декларативних операторів з логічними зв'язками. Коли умова спрацьовує, відповідний оператор буде автоматично виконано, отже, транзакція буде виконана та перевірена майнерами в блокчейнах [12]. Після цього здійснені транзакції та оновлені стани зберігаються в ланцюгах блоків.

4) Завершення смарт-контрактів. Після виконання смарт-контракту нові стани всіх залучених сторін оновлюються. Відповідно, транзакції під час виконання смарт-контрактів, а також оновлені стани зберігаються в блокчейнах. Тим часом цифрові активи були передані від однієї сторони до іншої (наприклад, переказ грошей від покупця до постачальника). Таким чином, цифрові активи залучених сторін були розблоковані. Тоді розумний контракт завершив весь життєвий цикл.

Варто зазначити, що під час розгортання, виконання та завершення смарт-контракту виконується послідовність транзакцій (кожна відповідає оператору в смарт-контракті) і зберігається в блокчейні. Таким чином, всі ці три фази повинні записати дані в блокчейн.

### 3.7 Платформа розгортання Smart Contract

Останнім часом смарт-контракти були розроблені на платформах на основі блокчейна. Ці платформи надають розробникам прості інтерфейси для створення додатків для смарт-контрактів. Серед низки існуючих платформ блокчейну багато з них можуть підтримувати смарт-контракти. Найбільш репрезентативні з платформ смарт-контрактів: Ethereum [13], Hyperledger Fabric [14], Corda [15], Stellar [16], Rootstock [17]. Для розробки системи було вибрано Ethereum [13] в основному через популярність у розвитку спільноти та технічну зрілість.

#### 3.7.1 Ethereum

Ethereum — це децентралізована платформа, яка може виконувати розумні контракти. На відміну від системи сценаріїв Turingincomplete від Bitcoin, Ethereum розробив такі мови Turingcomplete, як Solidity2[46], Serpent3[46], Low-level Lisp-like Language (LLL)4[46] і Mutan5[46], щоб підтримувати загальні користувацькі програми, крім програм криптовалют. Ethereum компілює смарт-контракти, написані Solidity, Serpent, LLL і Mutan, у машинні коди, які потім завантажуються в EVM і запускаються. Тим часом Ethereum використовує модель даних на основі облікового запису, в якій кожен учасник ідентифікується за допомогою цифрового гаманця.

Подібно до Bitcoin, Ethereum використовує PoW як алгоритм консенсусу, який також є інтенсивним обчисленням. Для компенсації витрат на розгадування головоломок, створених майнерами, використовується ефір (ETH) замість монет (BTC) у біткойнах. По суті, газ служить внутрішньою ціною для виконання транзакції для подолання нестабільної вартості ETH. Неофіційно

загальну вартість транзакції можна розрахувати за лімітною ціною газу, де ліміт газу означає максимальну кількість його, яка буде використана для створення блоку, а ціна— це вартість одиниці газу (в ETH). Користувачі можуть платити різну кількість газу, щоб їх транзакції підтверджувалися раніше чи пізніше. Оскільки PoW є інтенсивним обчислювальним процесом, він може витрачати багато електроенергії на безглузді завдання з майнінгу блоків. Очікується, що процес майнінгу використовується для значущих подій, таких як допомога в розв'язуванні математичних головоломок і виконання завдань машинного навчання.

### 3.7.2 Переваги Ethereum

Далі буде наведене порівняння Ethereum з Fabric, Corda, Stella, Rootstock (RSK) і EOS за такими аспектами, як середовище виконання, підтримуюча мова, повнота, модель даних, протоколи консенсусу, дозвіл і додаток.

- Середовище виконання. Контракти в Ethereum виконуються в EVM. Аналогічно, Corda і Rootstock використовують віртуальні машини JVM і RSK відповідно. На відміну від цього, Fabric і Stellar запускають смарт-контракти поверх контейнерів Docker, отже, зменшуючи накладні витрати, жертвуючи ізоляцією програм. EOS вирішила використовувати Wasm для підтримки більшої кількості мов розумних контрактів.
- Підтримувані мови. Ethereum підтримує Solidity, Serpent і Mutan, які спеціально розроблені для Ethereum. Наразі Fabric підтримує Java і Golang, а Corda використовує Java і Kotlin. Stellar може підтримувати різноманітні мови, такі як Python, Javascript, Golang та PHP. Щоб бути сумісним з Ethereum, RSK використовує Solidity як мову контракту, тоді як EOS наразі підтримує лише C++.
- Повнота. Смарт-контракти на Ethereum, EOS, Fabric і RSK є завершеними, а Corda і Stellar — неповними. Контракти, повні, як

правило, більш виразні, ніж інші. Однак повнота також приносить потенційні помилки програмного забезпечення, які можуть бути сприйнятливими до зловмисних атак.

- Модель даних. Corda використовує модель виведення невитрачених транзакцій (UTXO), як і Bitcoin. У моделі UTXO кожен платіж має вказувати попередню невитрачену транзакцію як вхід. Тоді зазначена транзакція стає витраченою. Зміни будуть внесені до нових невитрачених транзакцій. Ethereum, Stellar, EOS і RSK використовують модель на основі облікового запису, в якій баланс адреси записується безпосередньо замість обчислення всіх невитрачених сум транзакцій. Fabric використовує модель ключ-значення, в якій дані представлені парами ключ-значення, що зберігаються в блокчейнах.
- Алгоритми консенсусу. Ethereum і RSK використовують PoW, в якому перевірка надійності блоку еквівалентна розв'язанню складної обчислювальної задачі. Алгоритми консенсусу PoW, як правило, інтенсивні обчислення. Fabric обирає алгоритм консенсусу PBFT[4], в якому для досягнення консенсусу проводяться кілька раундів голосування серед аутентифікованих вузлів. Таким чином, PBFT[4] є мережевим. На відміну від цього, Corda використовує простий алгоритм консенсусу, а саме Raft, для досягнення консенсусу між різними секторами на рівні окремих угод замість глобальної системи. Аналогічно, Stellar розробляє простий алгоритм консенсусу під назвою SCP для досягнення консенсусу. EOS використовує комбінацію BFT і DPOS.
- Дозвіл. Ethereum, EOS і RSK є загальнодоступними (тобто без дозволу) смарт-контрактними платформами, і кожен користувач може довільно приєднатися до мережі, тоді як Corda і Hyperledger є

приватними платформами, які дозволяють отримати доступ лише автентифікованим користувачам.

- Застосування смарт-контракту. На відміну від Corda, Stellar і RSK підтримують лише цифрову валюту, тоді як Ethereum і Fabric обслуговують більш широкий спектр застосувань, починаючи від цифрової валюти, управління цифровими активами, капіталовкладень, державного сектора до економіки спільного використання. У майбутньому Corda, EOS, Stellar і RSK та їх похідні можуть підтримувати більш загальні програми.

### 3.8 Застосування розумних контрактів

Смарт-контракти мають широкий спектр застосувань, починаючи від Інтернету речей і закінчуючи економікою спільного використання. Зокрема, основні програми для смарт-контрактів поділяють на шість типів, як показує на Рисунок 3.8.1. Пояснення усіх типів смарт-контрактів наводить Таблиця 3.8.1. Далі буде розглянуто лише тип Фінанси, так як до нього відноситься розробка смарт-контрактів для балансуючого ринку електроенергії.

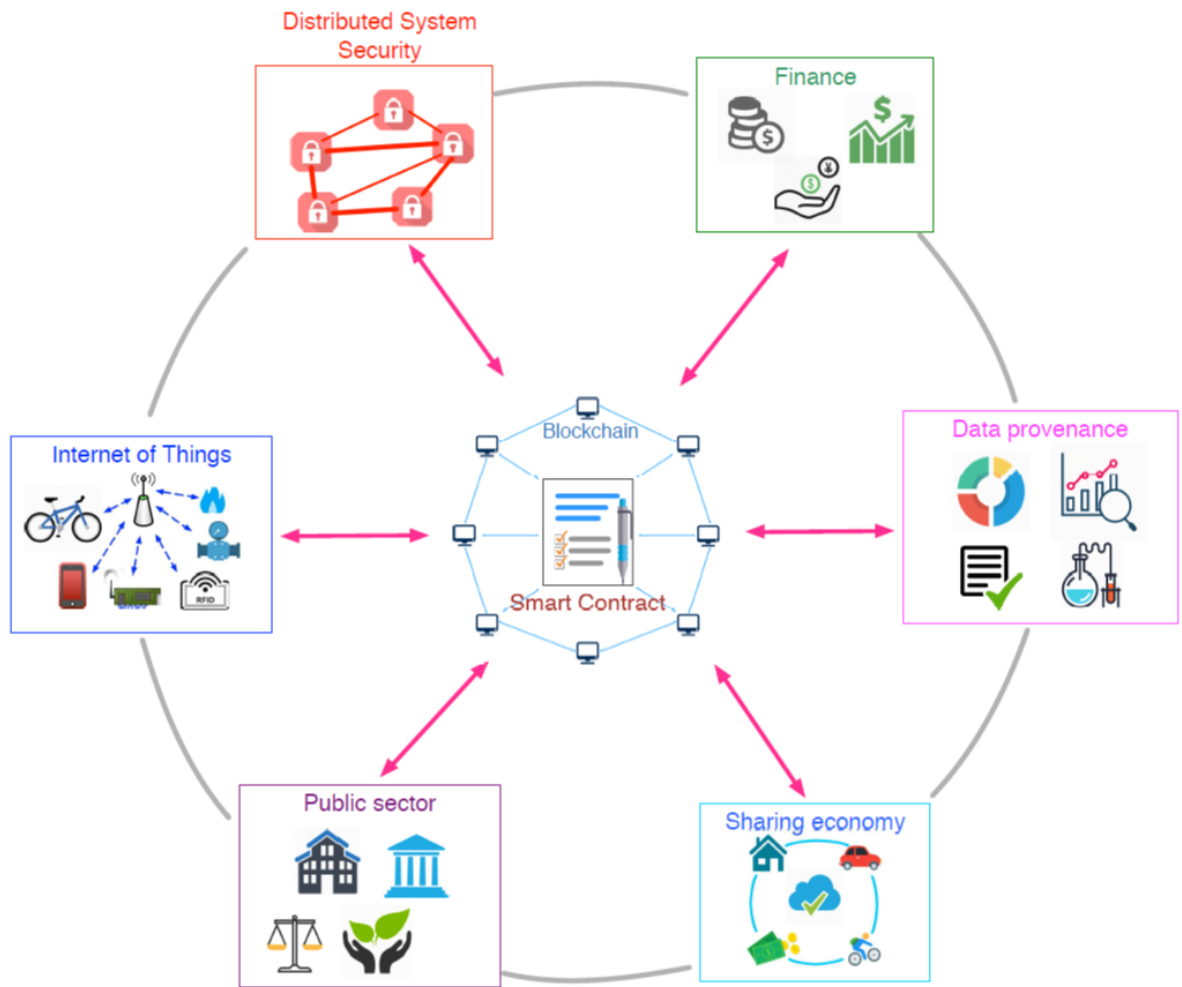


Рисунок 3.8.1- Програми для смарт-контрактів

Таблиця 3.8.1 - Програми для смарт контрактів

Застосунок	Переваги	Вживання
Інтернет речей	Зменшення витрат на обслуговування центрального сервера	Автоматичне оновлення мікропрограми пристрою IoT
	Автоматизація P2P бізнес-трейдингу	Ланцюги поставок прискорюються
	Зменшення витрат для довірених третіх сторін	
Безпека розподілених систем	Швидко та надійно надсилайте список атак	Пом'якшення DDoS-атак у комп'ютерних мережах
	Перевірка надійності постачальників хмарних послуг	Хмарні обчислення
	Уникнення використання брокерів	
Фінанси	Зменшення фінансових ризиків	Ринки капіталу та інвестиційна банківська справа
	Зниження витрат на адміністрування та обслуговування	Комерційний та роздрібний банкінг

Продовження таблиці 3.8.1 - Програми для смарт контрактів

Застосунок	Переваги	Вживання
Фінанси	Підвищення ефективності фінансових послуг	Страховання
Походження даних	Фіксація фальсифікації шкідливих даних	Наукове дослідження
	Підвищення надійності даних	Громадське здоров'я
	Збереження конфіденційності	Походження хмарних даних
Економіка спільного використання	Зниження споживчих витрат	Спільний доступ до елементів
	Зменшення витрат для довірених третіх сторін	R2P автоматичні платіжні системи
	Збереження конфіденційності	Платформи обміну валют
Державний сектор	Запобігання шахрайству даних	Системи електронного голосування
	Прозорість даних публічної інформації	Системи особистої репутації
	Збереження конфіденційності	Розумні платформи обміну нерухомістю

### 3.8.1 Обґрунтування використання смарт-контрактів

Смарт-контракти потенційно можуть знизити фінансові ризики, зменшити витрати на адміністрування та обслуговування та підвищити ефективність фінансових послуг, що надаються балансуєчим ринком електроенергії.

Ринки капіталу та інвестиційна банківська справа до яких відноситься балансуєчий ринок електроенергії, в традиційному розумінні, постраждали від довгих циклів розрахунків. Смарт-контракти можуть значно скоротити період розрахунків з 20 і більше днів до 6-10 днів, що підвищить привабливість для клієнтів. Як наслідок, в [18] передбачено, що це може призвести до зростання попиту на 5-6% у майбутньому та призвести до додаткового доходу.

Розумні контракти разом із технологією блокчейн також змінюють управління державним сектором, до якого так само має відношення і балансуєчий ринок електроенергії, адже саме держава займається його регулюванням. Блокчейн може по суті запобігти шахрайству з даними та забезпечити прозорість публічної інформації. Під час публічних торгів електроенергією, що відбуваються на балансуєчому ринку, інтеграція блокчейнів і смарт-контрактів може підтвердити особи як учасників торгів, так і суб'єктів торгів (електроенергію), автоматизувати процес торгів, забезпечувати аудит та підтримку.

Смарт-контракти також можна використовувати для встановлення особистої цифрової особистості та репутації.

### 3.9 Висновки до розділу

В даному розділі були описані технології блокчейну та смарт-контрактів з точки зору використання їх для забезпечення роботи ринків електроенергії. В результаті були продемонстровані переваги та недоліки технології смарт контрактів при використанні в розробці балансуєчого ринку електроенергії.

## РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА СИСТЕМИ

### 4.1 Використані технології

#### 4.1.1 Мови програмування

##### Python

Python[19] — це мова програмування з відкритим вихідним кодом і кросплатформна мова, яка за останні десять років стає все більш популярною. Вперше він був випущений в 1991 році. Остання версія — 3.7.0. CPython — це еталонна реалізація мови програмування Python. Написаний на C, CPython є стандартною і найбільш широко використовуваною реалізацією мови.

Python[19] — високорівнева, інтерпретована, інтерактивна й об'єктно-орієнтована мова сценаріїв. Python призначений для читання. Він часто використовує англійські ключові слова, де як іншими мовами використовується пунктуація, і вона має менше синтаксичних конструкцій, ніж інші мови.

Переваги:

- обробляється під час виконання інтерпретатором. Ти не необхідно скомпілювати вашу програму перед її виконанням. Це схоже на PERL і PHP;
- є інтерактивним: ви можете сидіти за підказкою Python і взаємодіяти з інтерпретатором безпосередньо для написання ваших програм;
- є об'єктно-орієнтованим: Python підтримує об'єктно-орієнтований стиль або техніку програмування, яке інкапсулює код в об'єкти;
- мова для початківців: Python — чудова мова для початківців, програмістів і підтримує розробку широкого спектру додатків від простої обробки тексту в WWW браузерях до ігор.

## Історія Python:

Python був розроблений Гвідо ван Россумом наприкінці 80-х і на початку 90-х років в Національному науково-дослідницькому інституті математики та інформатики в Нідерландах.

Python є похідним від багатьох інших мов, включаючи ABC[20], Modula-3[20], C[20], C++[20], Algol-68[20], SmallTalk[20], оболонка Unix та інших[20].

Python захищений авторським правом. Як і Perl, вихідний код Python тепер доступний у GNU General Публічна ліцензія (GPL) [20].

Зараз Python підтримується основною командою розробників в інституті, хоча Гвідо Ван Россум досі відіграє життєво важливу роль у керуванні його прогресом[20].

## Особливості Python:

### Функції Python включають[20]:

- легкий у навчанні: Python має кілька ключових слів, просту структуру та чітко визначену синтаксису. Це дозволяє студенту швидко опанувати мову;
- легко читається: код Python чіткіше визначений і помітний для очей;
- простота в обслуговуванні: вихідний код Python досить простий в обслуговуванні;
- широка стандартна бібліотека: велика частина бібліотеки Python дуже портативна та кросплатформна сумісна в UNIX, Windows і Macintosh;
- інтерактивний режим: Python підтримує інтерактивний режим, який дозволяє інтерактивне тестування та налагодження фрагментів коду;

- портативний: Python може працювати на багатьох апаратних платформах і має те саме інтерфейс на всіх платформах;
- розширюваний: Ви можете додавати модулі низького рівня до інтерпретатора Python. Ці модулі дозволяють програмістам додавати або налаштовувати свої інструменти, щоб вони були більш ефективними;
- бази даних: Python надає інтерфейси до всіх основних комерційних баз даних;
- програмування з графічним інтерфейсом користувача: Python підтримує програми з графічним інтерфейсом користувача, які можна створювати та приєднувати до багатьох системних викликів, бібліотек і систем Windows, таких як Windows MFC, Macintosh і система X Window Unix;
- масштабований: Python забезпечує кращу структуру та підтримку великих програм, ніж оболонка сценаріїв.

Окрім вищезгаданих функцій, Python має великий список хороших можливостей, але небагато перерахуємо нижче[20]:

- підтримує функціональні та структуровані методи програмування, а також ООП;
- можна використовувати як мову сценаріїв або компілювати в байт-код для побудови великі додатки;
- забезпечує дуже високорівневі динамічні типи даних і підтримує динамічну перевірку типів;
- підтримує автоматичний збір сміття;
- можна легко інтегрувати з C, C++, COM, ActiveX, CORBA та Java.

## Solidity

Solidity це об'єктно-орієнтована мова програмування для реалізації смарт-контрактів[21][22] на різних платформах блокчейн, включаючи Ethereum[23]. Її розробили Крістіан Райтвіснер, Алекс Бергзасі та декілька колишніх членів Ethereum Core[24]. Програми розроблені Solidity запускаються на віртуальній машині Ethereum.

### Історія Solidity:

Solidity був запропонований Гевіном Вудом у серпні 2014 року[25], а пізніше мова була розроблена розробниками Solidity проекту в голові з Крістіаном Райтвіснером.

Solidity основною мовою Ethereum[26] разом з іншими приватними блокчейнами на конкуруючих платформах, таких як Monax і його блокчейн Hyperledger Burrow, який використовує Tendermint для консенсусу. SWIFT розгорнув доказ концепції за допомогою Solidity, що працює на Burrow[22][27].

Solidity це статично стандартизована мова програмування, розроблена для створення смарт-контрактів, які запускаються на віртуальній машині Ethereum (EVM)[28]. Solidity має синтаксис, подібний до ECMAScript, що робить його знайомим для існуючих веб-розробників; однак, відрізняється він від ECMAScript тим, що має статичну типізацію та змінювані типи повернення. Solidity відрізняється від інших мов, орієнтованих на EVM, таких як Serpent і Mutan, у деяких важливих аспектах. Він підтримує складні змінні-члени контрактів, включаючи довільні ієрархічні відображення та структури. Контракти Solidity підтримують успадкування, включаючи множинне успадкування з лінеаризацією СЗ. Solidity це інтерфейс бінарного програмування (ABI), який забезпечує безпеку для кількох типів функцій в рамках одного контракту (це також пізніше підтримувалося Serpent). Пропозиція Solidity також включає специфікацію природної мови, систему

документації для визначення користувацьких описів результатів викликів методів[29][30]. На відміну від програм на традиційних мовах програмування, які можна налагоджувати, у контрактах Solidity помилки не можна редагувати або виправляти; операції не можуть бути скасовані. Солідність дотримується мантри «Кодекс закон», що означає, що будь-який розумний контракт повинен бути бездоганно закодований, коли він вступає в силу.

Були такі хаки, як вищезгаданий злом DAO 2016 року, коли було вкрадено 60 мільйонів доларів, і злом 2021 року, який призвів до форка системи Ethereum.

Щоб запобігти технічним помилкам і помилкам, Coinbase, найбільша біржа криптовалют у США, запустила новий інструмент під назвою Solidify. Інструмент це система аудиту ШІ, яка визначає та класифікує ризики в смарт-контрактах.

## JavaScript

JavaScript (часто скорочено як JS)[31] — це інтерпретована, легка, об'єктно-орієнтована мова з чудовими функціями, найбільш відома як мова сценаріїв для веб-сайтів, але вона також може бути використана в багатьох середовищах, що не є браузерами. Це заснована на прототипах, багатопарадигмальна мова сценаріїв, яка є динамічною та підтримує об'єктно-орієнтований, функціональний та імперативний стилі програмування.[31]

JavaScript працює на клієнтській стороні в Інтернеті і може використовуватися для розробки/програмування поведінки веб-сторінок під час подій. JavaScript — це зручна для вивчення, і не менш потужна мова сценаріїв, яка широко розповсюджена та зазвичай використовується для керування поведінкою веб-сторінок.[31]

Всупереч поширеній думці, JavaScript не є «інтерпретованою Java». Простіше кажучи, JavaScript — це динамічна мова сценаріїв, яка підтримує створення прототипів.[31]

JavaScript можна використовувати як процедурну мову, так і як об'єктно-орієнтовану мову. Об'єкти створюються шляхом приєднання методів і властивостей до порожніх об'єктів під час виконання, на відміну від визначень синтаксичних класів, поширених у компільованих мовах, таких як C++ і Java. Об'єкт можна використовувати, як прототип для створення подібних об'єктів, після його створення.[31]

Функції динамічного JavaScript включають створення об'єктів під час виконання, списків змінних, змінних функцій, створення динамічних сценаріїв, інтроспекції об'єктів і відновлення вихідного коду назад до вихідного тексту.[31]

#### 4.1.2 Фреймворки

##### Flask

Flask — це веб-фреймворк, написаний на python. Його можна класифікувати на мікрофреймворк, оскільки це не вимагає якихось особливих інструментів чи бібліотек і має вбудовану базу даних. Він не має абстракції бази даних шар. Однак flask підтримує розширення, яке може додати особливості програми. Існують розширення для об'єктно-реляційних картографів, перевірки форм, завантаження обробки, різні технології відкритої аутентифікації і кілька загальних інструментів, пов'язаних з фреймворком. Розширення оновлюються набагато частіше, ніж Основна програма Flask.

#### 4.1.3 Бібліотеки

##### Web3

Web3 або Web 3.0[32][33][34] — концепція нової ітерації розвитку Web, який би був децентралізованим та базувався на блокчейн технології.[35] Частіше за все його порівнюють з Web 2.0, де переважна більшість даних та контенту належать невеликій групі компаній: Google, Amazon, Facebook, Apple, Microsoft.[36] Термін «Web3» був запропонований в 2014 році головою команди Ethereum - Крістіаном Гевіном Вудом. Популярність рішення зросла

у 2021 році серед криптовалютних розробників, шанувальників, великих технологічних компаній та інших фірм.[36][37][42]

### Історія Web3:

Web 1.0 та Web 2.0 найчастіше розглядають як різні етапи в історії Web по мірі еволюції та завдяки появі різних технологій та форматів. [42]

Етап Web 1.0 був приблизно в період з 1994 по 2004 роки, коли більшість Web-сайтів були статичними сторінками і переважна більшість користувачів були лише споживачами, та не створювали власний контент.[38][39] [42]

Етап Web 2.0 супроводжується ідеєю «Web як платформи», [40] увага зосереджується на контенті, згенерованому та оприлюдненому власне користувачем за допомогою соц-мереж, блогів та інших сайтів та сервісів.[41] Період Web 2.0, вважається розпочався в 2004 році і тривав до 2014 року.[40][42][36]

### 4.2 Технічні вимоги

Система була розроблена, як веб-додаток та може використовуватися через будь який браузер.

Мінімальні технічні характеристики, що необхідні для коректної роботи застосунку відповідають мінімальним вимогам для використання обраного браузера:

- оперативна пам'ять - 4 гб або більше;
- жорсткий диск – Windows 7, 8, 8.1, 10, 11, Ubuntu 14.04.6, 16.04.6, 18.04.3, 19.10, IOS 6 - 15;
- браузер - Internet Explorer 9.0 +, Mozilla Firefox 3.5 +, Google Chrome 3.0 +, Safari 3.1 +, Microsoft Edge 20.1 +, Opera 10.5+;

Система для роботи потребує:

- PostgreSQL, розгорнута на сервері.

### 4.3 Розробка бази даних

Система, що розробляється має трирівневу клієнт-серверну архітектуру, що означає, що дані зберігаються на сервері бази даних. База даних була розроблена за допомогою мови програмування баз даних PostgreSQL за допомогою застосунку pgAdmin. У Додатку Д представлено схему розробленої бази даних. Таблиця 4.3.1 описує призначення кожної таблиці.

Таблиця 4.3.1 - Перелік таблиць бази даних

Назва таблиці	Призначення
Users	Таблиця користувачів
Electricities	Таблиця наявної в системі електроенергії розподіленої по користувачам
Indications	Таблиця показників лічильників
Limits	Таблиця лімітів користувачів
Lot	Таблиця виконаних та активних заявок купівлі та продажу.
Role	Таблиця з описом ролей користувачів
Wallets	Таблиця де зберігаються дані про баланс та гаманець користувача.

#### 4.4 Архітектура програмного забезпечення

##### 4.4.1 Класи системи та специфікація функцій

Система балансуючого ринку електроенергії на основі смарт-контрактів, це програмний продукт, що складається з класів та методів описаних далі (Таблиця 4.4.1).

Таблиця 4.4.1 - Перелік класів системи та їх методів

Назва класу	Призначення класу	Назва методу	Призначення методу
AddElectricityController	Створення заявок на продаж електроенергії.	_post	Введення інформації про електроенергії, що надійшла
		_get	Надання інформації про заявку на продаж електроенергії.
AddLotController	Створення транзакції.	_post	Введення інформації про транзакцію, що надійшла.
		_get	Надання інформації про транзакцію.
EditForeignUserCoefficientController	Зміна коефіцієнту користувача для покупки/продажі електроенергії	_post	Введення інформації про коефіцієнти, що надійшла
		_get	Надання коефіцієнтів користувача

Продовження таблиці 4.4.1 - Перелік класів системи та їх методів

Назва класу	Призначення класу	Назва методу	Призначення методу
EditUserLimitCoefficientController	Зміна лімітів користувача для покупки/продажі електроенергії	_post	Введення інформації про ліміти, що надійшла
		_get	Надання лімітів користувача
EditMinReserveCoefficientController	Робота за коефіцієнтами мінімального резерву	_post	Отримання значення коефіцієнту мінімального резерву з форми та збереження його в базу
		_get	Вибір значення коефіцієнту мінімального резерву з бази та відображення його на сторінці для редагування
EditUserSalePriorityController	Робота за коефіцієнтами продажу	_post	Отримання значення коефіцієнту пріоритету продажу користувача з форми та збереження його в базу

Продовження таблиці 4.4.2 - Перелік класів системи та їх методів

Назва класу	Призначення класу	Назва методу	Призначення методу
EditUserSalePriorityController	Робота за коефіцієнтами продажу	_get	Вибір значення коефіцієнту пріоритету продажу користвача з бази та відображення його на сторінці для редагування
EditUserBuyPriorityController	Робота з коефіцієнтами купівлі	_post	Отримання значення коефіцієнту пріоритету купівлі користвача з форми та збереження його в базу
		_get	Вибір значення коефіцієнту пріоритету купівлі користвача з бази та відображення його на сторінці для редагування
EditWalletController	Зміна інформації про гаманець	_post	Введення інформації про гаманець, що надійшла
		_get	Надання інформації про гаманець користувача

Продовження таблиці 4.4.3 - Перелік класів системи та їх методів

Назва класу	Призначення класу	Назва методу	Призначення методу
IndicationController	Зміна інформації про свідчення користувача	_post	Введення свідчень, що надійшли
LoginController	Перевірка введених даних користувача за для входу до системи	_post	Перевірка даних
		_get	Відмалювання форми для вводу даних
LogoutController	Вихід з системи	_get	Вихід з системи
ProfileController	Отримання повної інформацію про авторизований аккаунт	_get	Надання інформації про аккаунт користувача
SignUpController	Створення аккаунту у системі	_post	Надання інформації про аккаунт користувача
		_get	Отримання форми вводу
ViewElectricityController	Надання інформації про ринок на даний момент	_get	Отримання інформації про ринок на даний момент

Продовження таблиці 4.4.4 - Перелік класів системи та їх методів

Назва класу	Призначення класу	Назва методу	Призначення методу
EthProtocol	Клас для роботи з блокчейном	__init__	Оголошення об'єкту класу
		create_wallet	Створення адреси у блокчейні
		get_balance	Отримання балансу адреса
		transaction	Створення транзакції у контракті
		_get_contract	отримання контракту за для роботи з ним

#### 4.4.2 Діаграма активності застосунку

Користувачі постійно відправляють в систему показники своїх лічильників, система їх аналізує по мірі надходження показників, далі починає працювати алгоритм балансуючого ринку електроенергії, його роботу продемонстровано у Додатку Б на діаграмі активності застосунку. Основний алгоритм програми відпрацьовує кожні 30 хвилин.

**Крок 1:** Після початку роботи система розподіляє усі заявки, що: надійшли від користувача на 2 групи: заявки на продаж та купівлю.

**Крок 2:** Далі заявки на продаж сортуються за пріоритетом продажу користувача, що розмістив заявку та за ціною кіловату електроенергії вказаній в заявці. Заявки на купівлю в цей час сортуються за пріоритетом купівлі користувача, що створив заявку на купівлю.

**Крок 3:** Відбувається перевірка чи є хоча б одна заявка на продаж в системі, якщо заявка існує система переходить на крок 4, якщо ні – система переходить до кроку 10 .

**Крок 4:** Відбувається перевірка чи є хоча б одна заявка на купівлю, якщо заявка існує система переходить на крок 5, якщо ні система переходить в режим очікування на 30 хвилин, в цей час в систему надходять нові заявки.

**Крок 5:** Відбувається перевірка перших заявок зі списку купівлі та продажу. Якщо кількість електроенергії рівна в обох заявках відбувається перехід до кроку 6, інакше до кроку 7 .

**Крок 6:** Проведення транзакції та здійснення умов смарт-контракту. Перехід до наступної пари заявок.

**Крок 7:** Розбиття заявки з більшою кількістю електроенергії на дві, таким чином, щоб утворилися дві рівні між собою заявки купівлі та продажу і одна заявка з залишком електроенергії. Перехід на крок 8.

**Крок 8:** Проведення транзакції та здійснення умов смарт-контракту. Перехід на крок 9.

**Крок 9:** Додавання нової заявки з залишком в початок відповідного списку заявок. Перехід на крок 3.

**Крок 10:** Відбувається перевірка на кінець робочого дня якщо кінець робочого дня не настав система переходить на крок 4, інакше переходить на крок 11.

**Крок 11:** Відбувається пошук зберігача електроенергії. Перехід на крок 12.

**Крок 12:** Створюється заявка на купівлю для зберігача електроенергії після чого відбувається перехід на крок 6.

В результаті роботи алгоритму обробляється максимальна кількість заявок, заявки, що не можуть бути оброблені переходять в список заявок на наступну ітерацію алгоритму.

#### 4.4.3 Діаграма компонентів

Система представляє собою веб-додаток та відкривається за допомогою браузера, а база даних розгортається на сервері. Веб-додаток складається з:

- сторінки Авторизації;
- сторінки Реєстрації;
- сторінки Регулятора ринку;
- сторінки Користувача електроенергії;
- сторінки Іноземного користувача електроенергії;
- сторінки зберігача електроенергії.

Діаграму компонентів наведено в Додатку Ж.

#### 4.5 Розробка пріоритетів транзакцій

Для першочергового задоволення попиту та пропозиції користувачів електроенергії в межах держави, було розроблено систему пріоритетів за типом користувача. Данну систему контролює Регулятор ринку. Пріоритети розроблені таким чином, щоб в першу чергу був задоволений попит, що поступає з боку державних споживачів електроенергії. Далі електроенергію, що не можливо зараз продати в середині держави, мають змогу придбати іноземні підприємства. У разі, якщо у весь попит на рику задоволений, а електроенергія все ще залишилася, її мають купувати підприємства, що забезпечують баланс ринку – тобто зберігачі електроенергії. В випадку продажу електроенергії саме зберігачам необхідно якомога швидше продати накопичену електроенергію, саме тому тут зберігачі мають вищий пріоритет. Базові значення пріоритетів демонструє Таблиця 4.5.1.

Таблиця 4.5.1 - Система пріоритетів

Купівля	Продаж
1 – користувач електроенергії	1 – зберігач електроенергії
2 – іноземний користувач	2 – користувач електроенергії
3 – зберігач електроенергії	3– іноземний користувач

Данна система пріоритетів спрямована на зменшення навантаження на зберігачів електроенергії в середині держави. Але за необхідності її можливо змінити в профілі Регулятора ринку.

#### 4.6 Розробка смарт-контрактів

Розроблений смарт-контракт умовно поділяється на 3 контракти, що було продемонстровано у Додатку В на діаграмі діяльності. Контракт 1 між Електростанцією(користувачем електроенергії) та Оператором доставки(Регулятором ринку). Під час здійснення цієї частини контракту користувачем електроенергії створює запит на продаж електроенергії, цей запит обробляється системою згідно з правилами встановленими регулятором ринку та створюється пропозиція.

Контракт 2 між клієнтом(іншим користувачем електроенергії) та регулятором ринку. Під час здійснення цієї частини контракту користувач електроенергії отримує пропозицію, обирає вигіднішу та створює замовлення на придбання, після чого замовлення надходить регулятору ринку.

Підчас здійснення третьої частини контракту електростанція виготовляє зазначений в заявці об'єм електроенергії, оператор доставки електроенергії здійснює доставку до клієнта, а клієнт підтверджує отримання електроенергії.

Після здійснення доставки клієнт надсилає платіж за електроенергію та послуги доставки оператору доставки. Оператор доставки підтверджує

отримання платежу від клієнта та надсилає платіж за електроенергію на профіль електростанції. Після підтвердження надходження коштів на профіль електростанції смарт-контракт вважається виконаним.

#### 4.7 Аналіз показників лічильників

Алгоритм роботи лічильників наведено у Додатку Г. Відповідно до діаграми алгоритм поділяється на кроки.

**Крок 1:** Користувач вводить в системі ліміт зберігання електроенергії, це число в кіловатах, що показує границю після досягнення якої система має створювати заявку на продаж.

**Крок 2:** Користувач вводить в системі мінімальний резерв електроенергії, це число в кіловатах, що показує границю після досягнення якої система має створювати заявку на купівлю.

**Крок 3:** Показники лічильників надходять у систему у форматі json-файлу. В файлі фіксується дані користувача та поточний рівень електроенергії на підприємстві користувача.

**Крок 4:** Показники лічильників, що надійшли до системи порівнюються з лімітами встановленими користувачем на кроках 1 та 2. Після чого, якщо показник менший або дорівнює встановленому мінімальному резерву система переходить на крок 5, якщо показник лічильника більший або дорівнює ліміту зберігання, система переходить на крок 6. Інакше Крок 8.

**Крок 5:** Створення заявки на купівлю. Перехід до кроку 7.

**Крок 6:** Створення заявки на продаж. Перехід до кроку 7.

**Крок 7:** Пошук кращої пропозиції.

**Крок 8:** Очікування нових показників.

#### 4.8 Висновки до розділу

В даному розділі описується створений програмний продукт балансуючого ринку електроенергії на основі смарт контактів. Були наведені засоби розробки, мінімальні технічні вимоги, описана архітектура застосунку та основні алгоритми на яких базується робота системи.

## РОЗДІЛ 5 ІНСТРУКЦІЯ КОРИСТУВАЧА

### 5.1 Інструкція з реєстрації

#### 5.1.1 Реєстрація користувача

Рисунок 5.1.1 показує зовнішній вигляд сторінки реєстрації для користувача електроенергії. Під час реєстрації іноземний користувач електроенергії заповнюють поля:

- електронну пошту;
- ім'я;
- адреса;
- поштовий індекс;
- тип електроенергії (заповнюється якщо користувач – електростанція, в іншому випадку необхідно обрати «не обрано»);
- пароль;
- обирає тип користувача «користувач».

The image shows a registration form titled "Sign Up" on a teal background. The form is contained within a white rounded rectangle and includes the following fields and elements from top to bottom: an "Email" input field; an "Ім'я" (Name) input field; an "Адреса" (Address) input field; a "Почтовий індекс" (Postal code) input field; a "Тип електроенергії:" (Type of electricity) section with a dropdown menu currently set to "Не обрано" (None selected) and a small "r" dropdown; three radio button options: "Користувач" (User) which is selected, "Зберігач енергії" (Energy storage), and "Іноземний користувач" (Foreign user); a "Password" input field; and a blue "Sign Up" button at the bottom.

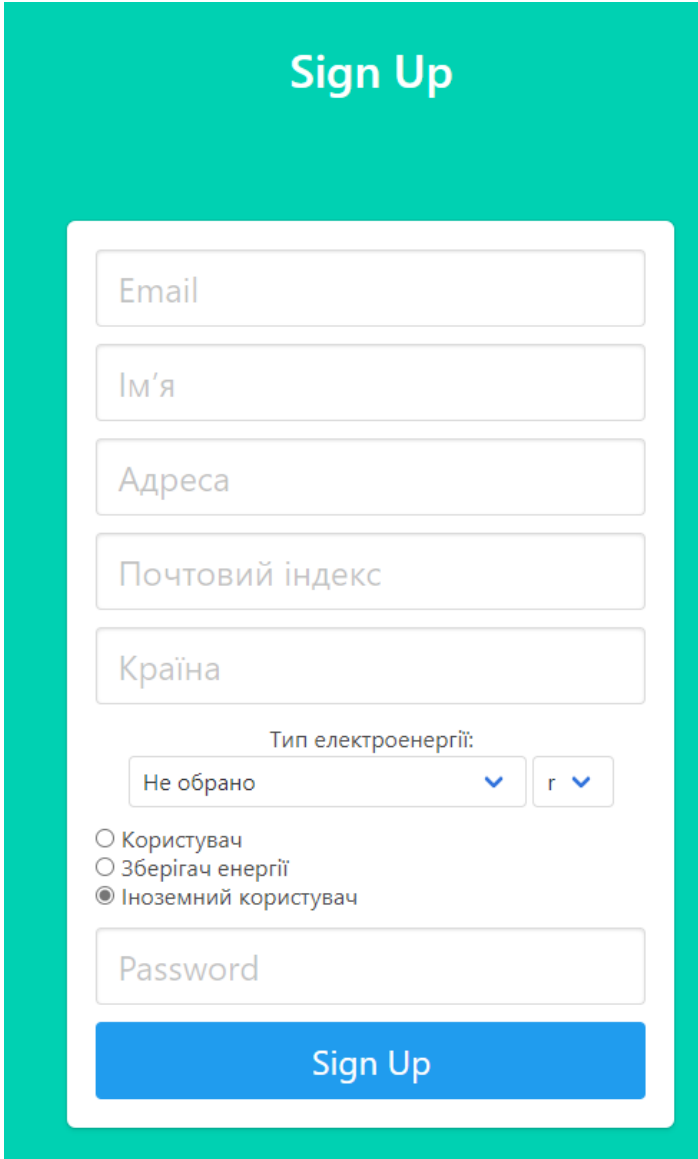
Рисунок 5.1.1 - Реєстрація користувача електроенергії

### 5.1.2 Реєстрація іноземного користувача

Рисунок 5.1.2 показує зовнішній вигляд сторінки реєстрації для іноземного користувача електроенергії. Під час реєстрації іноземний користувач електроенергії заповнюють поля:

- електронну пошту;
- ім'я;

- адреса;
- поштовий індекс;
- країна реєстрації клієнта;
- тип електроенергії (заповнюється якщо користувач – електростанція, в іншому випадку необхідно обрати «не обрано»);
- пароль;
- обирає тип користувача «іноземний користувач».



The image shows a registration form titled "Sign Up" on a teal background. The form is contained within a white rounded rectangle and includes the following fields and options:

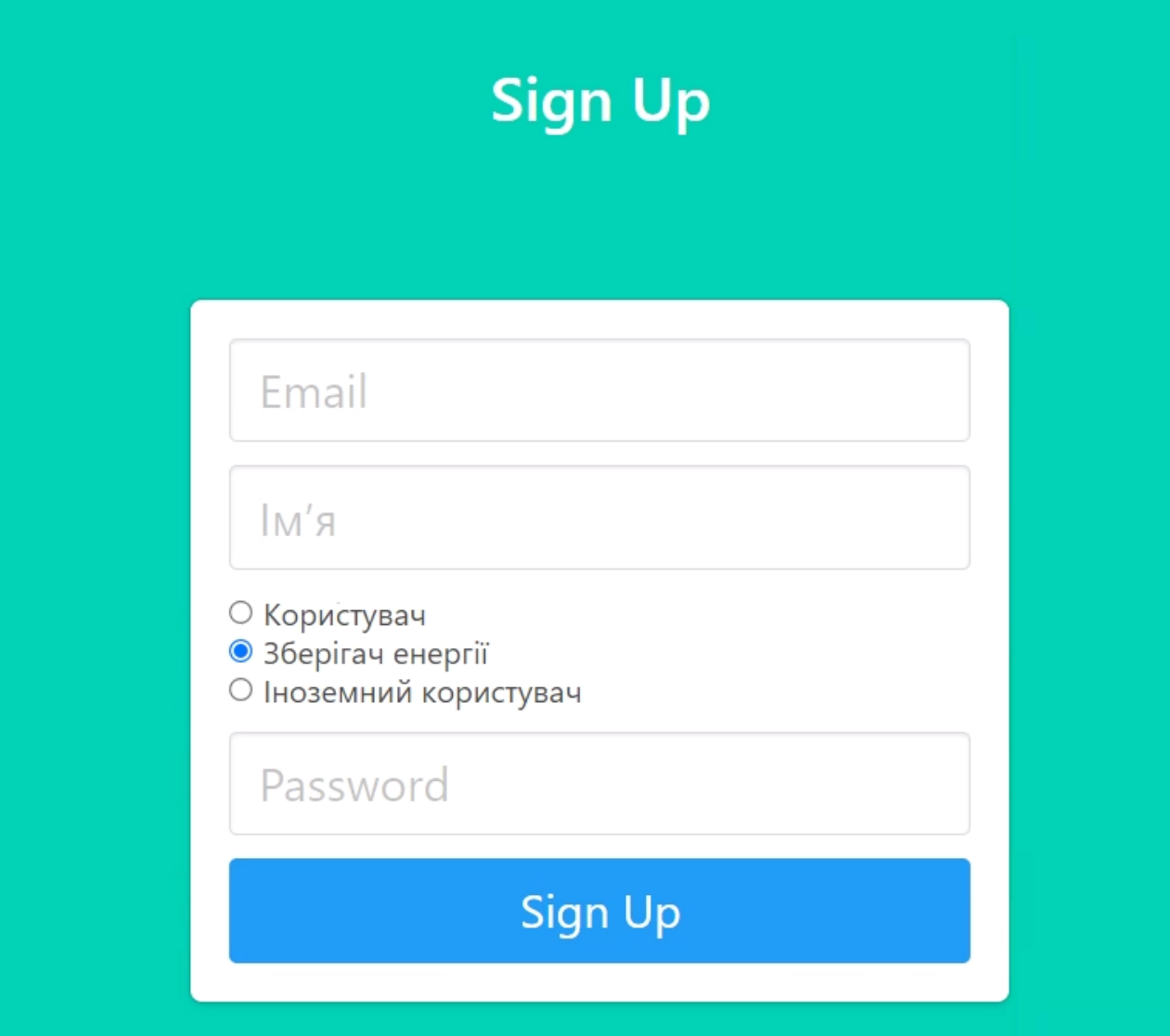
- Email input field
- Ім'я (Name) input field
- Адреса (Address) input field
- Почтовий індекс (Postal code) input field
- Країна (Country) input field
- Тип електроенергії (Energy type) dropdown menu with "Не обрано" (None) selected and a "r" dropdown
- Radio button options:
  - Користувач (User)
  - Зберігач енергії (Energy storage)
  - Іноземний користувач (Foreign user)
- Password input field
- A blue "Sign Up" button at the bottom.

Рисунок 5.1.2 - Реєстрація іноземного користувача

### 5.1.3 Реєстрація зберігача

Рисунок 5.1.3 показує зовнішній вигляд сторінки реєстрації для зберігача електроенергії. Під час реєстрації зберігачі електроенергії заповнюють поля:

- електронну пошту;
- ім'я;
- пароль;
- обирає тип користувача «зберігач енергії».



The image shows a registration form titled "Sign Up" on a teal background. The form is white and contains the following elements:

- An input field labeled "Email".
- An input field labeled "Ім'я" (Name).
- Three radio button options:
  - Користувач (User)
  - Зберігач енергії (Energy storage user)
  - Іноземний користувач (Foreign user)
- An input field labeled "Password".
- A blue button labeled "Sign Up".

Рисунок 5.1.3 - Реєстрація зберігача електроенергії

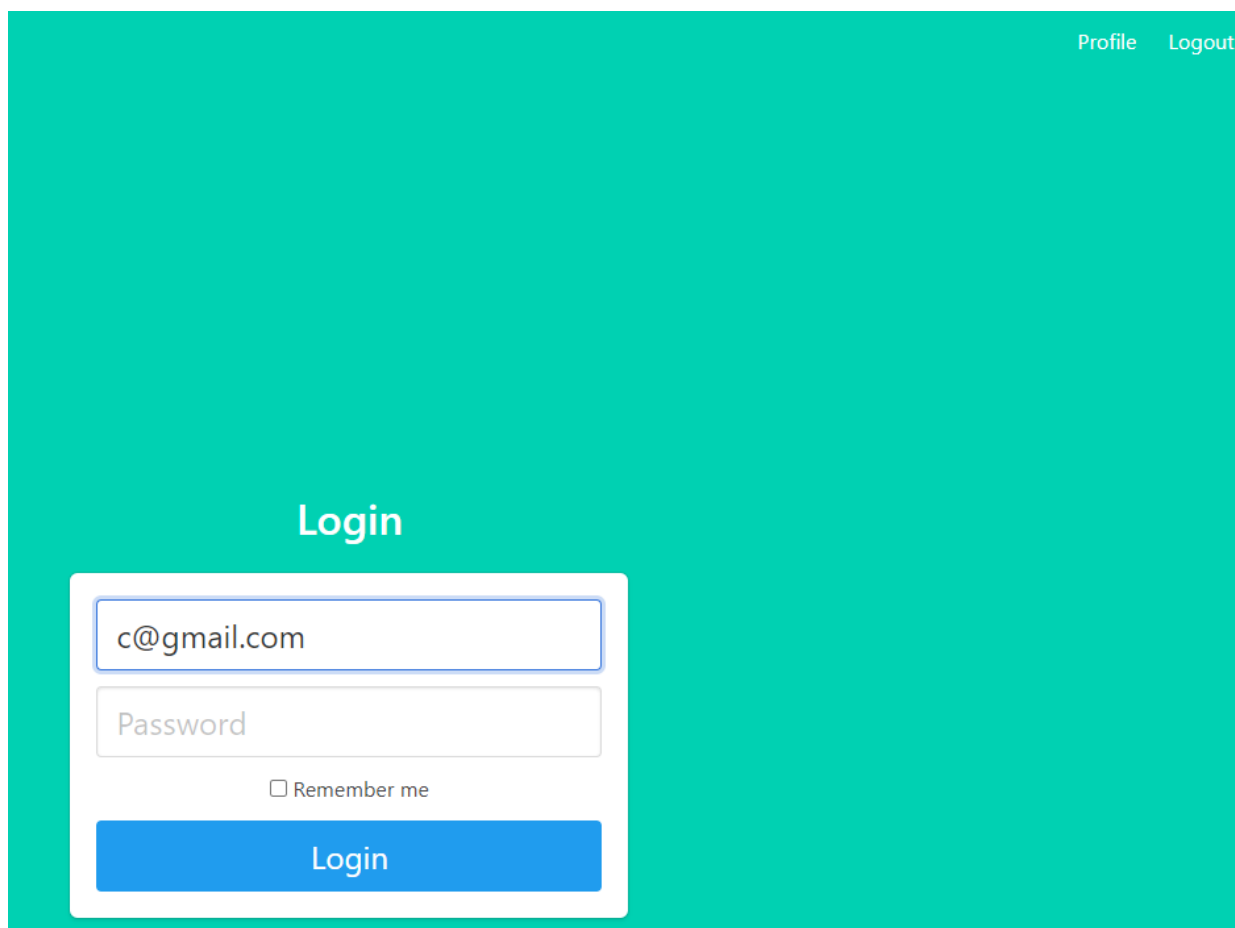
#### 5.1.4 Реєстрація регулятора

Сторінки реєстрації для регулятора електроенергії не існує, так як він здійснює функції адміністрування балансуючого ринку електроенергії та уособлює собою державну структуру.

#### 5.2 Інструкція з авторизації

Після успішної реєстрації система перенаправляє користувача на сторінку авторизації.

Авторизація для всіх користувачів системи проходить однаково. Рисунок 5.2.1 показує сторінку авторизації. Після успішної авторизації користувач переходить на головну сторінку для своєї групи користувачів.



Profile Logout

### Login

 Remember me  

Рисунок 5.2.1 – Авторизація

## 5.3 Інструкція використання користувача електроенергії

### 5.3.1 Головна сторінка користувача електроенергії

Після авторизації користувач електроенергії переходить на головну сторінку, що демонструє Рисунок 5.3.1. Тут користувачеві доступні для перегляду:

- баланс;
- ліміт зберігання електроенергії;
- мінімальний резерв електроенергії;
- проведені ним транзакції.

Profile Logout

**Гаманець**      **Ліміт зберігання електроенергії**      **Мінімальний резерв електроенергії**      **Пропозиції на ринку**

Баланс: 120.0      Ліміт: 98700.0      Мін. резерв: 50000

Поповнити баланс      Змінити ліміт      Змінити резерв      Переглянути пропозицій

displaying 1 - 2 records in total 2

#	Статус	Середня ціна за кіловат	Кількість кіловатів
1	Закрита	12.0	10.0
2	Закрита	10.0	10.0

Рисунок 5.3.1 - Головна сторінка користувача електроенергії

З головної сторінки користувачу доступні такі функції(Рисунок 5.3.1):

- поповнення балансу;
- зміна ліміту зберігання електроенергії;
- зміна мінімального резерву електроенергії;
- перегляд пропозицій на ринку.

### 5.3.2 Поповнення балансу

Щоб поповнити баланс в системі, користувачу електроенергії необхідно натиснути «Поповнити баланс» на головній сторінці. (Рисунок 5.3.2)

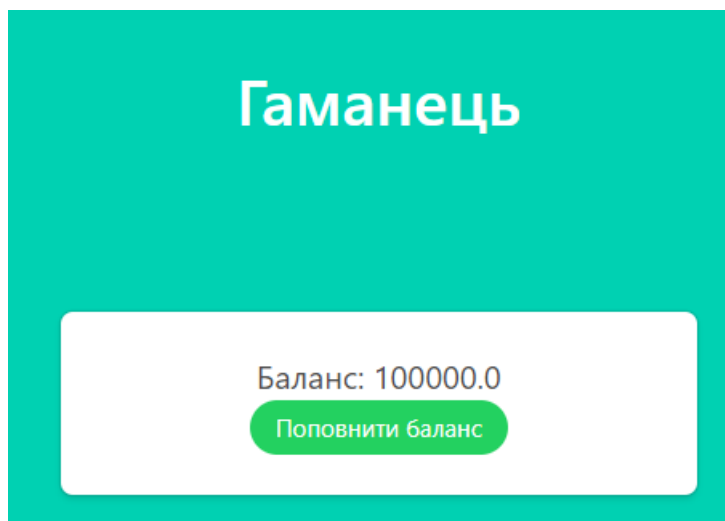


Рисунок 5.3.2 - Поповнення балансу користувач електроенергії

Після цього користувач перейде на сторінку введення необхідної суми для поповнення та натиснути «Поповнити рахунок». (Рисунок 5.3.3)

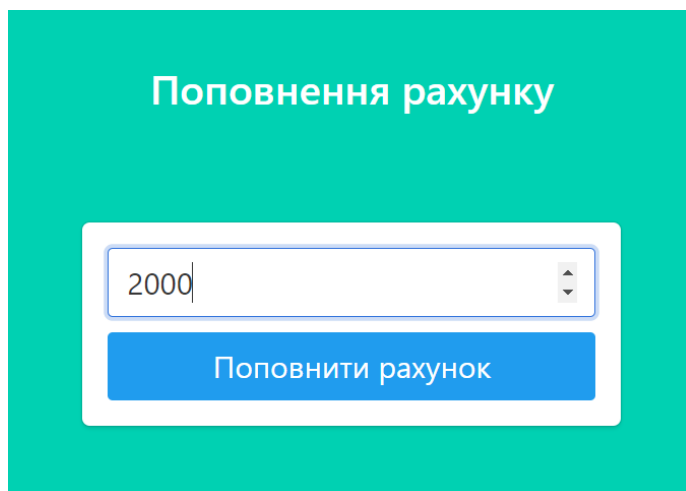


Рисунок 5.3.3 - Введення суми для поповнення балансу

В разі успішного виконання усіх кроків користувач отримає сповіщення про те, що баланс поповнено та до поточного балансу буде додано суму поповнення. (Рисунок 5.3.4)

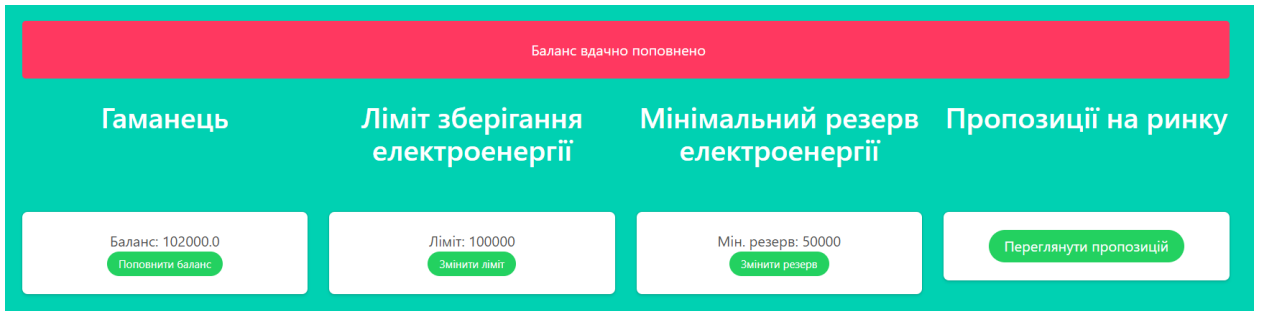


Рисунок 5.3.4 - Повідомлення про успішне поповнення балансу

### 5.3.3 Введення ліміту зберігання електроенергії

Щоб змінити ліміт зберігання електроенергії, користувачу електроенергії необхідно натиснути «Змінити ліміт» на головній сторінці.(Рисунок 5.3.5)

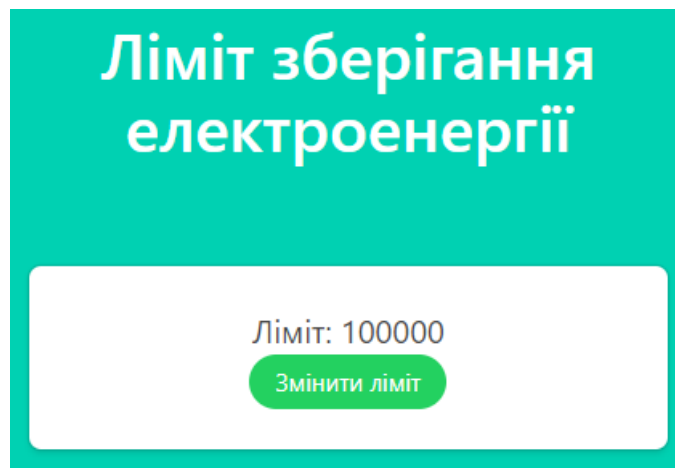
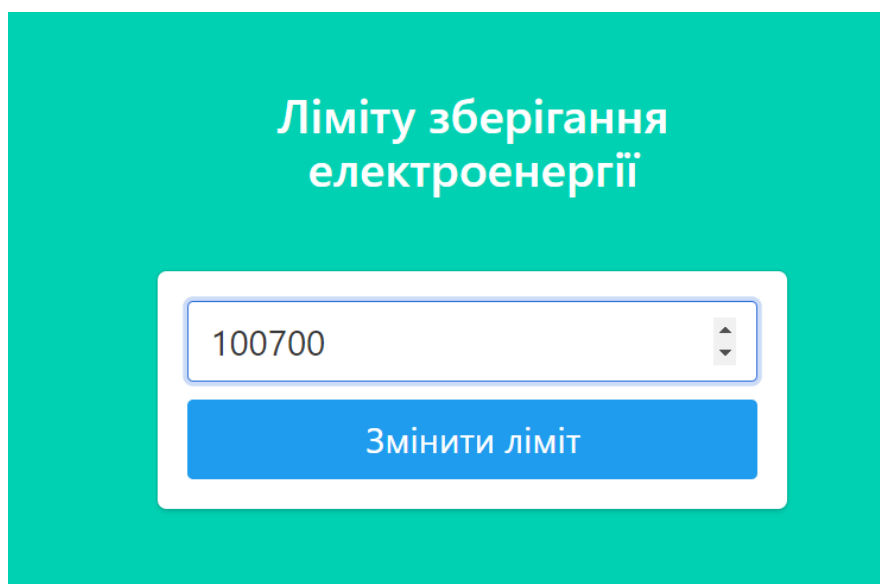


Рисунок 5.3.5 - Ліміт зберігання електроенергії для користувача електроенергії

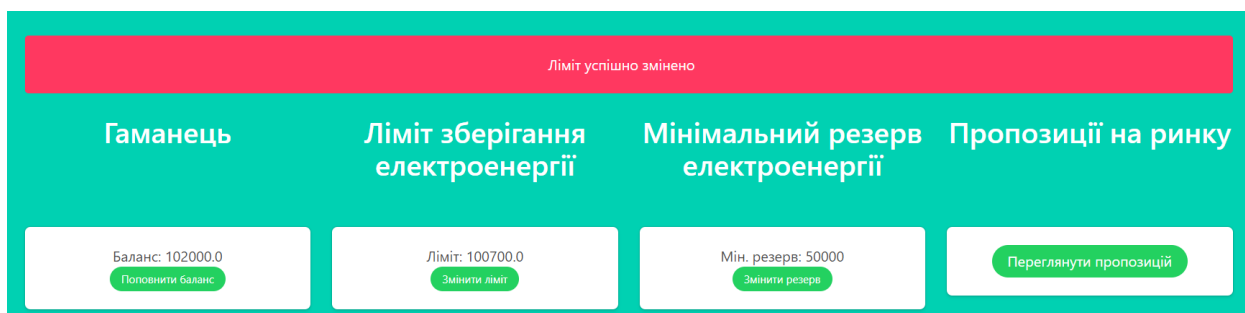
Після цього користувач перейде на сторінку змінення ліміту, де необхідно вказати новий ліміт зберігання електроенергії та натиснути «Змінити ліміт». (Рисунок 5.3.6)



The image shows a form titled "Ліміту зберігання електроенергії" (Limit of electricity storage) on a teal background. The form contains a text input field with the value "100700" and a blue button labeled "Змінити ліміт" (Change limit).

Рисунок 5.3.6 - Змінення ліміту зберігання електроенергії для користувача електроенергії

В разі успішного виконання усіх кроків користувач отримає сповіщення про те, що ліміт змінено та новий ліміт з'явиться на головній сторінці користувача.(Рисунок 5.3.7)



The image shows a user dashboard with a red notification bar at the top that says "Ліміт успішно змінено" (Limit successfully changed). Below the notification bar are four main sections: "Гаманець" (Wallet) with a balance of 102000.0 and a "Поповнити баланс" button; "Ліміт зберігання електроенергії" (Electricity storage limit) with a limit of 100700.0 and a "Змінити ліміт" button; "Мінімальний резерв електроенергії" (Minimum electricity reserve) with a reserve of 50000 and a "Змінити резерв" button; and "Пропозиції на ринку електроенергії" (Market offers) with a "Переглянути пропозиції" button.

Рисунок 5.3.7 - Успішне змінення ліміту зберігання електроенергії

#### 5.3.4 Введення мінімального резерву електроенергії

Щоб змінити мінімальний резерв електроенергії, користувачу електроенергії необхідно натиснути «Змінити резерв» на головній сторінці.(Рисунок 5.3.8)

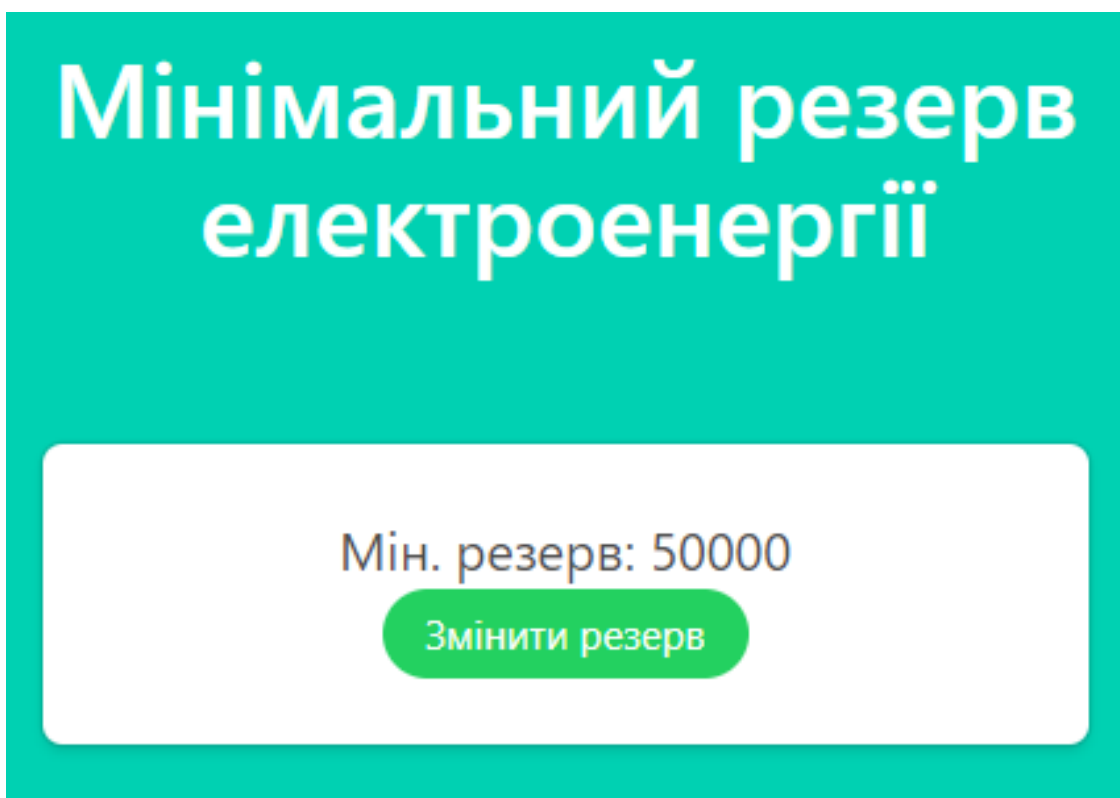


Рисунок 5.3.8 - Мінімальний резерв електроенергії користувача електроенергії

Після цього користувач перейде на сторінку змінення резерву, де необхідно вказати новий мінімальний резерв електроенергії та натиснути «Змінити резерв». (Рисунок 5.3.9)

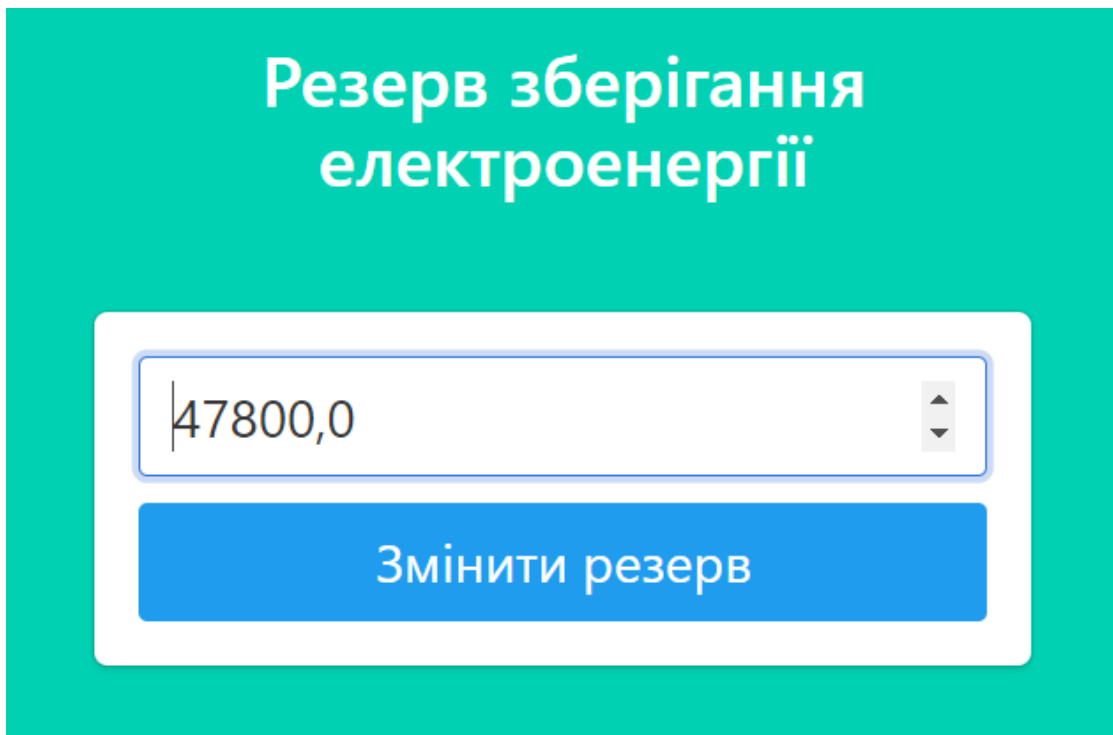


Рисунок 5.3.9 - Змінення мінімального резерву електроенергії

В разі успішного виконання усіх кроків користувач отримає сповіщення про те, що резерв змінено та нове значення резерву з'явиться на головній сторінці користувача. (Рисунок 5.3.10)

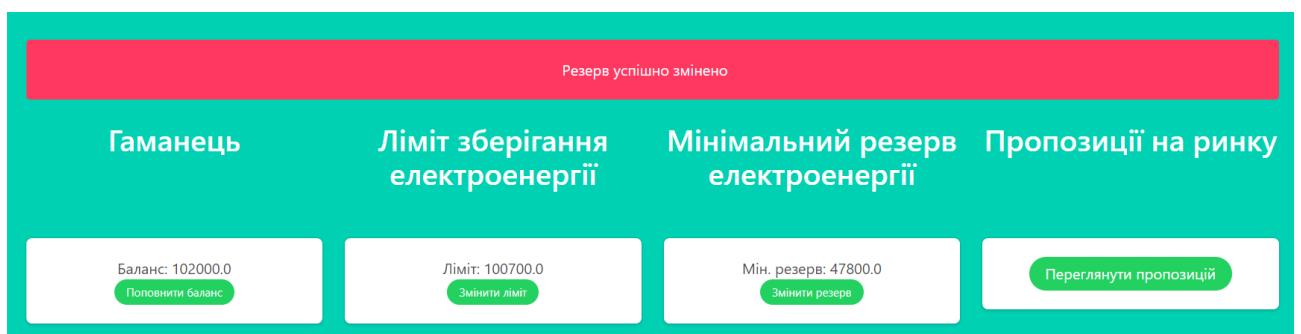
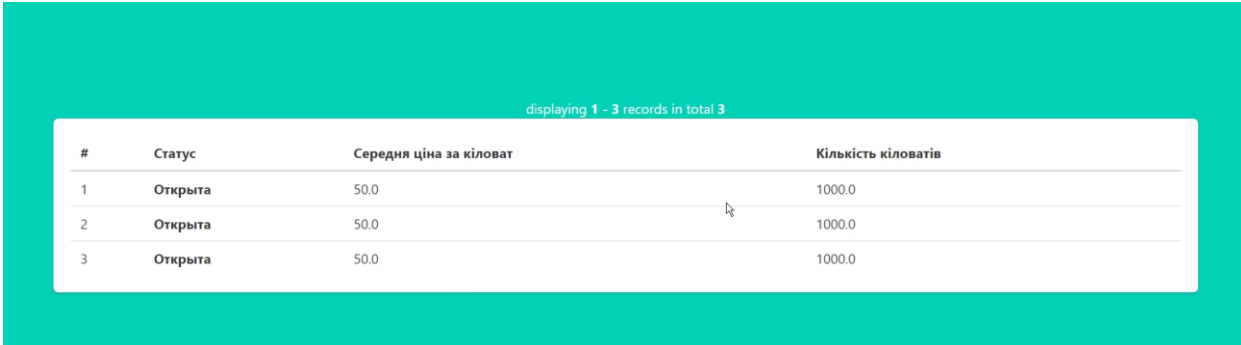


Рисунок 5.3.10 - Успішне змінення мінімального резерву електроенергії

### 5.3.5 Перегляд наявних пропозицій на ринку

На сторінці перегляд наявних пропозицій на ринку користувач електроенергії може переглянути пропозиції, які зараз доступні для купівлі або продажу. (Рисунок 5.3.11)



displaying 1 - 3 records in total 3

#	Статус	Середня ціна за кіловат	Кількість кіловатів
1	Открыта	50.0	1000.0
2	Открыта	50.0	1000.0
3	Открыта	50.0	1000.0

Рисунок 5.3.11 - Перегляд наявних пропозицій на ринку для користувача електроенергії

## 5.4 Інструкція використання іноземного користувача електроенергії

### 5.4.1 Головна сторінка іноземного користувача електроенергії

Після авторизації іноземний користувач електроенергії переходить на головну сторінку, що демонструє Рисунок 5.4.1. Тут йому доступні для перегляду:

- баланс;
- країна реєстрації;
- доступна для продажу електроенергія;
- проведені операції.

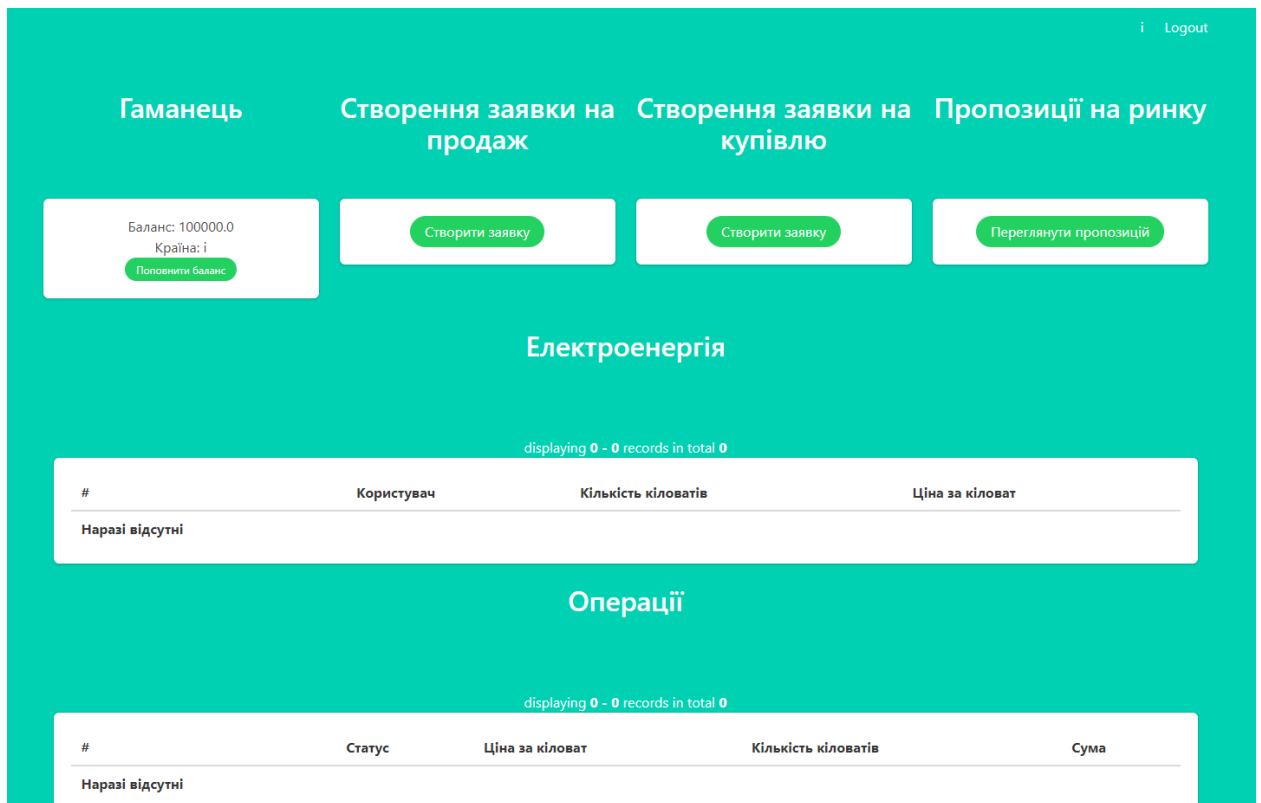


Рисунок 5.4.1 - Головна сторінка іноземного користувача електроенергії

Також з головної сторінки можливо виконати:

- поповнення балансу;
- створення заявки на продаж;
- створення заявки на купівлю;
- перегляд пропозицій на ринку.

#### 5.4.2 Поповнення балансу

Для поповнення балансу іноземний користувач електроенергії на головній сторінці свого профілю натискає «Поповнити баланс». Після цього його перекине на сторінку поповнення балансу (Рисунок 5.4.2).

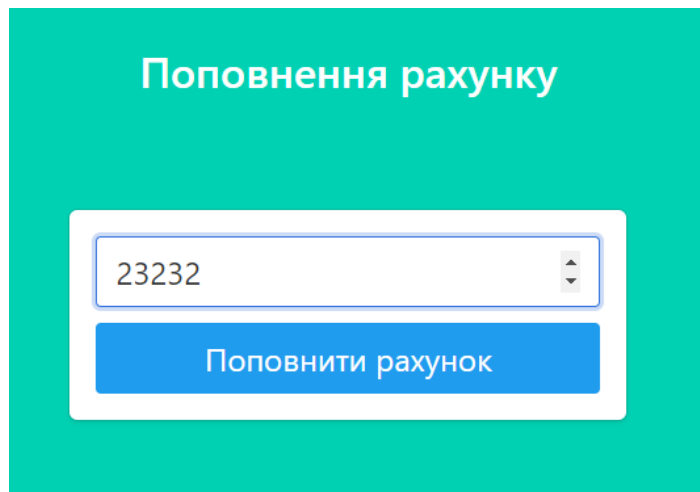


Рисунок 5.4.2 - Поповнення рахунку іноземного користувача електроенергії

Після успішного поповнення рахунку, користувачеві відкриється головна сторінка та виведеться повідомлення про успішне поповнення балансу. Також новий баланс буде можливо переглянути в розділі «Гаманець» (Рисунок 5.4.3).

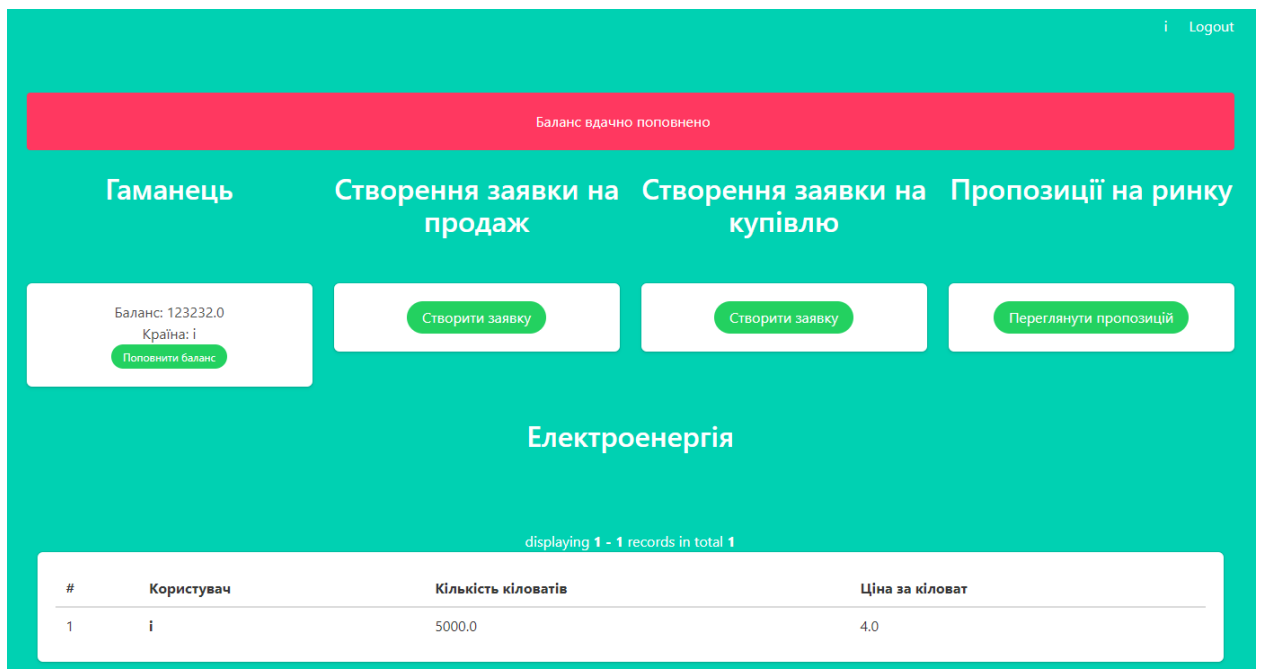


Рисунок 5.4.3 - Успішне поповнення балансу іноземного користувача електроенергії

### 5.4.3 Створення заявки на продаж

Щоб створити заявку на продаж електроенергії іноземний користувач повинен на головній сторінці натиснути «Створити заявку» в розділі Створення заявки на продаж. Далі йому відкриється сторінка «Додати електроенергію для продажу»(Рисунок 5.4.4) на якій необхідно ввести кількість електроенергії, яку планується продати та ціну за кіловат.

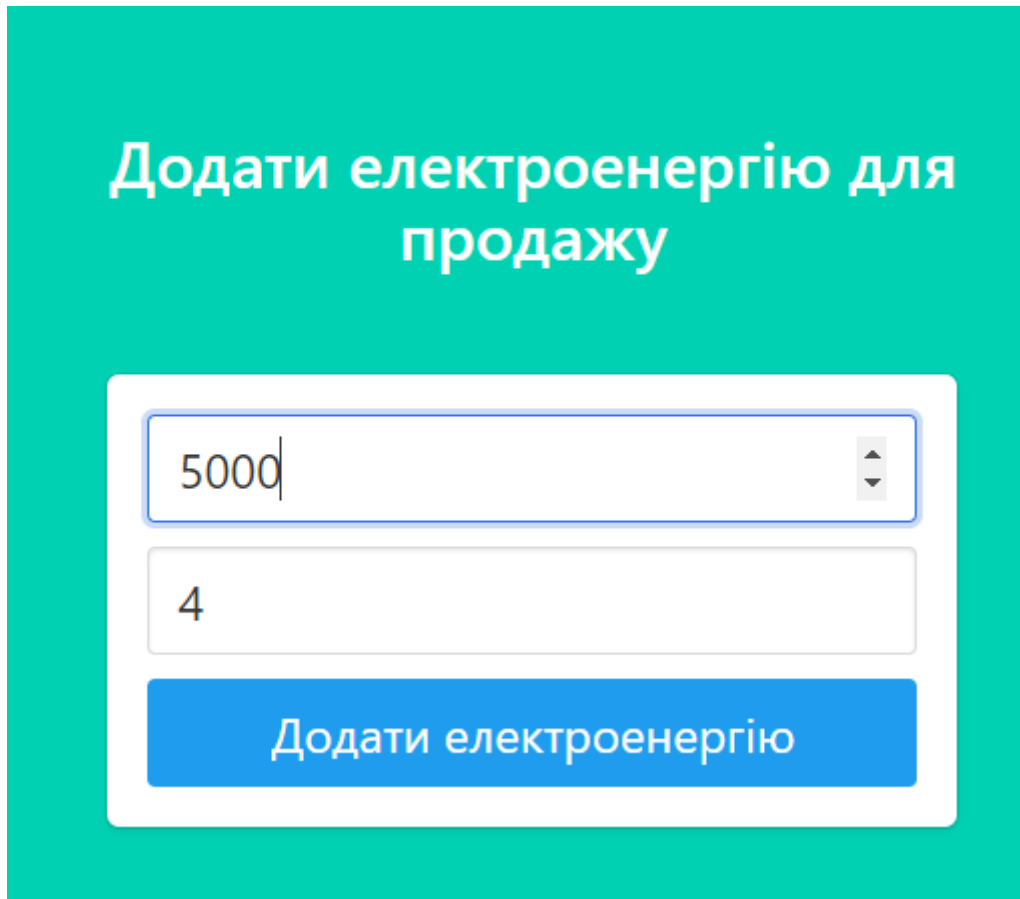
The image shows a web form titled "Додати електроенергію для продажу" (Add electricity for sale) on a teal background. The form is white and contains two input fields. The first field is a number input with a blue border, containing the value "5000" and a vertical cursor. The second field is a text input with a grey border, containing the value "4". Below the input fields is a blue button with white text that says "Додати електроенергію" (Add electricity).

Рисунок 5.4.4 - Додати електроенергію для продажу

Після натиснення на кнопку «Додати електроенергію» користувач побачить повідомлення про успішне додання електроенергії та нова заявка на продаж з'явиться в таблиці електроенергії (Рисунок 5.4.5).

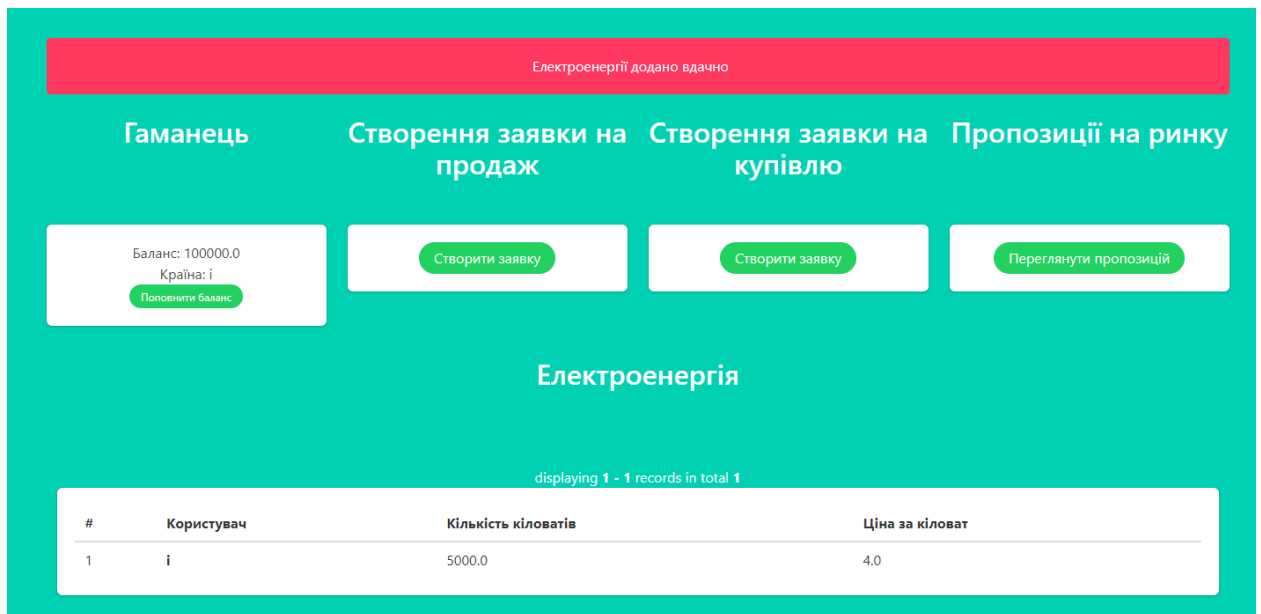


Рисунок 5.4.5 - Електроенергію додано успішно

#### 5.4.4 Створення заявки на купівлю

Щоб створити заявку на купівлю електроенергії іноземний користувач повинен на головній сторінці натиснути «Створити заявку» в розділі Створення заявки на купівлю. Далі йому відкриється сторінка «Створити заявку на купівлю»(Рисунок 5.4.6) на якій необхідно ввести кількість електроенергії, яку планується купити.

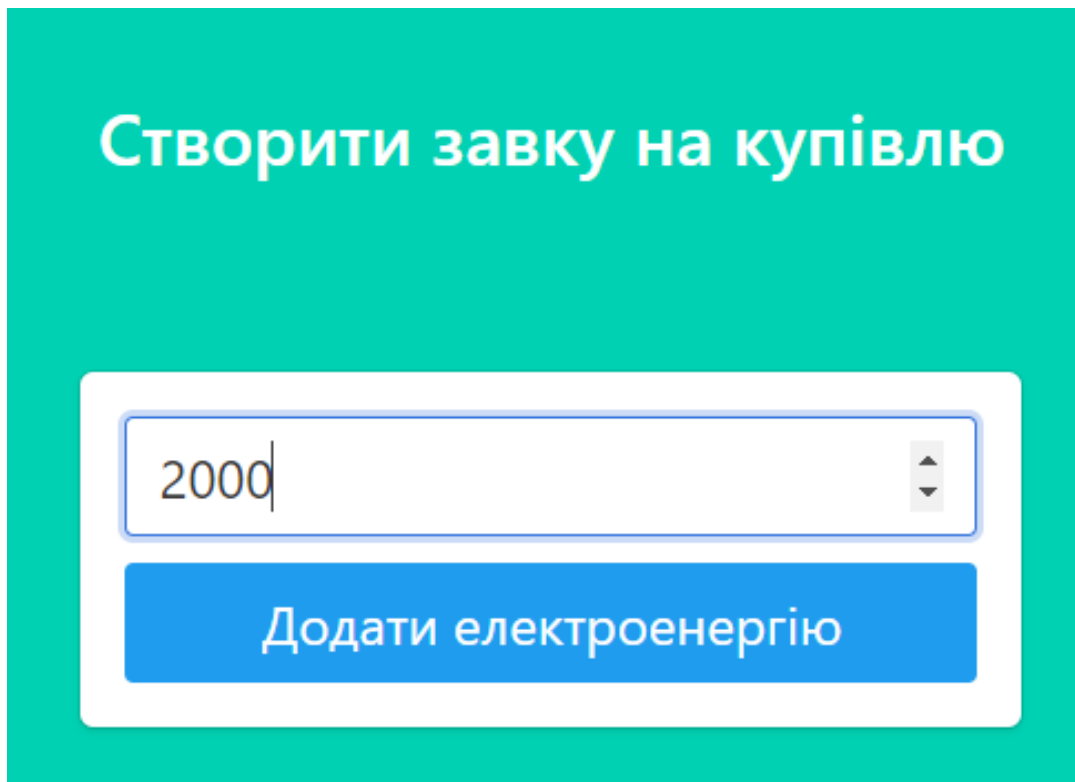


Рисунок 5.4.6 - Створити заявку на купівлю

Після натиснення на кнопку «Додати електроенергію» користувач побачить повідомлення про успішне додання електроенергії та нова заявка на продаж з'явиться в таблиці операції зі статусом відкрита (Рисунок 5.4.7). При чому ціна за кіловат буде встановлена автоматично, як середнє значення на ринку, але після закриття заявки, ціну буде змінено на середню вартість купленої електроенергії (Рисунок 5.4.8).

#	Статус	Ціна за кіловат	Кількість кіловатів	Сума
1	Открыта	10.0	2000.0	20000.0

Рисунок 5.4.7 - Відкриття заявки на купівлю

Операції				
displaying 1 - 1 records in total 1				
#	Статус	Ціна за кіловат	Кількість кіловатів	Сума
1	Закрита	9.99	2000.0	19980.0

Рисунок 5.4.8 - Закриття заявки на купівлю

#### 5.4.5 Перегляд пропозицій на ринку

Щоб переглянути наявні пропозиції на ринку іноземний користувач повинен на головній сторінці натиснути «Переглянути пропозиції». Далі йому відкриється сторінка «Пропозиції на ринку»(Рисунок 5.4.9) де відображаються відкриті пропозиції на ринку на користувач, що створив заявку на продаж.

displaying 1 - 5 records in total 5			
#	Користувач	Кількість кіловатів	Ціна за кіловат
1	c1	1009869.0	5.0
2	z	100000.0	10.0
3	z	30000.0	10.0
4	c	100000.0	10.0
5	c	30000.0	10.0

Рисунок 5.4.9 - Пропозиції на ринку

## 5.5 Інструкція використання зберігача електроенергії

### 5.5.1 Головна сторінка зберігача електроенергії

Після авторизації в системі зберігач електроенергії потрапляє на головну сторінку зберігача електроенергії (Рисунок 5.5.1). На головній сторінці зберігач може переглянути:

- баланс;
- ліміт зберігання електроенергії;
- пропозиції на ринку;
- проведені операції.

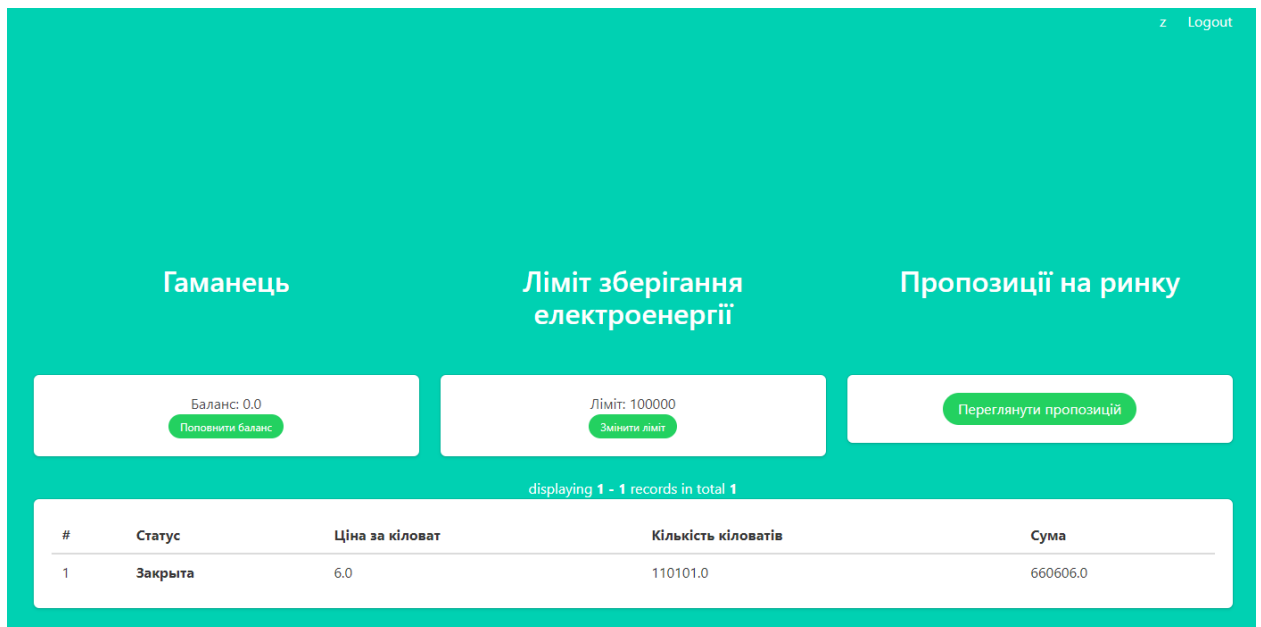


Рисунок 5.5.1 - Головна сторінка користувача електроенергії

Також на головній сторінці зберігачеві доступні такі функції (Рисунок 5.5.1):

- поповнення балансу;
- зміна ліміту зберігання електроенергії;

- перегляд пропозицій на ринку.

### 5.5.2 Поповнення балансу

Для поповнення балансу зберігач електроенергії на головній сторінці свого профілю натискає «Поповнити баланс». Після цього його перекине на сторінку поповнення балансу (Рисунок 5.5.2).

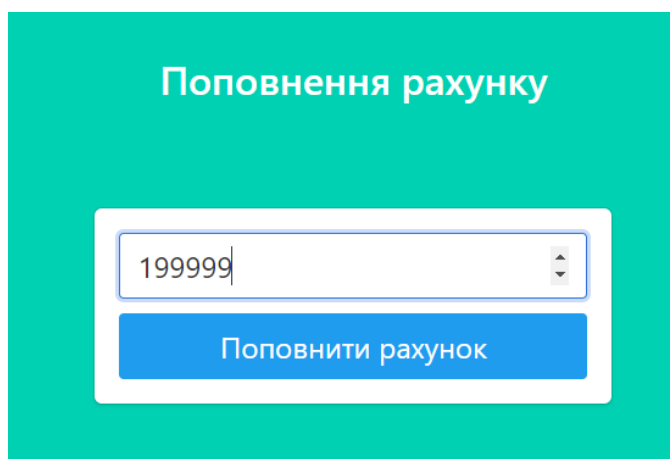


Рисунок 5.5.2 - Поповнення рахунку зберігача електроенергії

Після успішного поповнення рахунку, зберігачеві відкриється головна сторінка та виведеться повідомлення про успішне поповнення балансу. Також новий баланс буде можливо переглянути в розділі «Гаманець» на головній сторінці профілю (Рисунок 5.5.3).

#	Статус	Ціна за кіловат	Кількість кіловатів	Сума
1	Закрита	6.0	110101.0	660606.0

Рисунок 5.5.3 - Успішне поповнення балансу зберігача електроенергії

### 5.5.3 Зміна ліміту зберігання електроенергії

Для зміни ліміту зберігання електроенергії зберігач повинен натиснути «Змінити ліміт» на головній сторінці свого профілю (Рисунок 5.5.4).

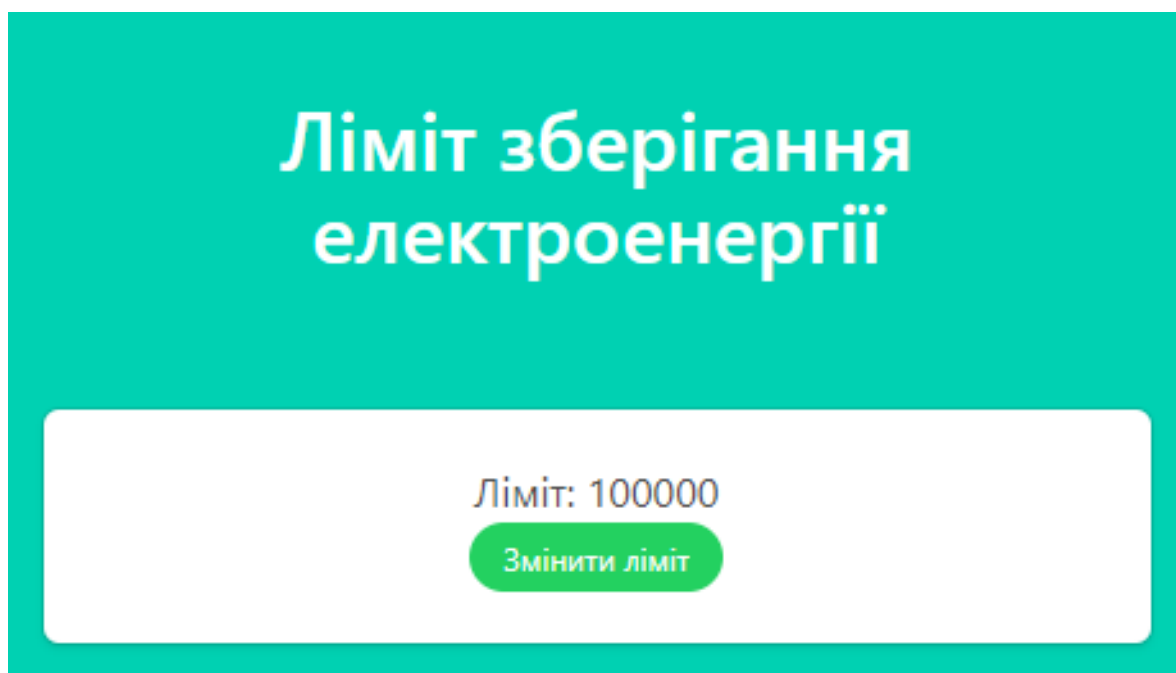


Рисунок 5.5.4 - Ліміт зберігання електроенергії зберігача

Після цього він перейде на сторінку зміни ліміту зберігання електроенергії, де йому необхідно вказати бажаний ліміт та натиснути «Змінити ліміт» (Рисунок 5.5.5).

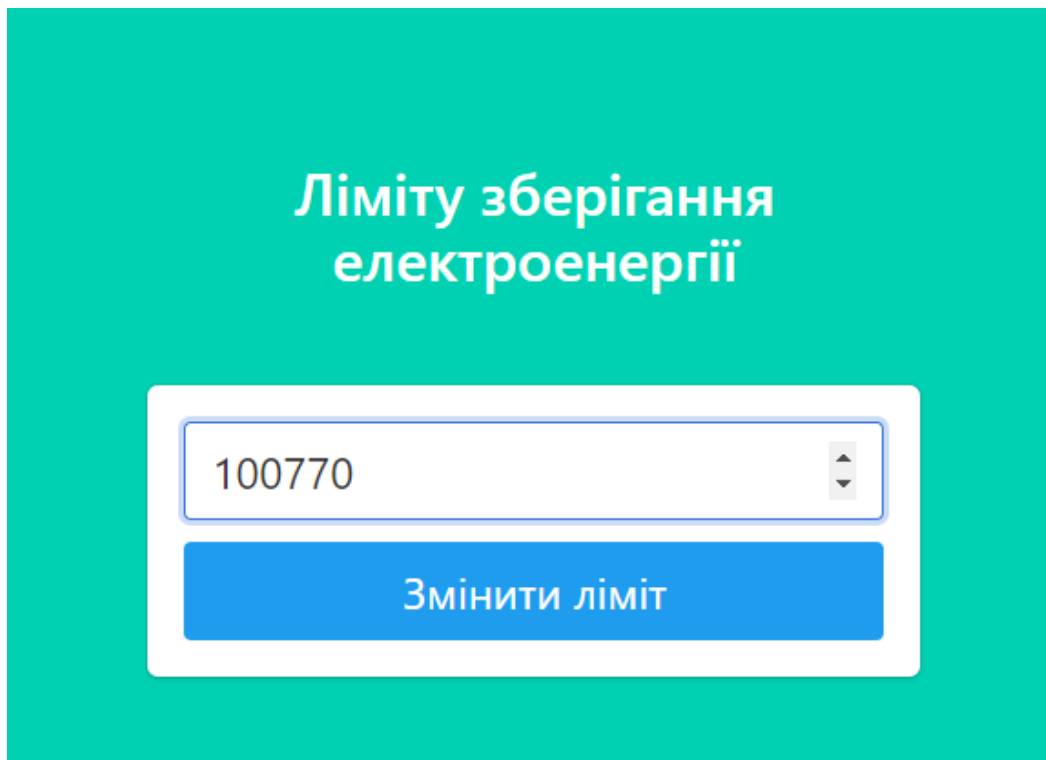


Рисунок 5.5.5 - Зміна ліміту зберігання електроенергії зберігача

Після збереження ліміту зберігач перейде на головну сторінку профілю, де буде сповіщення про успішне змінення та він зможе перевірити встановлений ліміт (Рисунок 5.5.6).

z Logout

Ліміт успішно змінено

Гаманець

Ліміт зберігання електроенергії

Пропозиції на ринку

Баланс: 199999.0  
Поповнити баланс

Ліміт: 100800.0  
Змінити ліміт

Переглянути пропозицій

displaying 1 - 1 records in total 1

#	Статус	Ціна за кіловат	Кількість кіловатів	Сума
1	Закрита	6.0	110101.0	660606.0

Рисунок 5.5.6 - Успішна зміна ліміту електроенергії зберігача

#### 5.5.4 Перегляд пропозицій на ринку

Для перегляду пропозицій на ринку зберігачеві електроенергії необхідно натиснути «Переглянути пропозиції» на головній сторінці профілю (Рисунок 5.5.7).

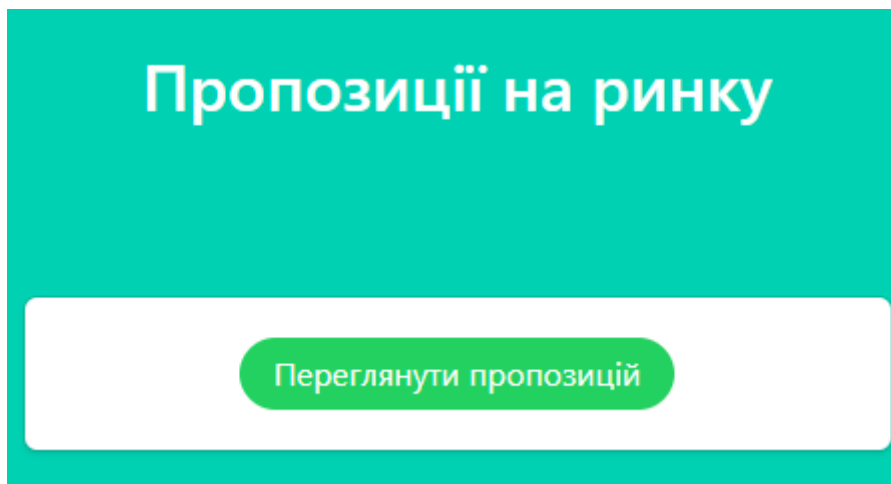


Рисунок 5.5.7 - Перегляд пропозицій на ринку для зберігача

Після чого він перейде на сторінку з пропозиціями на ринку, де він зможе переглянути усі відкриті заявки на продаж, що були викладені іншими користувачами (Рисунок 5.5.8).



#	Користувач	Кількість кіловатів	Ціна за кіловат
1	i	5000.0	4.0
2	с1	1009869.0	5.0
3	с	100000.0	10.0
4	с	30000.0	10.0

Рисунок 5.5.8 - Пропозиції на ринку доступні зберігачу електроенергії

## 5.6 Інструкція використання регулятора ринку

### 5.6.1 Головна сторінка регулятора ринку

Після авторизації регулятор електроенергії переходить на головну сторінку, що демонструє Рисунок 5.6.1. На ній доступні для перегляду:

- баланс;
- коефіцієнт продажу користувача;
- коефіцієнт продажу іноземного користувача;
- коефіцієнт купівлі користувача;
- коефіцієнт купівлі іноземного користувача;
- пріоритет продажу;
- пріоритет купівлі;
- транзакції.

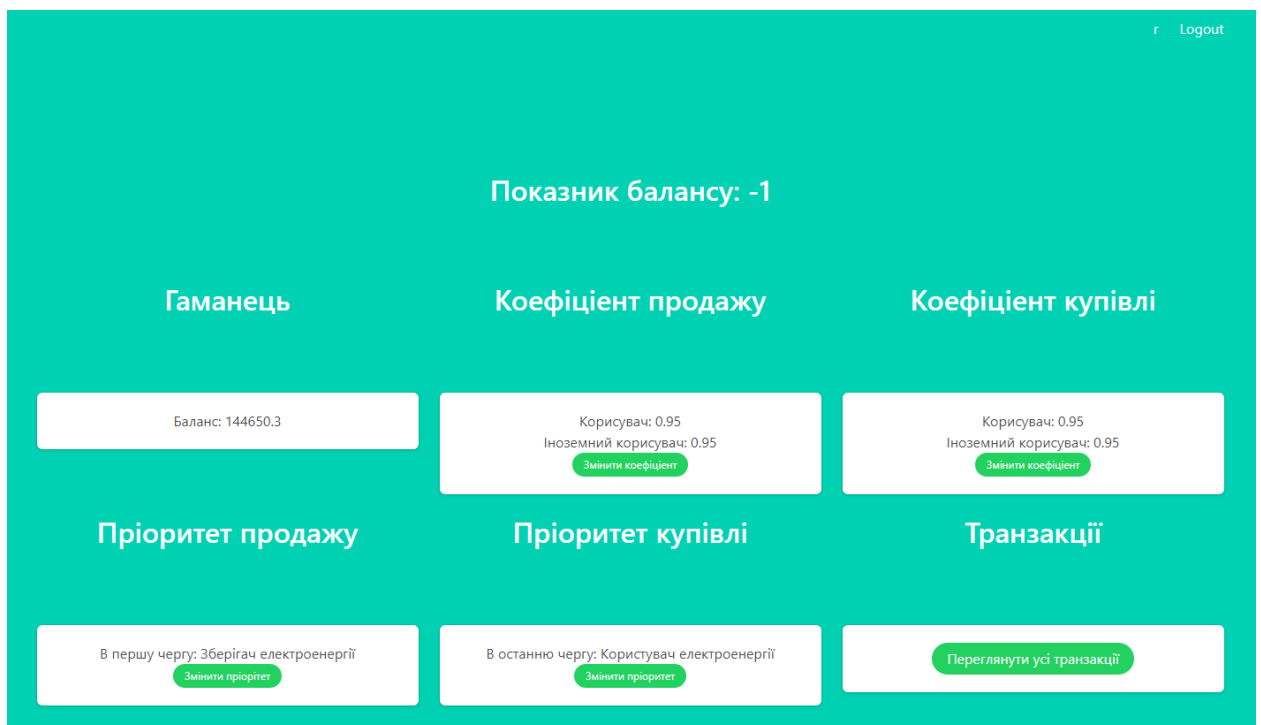


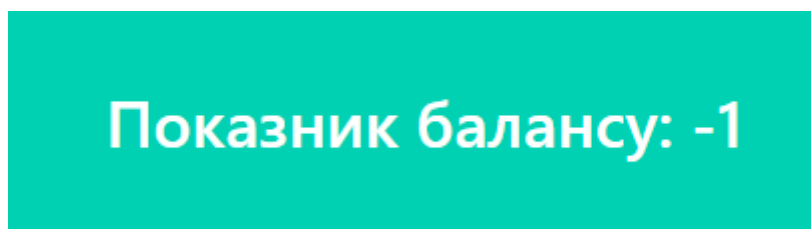
Рисунок 5.6.1 - Головна сторінка регулятора електроенергії

Також регулятору електроенергії на головній сторінці Рисунок 5.6.1 доступні такі функції:

- зміна коефіцієнту продажу користувача та іноземного користувача;
- зміна коефіцієнту купівлі користувача та іноземного користувача;
- зміна пріоритету продажу;
- зміна пріоритету купівлі;
- перегляд транзакції на балансуєчому ринку електроенергії.

### 5.6.2 Показник балансу регулятору ринку

Показник балансу, що можна побачити на головній сторінці регулятору електроенергії показує скільки незбалансованих заявок зараз є на балансуєчому ринку електроенергії (Рисунок 5.6.2).



Показник балансу: -1

Рисунок 5.6.2 - Показник балансу

Від’ємний показник балансу свідчить про наявність незбалансованих заявок на купівлю електроенергії. Позитивний показник балансу свідчить про наявність незбалансованих заявок на продаж. Число показує кількість незбалансованих заявок. Показник балансу рівний нулю свідчить про баланс на балансуєчому ринку електроенергії. Наприклад Рисунок 5.6.3.

displaying 1 - 10 records in total 106

#	Статус	Ціна за кіловат	Кількість кіловатів	Сума
1	Закрита	7.0	110101.0	770707.0
2	Закрита	7.0	110101.0	770707.0
3	Закрита	6.0	110101.0	660606.0
4	Закрита	6.0	110101.0	660606.0
5	Закрита	9.99	2000.0	19980.0
6	Открыта	10.0	10.0	100.0
7	Закрита	10.0	10.0	100.0
8	Закрита	10.0	10.0	100.0
9	Закрита	10.0	10.0	100.0
10	Закрита	10.0	10.0	100.0

Рисунок 5.6.3 - Незбалансована заявка на купівлю

### 5.6.3 Гаманець регулятора ринку

Гаманець регулятора електроенергії неможливо поповнити, так як він слугує для отримання комісії за деякі види транзакцій на ринку та за послуги доставки електроенергії від електростанції до користувача (Рисунок 5.6.4).

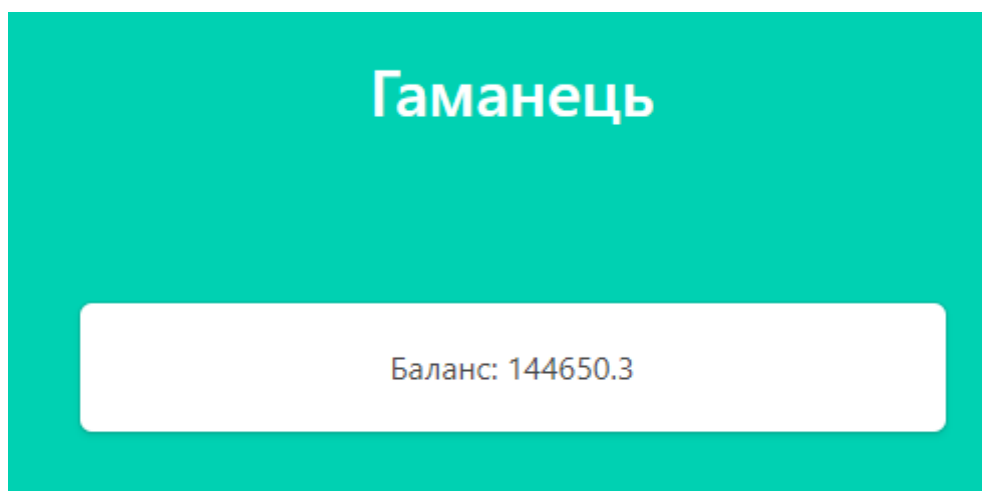


Рисунок 5.6.4 - Гаманець регулятора електроенергії

#### 5.6.4 Зміна коефіцієнту продажу

Коефіцієнт продажу показує відсоток від прибутку за транзакцію який отримує користувач електроенергії та іноземний користувач електроенергії згідно з правилами встановленими регулятором ринку. Залишок від прибутку за транзакцію надходить на рахунок регулятора ринку. Даний коефіцієнт використовується на балансуєчих ринках електроенергії в якості штрафу за надмірне виготовлення електроенергії та спонукання виробників зберігати невідновлювані ресурси планети. Для зміни коефіцієнту продажу регулятору необхідно натиснути «Змінити коефіцієнт» у розділі «Коефіцієнт продажу» (Рисунок 5.6.5).

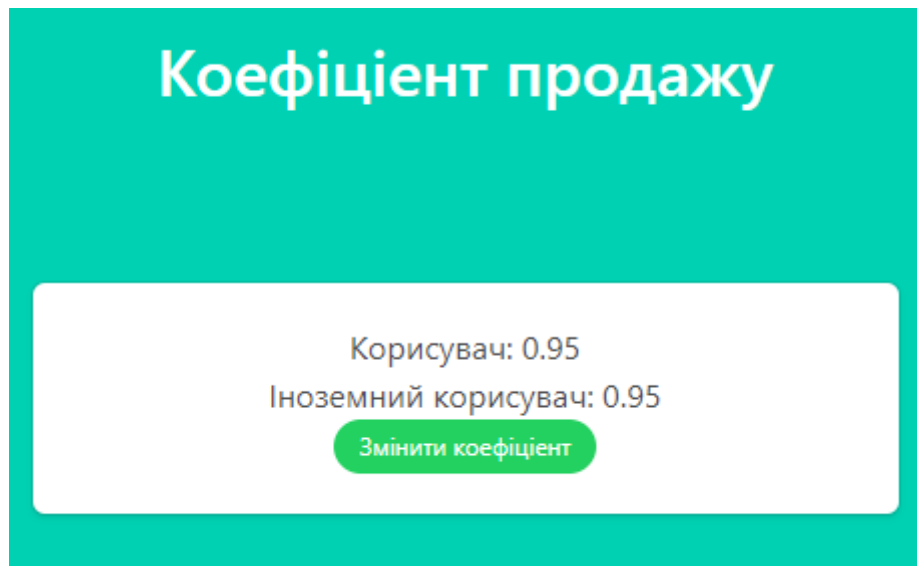


Рисунок 5.6.5 - Коефіцієнт продажу

Для зміни коефіцієнту продажу для користувача необхідно ввести новий коефіцієнт в поле «користувач» (Рисунок 5.6.6).

Для зміни коефіцієнту продажу для іноземного користувача необхідно ввести новий коефіцієнт в поле «іноземний користувач» (Рисунок 5.6.6).

## Коефіцієнт продажу

Користувач

1,05

Іноземний користувач

1,1

Змінити коефіцієнт

Рисунок 5.6.6 - Зміна коефіцієнту продажу

Після натискання кнопки «Змінити коефіцієнт» користувач перейде на головну сторінку, де можна буде переглянути нові коефіцієнти та з'явиться повідомлення про успішну зміну коефіцієнтів (Рисунок 5.6.7).

Коефіцієнт успішно змінено

Показник балансу: -1

<p><b>Гаманець</b></p> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 10px; background-color: white; margin: 5px auto; width: 80%;">Баланс: 144650.3</div>	<p><b>Коефіцієнт продажу</b></p> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 10px; background-color: white; margin: 5px auto; width: 80%;">           Користувач: 1.05            Іноземний користувач: 1.1  <span style="background-color: #28a745; color: white; padding: 2px 5px; border-radius: 5px;">Змінити коефіцієнт</span> </div>	<p><b>Коефіцієнт купівлі</b></p> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 10px; background-color: white; margin: 5px auto; width: 80%;">           Користувач: 0.95            Іноземний користувач: 0.95  <span style="background-color: #28a745; color: white; padding: 2px 5px; border-radius: 5px;">Змінити коефіцієнт</span> </div>
<p><b>Пріоритет продажу</b></p> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 10px; background-color: white; margin: 5px auto; width: 80%;">           В першу чергу: Зберігач електроенергії  <span style="background-color: #28a745; color: white; padding: 2px 5px; border-radius: 5px;">Змінити пріоритет</span> </div>	<p><b>Пріоритет купівлі</b></p> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 10px; background-color: white; margin: 5px auto; width: 80%;">           В останню чергу: Користувач електроенергії  <span style="background-color: #28a745; color: white; padding: 2px 5px; border-radius: 5px;">Змінити пріоритет</span> </div>	<p><b>Транзакції</b></p> <div style="border: 1px solid #ccc; padding: 10px; background-color: white; margin: 5px auto; width: 80%; text-align: right;"> <span style="background-color: #28a745; color: white; padding: 5px 15px; border-radius: 5px;">Переглянути усі транзакції</span> </div>

Рисунок 5.6.7 - Успішна зміна коефіцієнтів продажу

### 5.6.5 Зміна коефіцієнту купівлі

Коефіцієнт купівлі показує відсоток від платежу за транзакцію який повинен додатково сплатити користувач електроенергії та іноземний користувач електроенергії згідно з правилами встановленими регулятором ринку. Додаткова комісія за купівлю надходить на рахунок регулятора ринку. Даний коефіцієнт використовується на балансуєчих ринках електроенергії в якості штрафу за недостатнє перед замовлення електроенергії та спонукання споживачів економити невідновлювані ресурси планети. Для зміни коефіцієнту купівлі регулятору необхідно натиснути «Змінити коефіцієнт» у розділі «Коефіцієнт купівлі» (Рисунок 5.6.8).

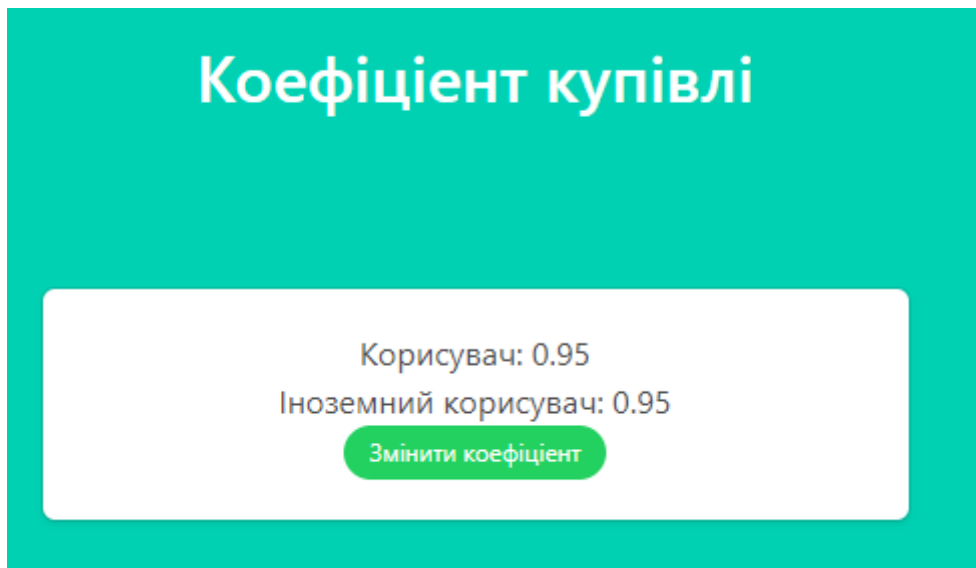


Рисунок 5.6.8 - Коефіцієнт купівлі електроенергії

Для зміни коефіцієнту купівлі для користувача необхідно ввести новий коефіцієнт в поле «користувач» (Рисунок 5.6.9).

Для зміни коефіцієнту купівлі для іноземного користувача необхідно ввести новий коефіцієнт в поле «іноземний користувач» (Рисунок 5.6.9).

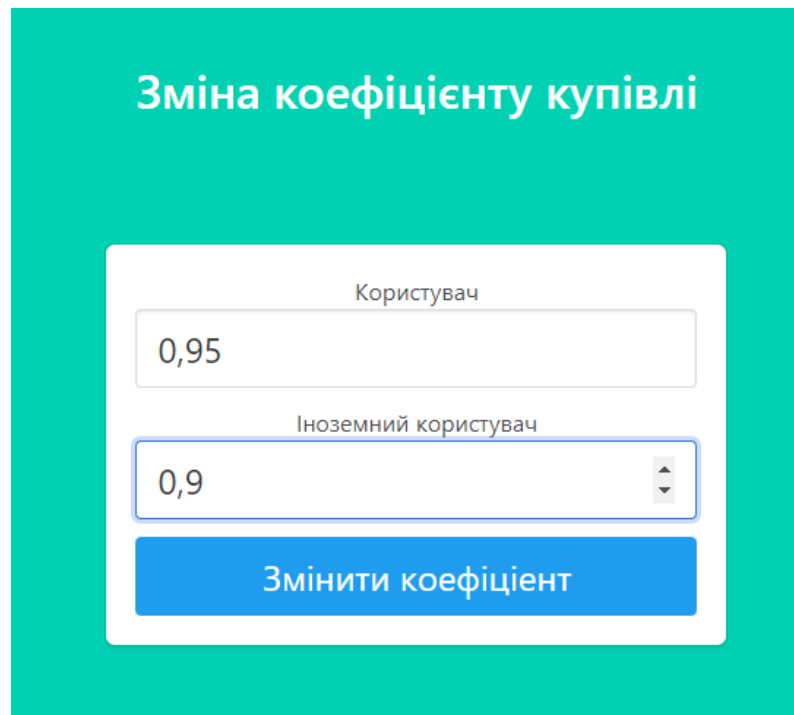


Рисунок 5.6.9 - Зміна коефіцієнта купівлі електроенергії

Після натискання кнопки «Змінити коефіцієнт» користувач перейде на головну сторінку, де можна буде переглянути нові коефіцієнти та з'явиться повідомлення про успішну зміну коефіцієнтів (Рисунок 5.6.10).

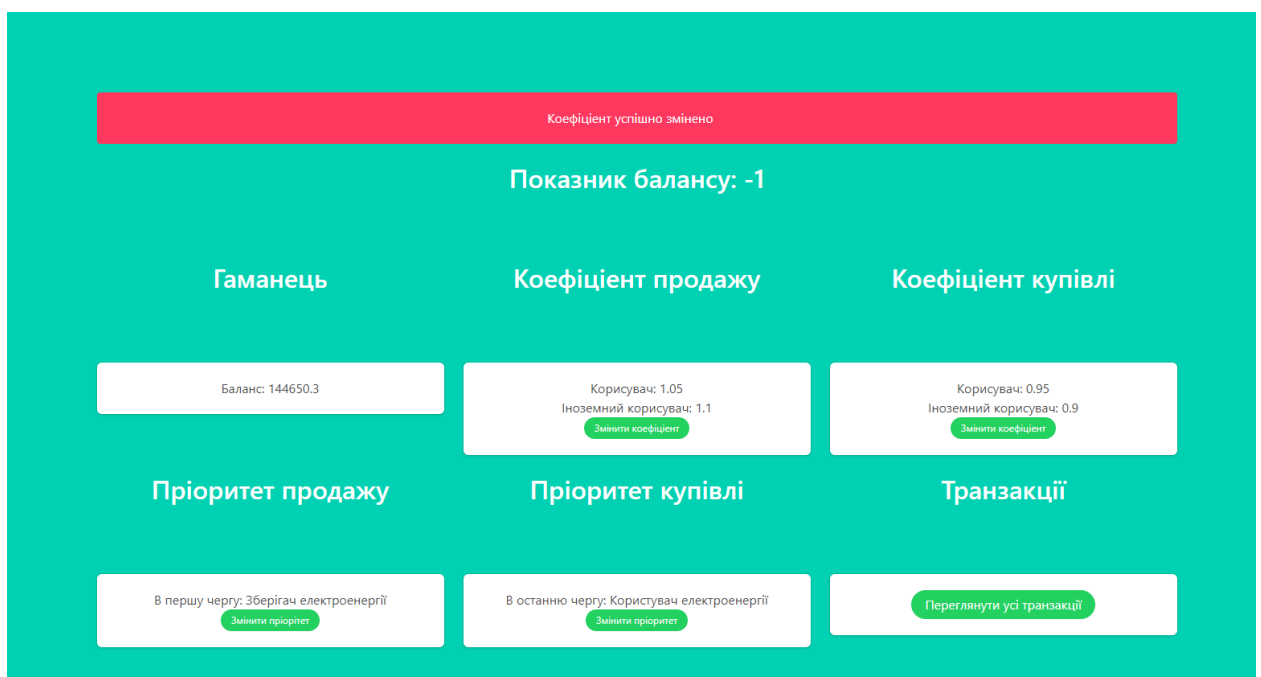


Рисунок 5.6.10 - Успішна зміна коефіцієнтів купівлі електроенергії

### 5.6.6 Зміна пріоритету продажу

Пріоритет продажу показує порядок здійснення транзакцій для користувачів. Дана система пріоритетів забезпечує першочергове забезпечення потреб користувачів, що мають перший пріоритет, потім другий пріоритет і в останню чергу проводяться транзакції для користувачів з нижчим пріоритетом. Всього система пріоритетів має 3 пріоритети, за кількістю ролей в системі не враховуючи регулятора ринку. Для поліпшення роботи зберігачів електроенергії та більш ефективного балансування ринку, за умови великого навантаження на зберігачів електроенергії, пропонується наступна система пріоритетів (Рисунок 5.6.11):

- 1 – зберігач;
- 2- користувач;
- 3 – іноземний користувач.

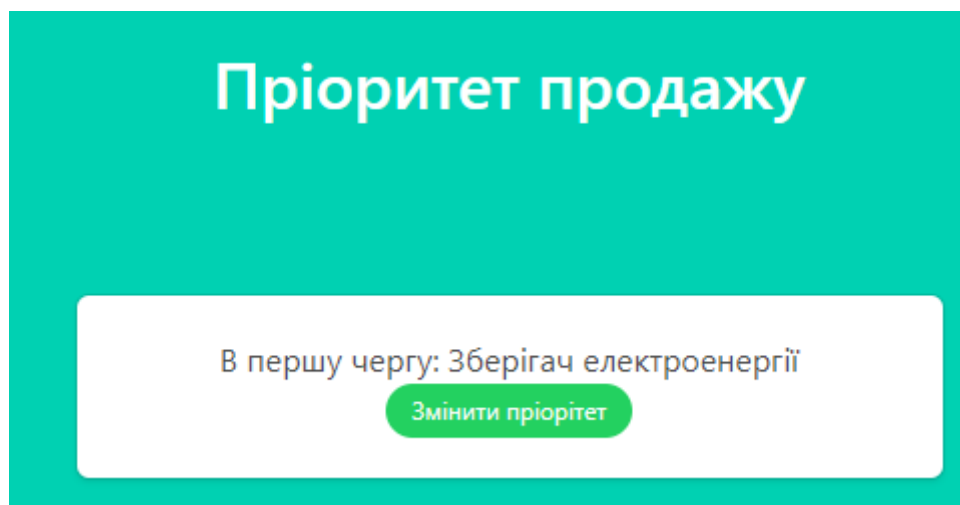


Рисунок 5.6.11 - Пріоритет продажу електроенергії

За потреби регулятор ринку має можливість змінити пріоритети продажу електроенергії, натиснувши «Змінити пріоритет» у розділі «Пріоритет продажу». Після цього користувача буде перенаправлено на сторінку зміни пріоритету продажу (Рисунок 5.6.12).

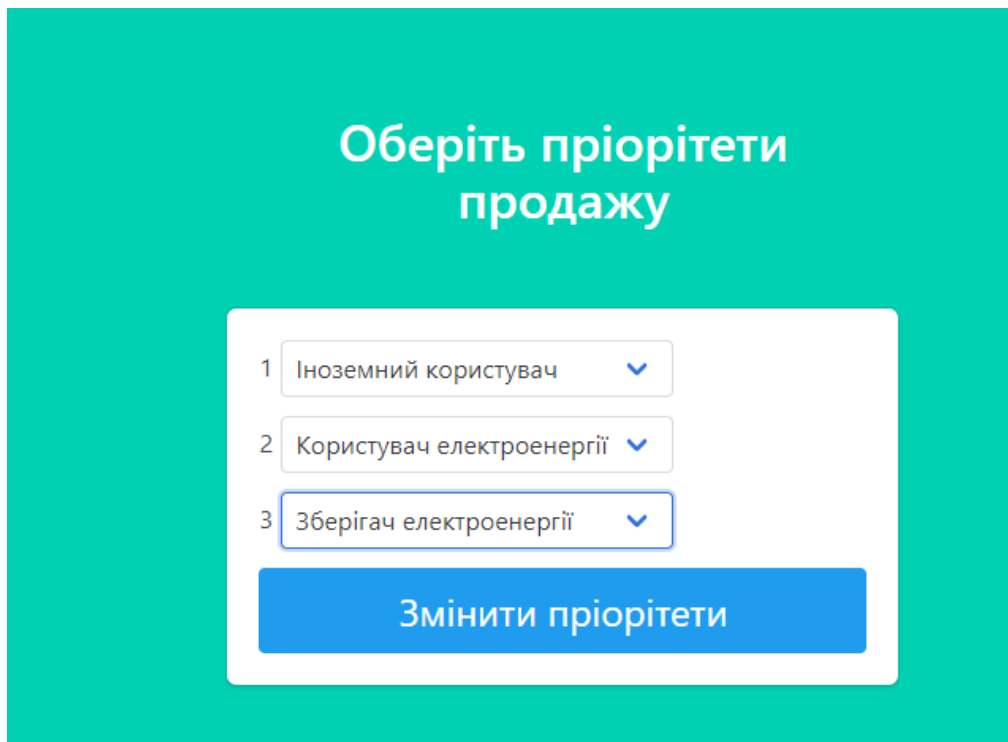


Рисунок 5.6.12 - Зміна пріоритету продажу електроенергії

Після натискання кнопки «Змінити пріоритет» користувач перейде на головну сторінку, де можна буде переглянути перший пріоритет продажу та з’явиться повідомлення про успішну зміну пріоритетів (Рисунок 5.6.13).

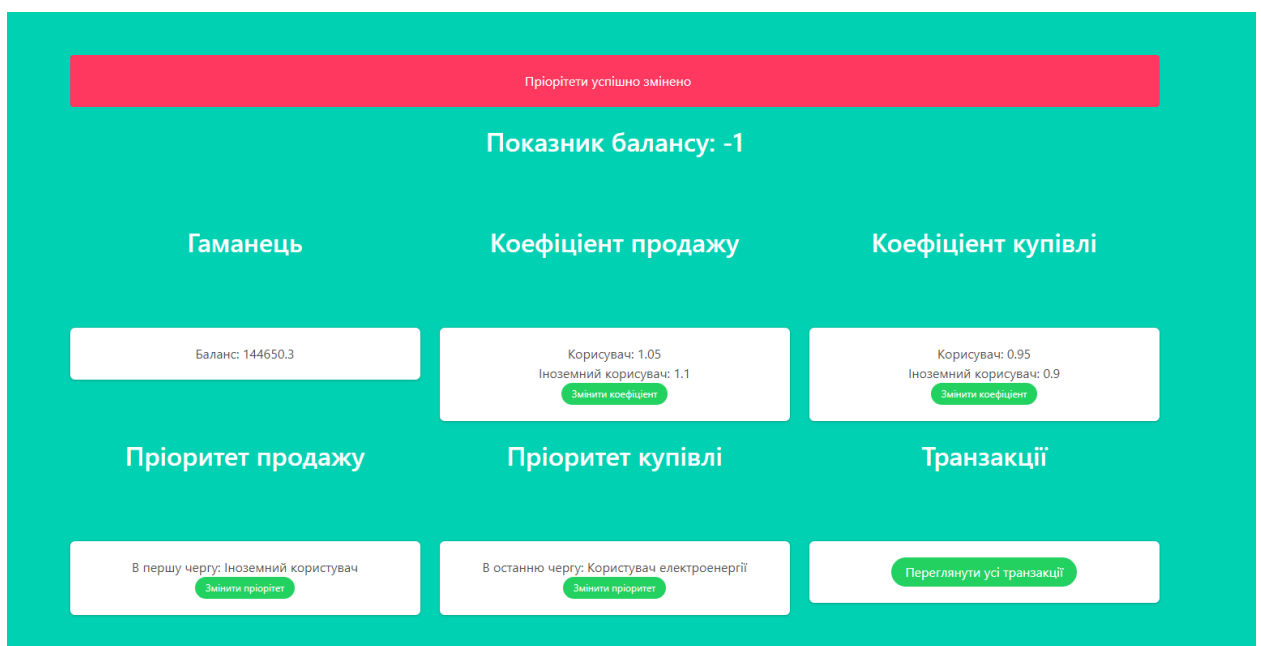


Рисунок 5.6.13 - Успішна зміна пріоритетів продажу електроенергії

### 5.6.7 Зміна пріоритету купівлі

Пріоритет купівлі показує порядок здійснення транзакцій для користувачів. Дана система пріоритетів забезпечує першочергове забезпечення потреб користувачів, що мають перший пріоритет, потім другий пріоритет і в останню чергу проводяться транзакції для користувачів з нижчим пріоритетом. Всього система пріоритетів має 3 пріоритети, за кількістю ролей в системі не враховуючи регулятора ринку. Для поліпшення роботи зберігачів електроенергії та більш ефективного балансування ринку, за умови великого навантаження на зберігачів електроенергії, пропонується наступна система пріоритетів (Рисунок 5.6.14):

- 1 – користувач
- 2- іноземний користувач;
- 3 – зберігач.

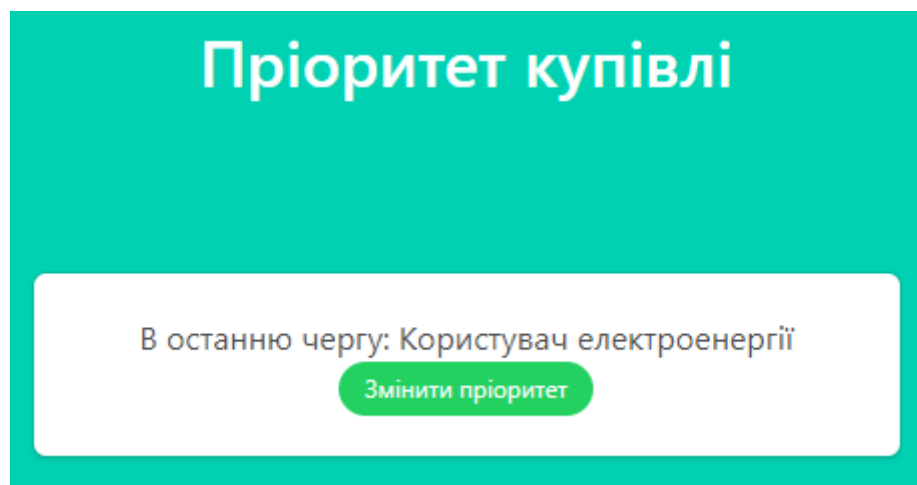


Рисунок 5.6.14 - Пріоритети купівлі електроенергії

За потреби регулятор ринку має можливість змінити пріоритети купівлі електроенергії, натиснувши «Змінити пріоритет» у розділі «Пріоритет купівлі». Після цього користувача буде перенаправлено на сторінку зміни пріоритету продажу (Рисунок 5.6.15).

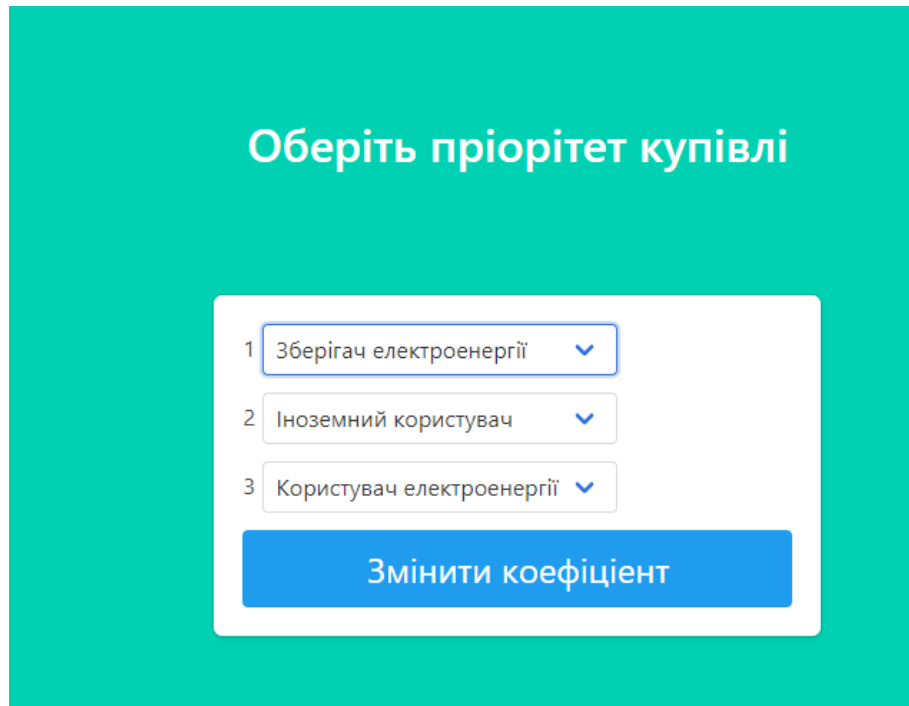


Рисунок 5.6.15 -Зміна пріоритетів купівлі електроенергії

Після натискання кнопки «Змінити пріоритет» користувач перейде на головну сторінку, де можна буде переглянути перший пріоритет купівлі та з’явиться повідомлення про успішну зміну пріоритетів (Рисунок 5.6.16).

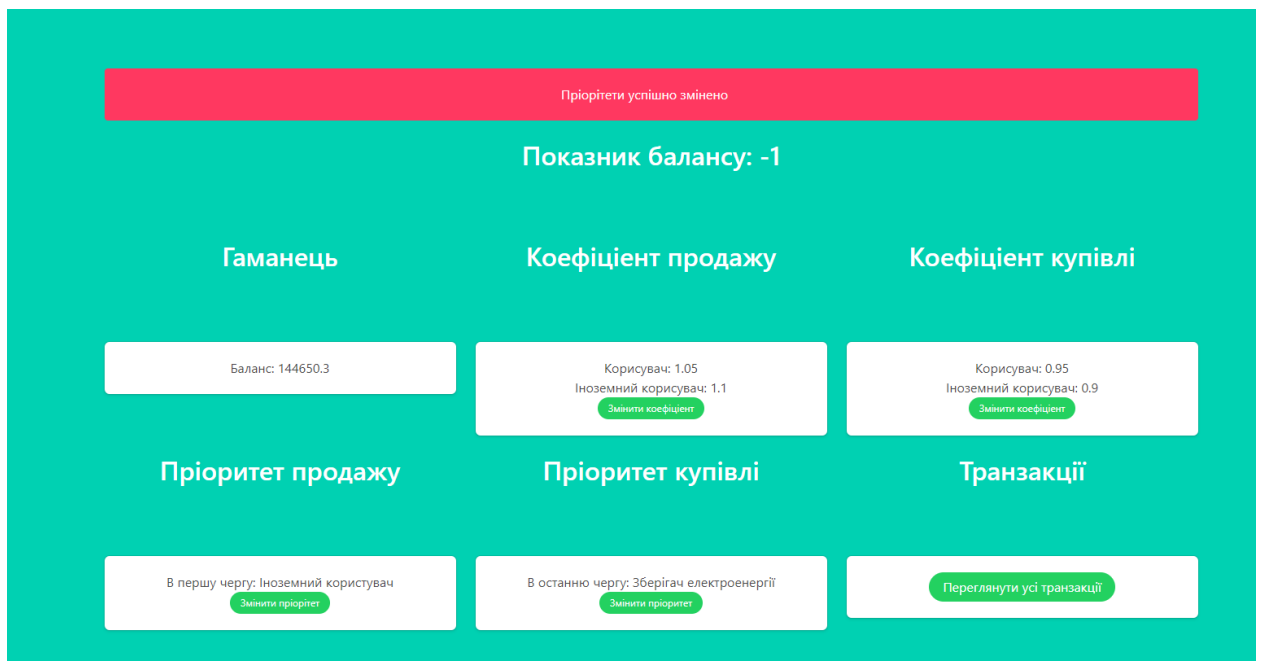


Рисунок 5.6.16 - Успішна зміна пріоритетів купівлі електроенергії

## 5.6.8 Перегляд транзакцій

Щоб переглянути усі транзакції, що відбувалися на балансуєчому ринку електроенергії регулятора ринку необхідно на головній сторінці натиснути «Переглянути усі транзакції» (Рисунок 5.6.17).

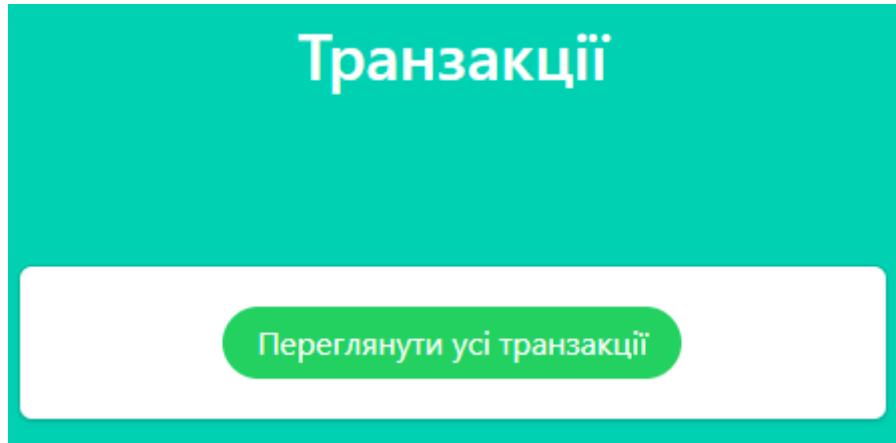
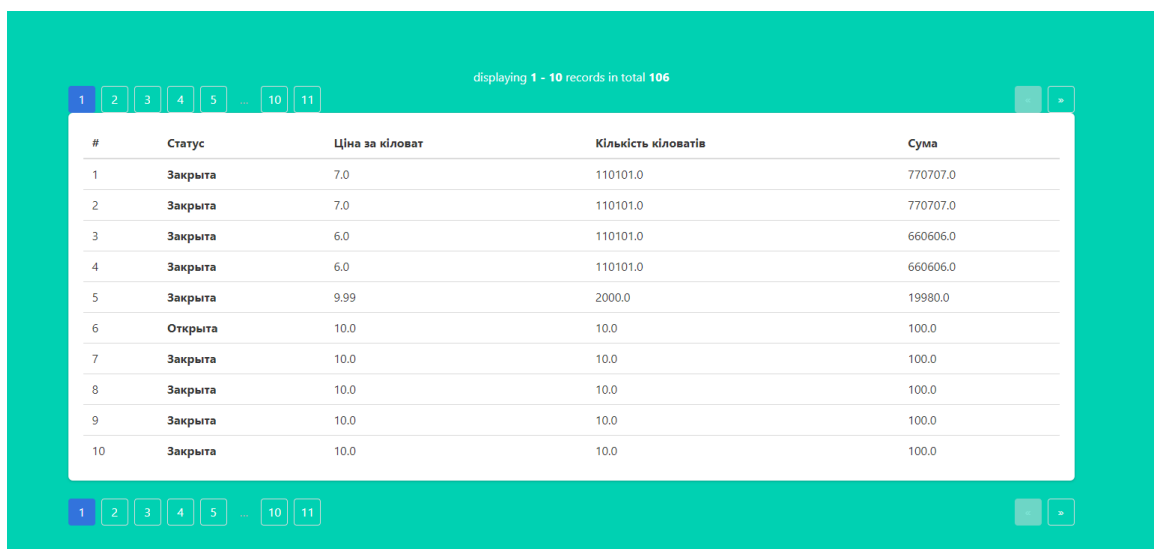


Рисунок 5.6.17 – Транзакції

Після переходу на сторінку транзакцій регулятор може переглянути таблицю з транзакціями усіх користувачів балансуєчого ринку електроенергії (Рисунок 5.6.18).

The image shows a table with 5 columns: '#', 'Статус', 'Ціна за кіловат', 'Кількість кіловатів', and 'Сума'. The table contains 10 rows of data. Above the table, it says 'displaying 1 - 10 records in total 106'. There are pagination controls at the top and bottom of the table area.

#	Статус	Ціна за кіловат	Кількість кіловатів	Сума
1	Закрита	7.0	110101.0	770707.0
2	Закрита	7.0	110101.0	770707.0
3	Закрита	6.0	110101.0	660606.0
4	Закрита	6.0	110101.0	660606.0
5	Закрита	9.99	2000.0	19980.0
6	Открыта	10.0	10.0	100.0
7	Закрита	10.0	10.0	100.0
8	Закрита	10.0	10.0	100.0
9	Закрита	10.0	10.0	100.0
10	Закрита	10.0	10.0	100.0

Рисунок 5.6.18 - Таблиця транзакцій користувачів

## 5.7 Випробування програмного продукту

### 5.7.1 Мета випробувань

Випробування проводяться з метою перевірки відповідності функцій системи автоматизованого балансуєчого ринку електроенергії на основі смарт-контрактів.

### 5.7.2 Документація

Основою для випробувань слугували наступні державні стандарти:

- ГОСТ 34.603-92. [43] Інформаційна технологія. Види випробувань автоматизованих систем;
- ГОСТ РД 50-34.698-90. [44] Автоматизовані системи вимог до змісту документів.

### 5.7.3 Випробування

#### Авторизація

Під час авторизації, будь-який користувач повинен ввести свою поштову адресу та пароль. (Рисунок 5.7.1)

## Login

  
  
 Remember me  

Рисунок 5.7.1 - Не правильно введені дані під час авторизації

Якщо пошта або пароль будуть введені не вірно, або не будуть введені зовсім система виведе повідомлення про помилку. (Рисунок 5.7.2)

Please check your login details and try again.

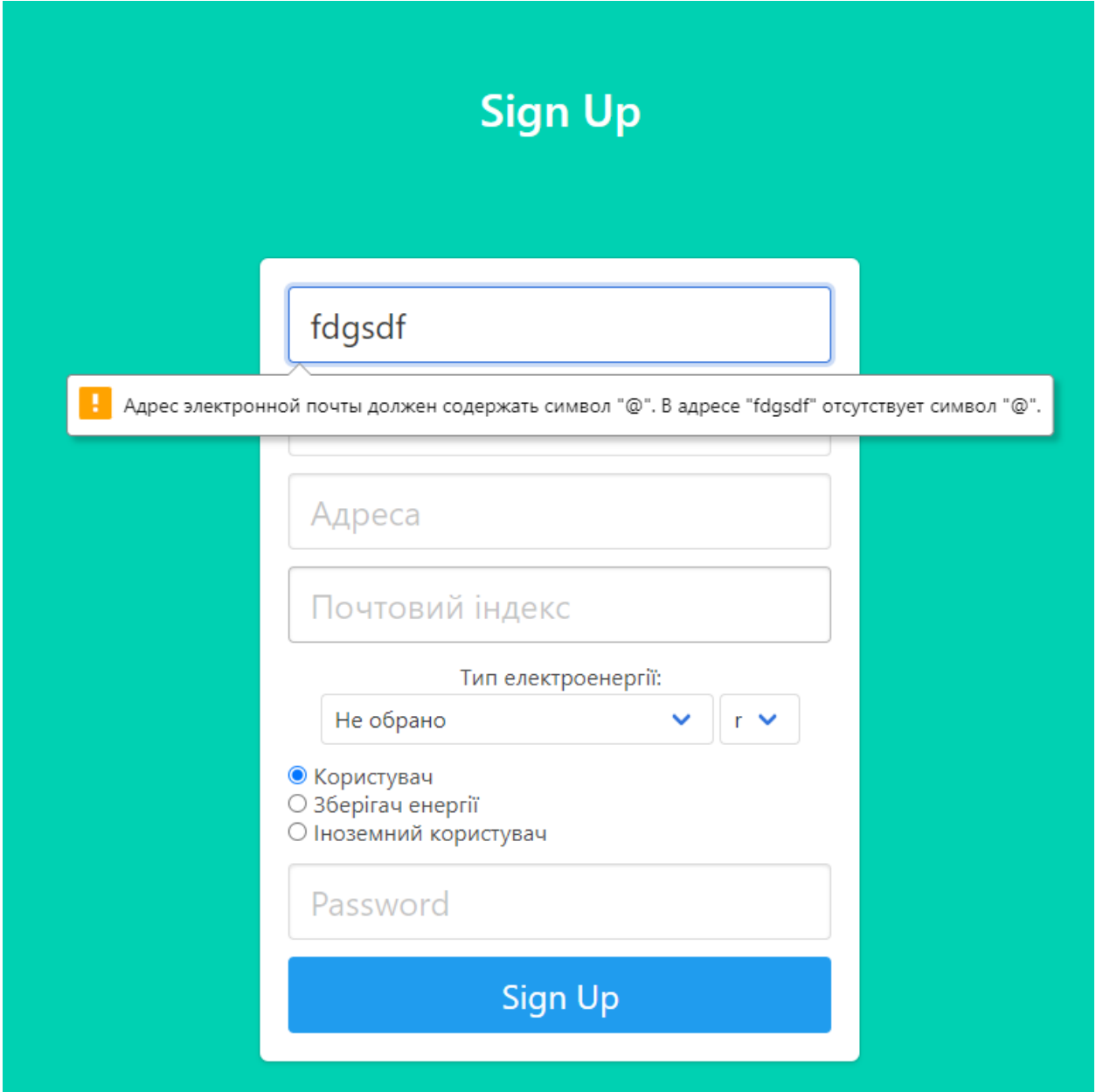
## Login

  
  
 Remember me  

Рисунок 5.7.2 - Помилка авторизації

#### 5.7.4 Реєстрація користувачів

Під час реєстрації користувачеві електронна адреса користувача повинна включати символи «@» та «.». У випадку якщо користувач вводить електронну адресу не вірно виводиться повідомлення про помилку та реєстрація користувача не відбувається (Рисунок 5.7.3).



The image shows a 'Sign Up' form on a teal background. The form is white and contains several input fields and a button. At the top, the text 'Sign Up' is displayed in white. Below it, there is a text input field containing 'fdgsdf'. A red error message box is overlaid on the form, stating: 'Адрес електронної пошти повинен містити символ "@". В адресі "fdgsdf" відсутній символ "@".' Below the error message, there are three input fields: 'Адреса', 'Почтовий індекс', and 'Тип електроенергії'. The 'Тип електроенергії' field has a dropdown menu with 'Не обрано' and a 'r' dropdown. Below these are three radio buttons: 'Користувач' (selected), 'Зберігач енергії', and 'Іноземний користувач'. At the bottom, there is a 'Password' input field and a blue 'Sign Up' button.

Рисунок 5.7.3 - Некоректне введення електронної адреси при реєстрації

У випадку якщо користувач не заповнює поля при реєстрації виводиться повідомлення про помилку та реєстрація користувача не відбувається (Рисунок 5.7.4, Рисунок 5.7.5).

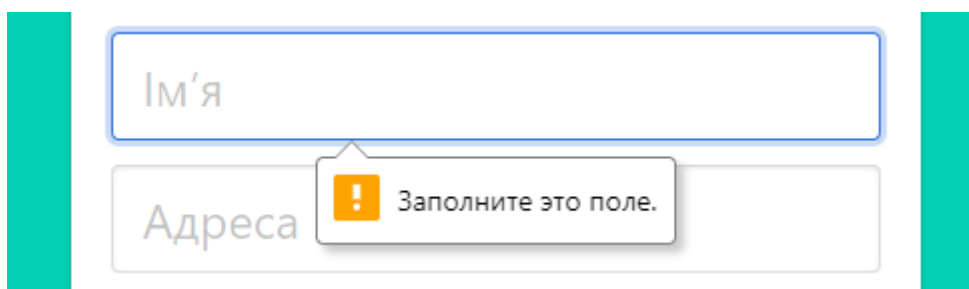


Рисунок 5.7.4 - Поле ім'я не заповнено

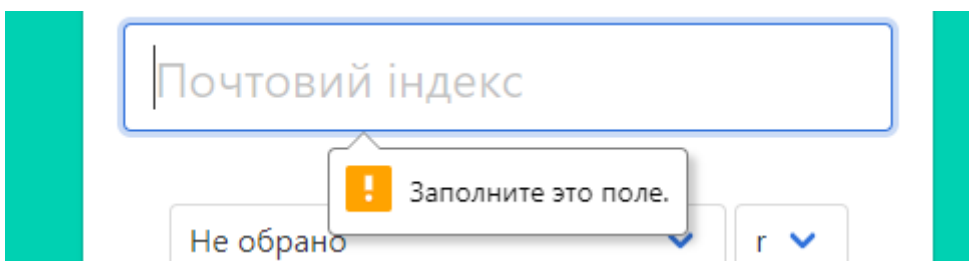


Рисунок 5.7.5 - Поле поштовий індекс не заповнено

### 5.7.5 Некоректні дії користувача електроенергії

При поповненні гарантії, як і при заповненні будь-яких числових полів в профілі користувача електроенергії неможливо введення в поля літер та інших знаків окрім коми та крапки (Рисунок 5.7.6).

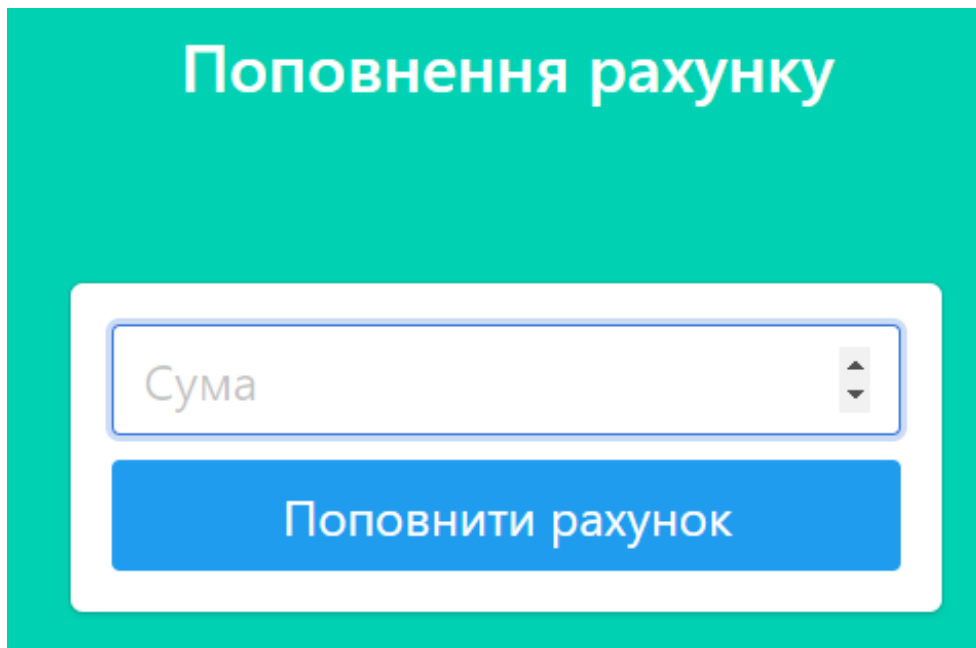


Рисунок 5.7.6 - Некоректне поповнення рахунку користувача

В системі забороняється вводити від'ємні числа в числові поля(Рисунок 5.7.7).

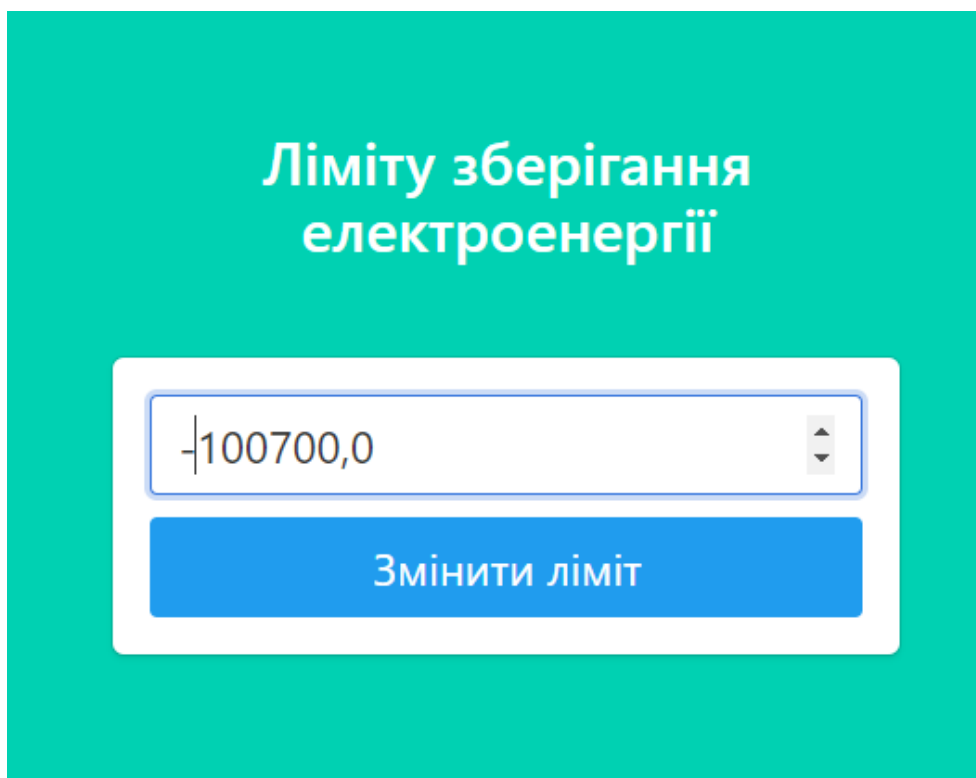


Рисунок 5.7.7 - Некоректне введення ліміту зберігання електроенергії

Якщо користувач намагається зберегти від'ємний ліміт йому виводиться сповіщення про необхідність введення ліміту більше нуля та значення введене користувачем не зберігається (Рисунок 5.7.8).

Ліміт повинен бути більше нуля

Гаманець      Ліміт зберігання електроенергії      Мінімальний резерв електроенергії      Пропозиції на ринку електроенергії

Баланс: 0.0      Ліміт: 100700.0      Мін. резерв: 47800.0      Переглянути пропозиції

displaying 1 - 1 records in total 1

#	Статус	Ціна за кіловат	Кількість кіловатів	Сума
1	Закрита	6.0	110101.0	660606.0

Рисунок 5.7.8 - Сповіщення про некоректне введення ліміту зберігання електроенергії

В системі забороняється вводити від'ємні числа в якості резерву зберігання електроенергії в профілі користувача електроенергії(Рисунок 5.7.9).

Резерв зберігання електроенергії

-47800,0

Змінити резерв

Рисунок 5.7.9 - Введення некоректного резерву електроенергії користувача

Якщо користувач намагається зберегти від'ємний резерв йому виводиться сповіщення про необхідність введення резерву електроенергії більше нуля та значення введене користувачем не зберігається (Рисунок 5.7.10).

The screenshot shows a user interface with a red warning banner at the top: "Резерв повинен бути більше нуля". Below the banner are four main sections: "Гаманець" (Balance), "Ліміт зберігання електроенергії" (Energy storage limit), "Мінімальний резерв електроенергії" (Minimum energy reserve), and "Пропозиції на ринку електроенергії" (Market offers). Each section has a value and a button to modify it. Below these is a table with one record.

#	Статус	Ціна за кіловат	Кількість кіловатів	Сума
1	Закрита	6.0	110101.0	660606.0

Рисунок 5.7.10 - Сповіщення про некоректність вводу резерву електроенергії

### 5.7.6 Некоректні дії іноземного користувача електроенергії

При поповненні гаманця, як і при заповненні будь-яких числових полів в профілі іноземного користувача електроенергії неможливо введення в поля літер та інших знаків окрім коми та крапки (Рисунок 5.7.11, Рисунок 5.7.12, Рисунок 5.7.13).

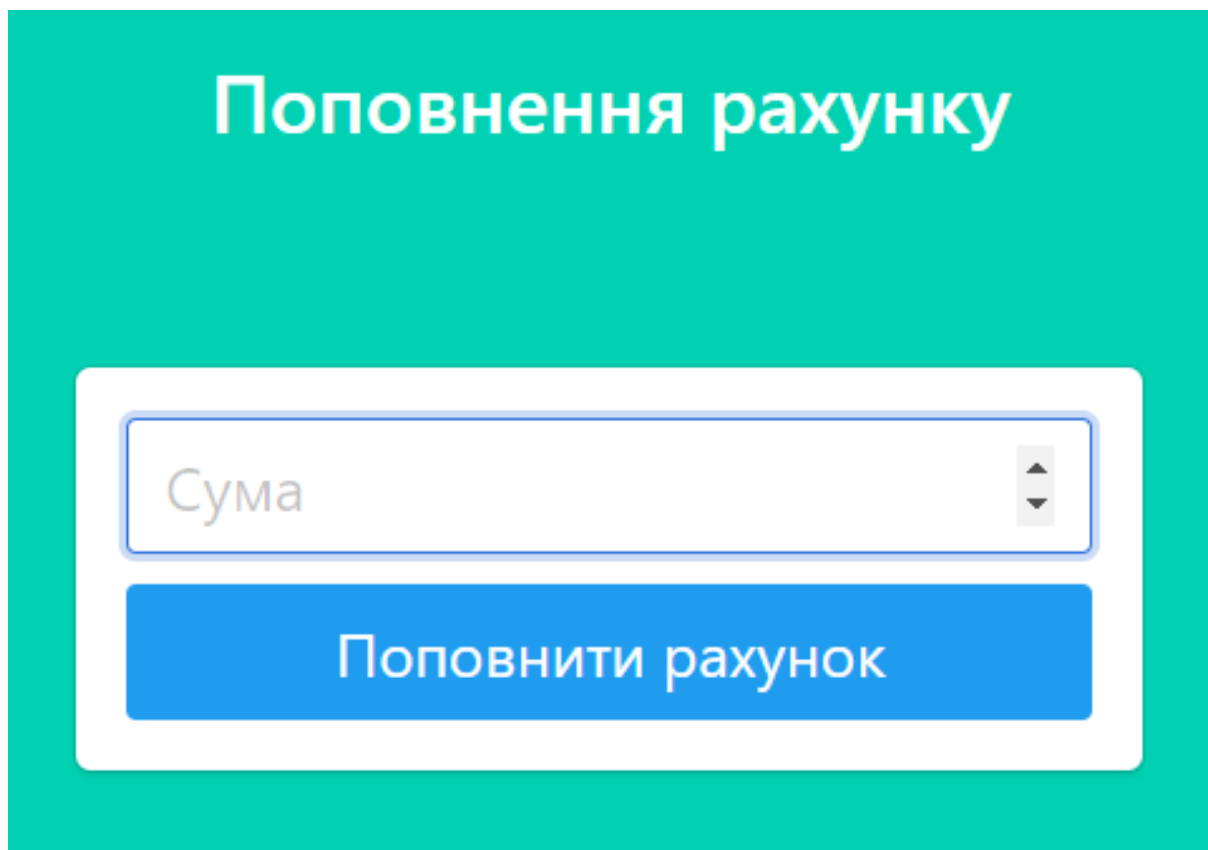


Рисунок 5.7.11 -Некоректне поповнення балансу іноземного користувача електроенергії

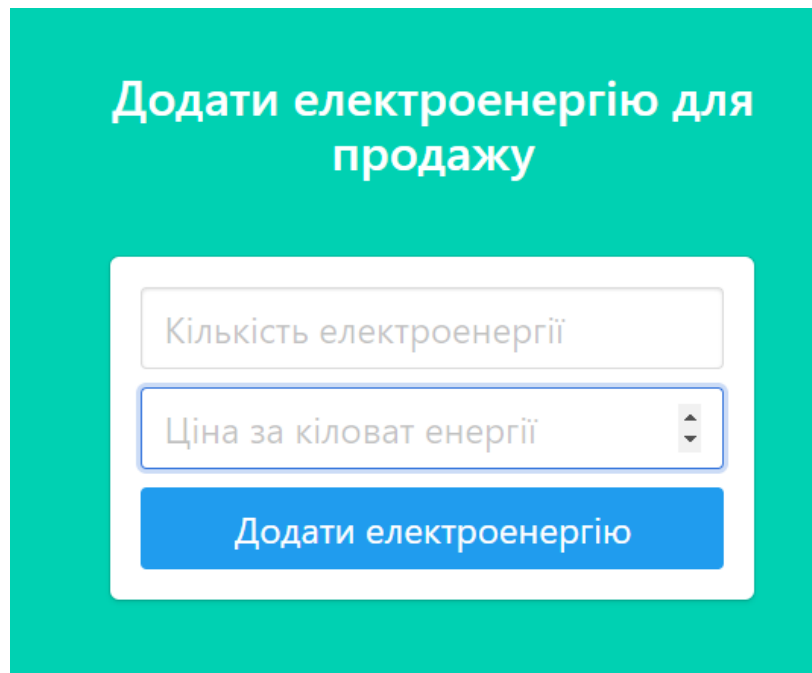


Рисунок 5.7.12 - Некоректне введення кількості та ціни за кіловат електроенергії

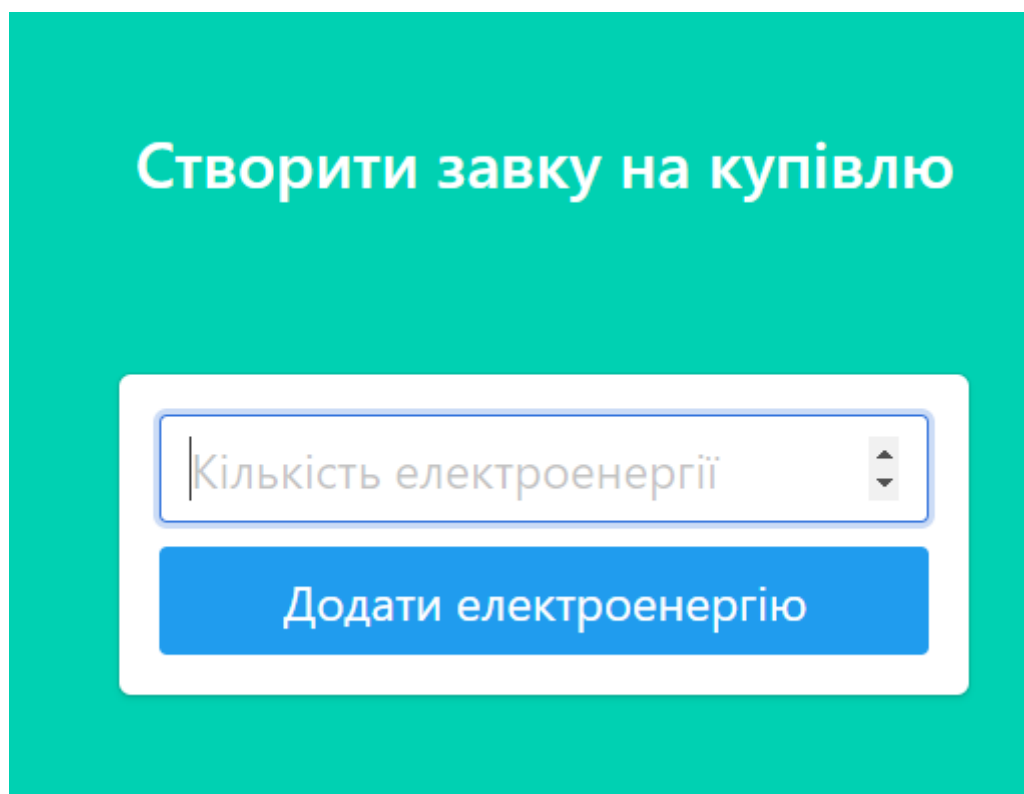


Рисунок 5.7.13 - Некоректне введення кількості електроенергії при створенні заявки на купівлю

### 5.7.7 Некоректні дії зберігача електроенергії

При поповненні гаманця, як і при заповненні будь-яких числових полів в профілі зберігача електроенергії неможливо введення в поля літер та інших знаків окрім коми та крапки (Рисунок 5.7.14). При введенні всіх підряд символі з клавіатури в поле поповнення балансу вводяться лише цифри.

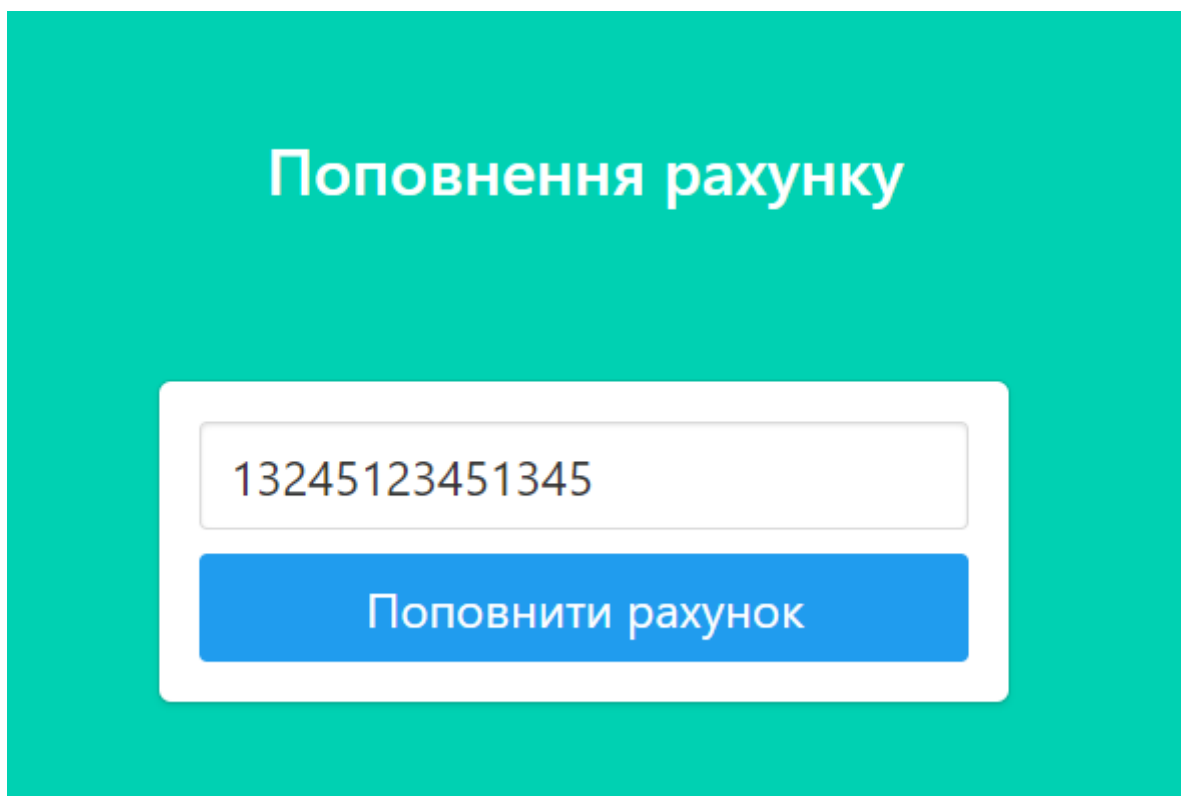


Рисунок 5.7.14 - Введення символів навімання під час поповнення балансу зберігача

В системі забороняється вводити від'ємні числа в числові поля(Рисунок 5.7.15).

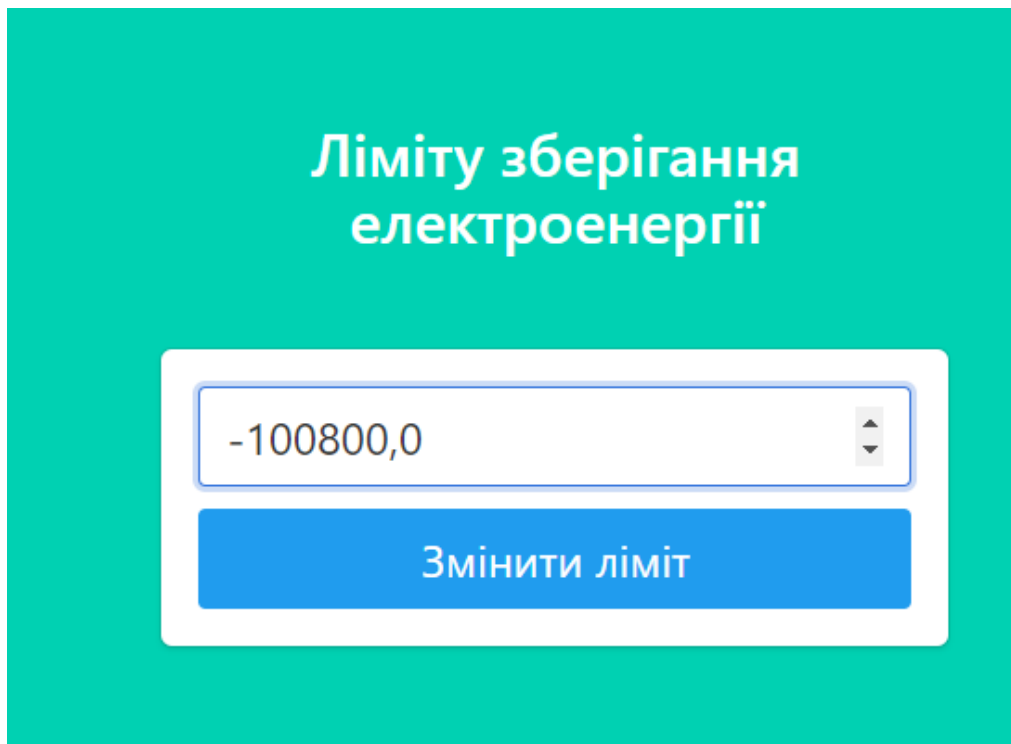


Рисунок 5.7.15 - Введення від'ємних чисел в ліміт зберігання електроенергії зберігача

Якщо зберігач намагається зберегти від'ємний ліміт йому виводиться сповіщення про необхідність введення ліміту більше нуля та значення введене ним не зберігається (Рисунок 5.7.16).

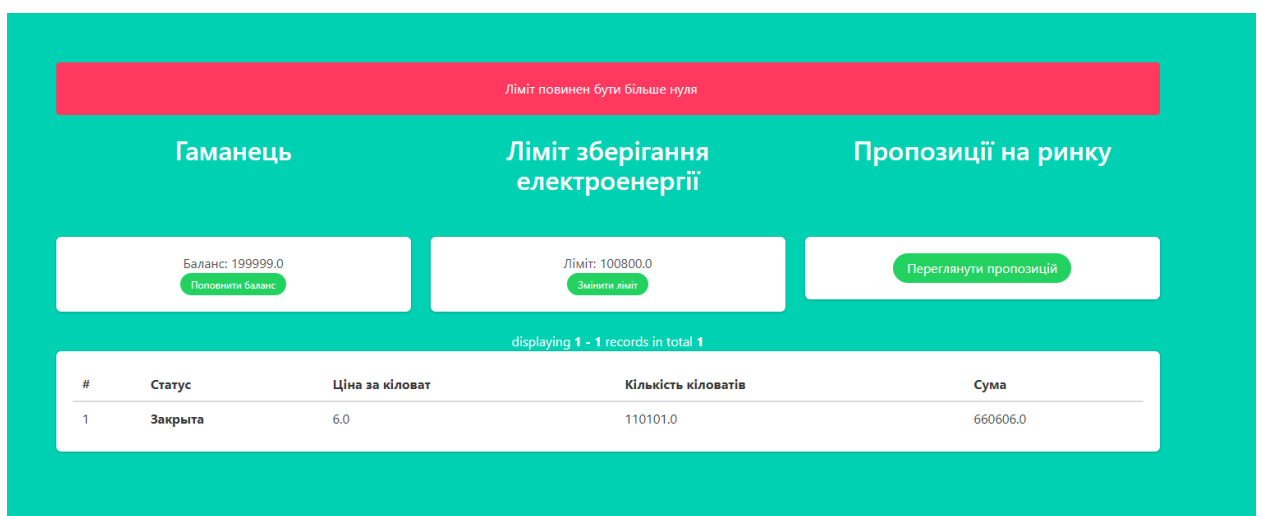


Рисунок 5.7.16 - Помилка збереження ліміту зберігання електроенергії зберігача

### 5.7.8 Некоректні дії регулятора ринку електроенергії

Баланс регулятора ринку користувач не може поповнити з інтерфейсу системи, саме тому кнопка «Поповнення балансу» відсутня, що надає змогу користувачеві його поповнити (Рисунок 5.7.17).

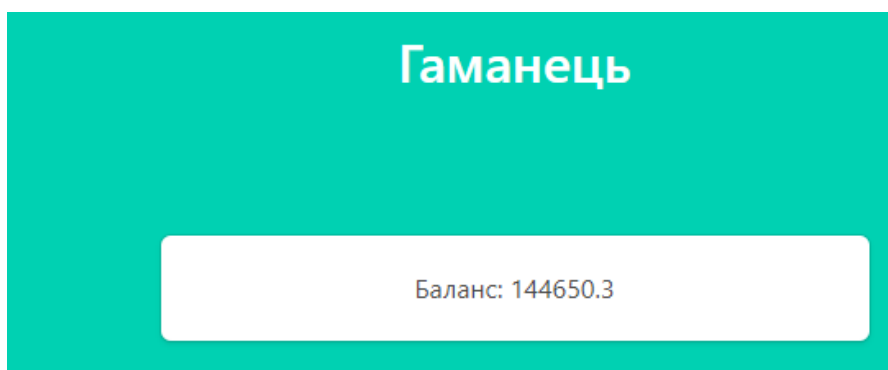


Рисунок 5.7.17 - Спроба поповнення балансу регулятора системи

Коефіцієнт продажу не може бути від'ємним (Рисунок 5.7.18).

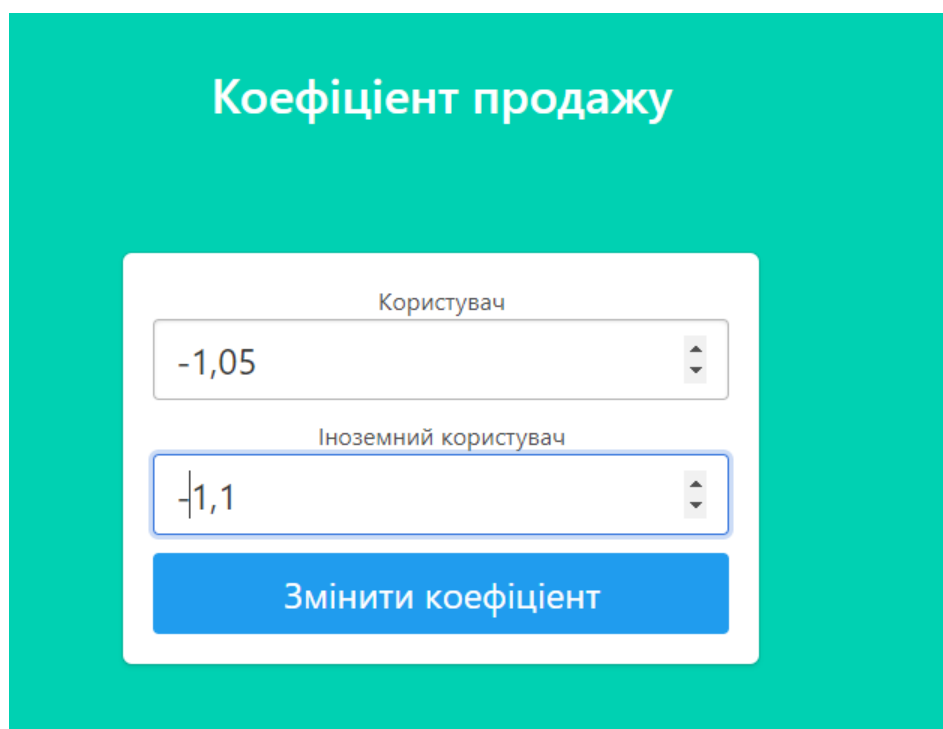


Рисунок 5.7.18 - Введення від'ємних коефіцієнтів продажу

При спробі введення від'ємного коефіцієнту продажу регулятор отримує сповіщення про некоректність введених коефіцієнтів, а дані введені некоректно не зберігаються (Рисунок 5.7.19).

Коефіцієнт повинен бути більше нуля

Показник балансу: -1

Гаманець	Коефіцієнт продажу	Коефіцієнт купівлі
Баланс: 144650.3	Користувач: 1.05 Іноземний користувач: 1.1 <a href="#">Змінити коефіцієнт</a>	Користувач: 0.95 Іноземний користувач: 0.9 <a href="#">Змінити коефіцієнт</a>
Пріоритет продажу	Пріоритет купівлі	Транзакції
В першу чергу: Зберігач електроенергії <a href="#">Змінити пріоритет</a>	В останню чергу: Користувач електроенергії <a href="#">Змінити пріоритет</a>	<a href="#">Переглянути усі транзакції</a>

Рисунок 5.7.19 - Повідомлення про некоректне введення коефіцієнту продажу

Коефіцієнт купівлі не може бути від'ємним (Рисунок 5.7.20).

Зміна коефіцієнту купівлі

Користувач  
-0,95

Іноземний користувач  
-0,9

[Змінити коефіцієнт](#)

Рисунок 5.7.20 - Некоректне введення коефіцієнтів купівлі

При спробі введення від'ємного коефіцієнту купівлі регулятор отримує сповіщення про некоректність введених коефіцієнтів, а дані введені некоректно не зберігаються (Рисунок 5.7.21).

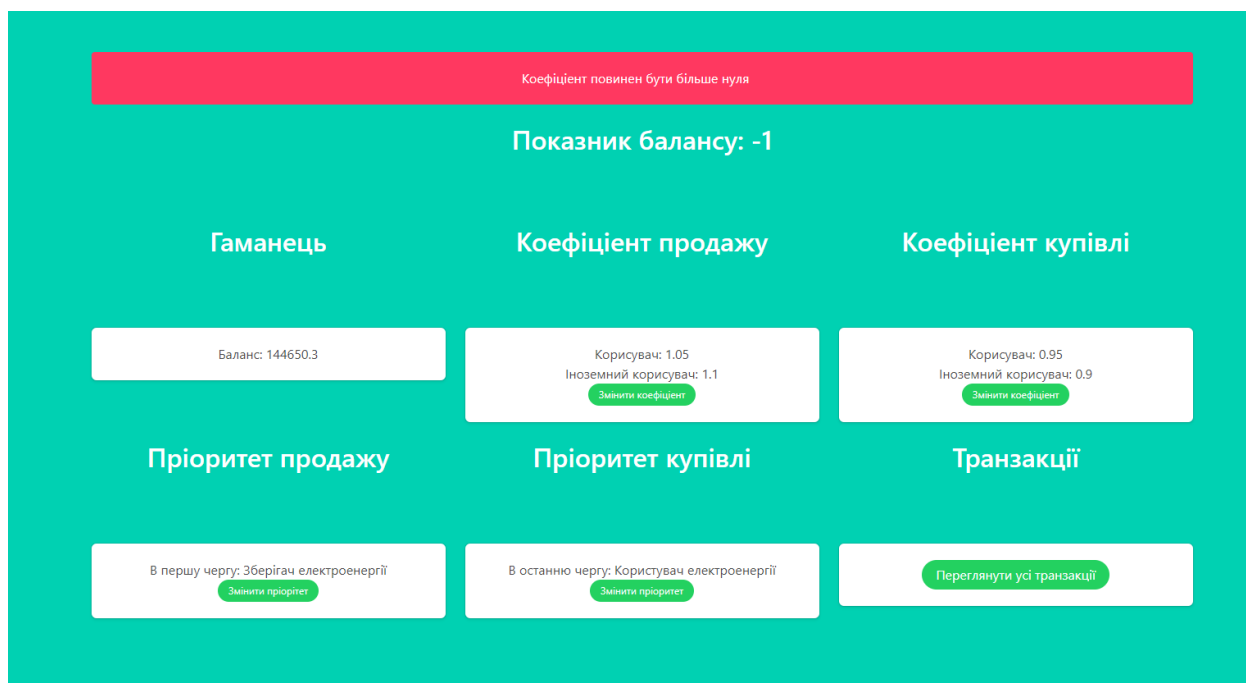


Рисунок 5.7.21 – Повідомлення про некоректне введення коефіцієнтів купівлі

При визначенні пріоритетів продажу регулятор повинен ввести три різні типи користувачів (Рисунок 5.7.22).

## Оберіть пріоритети продажу

1 Користувач електроенергії ▾

2 Користувач електроенергії ▾

3 Іноземний користувач ▾

Змінити пріоритети

Рисунок 5.7.22 - Введення одного типу користувачів в декілька пріоритетів

Якщо користувач намагається зберегти два різні пріоритети для одного типу користувачів, виводиться повідомлення про некоректність введення пріоритетів, а дані не зберігаються (Рисунок 5.7.23).

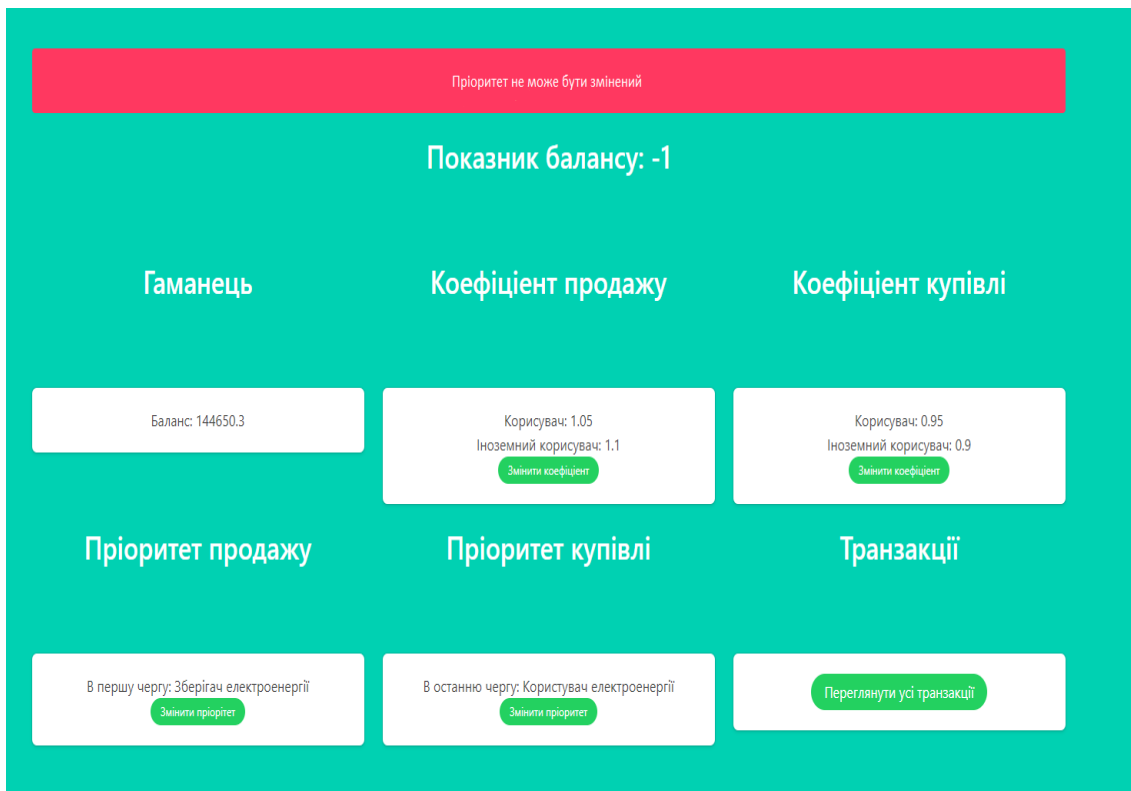


Рисунок 5.7.23 - Повідомлення про некоректність введення пріоритетів продажу

При визначенні пріоритетів купівлі регулятор повинен ввести три різні типи користувачів (Рисунок 5.7.24).

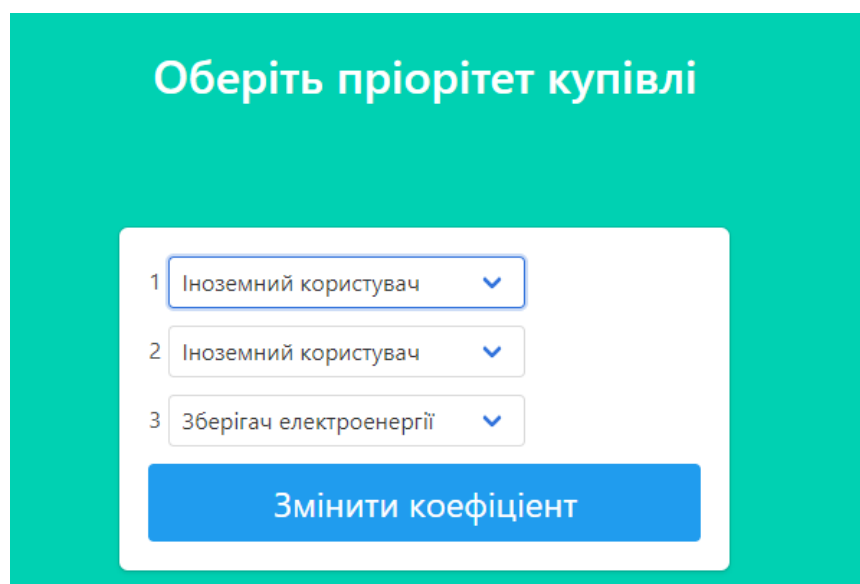


Рисунок 5.7.24 - Некоректне введення пріоритетів купівлі

Якщо користувач намагається зберегти два різні пріоритети для одного типу користувачів, виводиться повідомлення про некоректність введення пріоритетів, а дані не зберігаються (Рисунок 5.7.25).

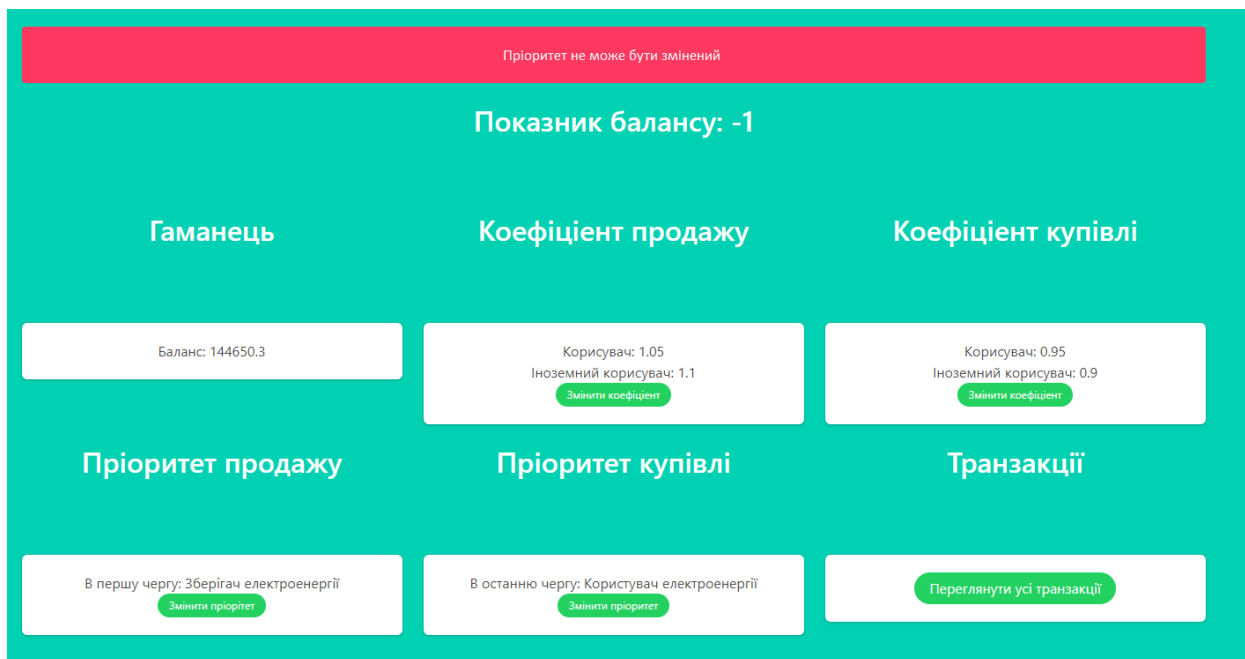


Рисунок 5.7.25 - Повідомлення про некоректність введення пріоритетів купівлі

### 5.7.9 Результати випробувань

Усі випробування пройшли успішно, в результаті було доведено справність та стійкість роботи системи. В ході випробувань було перевірено коректність реакції системи на некоректні дії:

- під час авторизації усіх груп користувачів;
- під час реєстрації усіх груп користувачів;
- в профілі користувача електроенергії;
- іноземного користувача електроенергії;
- зберігача електроенергії;

– регулятору ринку електроенергії.

Під час перевірки роботи системи на екрані відображалися всі повідомлення про некоректне введення даних.

## 5.8 Висновок до розділу

В цьому розділі були описані особливості розробленої системи, було приведено інструкції реєстрації та використання для чотирьох типів користувачів. Також в були описані випробування стійкості системи та приведені їх результати.

## РОЗДІЛ 6 ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗРОБЛЕНИХ АЛГОРИТМІВ

### 6.1 Умови проведення експериментів

Для перевірки стійкості системи та визначення вузьких місць системи було розроблено тестові дані для перевірки алгоритмів, що закладені в основу системи.

Алгоритми з якими проводилися експерименти:

- алгоритм аналізу даних лічильників;
- смарт-контракт.

Типи тестових даних:

- 1 заявка(купівля або продаж);
- 2 заявки(купівля та продаж);
- 10 заявок на купівлю та 10 заявок на продаж;
- 100 заявок на купівлю та 100 заявок на продаж;
- 1000 заявок на купівлю та 1000 заявок на продаж;
- 5000 заявок на купівлю та 5000 заявок на продаж;
- 10000 заявок на купівлю та 10000 заявок на продаж.

Тестові дані були сформовані з огляду на реальність обраних навантажень на систему за 30 хвилин її роботи.

Ціль дослідження полягає у визначенні максимальної кількості заявок при роботі системи до 30ти хвилин. Обмеження в 30 хвилин зумовлено критерієм роботи балансуючого ринку електроенергії, а сама необхідністю кожні 30 хвилин здійснювати новий пакет транзакцій.

## 6.2 Результати експериментів

У наведеній нижче таблиці, показано час виконання кожного експерименту для кожного з досліджуваних алгоритмів (Таблиця 6.2.1). Графіки порівняння експериментів продемонстровані в графічних матеріалах.

Таблиця 6.2.1 - Час виконання досліджуваних алгоритмів

Назва алгоритму	Тестові дані	Номер експерименту	Час виконання, мс.	Середнє значення, мс.
Алгоритм аналізу даних лічильників	1 заявка(купівля або продаж)	1	31,015	24,696
		2	25,494	
		3	17,581	
	2 заявки(купівля та продаж)	1	61,015	43,363
		2	31,494	
		3	37,581	
	10 заявок на купівлю та 10 заявок на продаж	1	824,990	699,002
		2	688,338	
		3	583,678	
	100 заявок на купівлю та 100 заявок на продаж	1	6961,552	8448,253
		2	10867,072	
		3	7516,133	
1000 заявок на купівлю та 1000 заявок на продаж	1	207390,982	195809,683	
	2	164808,512		
	3	215229,554		

Продовження таблиці 6.2.1 - Час виконання досліджуваних алгоритмів

Назва алгоритму	Тестові дані	Номер експерименту	Час виконання, мс.	Середнє значення, мс.
Алгоритм аналізу даних лічильників	5000 заявок на купівлю та 5000 заявок на продаж	1	819691,777	1023835,591
		2	703040,562	
		3	1548774,435	
	10000 заявок на купівлю та 10000 заявок на продаж	1	971131,243	1144691,587
		2	1138205,124	
		3	1324738,395	
Смарт-контракт	1 заявка(купівля або продаж)	1	0,000	0,000
		2	0,000	
		3	0,000	
	2 заявки(купівля та продаж)	1	47,522	39,045
		2	40,241	
		3	29,371	
	10 заявок на купівлю та 10 заявок на продаж	1	632,043	554,285
		2	543,254	
		3	487,559	
	100 заявок на купівлю та 100 заявок на продаж	1	5333,394	6282,353
		2	8576,564	
		3	4937,100	

Продовження таблиці 6.2.2 - Час виконання досліджуваних алгоритмів

Назва алгоритму	Тестові дані	Номер експерименту	Час виконання, мс.	Середнє значення, мс.
Смарт-контракт	1000 заявок на купівлю та 1000 заявок на продаж	1	158886,671	156247,807
		2	130070,984	
		3	179785,765	
	5000 заявок на купівлю та 5000 заявок на продаж	1	794433,353	781239,033
		2	650354,922	
		3	898928,826	
	10000 заявок на купівлю та 10000 заявок на продаж	1	2169664,432	1391515,357
		2	898299,843	
		3	1106581,796	

### 6.3 Висновок до розділу

Під час проведення досліджень швидкості роботи алгоритмів розроблених для системи балансуючого ринку електроенергії на основі смарт контрактів, було визначено, що при збільшенні кількості заявок час відпрацювання кожного з алгоритмів збільшується, при чому час роботи однієї ітерації(обробка однієї заявки) в середньому залишається незмінним. В результаті виконання експериментів можна зробити висновок, що за нормальних умов (стабільне з'єднання з мережею інтернет та виконані умови до технічного забезпечення) швидкість роботи програми залежить лише від кількості заявок, що надійшли в систему. В ході експериментів було визначено, що лише при надходженні 20000 заявок за 30хв система буде

обробляти їх більше 30 хвилин, що є допустимим при звичайному навантаженні ринку менше 5000 заявок за 30 хвилин.

## ВИСНОВКИ

В ході написання магістерської дисертації було проведено дослідження та проаналізовані алгоритми роботи ринків електроенергії, смарт-контрактів та блокчейну, описані архітектура розробленої системи та її реалізація. Було проведено дослідження роботи смарт-контрактів на електроенергетичних біржах. Також були наведені випробування стійкості системи та експериментальні дослідження алгоритмів роботи системи.

В ході дослідження були виявлені критерії системи, реалізація, яких призведе до поліпшення функціонування балансуєчого ринку електроенергії в Україні.

В результаті проведених експериментальних досліджень було показано швидко дію проведення транзакцій, складання договорів та роботи алгоритмів.

В результаті тестувань було доведено, справність функціонування системи та створено програмний продукт, що задовольняє усім визначеним критеріям.

В результаті можна зробити висновок, що розроблена система повністю відповідає поставленій меті та вирішує покладені на неї задачі. Розроблена система не є кінцевим продуктом та не була протестована на реальних даних.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ВР України, Закон "Про ринок електричної енергії" від 13.04.2017 N 2019-VIII – [Електронний ресурс] – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19#Text>
2. Nick Szabo. The idea of smart contracts. Nick Szabo's Papers and Concise Tutorials, 1997.
3. Sunny King and Scott Nadal. Ppcoin: Peer-to-peer crypto-currency with proof-of-stake. Self-Published Paper, August, 19, 2012.
4. Sunny King and Scott Nadal. Ppcoin: Peer-to-peer crypto-currency with proof-of-stake. Self-Published Paper, August, 19, 2012.
5. Zibin Zheng, Shaoan Xie, Hong-Ning Dai, Xiangping Chen, and Huaimin Wang. Blockchain challenges and opportunities: A survey. International Journal of Web and Grid Services, 14(4):352–375, 2018.
6. Don Tapscott and Alex Tapscott. Blockchain Revolution: How the technology behind Bitcoin is changing money, business, and the world. Penguin, 1 edition, 2016.
7. Ming Li, Jian Weng, Anjia Yang, Wei Lu, Yue Zhang, Lin Hou, Jia-Nan Liu, Yang Xiang, and Robert H. Deng. CrowdBC: A Blockchain-based Decentralized Framework for Crowdsourcing. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2018.
8. Zibin Zheng, Shaoan Xie, Hong-Ning Dai, Xiangping Chen, and Huaimin Wang. Blockchain challenges and opportunities: A survey. International Journal of Web and Grid Services, 14(4):352–375, 2018.
9. John Ream, Yang Chu, and David Schatsky. Upgrading blockchains: Smart contract use cases in industry. Deloitte Press, 2016.
10. Florian Idelberger, Guido Governatori, Regis Riveret, and Giovanni Sartor. Evaluation of logic-based smart contracts for blockchain systems. In

International Symposium on Rules and Rule Markup Languages for the Semantic Web (RuleML), pages 167–183. Springer, 2016.

11. Christian Sillaber and Bernhard Waltl. Life cycle of smart contracts in blockchain ecosystems. *Datenschutz und Datensicherheit - DuD*, 41(8):497–500, Aug 2017.

12. Riikka Koulu. Blockchains and online dispute resolution: smart contracts as an alternative to enforcement. *SCRIPTed*, 13:40, 2016.

13. Vitalik Buterin et al. Ethereum white paper, 2013.

14. Christian Cachin. Architecture of the Hyperledger blockchain Fabric. In *Workshop on Distributed Cryptocurrencies and Consensus Ledgers*, 2016.

15. Richard Gendal Brown. The corda platform: An introduction. 2018.

16. David Mazieres. The stellar consensus protocol: A federated model for internet-level consensus. 2016.

17. Sergio Demian Lerner. Rootstock whitepaper. 2015.

18. Bart Cant, Amol Khadikar, Antal Ruitter, Jakob Bolgen Bronebakk, Jean Coumaros, Jerome Buvat, and Abhishek Gupta. Smart contracts in financial services: Getting from hype to reality. Capgemini Consulting, pages 1–26, 2016.

19. Домашня сторінка Python – [Електронний ресурс] – Режим доступу : <https://www.python.org>

20. Інструкція Python – [Електронний ресурс] – Режим доступу : [https://www.tutorialspoint.com/python/python\\_tutorial.pdf](https://www.tutorialspoint.com/python/python_tutorial.pdf)

21. Afshar, Vala; Evangelist, ContributorChief Digital; Salesforce (17 July 2017). "Ethereum Is The Second Most Valuable Digital Currency, Behind Bitcoin".

22. "SOFE Berlin: Swift unveils blockchain proof-of-concept". *Finextra (News)*. 24 November 2016.

23. Finley, Klint. "Someone Just Stole \$50 Million from the Biggest Crowdfunded Project Ever. (Humans Can't Be Trusted)".

24. "List of contributors". – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://github.com/ethereum/solidity/graphs/contributors>

25. Benoit Schweblin. "StackEdit Viewer". – [Электронный ресурс] – Режим доступа:  
<https://stackedit.io/viewer#!url=https://gist.githubusercontent.com/gavofyork/31b35cd2252a00d0d057/raw/16de06189d2175d2e31b300f1f8531e20c927635/solidity-original>
26. Nikolic, Ivica; Kolluri, Aashish; Sergey, Илья; Saxena, Prateek; Hobor, Aquinas (14 March 2018). "Finding The Greedy, Prodigal, and Suicidal Contracts at Scale". Different source languages compile to the EVM semantics, the predominant of them being Solidity
27. KENTOURIS, CHRIS (13 December 2016). "Blockchain's Smart Contracts: What's Smart, What's Not". Finops (News).
28. "Hyperledger Fabric Tutorial - Create a blockchain app for loyalty points". IBM Developer. – [Электронный ресурс] – Режим доступа:  
<https://developer.ibm.com/technologies/blockchain/>
29. Каретанос-2008-06-27, p. 309.
30. Ethereum. "Ethereum Natural Specification Format". – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://github.com/ethereum/wiki/wiki/Ethereum-Natural-Specification-Format>
31. Що таке JavaScript? – [Электронный ресурс] – Режим доступа:  
[https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/JavaScript/About\\_JavaScript](https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/JavaScript/About_JavaScript)
32. Edelman, Gilad. What Is Web3, Anyway?. Wired (амер.). ISSN 1059-1028. – [Электронный ресурс] – Режим доступа:  
<https://web.archive.org/web/20220210233332/https://www.wired.com/story/web3-gavin-wood-interview/>
33. Crypto's networked collaboration will drive Web 3.0. TechCrunch (амер.). – [Электронный ресурс] – Режим доступа:  
<https://web.archive.org/web/20211110034411/https://social.techcrunch.com/2021/09/16/cryptos-networked-collaboration-will-drive-web-3-0/>
34. Khoshafian, Dr Setrag (12 березня 2021). Can the Real Web 3.0 Please Stand Up?. RTInsights (амер.). – [Электронный ресурс] – Режим доступа:

<https://web.archive.org/web/20210312133316/https://www.rtinsights.com/can-the-real-web-3-0-please-stand-up/>

35. Vlad Savov (21 грудня 2021). Jack Dorsey Stirs Uproar by Dismissing Web3 as a Venture Capitalists' Plaything. Bloomberg. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://web.archive.org/web/20220104044619/https://www.bloomberg.com/tosv2.html?vid=&uuid=423ffd3a-6d19-11ec-80c8-485451484d59&url=L25ld3MvYXJ0aWNsZXMvMjAyMS0xMi0yMS9qYWNrLWRvcnNleS1zdGlycy1lcHJvYXItYnktZGJzbWlzc2luZy13ZWlzlWFzLWEtdmMtcGxheXRoaW5n>

36. Мак, Aaron (9 листопада 2021). What Is Web3 and Why Are All the Crypto People Suddenly Talking About It?. Slate (англ.). – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://slate.com/technology/2021/11/web3-explained-crypto-nfts-bored-apes.html>

37. Мах (24 жовтня 2021). Why Your Group Chat Could Be Worth Millions. Intelligencer (en-us). – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://web.archive.org/web/20211024132258/https://nymag.com/intelligencer/2021/10/whats-a-dao-why-your-group-chat-could-be-worth-millions.html>

38. Cormode, Graham; Krishnamurthy, Balachander (2 червня 2008). Key differences between Web 1.0 and Web 2.0. First Monday 13. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://firstmonday.org/ojs/index.php/fm/article/view/2125/1972>

39. Carter, Jamie (18 квітня 2015). Back to basics: is Web 1.0 making a comeback?. TechRadar (англ.). – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.techradar.com/news/internet/web/is-web-1-0-making-a-big-comeback-1291121>

40. Hosch, William L. (7 вересня 2017). Web 2.0. Encyclopedia Britannica (англ.). Архів оригіналу за 20 січня 2022. – [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://web.archive.org/web/20220120110407/https://www.britannica.com/topic/Web-20>

41. O'Reilly, Tim (30 листопада 2005). What Is Web 2.0. O'Reilly. Архів оригіналу за 24 квітня 2013. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.britannica.com/topic/Web-20>

42. Web3 – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Web3>

43. Інформаційна технологія. Види випробувань автоматизованих систем - [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.rts.ua/rus/forpro/613/0/22/>

44. Автоматизовані системи. Вимоги до змісту документів - [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.rts.ua/rus/forpro/613/0/16/>

45. ВР України, Закон "Про ринок електричної енергії" від 13.04.2017 N 2019-VIII - [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://ksoe.com.ua/company/documents/zakon-ukrani-pro-elektroenergetiku/>

46. Zibin Zheng, Shaoan Xie, Hong-Ning Dai, Weili Chen, Xiangping Chen, Jian Weng, Muhammad Imran. An Overview on Smart Contracts: Challenges, Advances and Platforms - [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://arxiv.org/pdf/1912.10370.pdf>