

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ СЕМЕНА КУЗНЕЦЯ**

**ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**КАФЕДРА ЕКОНОМІЧНОЇ КІБЕРНЕТИКИ І СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ**

Рівень вищої освіти  
Спеціальність  
Освітня програма  
Група

Перший (бакалаврський)  
Економіка  
Економічна кібернетика  
6.04.051.020.19.1

**ДИПЛОМНА РОБОТА**

на тему: «Моделі аналізу динаміки енергетичного ринку»

Виконала: студентка Дар'я ДЕРЮГІНА

Керівник: д.е.н., проф. Лідія ГУР'ЯНОВА

Рецензент: д.е.н., проф., проф. кафедри підприємництва, торгівлі і логістики НТУ  
«ХП» Олена СЕРГІЄНКО

Харків – 2023 рік

## РЕФЕРАТ

Звіт про дипломну роботу: 72 сторінки, 3 розділи, 58 рисунків, 6 таблиць, 61 джерело.

Об'єктом роботи є стан та динаміка розвитку ринку електроенергії в Україні.

Предметом даного дослідження є комплекс економіко-математичних методів, що забезпечують можливість оцінити, спрогнозувати та проаналізувати динаміку ринку електроенергії в Україні.

Мета дослідження - розробка моделей, які дозволять провести детальний аналіз динаміки енергетичного ринку, виявити головні тенденції та закономірності, а також зробити прогноз розвитку даної галузі в Україні.

Проаналізовано стан енергетичної галузі після реформ «нового ринку електроенергії», побудовано модель оцінювання рівня фінансової стійкості енергетичних компаній на основі кластерного аналізу, досліджено обсяги виробництва, споживання та експорту електроенергії на підставі методів аналізу часових рядів, а також розроблено моделі динаміки ціни на електроенергію, обсягу її продажів та ключових індексів РДН.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** РИНОК ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ, ІНДЕКСИ РДН, СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ, ВИРОБНИТЦВО ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ, ЕКСПОРТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ, ФІНАНСОВА СТІЙКІСТЬ, КЛАСТЕРНИЙ АНАЛІЗ, ARIMA МОДЕЛІ, МЕТОДИ АНАЛІЗУ ЧАСОВИХ РЯДІВ

## ABSTRACT

Thesis report: 72 pages, 3 sections, 58 figures, 6 tables, 61 sources

The object of the study is the process of development and the state of the electricity market in Ukraine.

The subject of this study is a complex of economic and mathematical methods that provide the opportunity to evaluate, predict and analyze the dynamics of the electricity market in Ukraine.

The purpose of the study is to develop models that can provide an opportunity to analyze in detail the dynamics of the energy market, using its main indicators, to identify the main trends and patterns, to evaluate the financial condition of energy enterprises, as well as to make a forecast for the development of this industry in Ukraine.

The state of the energy industry is analyzed after the reforms of the "new electricity market", a model of evaluation of the level of financial stability of energy companies on the basis of cluster analysis is built, the volume of production, consumption and export of electricity was investigated, as well as a model of dynamics of electricity price, its sales and key indexes were developed .

**KEY WORDS: ELECTRICITY MARKET, RDN INDICES, ELECTRICITY CONSUMPTION, ELECTRICITY PRODUCTION, ELECTRICITY EXPORTS, FINANCIAL STABILITY, CLUSTER ANALYSIS, ARIMA MODELS, TIME SERIES METHODS**

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ АНАЛІЗУ ПОКАЗНИКІВ ЕНЕРГЕТИЧНОГО СЕКТОРУ УКРАЇНИ .....	11
1.1. Ринок електроенергії, сутність та основні поняття.....	11
1.2. Аналіз розвитку енергетичної галузі в Україні після запровадження нового ринку електроенергії.....	14
1.3. Концептуальна схема дослідження .....	19
РОЗДІЛ 2. МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ РОЗВИТКУ ЕНЕРГЕТИЧНОГО РИНКУ .....	24
2.1 Моделювання та прогнозування динаміки обсягів споживання та виробництва електроенергії .....	24
2.2 Моделювання динаміки індексів РДН та обсягів продажу електроенергії .....	30
2.3 Моделювання динаміки експорту електроенергії.....	41
РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ ФІНАНСОВОГО СТАНУ СУБ'ЄКТІВ ЕНЕРГОРИНКУ .....	46
3.1 Аналіз фінансового стану суб'єктів енергоринку: огляд ключових показників ..	46
3.2 Моделювання рівня фінансової стійкості підприємств енергетичного сектору ..	51
ВИСНОВОК.....	59
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	61
ДОДАТОК А .....	67
ДОДАТОК Б.....	70
ДОДАТОК В.....	71

## ВСТУП

За останні десятиліття відбулося значне перетворення структури ринку електроенергії, що включало реорганізацію його ключових принципів функціонування. Раніше, державні монополії контролювали дану галузь, але велика хвиля приватизації змусила їх уступити місце новим гравцям. Нині майже в усіх країнах ЄС діє вільний ринок електроенергії, де кожен споживач самостійно вибирає свого постачальника. Ця тенденція стала ключовим кроком у реформуванні енергетичного сектору і в Україні.

Ефективне функціонування сектора енергетики має вагоме значення для стабільного економічного зростання усіх країн світу. Україна також не є винятком і протягом своєї історії енергетична галузь зазнала значних змін. Одна з найбільш суттєвих була запроваджена у 2019 році – новий ринок електроенергії, який підвищив стандарти продажу та купівлі електроенергії до європейського рівня та сприяв процесам приватизації в країні. Ця реформа була спрямована на захист інтересів усіх сторін енергоринку та держави, а також збільшила конкуренцію серед виробників та постачальників електроенергії.

Зараз ринок електроенергії зазнає суттєвих змін в регуляторній сфері, які впливають на фінансові показники та стійкість енергетичних компаній. Це створює необхідність перегляду систем контролю фінансового стану компаній, щоб забезпечити їх стабільне функціонування в нових умовах.

Останні дослідження та публікації вчених, таких як Т.О. Тарасюк, Н.О. Вербицький, О.О. Шевцов, М. Земляний, В.В. Вербицький, А.О. Савельєва, О.М. Суходоля та інші [4 – 11], розглядають розвиток енергетичного ринку та формування ринкових відносин у даній галузі. Однак, у світлі зростання дефіциту паливних ресурсів, великої енергетичної залежності від інших країн та розпочатих процесів реформування енергоринку, ця тема потребує актуальних та істотних досліджень.

Головною метою даного дипломного проекту є розробка моделей, які дозволять провести детальний аналіз динаміки енергетичного ринку, виявити головні тенденції та закономірності, а також зробити прогноз розвитку даної галузі в Україні. Для досягнення даної мети будуть використані різноманітні методи аналізу, такі як

кластерний аналіз, метод головних компонент, економетричні методи (багатофакторна регресія, адаптивні методи прогнозування, ARIMA-моделі), економіко-математичні моделі та інші. Також були визначені та вирішені наступні завдання:

- проаналізувати основні підходи до моделювання та прогнозування споживання електроенергії;
- проаналізувати динаміку цін на електроенергію та індексів РДН;
- визначити чинники, які найбільше впливають на формування обсягів експорту електроенергії;
- розробити прогноз обсягу експорту, виробництва електроенергії в Україні;
- побудувати модель оцінки рівня фінансової стійкості енергетичних компаній на основі кластерного аналізу;
- дати рекомендації щодо розвитку енергетичного ринку на основі отриманих результатів дослідження.

Об'єктом роботи є стан та динаміка розвитку ринку електроенергії в Україні.

Предметом даного дослідження є комплекс економіко-математичних методів, що забезпечують можливість оцінити, спрогнозувати та проаналізувати динаміку ринку електроенергії в Україні.

При досліджуванні питання були використані: дані української служби статистики, Інтернет-ресурси, підручники, вітчизняні та міжнародні наукові видання.

## РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ АНАЛІЗУ ПОКАЗНИКІВ ЕНЕРГЕТИЧНОГО СЕКТОРУ УКРАЇНИ

### 1.1. Ринок електроенергії, сутність та основні поняття

«Ринок - це сукупність взаємовідносин, які базуються на взаємній згоді між суб'єктами ринку щодо передачі прав власності на товари або надання послуг» [1]. Для ефективного функціонування та розвитку ринку необхідно мати достатню кількість товарів та послуг, свободу вибору, можливість обміну товарами та послугами, гнучке ціноутворення залежно від попиту та пропозиції, а також наявність конкуренції.

Ринок електроенергії є важливим складовим елементом сучасної економіки, оскільки електрична енергія використовується у всіх галузях економіки, а також у повсякденному житті людей. Він впливає на багато сфер життя, таких як:

- **Промисловість:** Висока якість електроенергії та її надійність посідають важливе місце в забезпеченні ефективної роботи промислових підприємств. Ринок електроенергії є ключовим чинником у розвитку технологій виробництва, а також у підвищенні продуктивності промислового сектора.
- **Домашні господарства:** Електроенергія є необхідною для задоволення повсякденних потреб громадян.
- **Транспорт:** Розвиток електромобільності та використання електричних транспортних засобів потребує наявності ефективної системи постачання електроенергії.
- **Економіка:** Ринок електроенергії має значний вплив на економіку країни, оскільки забезпечує енергетичну незалежність та стійкість розвитку економіки.

Основним поняттям на даному ринку є електрична енергія, одиниця виміру якої є кіловат-години (кВт·год) [2]. Вона передається від виробника до споживача за допомогою електричних мереж, які забезпечують її транспортування на великі відстані.

Розрізняють різні типи учасників:

- Виробники - виробляють електроенергію за допомогою джерел енергії: вугілля, нафта, газ, вітер, сонце тощо.
- Передавачі - компанії, які забезпечують транспортування електроенергії через електричні мережі на великі відстані.
- Розподільники - компанії, які забезпечують транспортування електроенергії на короткі відстані, від підстанцій до споживачів.
- Споживачі - підприємства та господарства, які використовують електроенергію для своєї діяльності.

В Україні законом "Про ринок електричної енергії" контролюється функціонування та регулювання ринку електроенергії. Раніше існував оптовий ринок електроенергії, де компанії продавали всю згенеровану електроенергію ДП "Енергоринок" (через НЕК "Укренерго"), а ДП "Енергоринок" - торговим компаніям (в більшості випадків, Обленерго), які зі свого боку, продавали кінцевим споживачам [2]. На перший погляд, ця схема має чіткий порядок замовлення електроенергії, формування цін, збереження єдиної енергетичної системи та забезпечення фінансової стабільності держави.

Україна прийняла рішення про поетапний перехід до моделі ринку, що базується на двосторонніх угодах та ринку балансування електроенергії, відповідно до резолюції Кабінету Міністрів України № 1789 від 2002 року [3]. Ця концепція стала необхідною через проблеми, які виникали в галузі, а саме: неповна виплата за електроенергію, перехресні субсидії через оптову ціну, неефективна система встановлення тарифів та цін, а також втрати електроенергії в мережах. Ці проблеми взаємовпливають одна на одну і часто мають загальні причини, такі як недосконалість апарату державного фінансування для оформлення пільг при споживанні електроенергії та податкової політики в галузі.

Наприкінці 2010 року питання про крайню потребу реформувати ринок електроенергії на державному рівні знову почало обговорюватися [4]. У 2019 році відбувся перехід до конкурентного енергетичного ринку, він забезпечує всім учасникам вільну можливість купити та продати електроенергію, а споживачам



отримання свободи вибору постачальника та здатність безпосередньо взаємодіяти з виробниками. Згідно з цією моделлю, постачальники електроенергії можуть продавати свою енергію на ринку за різними тарифами, в залежності від типу енергії, яку вони виробляють, та продуктивності їх обладнання.

На ринку електроенергії в Україні діють також біржі електроенергії, такі як Державна енергетична біржа України (ДЕБ) та Українська енергетична біржа (УЕБ). Ці біржі дозволяють постачальникам і покупцям електроенергії зустрічатися на одній платформі та укладати угоди на купівлю-продаж електроенергії.

Сьогодні купівля електричної енергії можлива на наступних ринках:

- Ринок двосторонніх договорів;
- Внутрішньодобовий ринок;
- Ринок на добу наперед
- Балансуючий ринок [5]

Ринок двосторонніх договорів характеризується тим, що споживачі можуть придбати електроенергію відповідно до довгострокового договору, укладеного з виробником. Такі угоди можуть бути на різні терміни – від тижнів до років. В рамках таких угод, електроенергія зазвичай продається за фіксованою ціною, яка залишається незмінною протягом усього періоду контракту.

Торгівля електроенергією на ринку на добу наперед (РДН) здійснюється з охопленням наступного дня. Цей ринок, фактично, є повноцінною біржою енергії, де проводиться обмін електроенергією. Його ліквідність є найбільшою серед інших сегментів та виступає індикатором ціни на електроенергію. Процес торгівлі на ринку на добу починається з того, що виробники електроенергії пропонують свою продукцію на продаж, а споживачі виставляють свої замовлення на купівлю електроенергії на майбутній період. На основі зібраних замовлень формується загальний попит та пропозиція на електроенергію, після чого встановлюється ринкова ціна. Саме індексам та ціні на електроенергію в цьому сегменті енергетичного ринку буде приділена особлива увага в цій роботі.

Внутрішньодобовий ринок електроенергії пропонує можливість продажу ресурсу в межах поточного дня після закінчення контрактів на РДН. Ціни на

електроенергію на цьому ринку є вищими, ніж на вищезазначених двох ринках. Ціна електроенергії на внутрішньодобовому ринку формується на основі попиту та пропозиції на електроенергію, а також враховується час доби та фактори, що впливають на ціну енергії, такі як погода та сезонність.

На ринку балансування постачальники здійснюють покупку недостачі кіловат-годин електроенергії, щоб урівняти виробництво та імпорту зі споживанням. Цей сегмент ринку є особливо дорогим і повинен використовуватись рідше, ніж інші сегменти, наприклад, у випадку непередбачуваних ситуацій, таких як аварія на блоках генеруючої компанії. На відміну від ринку на добу наперед, де угоди укладаються на майбутній період, на ринку балансування угоди укладаються в режимі реального часу [6].

Саме такий розподіл ринків дозволяє забезпечувати стабільність електричних систем і підтримувати баланс між виробництвом та споживанням електроенергії в режимі реального часу, що у свою чергу допомагає уникнути перевантаження електромережі та забезпечити безперебійне енергозабезпечення для споживачів.

## 1.2. Аналіз розвитку енергетичної галузі в Україні після запровадження нового ринку електроенергії

До прийняття відповідних реформ, український ринок електроенергії був монополізований державою, а єдиним гуртовим трейдером було ДП «Енергоринок». Після набуття закону (01.07.2019) [7] ці функції були розширені, і підприємство отримало додаткові обов'язки щодо погашення боргів на оптовому енергетичному ринку України.

Введення нової концепції ринку електроенергії дало свої результати. Ціни на електроенергію без фіксованої вартості знизилися. Наприклад, в Об'єднаній енергетичній системі України середньозважена ціна за першу декаду грудня зменшилася на 29,51%, склавши 976,7 грн/МВт\*год, порівнюючи з аналогічним періодом листопада. Ціни зменшилися на 32% у листопаді порівняно з жовтнем [8].

Було виявлено, що учасники ринку створюють штучний дефіцит, зокрема в період високого дефіциту, який спостерігався з 7:00 - 8:00 та 23:00 - 24:00. Електростанції припиняли роботу своїх блоків у «ринку на добу наперед» з метою викликати дефіцит та підвищення вартості електроенергії [9]. Крім того, ДТЕК контролює більш як 60% нерегульованого ринку електроенергії в ОЕС України. Центр Разумкова стверджує, що у 2020 році ринок електроенергії був характеризований високою концентрацією, обмеженою конкуренцією, маніпуляціями торговців з НКРЕКП і, відповідно, втратами фінансової ліквідності [10].

Взагалі основні цілі, які новий ринок мав досягнути були такі: демонополізація та зменшення боргів на ринку. На рис. 1.1 видно, що борги через 1,5 роки функціонування даного ринку вирости майже в 2 рази. Перша мета також досі не досягнута, більше того, ситуація вкрай погіршилась, монополія одного підприємства зросла у 2 рази (з володіння 3 обленерго до 6).

На сьогоднішній день в Україні функціонують:

- 4 атомні електростанції;
- 15 ТЕС та 43 ТЕЦ;
- 8 великих гідроелектростанцій та 3 ГАЕС [11].

### БОРГИ НА ЕНЕРГЕТИЧНОМУ РИНКУ

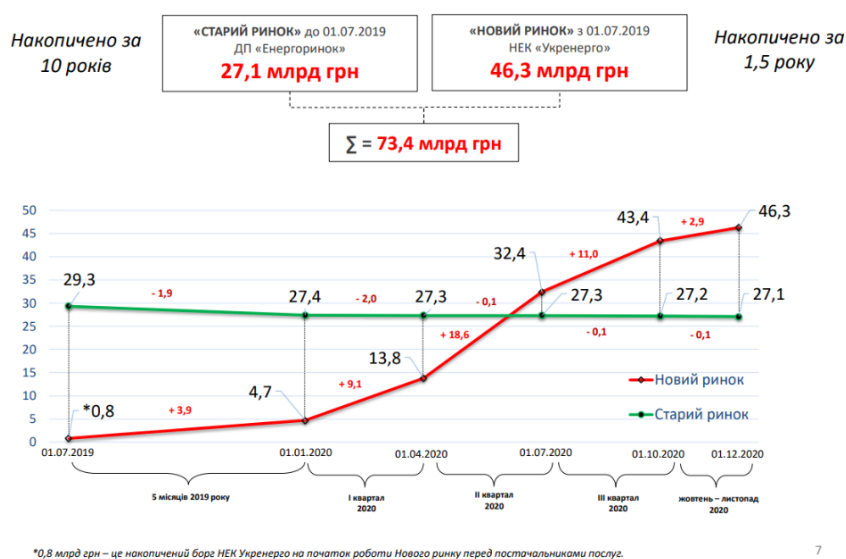


Рис. 1.1 Борги на Енергетичному ринку

Джерело: ЕнергоВсесвіт [12]

За останні 15 років значно збільшилася кількість промислових сонячних, вітрових електростанцій, більшість з них розташовані у південних регіонах України. Найдешевша електрична енергія виробляється на атомних та гідроелектростанціях, тоді як виробництво електроенергії з використанням відновлювальних джерел є найдорожчим, проте їх використання дозволяє зменшити витрати на паливо та звести до мінімуму викиди шкідливих речовин в навколишнє середовище. Крім того, відновлювальна енергія є невичерпним джерелом енергії, яке не викликає негативних наслідків для довкілля, тому її розвиток є важливим для забезпечення стабільного становища ринку. Передбачається збільшити частку вироблення електроенергії з використанням відновлювальних джерел до 25-30% від усього обсягу (зараз ця частка становить 8%) до 2030 року [13], що відповідає поточній програмі стимулювання розвитку відновлюваної енергії.

Розглянемо показники та їх тенденції впродовж 2020/21 року, які будуть досліджені у моделі: виробництво та споживання електричної енергії.

Україна в 2020 році згенерувала 51,2% своєї електроенергії на атомних електростанціях, власниками яких є держава, а ще 5,1% було згенеровано на державних гідроелектростанціях. Теплогенерації виробили 35,2% електроенергії, велика частка яких належать Рінату Ахметову. Альтернативні джерела виробили 7,3% електроенергії за рахунок "зеленого тарифу". За 2019, 2020 та 2021 роки організація виробництва електроенергії, яка висвітлена на рис. 1.2, показує зменшення виробітку на ТЕС та ТЕЦ на 12,5% та на блок-станціях на 15%, а збільшення виробітку на ГЕС та ГАЕС на 37,7%, АЕС на 13,1% та ВДЕ на 15,3% [14].

У 2021 році в Україні було вироблено 156 575,7 млн кВт·год енергії, що є більшим на 5,2%, ніж у 2020 році, адже тоді було вироблено 148 856,2 млн кВт·год, що наведено на рис. 1.2. Отже, виробництво електроенергії зросло на 7 719,5 млн кВт·год. Обсяги виробництва у 2020 році були менші порівняно з 2019, через коронавірус та звикання до нових процесів на ринку електроенергії, а у 2021 вже спостерігається стрімке зростання виробництва.



Рис. 1.2 Структура виробництва електричної енергії

Джерело: *ЕнергоВсесвіт* [14]

Далі проаналізуємо динаміку електроенергетичного споживання, що розглянуто на рис. 1.3. За січень 2022 року ОЕС показала збільшення електропотребы (брутто) до рівня 15299,0 млн кВт·год, що є на 786,9 млн кВт·год (5,4%) більше, ніж у січні 2021 року. Найбільше споживає населення: 4008,8 млн кВт·год у січні 2022 році та 3922,9 млн кВт·год у січні 2021 році. Загалом споживання майже по всім галузям збільшилось у січні 2022, окрім паливної та хімічної промисловостей.

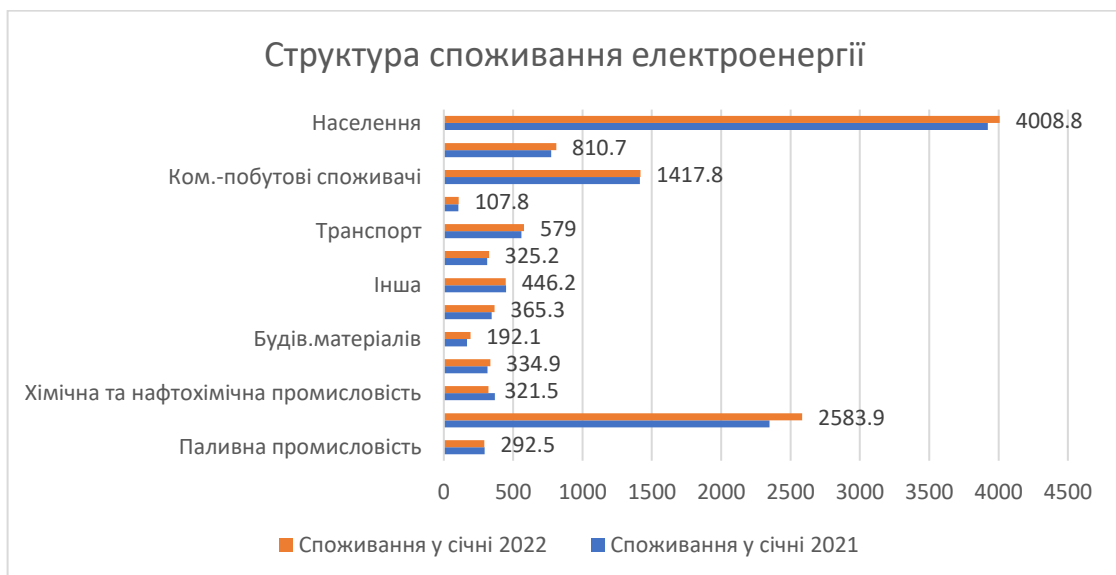


Рис. 1.3 Структура споживання електроенергії

Джерело: *ЕнергоВсесвіт* [15]

Також важливо зрозуміти основні тенденції експорту електроенергії в Україні. На рис. 1.4 проілюстровано обсяг експорту загалом за останні 4 роки, найбільший обсяг спостерігався у 2019 році – 6469,3 млн кВт·год, а найменший у 2021 році - 3495,4 млн кВт·год. Держава може самостійно заборонити експорт електроенергії в залежності від стану енергосистеми країни. Виробникам вигідніше продавати закордон, де ціна в два рази вища, саме тому держава має право на заборону продажів в інші країни, коли не вистачає обсягів на покриття внутрішнього споживання. Саме така тенденція спостерігалась у 2021 році через дефіцит вугілля, ремонт деяких енергоблоків. На рис. 1.5 зображено структуру експорту у 2020 році: у які саме країни ми продаємо електроенергію, найбільше в Угорщину - 2110,4 млн кВт·год, а найменший обсяг в Словаччину - 41,3 млн кВт·год.

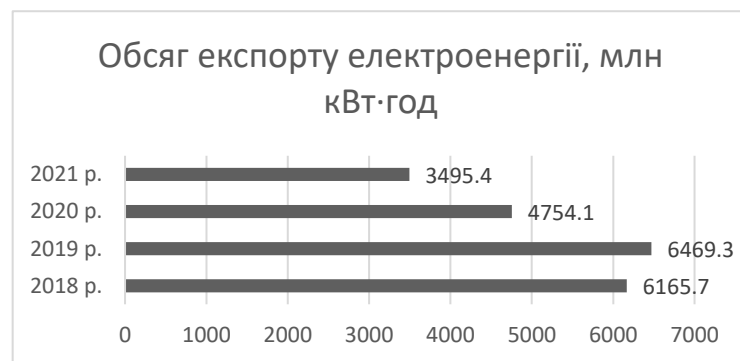


Рис. 1.4 Обсяг експорту електроенергії в Україні

*Джерело: НЕК «Укренерго» [16]*

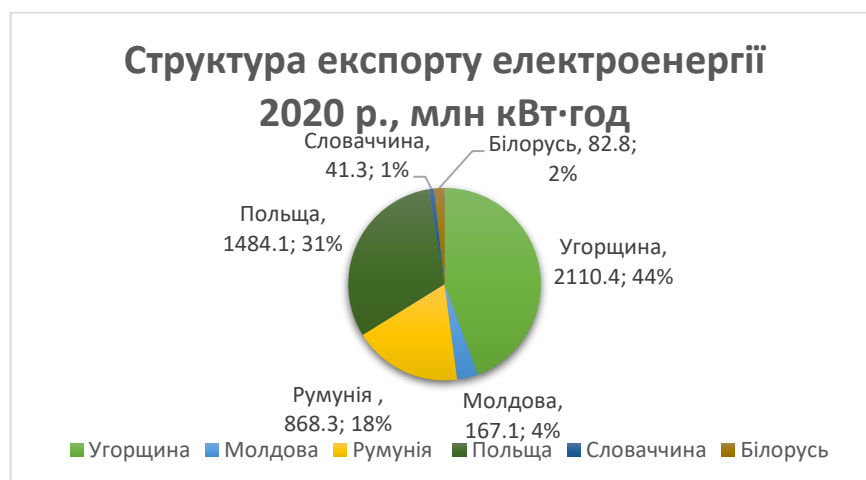


Рис. 1.5 Структура експорту електроенергії за 2020 рік

*Джерело: НЕК «Укренерго» [16]*

### 1.3. Концептуальна схема дослідження

На рис. 1.6 зображено концептуальну схему дослідження з етапами, методами та моделями, а також з визначеною структурою інформаційної бази.

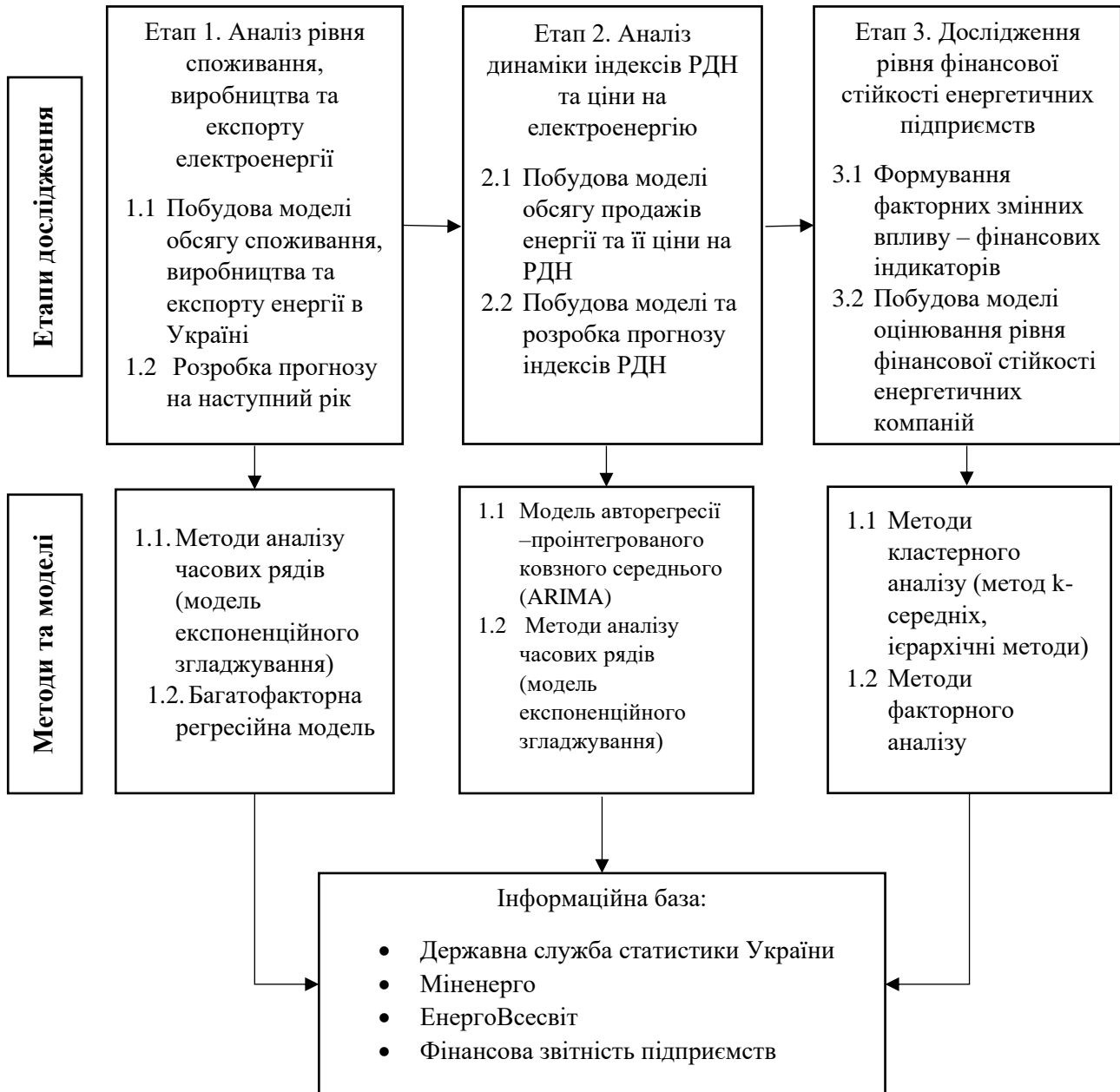


Рис. 1.6 Концептуальна схема дослідження

*Джерело: складено автором*

Розглянемо спочатку перший етап. Після аналізу графіків динаміки споживання та вироблення електроенергії, було вирішено будувати модель експоненційного згладжування. Прогнозна модель, яка ґрунтується на експоненційних середніх, має

ключову перевагу - її можна успішно адаптувати до змін у рівні процесу, уникаючи суттєвої реакції на випадкові відхилення. Цей метод був створений Брауном та Холтом незалежно один від одного [17].

Дані не мають вираженого тренду, мають квартальну або місячну структуру та чітко виражену сезонність, наступні розділи будуть присвячені побудовам моделей на даних такої структури.

Щодо експорту електроенергії було вирішено побудувати багатофакторну регресійну модель. Вона враховує наступні показники:

- Споживання та виробництво електроенергії, адже саме від цього залежить скільки обсягу електроенергії може бути експортовано виробниками. Якщо попит буде занадто великий на внутрішньому ринку, держава має право заборонити експорт закордон, щоб не мати дефіциту на ринку. Споживання електроенергії є показником рівня розвитку та життєвого рівня населення. А виробництво електроенергії є показником енергетичної незалежності країни та її можливості експортувати електроенергію до інших країн.
- Індекс споживчих цін варто розглянути як фактор, що впливає на попит на електроенергію. Наприклад, якщо в країні спостерігається підвищення рівня інфляції, то можна очікувати, що попит на електроенергію буде меншим, оскільки ціни на електроенергію також зростуть, що може зменшити потенційний попит на експорт електроенергії з даної країни. Крім того, даний індекс репрезентує економічну стабільність країни.
- Ціна на електроенергію в Угорщині та Польщі – як дві країни, де найбільше експортується енергія.
- ВВП Польщі та Угорщини.
- Індекс промислової продукції, який може відображати загальний стан економіки і попит на електроенергію, особливо від промислових підприємств.

Множинна лінійна модель, яка дозволяє прогнозувати значення залежного фактора  $Y$  на основі відомих значень незалежних факторів  $X_1, X_2, \dots, X_m$  [26] має наступний вигляд:

$$\hat{Y} = a_0 + a_1x_{1пр} + a_2x_{2пр} + \dots + a_mx_{mпр}.$$



Для її побудови:

1. Обчислимо коефіцієнти регресії:

$$a_j = \beta_j \cdot \frac{\sigma_y}{\sigma_j}$$

2. Множинний коефіцієнт кореляції обчислюється таким чином:

$$R_{1,2,\dots,m} = \sqrt{\beta_1 r_{1y} + \beta_2 r_{2y} + \dots + \beta_m * r_{my}}$$

Перевірити істотність множинного коефіцієнта кореляції можна за допомогою перетворення Фішера:

$$z = \frac{1}{2} \cdot \ln \left( \frac{1 + R}{1 - R} \right)$$

Розподіл величини  $z$  близький до нормального і має середню  $E(z)$  і середньоквадратичне відхилення  $\sigma_z$ .

$$\sigma_z = \frac{1}{\sqrt{n - m - 2}}$$

Варто порівняти величину  $t = \frac{z}{\sigma_z}$  з критичним  $t_{\text{табл}}$  для відповідних  $\alpha$  та  $k = n - m - 2$ . Якщо  $t > t_{\text{табл}}$ , то можна вважати, що між залежним і вибраними незалежними факторами є лінійний статистичний зв'язок [26].

Модель також буде перевірятись на мультиколінераність, гетероскедастичність та автокореляцію.

Другий етап - аналіз динаміки індексів РДН та ціни на електроенергію. Для досягнення мети дослідження буде використана ARIMA модель (Autoregressive Integrated Moving Average), яка є одним з найпоширеніших методів прогнозування часових рядів. ARIMA-модель дозволяє враховувати не тільки статистичні показники попередніх періодів, але і інші фактори, такі як сезонність та тенденції [18].

Ми можемо розглядати ціни на електроенергію та обсяги закупівель як часові ряди, де кожне спостереження відображає ціну на електроенергію або обсяг закупівлі в певний часовий момент. Такі моделі (інтегровані моделі авторегресії та ковзного середнього) досить гнучкі та можуть описувати безліч характерних часових рядів. [19]

У загальному вигляді модель ARMA(p,q), де p – порядок авторегресії, q - порядок ковзкого середнього, виглядає так:

$$y_t = a_1 y_{t-1} + \dots + a_p y_{t-p} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q}$$

Якщо процес виявляється нестационарним і для приведення його до стаціонарному вигляду потрібно взяти кілька різниць, то до моделі додається параметр d, де d - порядок різниці [20].

Схема побудови моделі може бути наступною:

1. Зібрати дані зі вказаних джерел про середньозважену ціну на електроенергію, індекси РДН та обсяги закупівель за відповідний період.
2. Перевірити дані на наявність пропусків та аномалій. Якщо такі є, необхідно вирішити проблему, наприклад, заповнити пропуски або видалити аномальні значення.
3. Візуалізувати часові ряди, щоб оцінити їх поведінку та тренди. Для цього можна скористатися графіками.
4. Виконати аналіз тенденції часових рядів, використовуючи ARIMA моделі для кожного показника окремо, щоб визначити оптимальні значення параметрів p, d, q [21].
5. Побудувати ARIMA модель для кожного показника [22].
6. Використовуючи побудовані моделі, зробити прогноз на майбутні періоди для кожного показника.
7. Перевірити точність прогнозування, порівнявши прогнозні значення зі збереженими фактичними значеннями.
8. Зробити висновки про поведінку кожного показника та скласти рекомендації щодо подальшої стратегії закупівель та продажу електроенергії.
9. Зібрати отримані результати та підготувати звіт про дослідження.

Завершальним третім етапом дослідження (рис. 1.6) є оцінка фінансової стійкості енергетичних підприємств. Для цього будуть використані моделі кластерного та факторного аналізу. Наступні кроки мають бути виконані для досягнення мети:

1. Визначення змінних для аналізу фінансової стійкості компаній. Ці змінні можуть включати такі фінансові коефіцієнти: автономії, фінансової залежності, фінансової стабільності, маневреності робочого капіталу та ін. [23].

2. Збір даних про ці фінансові показники для енергетичних компаній. Ці дані можна отримати з фінансових звітів, які публікуються компаніями.

3. Стандартизація даних для того, щоб забезпечити однаковий масштаб для всіх фінансових показників.

4. Розподіл компаній на кластери за допомогою кластерного аналізу. Це може виконуватися за допомогою різних методів, таких як метод к-середніх, ієрархічний кластерний аналіз або метод кластеризації на основі густини [24].

5. Виконання факторного аналізу для зменшення кількості факторних змінних, застосовуючи метод головних компонент [25].

6. Аналіз отриманих факторів та їх ваги відносно фінансових показників енергетичних компаній.

7. Порівняння результатів, отриманих за допомогою кластерного та факторного аналізу, а також вибір найбільш ефективного підходу.

8. Виведення висновків про стійкість енергетичних компаній на основі отриманих результатів та розробка рекомендацій для покращення фінансової стійкості цих компаній.

Це дослідження може бути корисним для розробки стратегії управління ризиками та покращення фінансових показників енергетичних компаній.

## РОЗДІЛ 2. МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ РОЗВИТКУ ЕНЕРГЕТИЧНОГО РИНКУ

### 2.1 Моделювання та прогнозування динаміки обсягів споживання та виробництва електроенергії

Динаміка спожитої електроенергії  $Y(t)$  наведена в таблиці 2.1, а також побудуємо графік вихідних даних (рис. 2.1).

Таблиця 2.1

Динаміка споживання електроенергії в Україні поквартально (кВт\*год)

	2015 р.	2016 р.	2017 р.	2018 р.	2019 р.	2020 р.	2021 р.
1 квартал	43532	40671	42139	42955	42009	39724	42377
2 квартал	34213	32848	32513	33801	34774	32808	34614
3 квартал	31051	31873	34261	34679	34003	33538	35379
4 квартал	39683	41857	40137	41779	39449	40219	42119

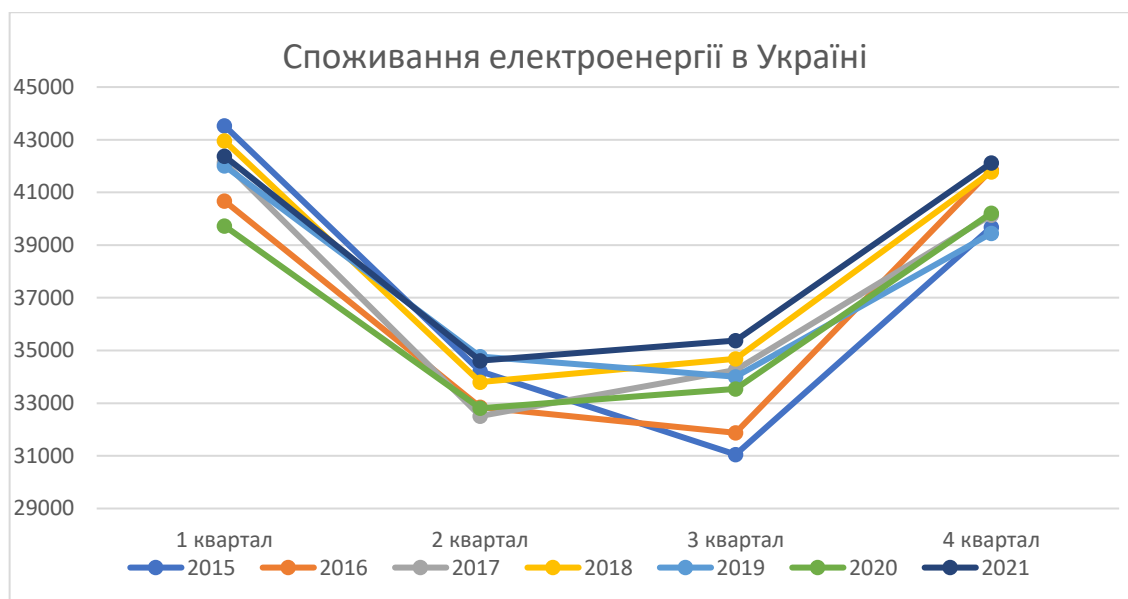


Рис. 2.1 Графік вихідних даних

*Джерело: складено автором*

Розглянемо реалізацію моделей експоненціального згладжування у програмі Statistica. Аналіз часових рядів здійснюється в модулі Часові ряди – Прогнозування (рис. 2.2). У стартовій панелі цього модуля оберемо модель без тренду:

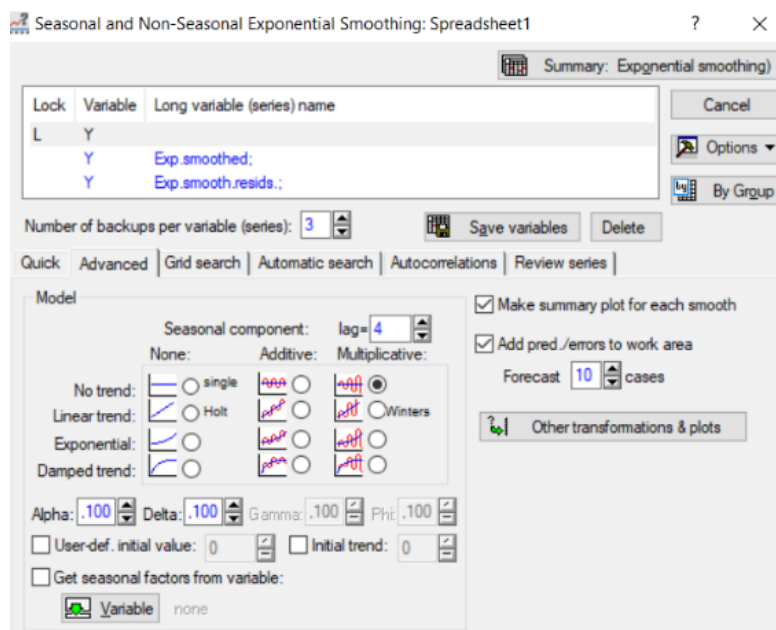


Рис. 2.2. Стартова панель модуля Exponential Smoothing and forecasting

По графіку можна визначити, що найкраща буде модель без тренду з мультиплікативним сезонним компонентом. Обчислимо яке оптимальне альфа нам необхідно. Для визначення найкращих параметрів моделі використовуємо Grid search [26] (рис. 2.3).

Parameter grid search (Smallest abs. errors are highlighted) (Spreadsheet1)								
Model: No trend, mult. season(4); S0=375E2								
Model Number	Alpha	Delta	Mean Error	Mean Abs Error	Sums of Squares	Mean Squares	Mean % Error	Mean Abs % Error
37	0.500000	0.100000	97,7898	933,881	42097149	1503470	0,162467	2,521494
28	0.400000	0.100000	105,4507	930,598	42242852	1508673	0,182299	2,500812
46	0.600000	0.100000	89,8587	942,231	42610428	1521801	0,140237	2,556335
19	0.300000	0.100000	111,2660	975,246	42835946	1529855	0,195590	2,618526
1	0.100000	0.100000	110,1294	1042,188	43085453	1538766	0,186336	2,814940
38	0.500000	0.200000	91,0528	947,662	43317136	1547041	0,162164	2,558643
10	0.200000	0.100000	113,6964	1010,007	43373897	1549068	0,198824	2,715823
29	0.400000	0.200000	99,0373	949,640	43615922	1557712	0,182951	2,551096
47	0.600000	0.200000	83,3342	955,131	43688829	1560315	0,139325	2,591677
55	0.700000	0.100000	82,5711	974,457	43849911	1566068	0,118403	2,645533

Рис. 2.3 Вікно параметрів grid search

*Джерело: складено автором*

Обираємо ті параметри alpha та delta на рис. 2.3, де середня абсолютна помилка є найменшою. Тому  $\alpha = 0,4$ ,  $\delta = 0,1$ . Обираємо ці параметри у стартовій моделі модуля та проводимо експоненціальне згладжування. Результат аналізу параметрів моделі представляє собою графік вихідних даних, згладжених і прогнозних (рис. 2.5); таблицю оцінок якості моделі (рис. 2.6); таблицю з вихідними даними, згладженими даними (Smoothed Series) і помилками (Resids) (рис. 2.4).

Exponential smoothing: Multipl. season (4) S0=375E2 No trend,mult.season; Alpha= ,400 Delta=,100				
Case	Y	Smoothed Series	Resids	Seasonal Factors
1	43531,90	41904,07	1627,83	111,8501
2	34212,70	34225,54	-12,84	89,9568
3	31050,90	34228,05	-3177,15	89,9769
4	39683,10	39637,91	45,19	108,2161
5	40670,70	41081,77	-411,07	
6	32847,60	32832,17	15,43	
7	31873,30	32656,43	-783,13	
8	41857,20	39128,42	2728,78	
9	42138,50	41638,03	500,47	
10	32512,80	33592,28	-1079,48	
11	34261,20	32927,96	1333,24	
12	40137,20	40704,98	-567,78	
13	42954,50	41765,12	1189,38	
14	33801,20	33825,06	-23,86	
15	34679,40	33724,53	954,87	
16	41779,30	41356,10	423,20	
17	42008,80	42954,48	-945,68	
18	34773,80	34034,64	739,16	
19	34003,30	34296,90	-293,60	
20	39449,30	41400,39	-1951,09	
21	39724,30	41936,25	-2211,95	
22	32807,60	32902,03	-94,43	
23	33537,70	32773,03	764,67	
24	40219,20	39972,44	246,76	
25	42377,40	41355,10	1022,30	
26	34614,30	33575,91	1038,39	
27	35379,20	33949,77	1429,43	
28	42118,90	41673,34	445,56	

Рис. 2.4 Вихідні дані, згладжені дані і помилки

*Джерело: складено автором*

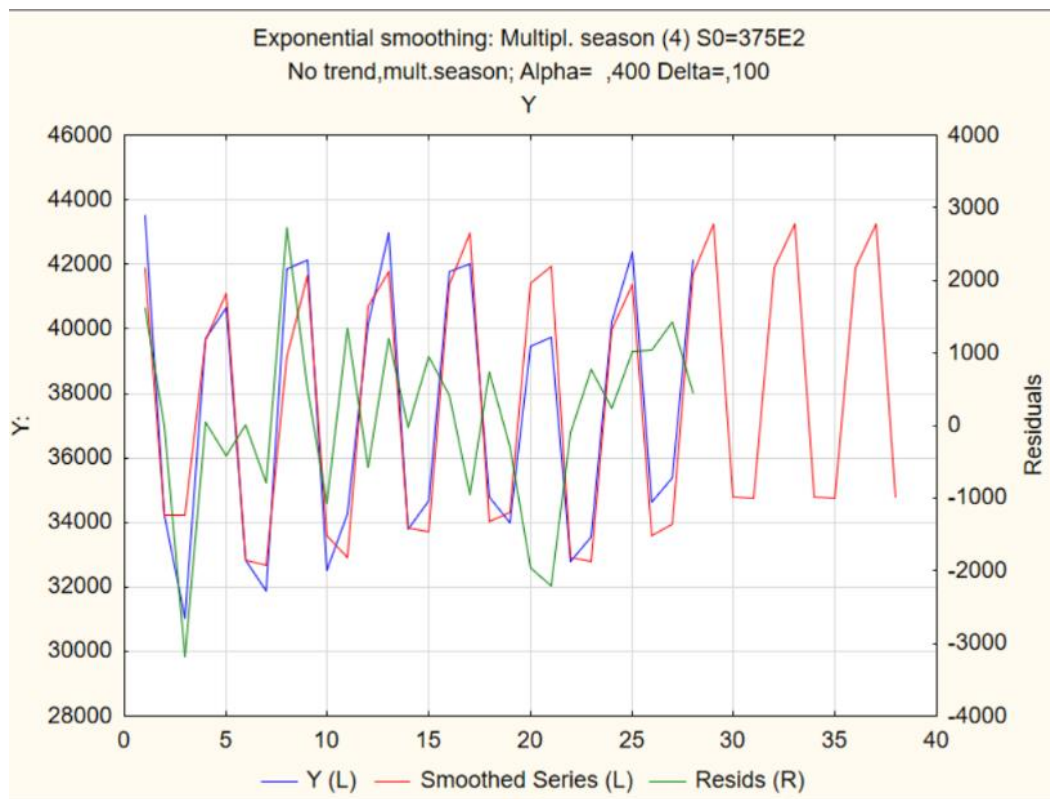


Рис. 2.5 Вихідні, згладжені і прогностні дані споживання електроенергії

*Джерело: складено автором*

Exponential smoothing: Multipl. season (4) S0=375E2 (Spreadsheet1) No trend,mult. season; Alpha= ,400 Delta=,100 Y	
Summary of error	Error
Mean error	105,4507130
Mean absolute error	930,5976935
Sums of squares	42242852,3134784
Mean square	1508673,2969099
Mean percentage error	0,1822985
Mean abs. perc. error	2,5008119

Рис. 2.6 Таблиця оцінок якості моделі

*Джерело: складено автором*

Значення середньої абсолютної відсоткової помилки становить 2,5008%, що є меншим 10%, що показує високий рівень якості моделі. Звідси, можемо використовувати прогноз даної моделі (рис. 2.7).

30	34775,18
31	34755,31
32	41878,30
33	43240,02
34	34775,18
35	34755,31
36	41878,30
37	43240,02
38	34775,18

Рис. 2.7 Прогноз споживання електроенергії на наступні 9 кварталів

*Джерело: складено автором*

У роботі були також розглянуті моделі без тренду з адитивною сезонністю та з різними видами трендів (рис. 2.8), але їх m.a.p.e були гіршими.

Exponential smoothing: Additive season (4) S0=375E2 T0=62,62 (S) No trend,add. season; Alpha= ,400 Delta=,100 Y		Exp. smoothing: Multipl. season (4) S0=370E2 T0=62,62 (S) Lin.trend,mult. season; Alpha= ,400 Delta=,100 Gamma=,10 Y	
Summary of error	Error	Summary of error	Error
Mean error	99,4047882	Mean error	59,7694153
Mean absolute error	945,5215888	Mean absolute error	975,9326358
Sums of squares	40964613,7927178	Sums of squares	46895027,4955423
Mean square	1463021,9211685	Mean square	1674822,4105551
Mean percentage error	0,1947062	Mean percentage error	0,0584490
Mean abs. perc. error	2,5497197	Mean abs. perc. error	2,6170973

Exp. smoothing: Multipl. season (4) S0=368E2 T0=156,5 (Spr) Damped trend,mult. season; Alpha= ,200 Delta=,100 Phi=,400 Y	
Summary of error	Error
Mean error	145,6060991
Mean absolute error	962,8841702
Sums of squares	44705253,2359649
Mean square	1596616,1869987
Mean percentage error	0,2906999
Mean abs. perc. error	2,5793926

Рис. 2.8 Таблиця оцінок якості різних моделі

*Джерело: складено автором*

Переходимо до побудови моделі виробництва електроенергії. Для цього буде застосовано цей же вид моделі. У таблиці 2.2 наведені дані, що відображають динаміку щомісячного середньодобового виробництва електричної енергії  $Y(t)$

Таблиця 2.2

Щомісячне середньодобове виробництво електроенергії у 2016-2021 роках

	2016р.	2017	2018р.	2019р.	2020р.	2021р.
січень	489,30	504,80	489,00	507,00	455,00	461,00
лютий	463,00	498,81	504,00	493,00	456,00	475,00
березень	41,87097	428,806	492,00	456,00	418,00	465,00
квітень	394,30	411,33	400,00	413,00	372,00	423,00
травень	361,5	377	376,00	388,00	356,00	379,00
червень	371,00	380	389,00	391,00	362,00	377,00
липень	383,70	378,2	394,00	374,00	371,00	402,00
серпень	373,60	390	393,00	377,00	368,00	392,00
вересень	379,21	382,15	388,00	375,00	376,00	389,00
жовтень	438,50	421,8	420,00	399,00	393,00	428,00
листопад	472,97	463,3	484,00	435,00	455,00	453,00
грудень	507,00	477,79	513,00	459,00	493,00	491,00

Побудуємо графік вихідних даних, де вісь X – Період часу, а вісь Y – Величина виробництва електроенергії. Результат приведений на рис. 2.9

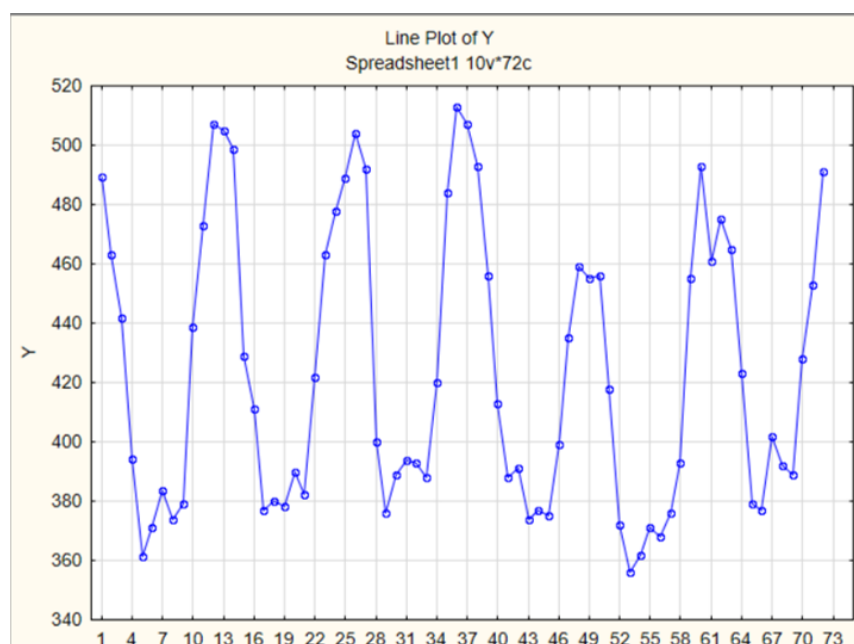


Рис. 2.9 Графік вихідних даних

*Джерело: складено автором*



Були розглянуті різні види тренду та сезонності. Проілюструємо моделі без тренду та з адитивною сезонністю. Результат оцінки параметрів моделі представляє собою графік вихідних, згладжених і прогнозних даних (рис. 2.11); таблицю оцінок якості моделі (рис. 2.12); згладжені дані (Smoothed Series) і помилки (Resids) [26] (рис. 2.10).

Exponential smoothing: Additive season (12) S0=423,7 (Spreadsheet1)				
No trend, add. season; Alpha= ,517 Delta=0,00				
Y				
Case	Y	Smoothed Series	Resids	Seasonal Factors
1	489,3000	482,7709	6,5291	59,0357
2	463,0000	487,8435	-24,8435	60,7327
3	441,8710	441,2920	0,5790	27,0253
4	394,3000	393,3329	0,9671	-21,2331
5	361,5000	365,3419	-3,8419	-49,7241
6	371,0000	368,2885	2,7115	-44,7913
7	383,7000	374,1215	9,5785	-40,3601
8	373,6000	376,8849	-3,2849	-42,5488
9	379,2100	374,7386	4,4714	-42,9968
10	438,5000	411,0528	27,4472	-8,9943
11	472,9700	472,3587	0,6113	38,1214
12	507,0000	500,2871	6,7129	65,7337
13	504,8000	497,0597	7,7403	
14	498,8100	502,7584	-3,9484	
15	428,8065	467,0097	-38,2033	
16	411,3300	399,0002	12,3298	
17	377,0000	376,8837	0,1163	
18	380,0000	381,8767	-1,8767	
19	378,2000	385,3376	-7,1376	
20	390,0000	379,4588	10,5412	
21	382,1500	384,4606	-2,3106	
22	421,8000	417,2685	4,5315	
23	463,3000	466,7270	-3,4270	
24	477,7900	492,5676	-14,7776	
25	489,0000	478,2296	10,7704	
26	504,0000	485,4949	18,5051	
27	492,0000	461,3546	30,6454	
28	400,0000	428,9398	-28,9398	
29	376,0000	385,4869	-9,4869	
30	389,0000	385,5150	3,4850	
31	394,0000	391,7480	2,2520	

Рис. 2.10 Вихідні дані, згладжені дані і помилки

*Джерело: складено автором*

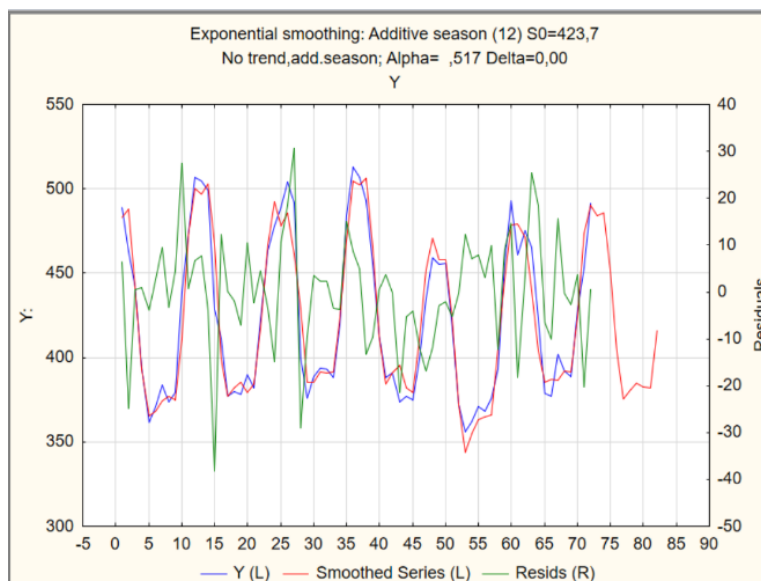


Рис. 2.11 Вихідні, згладжені і прогнозні дані виробництва електроенергії

*Джерело: складено автором*

Exponential smoothing: Additive season (12) S0=423,7 (Spreadsheet1) No trend,add.season; Alpha= ,517 Delta=0,00 Y	
Summary of error	Error
Mean error	0,0337168743
Mean absolute error	9,0559389180
Sums of squares	10791,8503511123
Mean square	149,8868104321
Mean percentage error	-0,0332717537
Mean abs. perc. error	2,1069197796

Рис. 2.12 Таблиця оцінок якості моделі

*Джерело: складено автором*

У роботі були також розглянуті моделі з різними видами трендів та сезонності (рис. 2.13), але все ж таки видно з графіку, що сезонність є адитивною, саме тому ми зупинилися саме на цій моделі.

Exp. smoothing: Multipl. season (12) S0=422,5 T0=.082 Lin.trend,mult.season; Alpha= ,451 Delta=0,00 Gamma Y(T)		Exp. smoothing: Additive season (12) S0=422,5 T0=.0820 (S Lin.trend,add.season; Alpha= ,513 Delta=0,00 Gamma=0,00 Y(T)	
Summary of error	Error	Summary of error	Error
Mean error	-0,2041081420	Mean error	-0,0895304539
Mean absolute error	9,0356622385	Mean absolute error	9,0636981025
Sums of squares	10707,7522154168	Sums of squares	10777,2507532038
Mean square	148,7187807697	Mean square	149,6840382389
Mean percentage error	-0,0848925198	Mean percentage error	-0,0636119663
Mean abs. perc. error	2,0980075226	Mean abs. perc. error	2,1088871936

Exp. smoothing: Multipl. season (12) S0=421,4 T0=1,001 (Sprea Expon.trend,mult.season; Alpha= ,487 Delta=0,00 Gamma=0,00 Y(T)	
Summary of error	Error
Mean error	-0,5422590674
Mean absolute error	9,0521419134
Sums of squares	10711,8952730383
Mean square	148,7763232366
Mean percentage error	-0,1646164205
Mean abs. perc. error	2,1043222480

Рис. 2.13 Таблиця якості оцінок різних моделей

*Джерело: складено автором*

## 2.2 Моделювання динаміки індексів РДН та обсягів продажу електроенергії

Розпочнемо з побудови моделі динаміки обсягів продажу електроенергії на РДН. Для цього застосуємо модель ARIMA проінтегрованого ковзного середнього у модулі Часові ряди/Прогнозування [27]. Початкові дані динаміки обсягів продажу електроенергії з 19.12.2022 по 10.02.2023 наведені в додатку А2 [28].

Після побудови графіку даних на рис. 2.14 можна відмітити, що ряд треба привести до стаціонарного виду. Для отримання стаціонарного ряду треба знайти

послідовні різниці. Якщо ряд залишається нестационарним, то процедура повторюється. Процес повторюється доки ряд не стане стаціонарним на кроці  $k$  [27]. Графік ряду перших різниць ряду наведений на рис. 2.15.

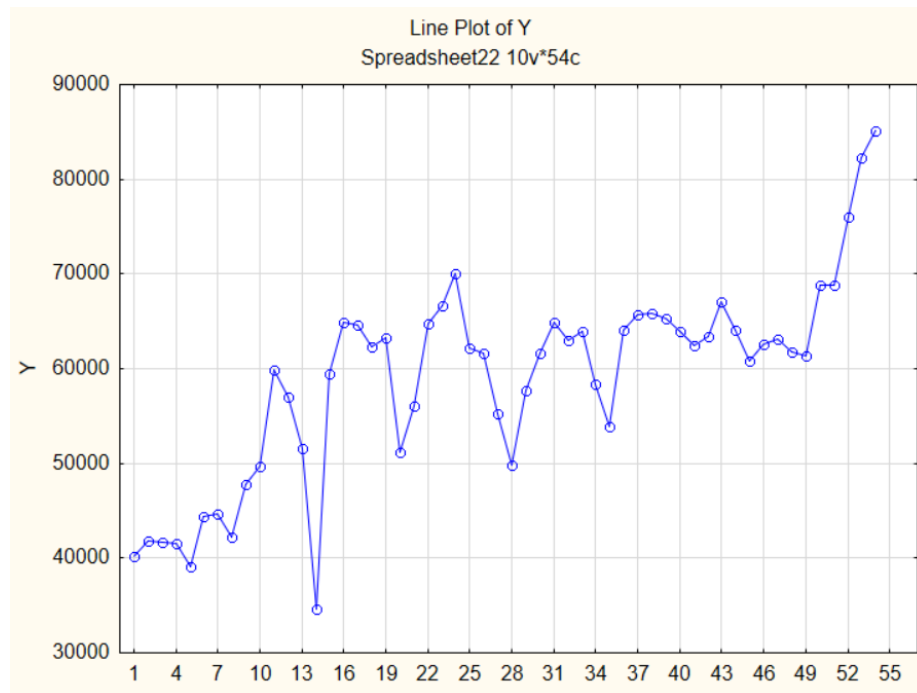


Рис. 2.14 Графік обсягу продажів електроенергії

*Джерело: складено автором*

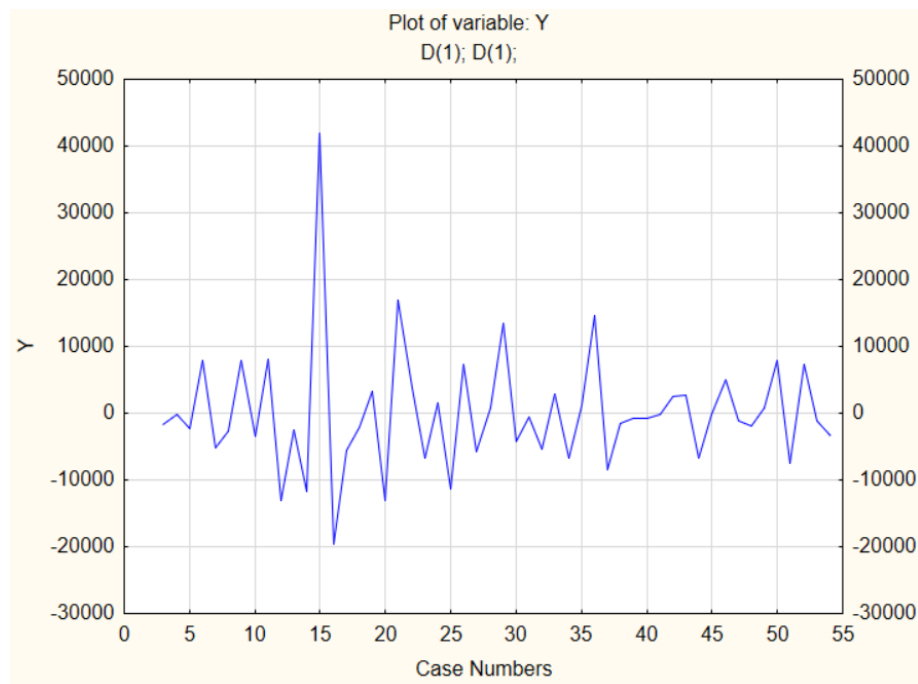


Рис. 2.15 Графік перших різниць

*Джерело: складено автором*

З цього графіку видно, що дані відповідають критерію стаціонарності. Побудуємо графіки автокореляційної функції процесу (рис. 2.16) та частинної автокореляційної функції (рис. 2.17). Модель авторегресії першого порядку характерна тим, що автокореляційна та частинна автокореляційна функції мають високе значення на першому зсуві та зменшується зі збільшенням зсуву, що відрізняє її від інших моделей більш високого порядку [29].

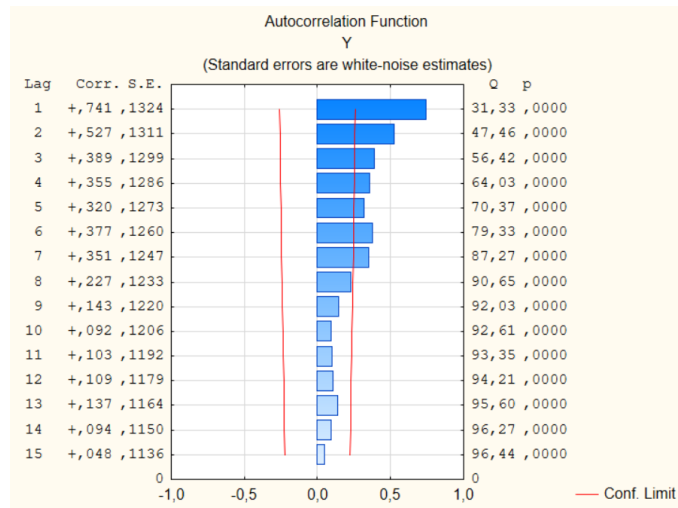


Рис. 2.16 Автокореляційна функція процесу

*Джерело: складено автором*

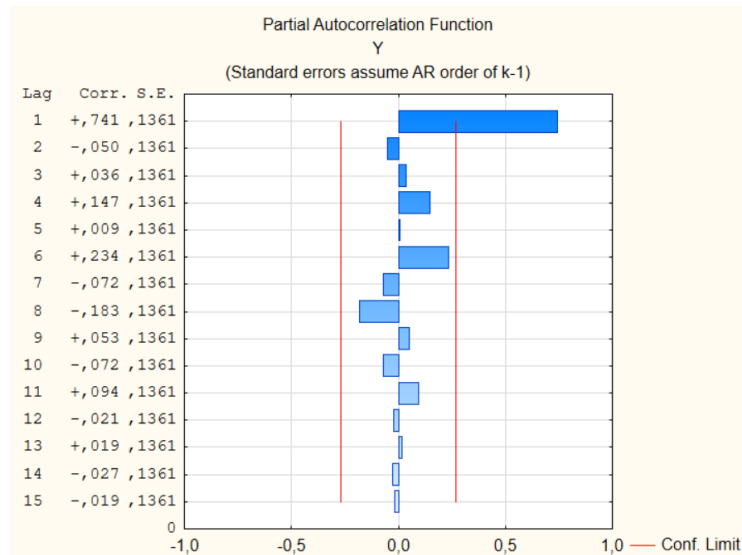


Рис. 2.17 Частинна автокореляційна функція процесу

*Джерело: складено автором*

Після встановлення усіх параметрів ARIMA моделі та запуску процедури обчислення можна отримати основні характеристики моделі для подальшого аналізу (рис. 2.18, 2.19).

Input: Y : D(1); (Spreadsheet22) Transformations: D(1) Model:(1,1,0) MS Residual= 6571E4						
Paramet.	Param.	Asympt. Std.Err.	Asympt. t( 51)	p	Lower 95% Conf	Upper 95% Conf
p(1)	-0,473151	0,124795	-3,79144	0,000398	-0,723686	-0,222615

Рис. 2.18 Основні характеристики моделі

*Джерело: складено автором*

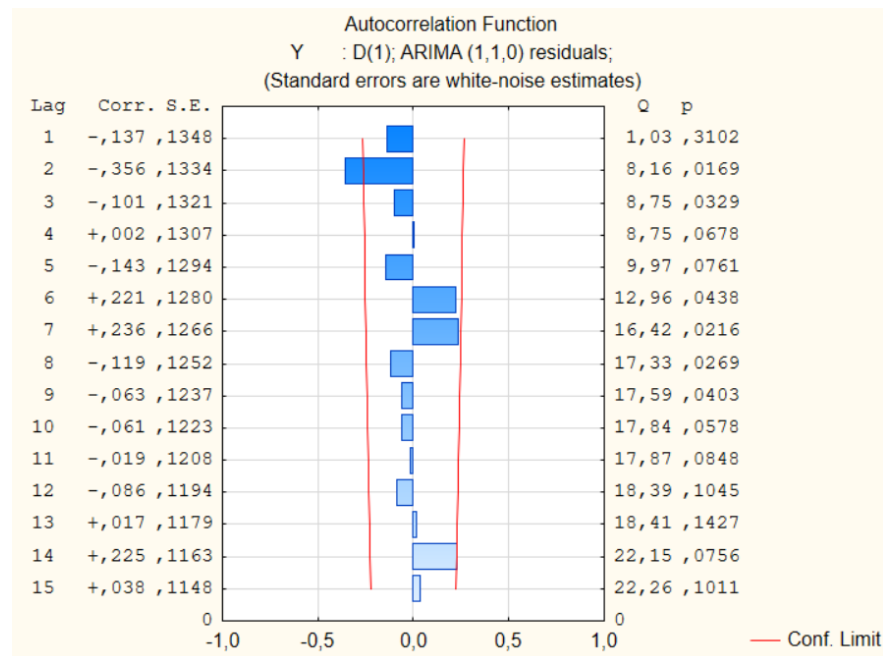


Рис. 2.19 Значення загальної автокореляції

*Джерело: складено автором*

Значення Q-статистики Бокса-Пірса [29] становить 22,26 відповідно до результатів на рис. 2.19. З урахуванням рівня значущості 0,05, параметр рівняння є статистично значущим. На рис. 2.20 зображено прогнозні значення. Паралельно обчислення модельних значень було розраховано в Excel, а також обчислено m.a.p.e моделі та побудовано графік модельних і реальних значень (рис. 2.20).



Рис. 2.20 Графік вихідних і прогностичних даних

*Джерело: складено автором*

М.А.Р.Е в даній моделі становить 5,616%, тобто можна стверджувати про високий ступінь якості моделі.

Переходимо до побудови ARIMA моделі середньозваженої ціни на електроенергію у період з 05.01.2022 по 15.02.2023, вихідні дані наведені в додатку А1 [28]. Дані мають щотижневу структуру, їх графік наведено на рис. 2.21.

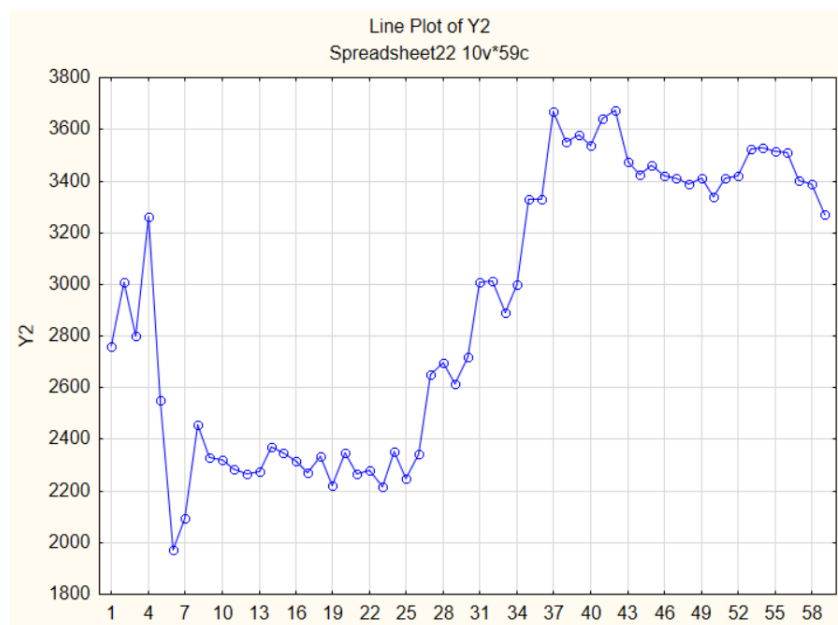


Рис. 2.21 Графік вихідних даних середньозваженої ціни на електроенергію

*Джерело: складено автором*

Далі побудова моделі відбувалась за алгоритмом наведеним у розділі 1.3, у програмі RStudio [30]. Для тестування часового ряду в RStudio можна використовувати різні тести. Одним з найпоширеніших стаціонарних тестів є тест

Дікі-Фуллер за допомогою функції `Adf.test()` з пакету `tseries` (рис. 2.22). Якщо рівень значущості менший за заданий рівень значущості, то ви можете відкинути нульову гіпотезу про наявність одного кореня в серії, що вказує на стаціонарність серії.

```
> View(arima1)
> result <- adf.test(arima1$PRICE)
> print(result)

Augmented Dickey-Fuller Test

data: arima1$PRICE
Dickey-Fuller = -3.9199, Lag order = 3, p-value = 0.01928
alternative hypothesis: stationary
```

Рис. 2.22 Тест Дікі-Фулера для середньозваженої ціни на електроенергію

*Джерело складено автором*

Згідно результатів тесту на рис. 2.22 можна стверджувати, що рівень значущості є меншим за 0,05, що є ознакою стаціонарності ряду, тому не треба шукати ряд різниць першого порядку. Далі програма самостійно визначила оптимальні параметри моделі, на рис. 2.23 можна побачити алгоритм дій, на рис. 2.24 – графік прогнозу.

```
-----
> # Перетворення ряду даних у часовий ряд
> ts_data <- ts(arima1$Price, start = c(2022, 1), end = c(2023, 9), frequency = 52)
>
> # Візуалізація часового ряду
> plot(ts_data, main = "Weekly Electricity Prices")
>
> # Розділ на учбову та тестові вибірки
> train <- window(ts_data, end = c(2023, 8))
> test <- window(ts_data, start = c(2023, 8))
>
> # Підбір оптимальних параметрів моделі
> library(forecast)
> auto.arima(train)
Series: train
ARIMA(1,1,1)

Coefficients:
      ar1      ma1
    -0.9423  0.8872
s.e.   0.1063  0.1253

sigma^2 = 34384: log likelihood = -390.9
AIC=787.79  AICc=788.23  BIC=794.03
>
> # Створення ARIMA моделі
> model <- arima(train, order = c(1, 1, 1))
>
> # Прогнозування майбутніх значень
> forecast <- forecast(model, h = length(test))
>
> # Візуалізація прогнозу
> plot(forecast, main = "Forecasted weekly Electricity Prices")
>
> # Оцінка якості прогнозу
> accuracy(forecast, test)

```

	ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	MASE	ACF1
Training set	8.471657	180.73336	109.66851	0.04236741	4.04607969	0.135269440	-0.017072
Test set	-1.008750	1.00875	1.00875	-0.03105538	0.03105538	0.001244232	NA

Рис. 2.23 Алгоритм дій та якість прогнозу

*Джерело: складено автором*

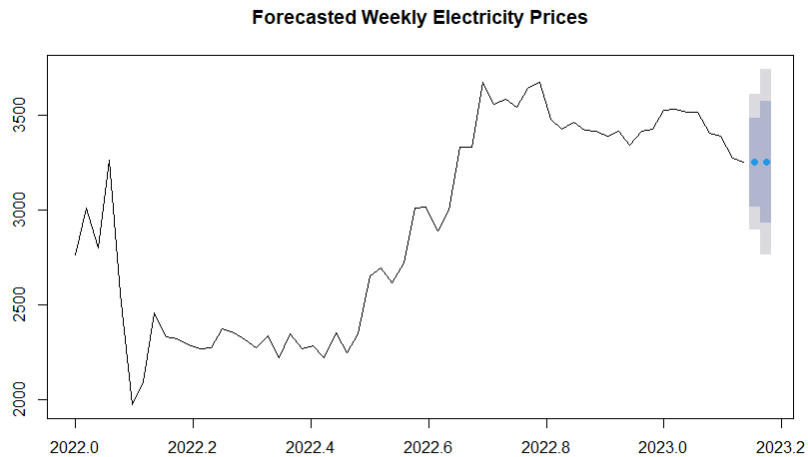


Рис. 2.24 Графік прогнозу середньозваженої ціни на електроенергію

*Джерело: складено автором*

Прогноз на наступний тиждень складає 3250,08, що показує тенденцію зниження, m.a.p.e моделі складає 4,04%.

Отже, дана модель має високу якість, ми також можемо розробити аналогічну ARIMA модель для індексів РДН. Період і структура даних аналогічна з даними середньозваженої ціни на електроенергію.

Базовий період навантаження, що враховує постачання електричної енергії протягом 24 годин, від на початку доби (00:00) до її закінчення (24:00), позначається як BASE. Піковий період навантаження, що охоплює постачання електроенергії протягом 12 годин, від 08:00 до 20:00, позначається як Peak. Щодо періоду позапікового навантаження, що включає в себе використання електроенергії протягом 12 годин, від 00:00 до 08:00 та від 20:00 до 24:00, він позначається як OffPeak. Ця система класифікації дозволяє краще зрозуміти, як енергія використовується та які періоди є найбільш напруженими для електричної мережі [33].

Спочатку розглянемо індекс BASE на РДН [28, 31 - 32], графік початкових даних зображено на рис. 2.25, а вихідні дані у додатку А1. Тест Дікі-Фуллера показав результати аналогічні з вищезазначеною моделлю – дані мають стаціонарний характер, p-value менше 0,05 (рис. 2.26).



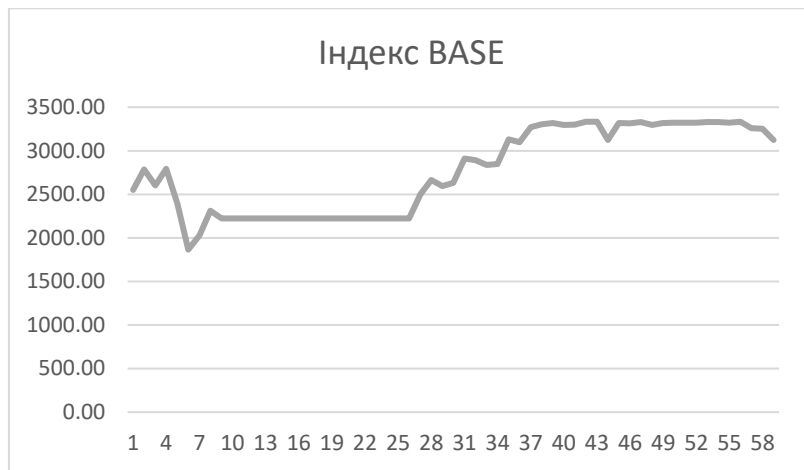


Рис. 2.25 Вихідні дані індексу BASE на РДН

*Джерело: складено автором*

На рис 2.26 також зображено алгоритм дій, на рис. 2.27 – графік прогнозу.

```

> View(arima1)
> result <- adf.test(arima1$BASE)
> print(result)

      Augmented Dickey-Fuller Test

data:  arima1$BASE
Dickey-Fuller = -3.556, Lag order = 3, p-value = 0.04461
alternative hypothesis: stationary

-
# Перетворення ряду даних у часовий ряд
> ts_data <- ts(arima1$BASE, start = c(2022, 1), end = c(2023, 8), frequency = 52)
>
# Візуалізація часового ряду
> plot(ts_data, main = "Weekly Electricity Prices")
>
# Розділ на учбову та тестові вибірки
> train <- window(ts_data, end = c(2023, 7))
> test <- window(ts_data, start = c(2023, 7))
>
# Підбір оптимальних параметрів моделі
> library(forecast)
> auto.arima(train)
Series: train
ARIMA(1,1,1)

Coefficients:
      ar1      ma1
    -0.4855  0.5545
s.e.    0.4639  0.4338

sigma^2 = 19298: log likelihood = -367.45
AIC=740.9  AICC=741.35  BIC=747.08
>
# Створення ARIMA моделі
> model <- arima(train, order = c(1, 1, 1))
>
# Прогнозування майбутніх значень
> forecast <- forecast(model, h = length(test))
>
# Візуалізація прогнозу
> plot(forecast, main = "Forecasted weekly Electricity Prices")
>
# Оцінка якості прогнозу
> accuracy(forecast, test)
      ME      RMSE      MAE      MPE      MAPE      MASE      ACF1
Training set  9.199313 135.34084 74.75192 0.1792883 2.879231 0.08829558 -0.07799802
Test set     36.908323 36.90832 36.90832 1.1716556 1.171656 0.04359543      NA
> forecast

```

Рис. 2.26 Алгоритм дій в RStudio та якість прогнозу індексу BASE

*Джерело: складено автором*

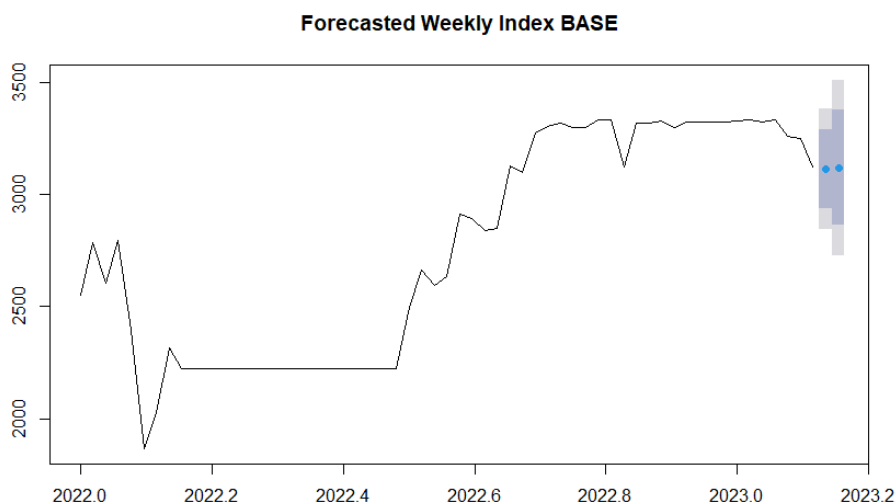


Рис. 2.27 Прогноз індексу BASE на РДН

*Джерело: складено автором*

Прогноз на наступний тиждень складає 3118,13, т.а.р.е моделі складає 2,87%. Отже, дана модель має високу якість, ми можемо використовувати її прогноз на наступний тиждень. Переходимо до аналогічних розрахунків, але досліджуваний критерій – індекс РЕАК на РДН [28]. Графік початкових даних проілюстровано на рис. 2.28., додаток А1. Аналогічно графік прогнозу та алгоритм дій зображено на рис. 2.29 та на рис. 2.30 відповідно.

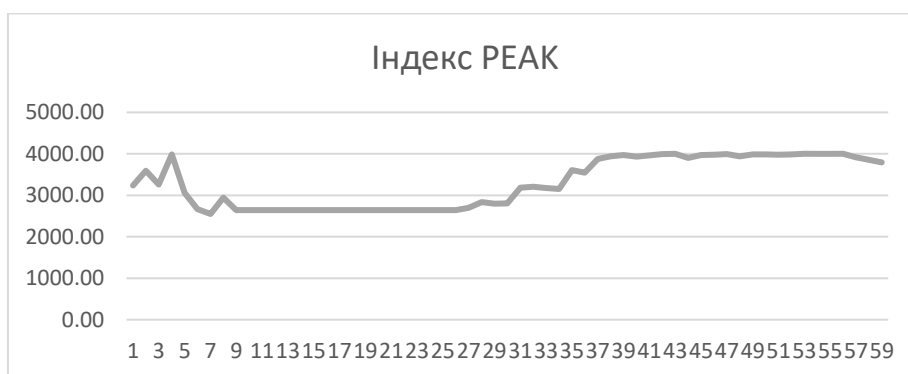


Рис. 2.28 Вихідні дані індексу РЕАК на РДН

*Джерело: складено автором*

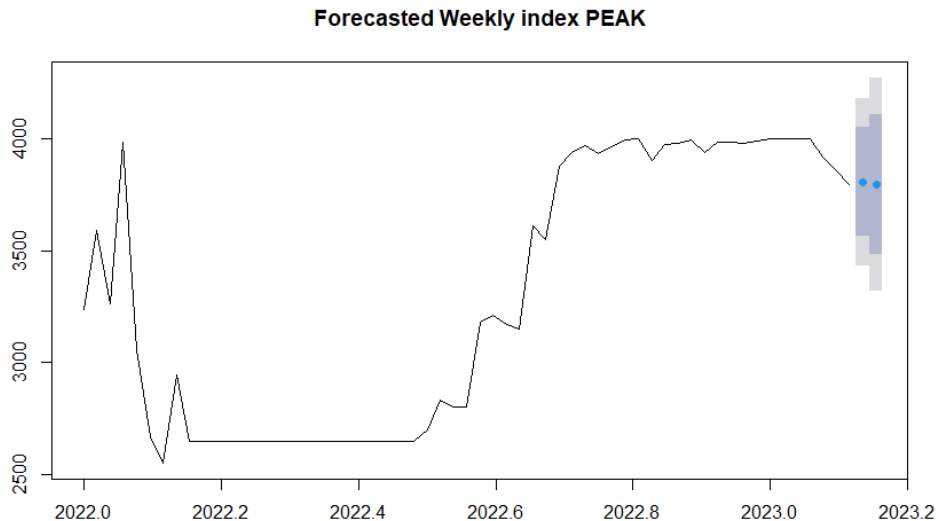


Рис. 2.29 Прогноз індексу РЕАК на РДН

*Джерело: складено автором*

```

Augmented Dickey-Fuller Test

data: arima1$PEAK
Dickey-Fuller = -5.0716, Lag order = 3, p-value = 0.01
alternative hypothesis: stationary

>
> # перетворення ряду даних у часовий ряд
> ts_data <- ts(arima1$PEAK, start = c(2022, 1), end = c(2023, 8), frequency = 52)
>
> # Візуалізація часового ряду
> plot(ts_data, main = "weekly Electricity Prices")
>
> # Розділ на учбову та тестові вибірки
> train <- window(ts_data, end = c(2023, 7))
> test <- window(ts_data, start = c(2023, 7))
>
> # Підбір оптимальних параметрів моделі
> library(forecast)
> auto.arima(train)
Series: train
ARIMA(1,1,1)

Coefficients:
      ar1      ma1
    -0.9521  0.7437
s.e.   0.0690  0.1148

sigma^2 = 37704: log likelihood = -387.23
AIC=780.45  AICC=780.9  BIC=786.63
>
> # Створення ARIMA моделі
> model <- arima(train, order = c(1, 1, 1))
>
> # Прогнозування майбутніх значень
> forecast <- forecast(model, h = length(test))
>
> # Візуалізація прогнозу
> plot(forecast, main = "Forecasted weekly index PEAK")
>
> # Оцінка якості прогнозу
> accuracy(forecast, test)

```

	ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	MASE	ACF1
Training set	10.57463	189.17498	105.04254	0.1245526	3.3205178	0.14096021	-0.003078751
Test set	-37.53288	37.53288	37.53288	-0.9953373	0.9953373	0.05036666	NA

Рис. 2.30 Алгоритм дій в RStudio та якість прогнозу індексу РЕАК

*Джерело: складено автором*

Прогноз на наступний тиждень складає 3797,47, т.а.р.е моделі складає 3,32%. Отже, дана модель має високу якість, ми можемо брати до уваги її прогноз на наступний період. Завершуємо моделювання індексом Off-Peak на РДН [28, 32], графік початкових даних зображено на рис. 2.31, додаток А1.

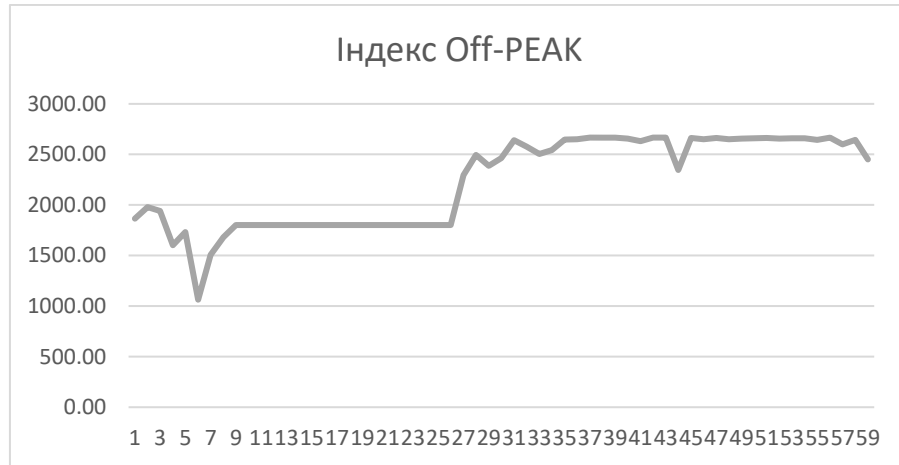


Рис. 2.31 Вихідні дані індексу Off-PEAK на РДН

*Джерело: складено автором*

Побудова моделі в RStudio описана на рис. 2.32, а на рис. 2.33 зображено графік прогнозу.

```
> # перетворення ряду даних у часовий ряд
> ts_data <- ts(arima1$OFFPEAK, start = c(2022, 1), end = c(2023, 8), frequency = 52)
>
> # візуалізація часового ряду
> plot(ts_data, main = "weekly Electricity Prices")
>
> # Розділ на учбову та тестові вибірки
> train <- window(ts_data, end = c(2023, 7))
> test <- window(ts_data, start = c(2023, 7))
>
> # Підбір оптимальних параметрів моделі
> library(forecast)
> auto.arima(train)
Series: train
ARIMA(0,1,0)

sigma^2 = 24785: log likelihood = -375.72
AIC=753.44 AICC=753.51 BIC=755.5
>
> # Створення ARIMA моделі
> model <- arima(train, order = c(1, 1, 1))
>
> # Прогнозування майбутніх значень
> forecast <- forecast(model, h = length(test))
>
> # Візуалізація прогнозу
> plot(forecast, main = "Forecasted weekly off-peak")
>
> # Оцінка якості прогнозу
> accuracy(forecast, test)
      ME      RMSE      MAE      MPE      MAPE      MASE      ACF1
Training set 13.070294 150.839226 73.865577 0.09916773 3.98290943 0.07791504 -0.01163356
Test set      1.527442  1.527442  1.527442 0.06107595 0.06107595 0.00161118      NA
> |
```

Рис. 2.32 Алгоритм дій в RStudio та якість моделі

*Джерело: складено автором*

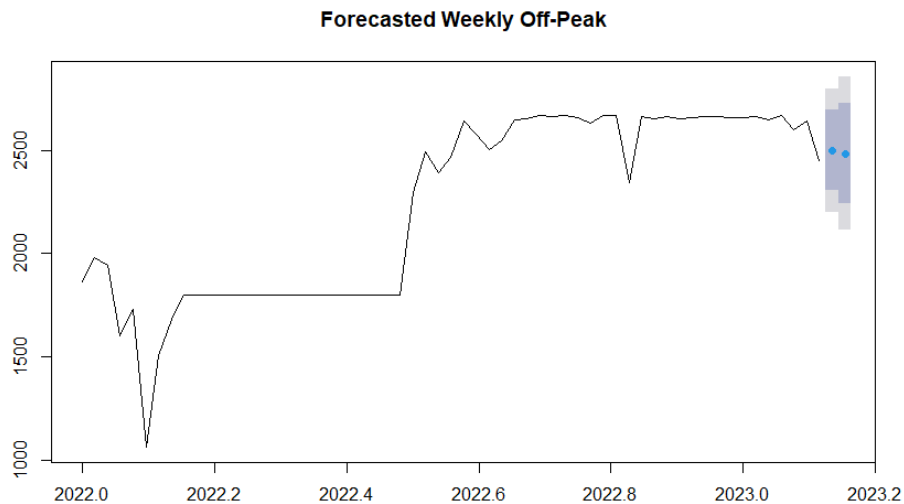


Рис. 2.33 Графік прогнозу індексу Off-Peak

*Джерело: складено автором*

Прогноз на наступний тиждень складає 2483,94, , т.а.р.е моделі складає 3,98%. Результати моделей побудованих в RStudio показують однакову тенденцію - зниження вартості електричної енергії. Отже, дана модель є адекватною та забезпечує високу якість прогнозу. В даному розділі ми побудували ARIMA моделі трьох індексів РДН та середньозваженої ціни на електроенергію, а також розглянули обсяг продажів електроенергії на РДН. Побудовані моделі мають високу якість, є статистично значущими та можуть бути використані для прогнозу, який показує зменшення ціни та обсягів продажу електроенергії на РДН. Це є доволі очікуваною поведінкою через підвищення температури повітря та стабільну роботу енергосистеми України за рахунок тимчасової зупинки ворожих обстрілів. Сподіваємось, що тенденція збережеться й надалі.

### 2.3 Моделювання динаміки експорту електроенергії

Для цього показника буде використана багатofакторна регресійна модель, вибір факторів був обґрунтований у розділі 1.3. Вихідні дані наведені в додатку Б [ 10, 28, 34 – 40] . Отже, факторами моделі є:

Y – експорт електроенергії в Україні;

X1 – споживання електроенергії в Україні;

X2 – виробництво електроенергії в Україні;

X3 – індекс споживчих цін в Україні;

X4 – ціна на електроенергію в Угорщині;

X5 – ціна на електроенергію в Польщі;

X6 – ВВП Польщі;

X7 – ВВП Угорщини;

X8 - Індекс промислової продукції в Україні.

Подальші розрахунки здійснювали в RStudio, на рис. 2.34 можна побачити результати моделі.

```
> model <- lm(Y ~ x1 + x2 + x3 + x4 + x5 + x6 + x7 + x8, data = test)
> summary(model)

Call:
lm(formula = Y ~ x1 + x2 + x3 + x4 + x5 + x6 + x7 + x8, data = test)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-175.18  -32.95   20.47   56.09  105.98

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -8.463e+03  3.557e+03  -2.379 0.029348 *
x1           -3.183e-01  6.886e-02  -4.622 0.000243 ***
x2            3.269e-01  7.244e-02   4.513 0.000307 ***
x3            1.787e+01  3.386e+01   0.528 0.604512
x4           -3.530e-01  1.594e+00  -0.221 0.827406
x5           -6.574e+00  3.389e+00  -1.940 0.069201 .
x6            5.346e+01  2.813e+01   1.901 0.074437 .
x7            1.150e+01  2.284e+01   0.503 0.621177
x8            9.292e+00  3.140e+00   2.959 0.008782 **
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 90.29 on 17 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.8874,    Adjusted R-squared:  0.8345
F-statistic: 16.75 on 8 and 17 DF,  p-value: 1.202e-06
```

Рис. 2.34 Параметри регресійної моделі

*Джерело: складено автором*

Згідно отриманих параметрів моделі, видно, що не всі параметри є статистично значущими за критерієм Стьюдента,  $t$ -value більше 0,05 у X3, X4, X6, X7. Тим не менш, за коефіцієнтом детермінації [26] ( $R^2 = 0,887$ , є більшим за 0,75) та критерієм Фішера ( $F > F_{tabl.}: 16,75 > 2,54$ ) модель є адекватною та якісною. Проте потрібно,

щоб всі параметри були значимими, тому застосуємо метод покрокового включення факторів. Фінальний результат моделі зображено на рис 2.35.

```
Call:
lm(formula = Y ~ x1 + x2 + x5 + x6 + x8, data = test2)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-163.16  -33.35   15.13   53.90  129.79

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -6.794e+03  7.093e+02  -9.580  6.48e-09 ***
x1          -3.175e-01  6.482e-02  -4.898  8.69e-05 ***
x2           3.332e-01  6.679e-02   4.988  7.06e-05 ***
x5          -6.993e+00  1.032e+00  -6.777  1.37e-06 ***
x6           6.518e+01  6.994e+00   9.320  1.02e-08 ***
x8           9.508e+00  2.950e+00   3.223  0.00427 **
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 85.13 on 20 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.8823,    Adjusted R-squared:  0.8529
F-statistic: 29.98 on 5 and 20 DF,  p-value: 1.222e-08

> coef(model)
            (Intercept)             x1             x2             x5             x6             x8
-6794.3536741    -0.3174667     0.3331725    -6.9926669     65.1820296     9.5079469
>
```

Рис. 2.35 Параметри регресійної моделі

*Джерело: складено автором*

Отримана модель є більш значущою за критерієм Фішера ( $F = 29,98$ ), а ось величина коефіцієнту детермінації трохи зменшилась ( $R^2 = 0,882$ ), усі показники є статично значущими за критерієм Стьюдента, також коефіцієнт множинної кореляції становить 0,94, що є ознакою сильного ступеня зв'язку. Модель виглядає так:

$$Y = -6794.35 - 0.317 * x1 + 0.333 * x2 - 6.992 * x5 + 65.182 * x6 + 9.507 * x8$$

Додаткові перевірки на гетероскедастичність та автокореляцію наведені на рис. 2.36. Для перевірки гетероскедастичності був застосований тест Бройша-Пагана. Якщо статистика вища за критичне значення, то гетероскедастичність присутня [41]. А для автокореляції – тест Бройша-Годфрі. Він є розширенням тесту Дарбіна-Уотсона і дозволяє перевірити наявність автокореляції вищого порядку (більше першого порядку) [42]. У нашому випадку в обох тестах p-value є більшим за 0,05, тобто автокореляції та гетероскедастичності немає.

```

> bptest(model)

        studentized Breusch-Pagan test

data:  model
BP = 0.040438, df = 1, p-value = 0.8406

> bgtest(model, order = 1, type = "F")

        Breusch-Godfrey test for serial correlation of order up to 1

data:  model
LM test = 0.76327, df1 = 1, df2 = 19, p-value = 0.3932

```

Рис. 2.36 Перевірка моделі на гетероскедастичність та автокореляцію

*Джерело: складено автором*

Дана модель показала, що на експорт електроенергії мали вплив лише наступні показники: споживання та виробництво електроенергії, ціна на електроенергію в Польщі, ВВП Польщі та індекс промислової продукції в Україні. Сильний вплив мають показники, які не були включені до моделі.

За економічної точки зору, обрані показники можуть впливати на експорт електроенергії через різні механізми:

споживання та виробництво електроенергії можуть вказувати на величину попиту або пропозиції на ринку електроенергії, що може вплинути на обсяг експорту;

ціна на електроенергію в Польщі також може впливати на експорт енергії з України, оскільки Польща є одною з основних країн збуту для української електроенергії [43]. Якщо ціна на електроенергію в Польщі зростає, то це призводить до збільшення попиту на українську електроенергію і, отже, збільшує експорт;

ВВП Польщі та індекс промислової продукції в Україні можуть вказувати на стан економіки в обох країнах, що також може впливати на обсяг експорту. Якщо економіка Польщі зростає, то це може призвести до збільшення попиту на електроенергію, а, отже, і на її імпорт з України;

Отже, обрані показники можуть впливати на експорт електроенергії через різні економічні механізми, що підтверджує важливість їх включення до моделі для досягнення більш точних результатів. Графік фактичних та теоретичних значень наведений на рис. 2.37.



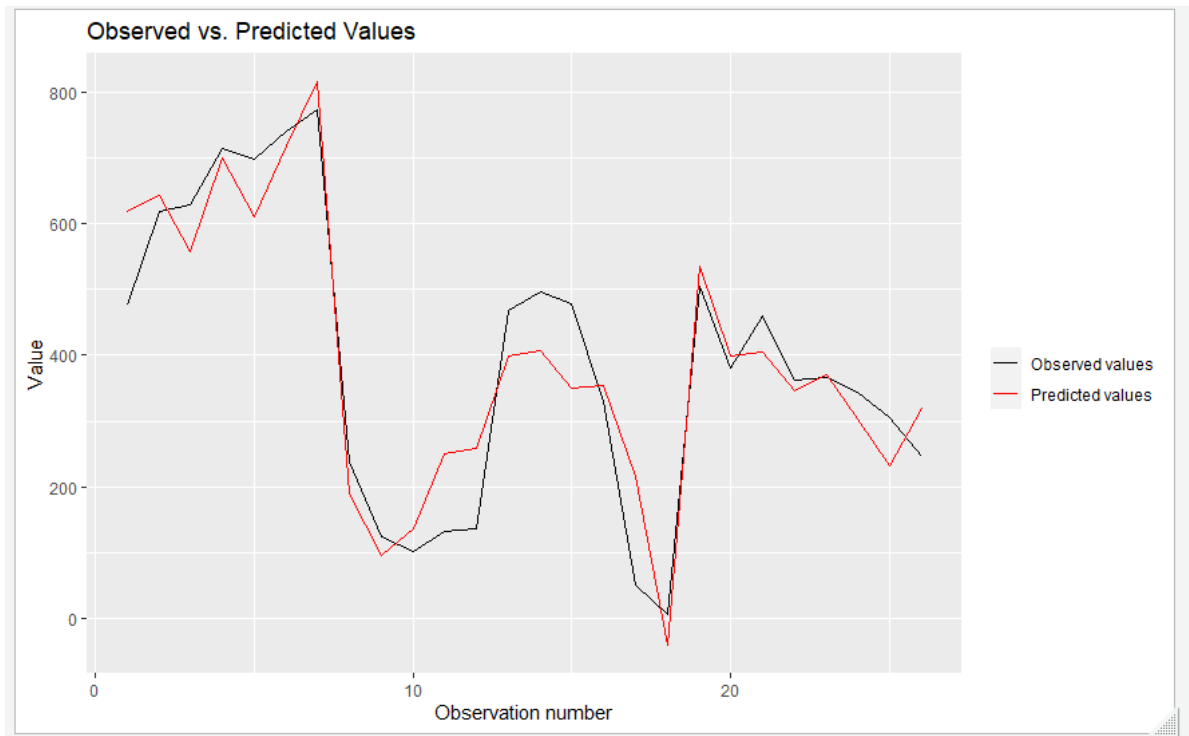


Рис. 2.37 Графік теоретичних і фактичних значень експорту електроенергії

*Джерело: складено автором*

Так як модель є статистично значущою, можемо зробити прогноз на наступний період. На рис. 2.38 наведено які значення мали факторні змінні та величину прогнозу.

```

> new_data <- data.frame(x1 = c(15299,00),
+                       x2 = c(15102,50),
+                       x5 = c(143,99),
+                       x6 = c(101,8),
+                       x8 = c(87))
> predictions <- predict(model, newdata = new_data)
> predictions
      1      2
122.0132 -5708.9502

```

Рис. 2.38 Прогнозування обсягу експорту електричної енергії

При заданих змінних обсяг експорту буде складати 122 млн. кВт·год. Фактичний обсяг експорту в цьому періоді становить 131,2 млн. кВт·год, тобто прогноз близький до реальних даних.

## РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ ФІНАНСОВОГО СТАНУ СУБ'ЄКТІВ ЕНЕРГОРИНКУ

### 3.1 Аналіз фінансового стану суб'єктів енергоринку: огляд ключових показників

Фінансова стійкість є важливим показником успішності діяльності учасників енергетичного ринку, оскільки це дозволяє забезпечувати стабільність фінансових ресурсів та керувати ризиками під час здійснення торгової діяльності на ринку.

Аналіз фінансової стійкості взаємопов'язаний з оцінкою різноманітних фінансових показників, включаючи прибуток, рентабельність, ліквідність, платоспроможність та інші [44]. Ці показники відображають фінансовий стан підприємства та здатність здійснювати успішну діяльність на енергоринку [45].

Даний показник є надзвичайно важливим фактором для суб'єктів енергетичного ринку, оскільки від цього залежить надійність постачальників та розвиток галузі в цілому. Наявність стабільного фінансового стану дозволяє суб'єктам енергетичного ринку неухильно виконувати свої функції та забезпечувати енергетичну безпеку країни без будь-яких перебоїв [46]. У сучасних умовах функціонування енергетичного ринку спостерігаються значні зміни в регуляторному середовищі, що мають суттєвий вплив на фінансові показники та стійкість енергетичних компаній. Для забезпечення стійкого функціонування цих компаній, необхідна адекватна трансформація систем моніторингу їх фінансового стану.

Існуючі підходи до рейтингування енергетичних компаній також доволі добре описують стан енергетичного ринку сьогодні. Наприклад, публікації аналітичного центру DiXi Group, які містять рейтинги постачальників електричної енергії, оцінюючи їх за різними критеріями: "онлайн сервіси", "комерційні пропозиції", "інформування споживачів", "прозорість та ділова активність". [47]. У той же час, ці рейтинги ставлять перед собою іншу мету. Вони спрямовані на визначення позиції компанії на ринку, що є важливим як для споживача при виборі найбільш привабливого партнера, так і для енергетичної компанії, оскільки допомагають підвищити якість обслуговування клієнтів, забезпечити прозорість, визначити

конкурентоспроможність та підвищити ефективність управління в цілому. В таблиці 3.1 можна побачити як оцінюються компанії за критеріями, а на рис. 3.1 багатокутник конкурентоспроможності за 2020 рік. Обрані компанії характеризуються великою охопленою часткою ринку у деяких регіонах України, саме тому було вирішено їх обрати для аналізу.

Таблиця 3.1

Критерії для оцінки конкурентоспроможності компаній [47]

Критерій	Бальна оцінка критерію				
	ПАТ «ЕК «Барвінок»	ТОВ «ЮНАЙТЕД ЕНЕРДЖІ»	ТОВ «ЄВРОЕНЕРГОТРЕЙД»	ТОВ «ОВІС ТРЕЙД»	ТОВ «Д.ТРЕЙДІНГ»
Онлайн сервіси	0,067	0,067	0,267	0,15	0,1
Комерційні пропозиції	0,2	0,4	0,4	0,2	0,4
Інформування споживачів	0,375	0,5	0,5	0,375	0,375
Прозорість та ділова активність	0,088	0,329	0,154	0,233	0,408

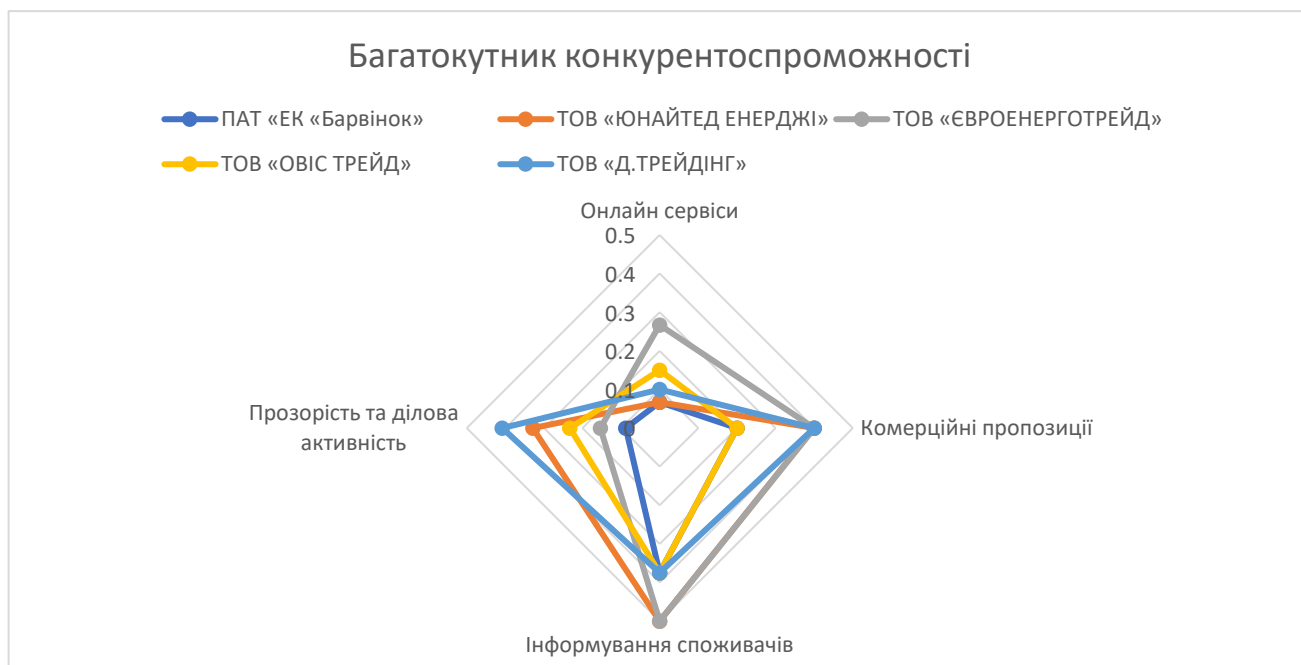


Рис. 3.1 Багатокутник конкурентоспроможності енергетичних підприємств

Джерело: Складено автором

Хотілось би додати, що дані характеристики є суб'єктивними, тому не розкривають повну картину стану ринку. Хоча ПАТ «ЕК «Барвінок» за даним рейтингом посідає останнє місце (прозорість та ділова активність є дуже низькими за даним рейтингом), проте у Харківській та Запорозькій областях саме вони є лідерами ринку. ТОВ «Д.Трейдінг» належить монополісту, у якого більше 40% частки ринку електроенергії в Україні станом на лютий 2022 р. Звичайно обсяги постачання найбільші у даної компанії, але за цим рейтингом вони не перші. Найбільш високі показники належать ТОВ «Євроенерготрейд». На рис 3.2 зображено графік, який складений на основі бальних оцінок аналітичного центру DiXi Group.

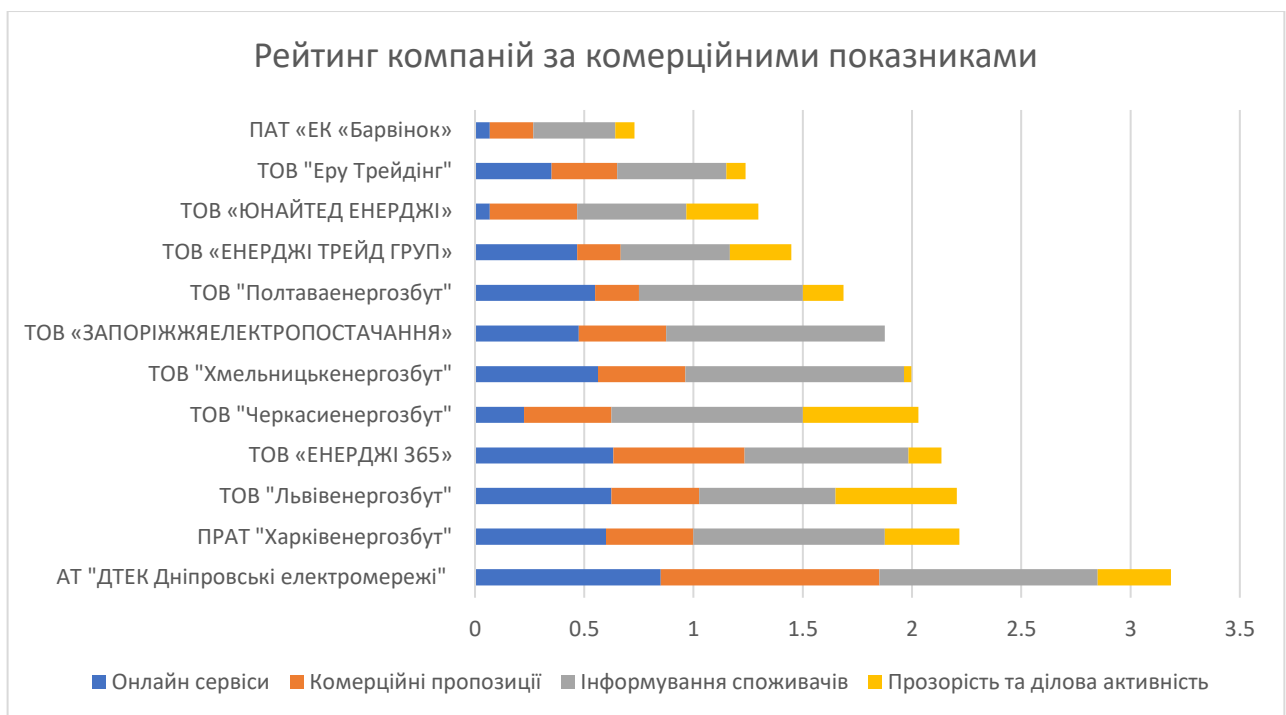


Рис. 3.2 Рейтинг компаній за комерційними показниками

*Джерело: Рейтинг постачальників електроенергії [47]*

З рис. 3.2 можна спостерігати, що лідерами є АТ «ДТЕК», ТОВ «Харківенергозбут», ТОВ «Львівенергозбут», а ось на останніх місцях є ТОВ «Еру Трейдінг», ПАТ «ЕК «Барвінок». Згодом порівняємо даний рейтинг з отриманими у розділі 3.2 результатами.

При оцінці стану компаній енергетичного сектору і враховуючи безсумнівну ефективність існуючих підходів, необхідно відзначити, що питання моделювання та

оцінка фінансової стійкості цих компаній у трансформаційних умовах ринку залишаються недостатньо дослідженими.

В якості метода кластеризації був обраний метод Уорда, який є формою ієрархічної агломеративної кластеризації, який дозволяє групувати елементи в кластери з найменшою внутрішньою варіацією ознак. [48]. Крім того, опираючись на цей метод можна візуалізувати структуру вихідних даних та досліджувати стійкість не лише окремих енергетичних компаній, а й оцінювати загалом фінансовий стан енергетичної галузі.

Інформаційною базою дослідження є фінансові дані енергетичних компаній за показниками, які наведені в табл. 3.2. При створенні системи діагностичних ознак було використане "ядро" індикаторів фінансового стану, які мають найвищу частоту використання в наявних методиках фінансового аналізу [49-53]. Варто зазначити, що використовувались дані підприємств за 2020 рік через їх наявність у відкритих джерелах даних [54]. Прораховані показники наведені у додатку В.

Таблиця 3.2

Огляд фінансових показників фінансової стійкості підприємств

№ з/п	Назва показника	Порядок (формула) розрахунку	Нормативне значення	Опис
1	Коефіцієнт автономії	$\frac{\text{ф.1р.380}}{\text{ф.1р.640}}$	>0,5	Відображає ступінь самостійності або незалежності системи, організації або процесу від зовнішніх впливів. Цей показник вимірює, наскільки самостійно система може приймати рішення і здійснювати дії без залучення зовнішніх ресурсів або контролю [55].
2	Коефіцієнт фінансової залежності	$\frac{\text{ф.1 (р. 640)}}{\text{р.380}}$	1,25-2	Характеризує наскільки залежне підприємство або організація від зовнішнього фінансування, зокрема від кредиторських коштів [55].

№ з/п	Назва показника	Порядок (формула) розрахунку	Нормативне значення	Опис
3	Коефіцієнт фінансової стабільності	$(\text{ф.1р.380}) / \text{ф.1 (р. 420 + р. 480 + р. 620 + р. 630)}$	>1	Дозволяє оцінити фінансову міцність та стійкість підприємства або організації. Чим вищий коефіцієнт, тим більш стійкою є фінансова база підприємства та можливість витримувати фінансові труднощі без значного впливу на свою діяльність.
4	Коефіцієнт маневреності робочого капіталу	$\text{ф.1 (р.260 - р.620)} / \text{ф.1р.380}$	>0,5	Показує гнучкість та ефективне управління робочим капіталом в підприємстві. Робочий капітал включає вкладені кошти в оборотні активи (запаси, дебіторська заборгованість та грошові кошти), використовується для підтримки повсякденної операційної діяльності підприємства [56].
5	Коефіцієнт співвідношення залученого і власного капіталу	$\text{ф.1 (р. 420 + р. 480 + р. 620 + р. 630)} / \text{ф.1 (р. 380)}$	0,25-1	Використовується для оцінки структури фінансування підприємства та рівня його фінансової залежності від зовнішнього капіталу. Цей коефіцієнт вимірює співвідношення між залученим капіталом (позики, облігації) та власним капіталом (акціонерний капітал, резерви, прибуток).
6	Коефіцієнт незалежності	Власний капітал (р. 380 ф. 1) / Залучений капітал	1-4	Виражає рівень власності та контролю підприємства над своєю діяльністю. Цей коефіцієнт вимірює відсоток власного капіталу установи до загального, включаючи як власні засоби, так і залучений зовнішній капітал [56].
7	Коефіцієнт концентрації позикового капіталу	$\text{ф.1 (р. 430 + р. 480 + р. 620 + р.630 ф.1)} / \text{ф.1 (р. 080 + р. 260 + р. 270 ф. 1)}$	0,2-0,5	Вимірює ступінь зосередженості позикового капіталу підприємства між різними кредиторами або джерелами позик. Цей показник допомагає визначити розподіл і залежність залученого капіталу підприємства від окремих кредиторів або груп кредиторів [57].
8	Коефіцієнт інвестування	$\text{ф.1р.380} / \text{р.080}$	>1	Високий коефіцієнт незалежності показує те, що підприємство має значну власну капіталізацію і контролює свою діяльність без значного залучення зовнішніх коштів. Низький коефіцієнт є індикатором високої залежності від зовнішнього капіталу, такого як позики або інвестиції зовнішніх інвесторів [57].

### 3.2 Моделювання рівня фінансової стійкості підприємств енергетичного сектору

Побудова моделі кластерного аналізу буде здійснена в Rstudio. Після стандартизації даних було побудовано дендрограму класифікації 25 підприємств енергетичного сектору України за методом Уорда (рис. 3.3).

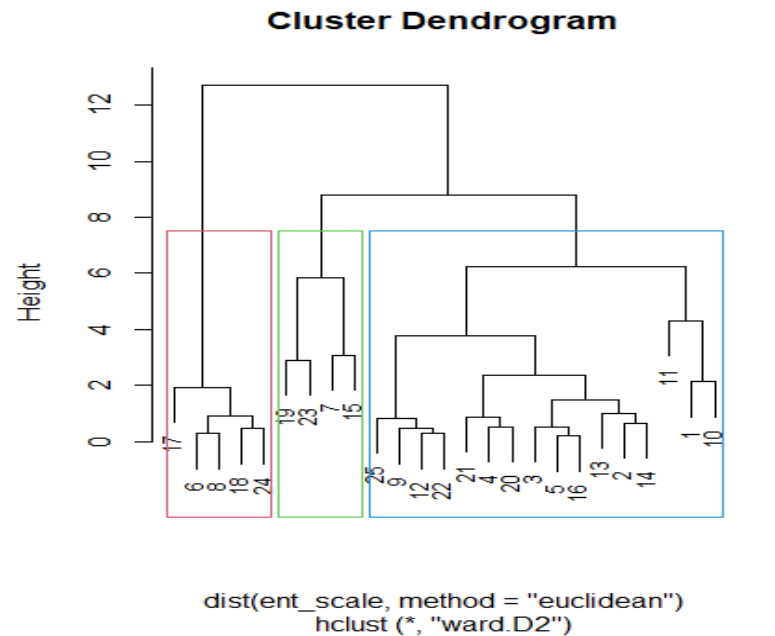


Рис. 3.3 Результати кластеризації підприємств (метод Уорда)

*Джерело: складено автором*

Дендрограма показує, що обрані компанії можна розбити на три кластери. Також була зроблена перевірка на оптимальну кількість кластерів за допомогою автоматичних тестів (рис. 3.4) та перевіркою методом "ліктя" [58] (рис. 3.5)

```
*****  
* Among all indices:  
* 1 proposed 2 as the best number of clusters  
* 9 proposed 3 as the best number of clusters  
* 1 proposed 5 as the best number of clusters  
* 2 proposed 7 as the best number of clusters  
* 2 proposed 8 as the best number of clusters  
* 1 proposed 9 as the best number of clusters  
* 7 proposed 10 as the best number of clusters  
  
***** conclusion *****  
  
* According to the majority rule, the best number of clusters is 3  
  
*****
```

Рис. 3.4 Автоматичний пошук кількості кластерів

*Джерело: складено автором*

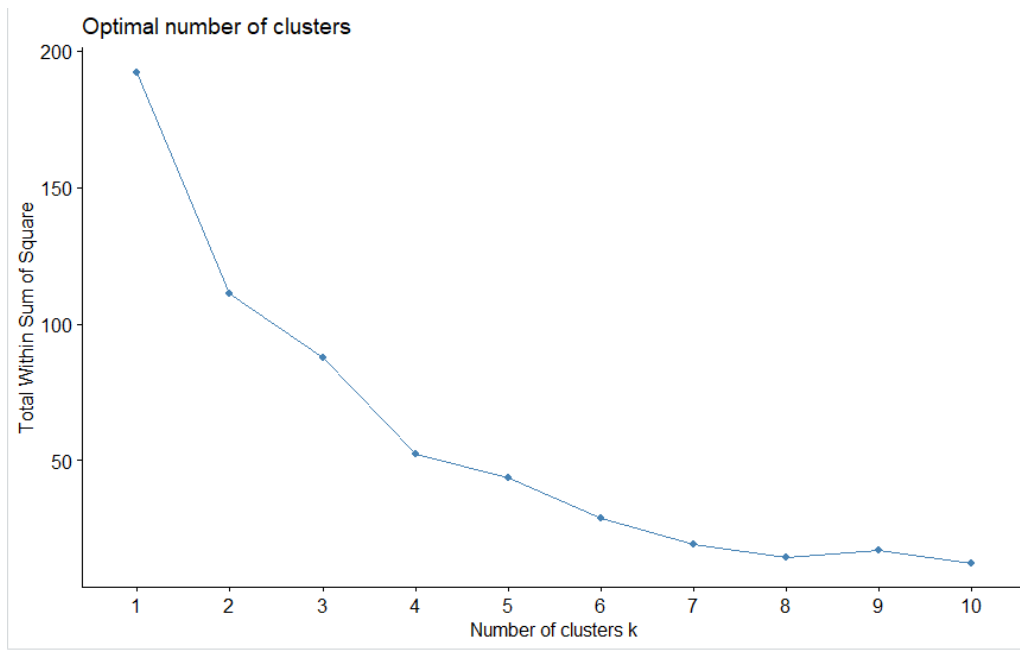


Рис. 3.5 Автоматична перевірка методом "ліктя"

*Джерело: складено автором*

Переходимо до реалізації методу k-середніх [58, 59]. Кількість кластерів була задана в якості екзогенного параметру під час застосування даного ітеративного методу кластерного аналізу. Результати групування наведено на рис. 3.6 - 3.7.

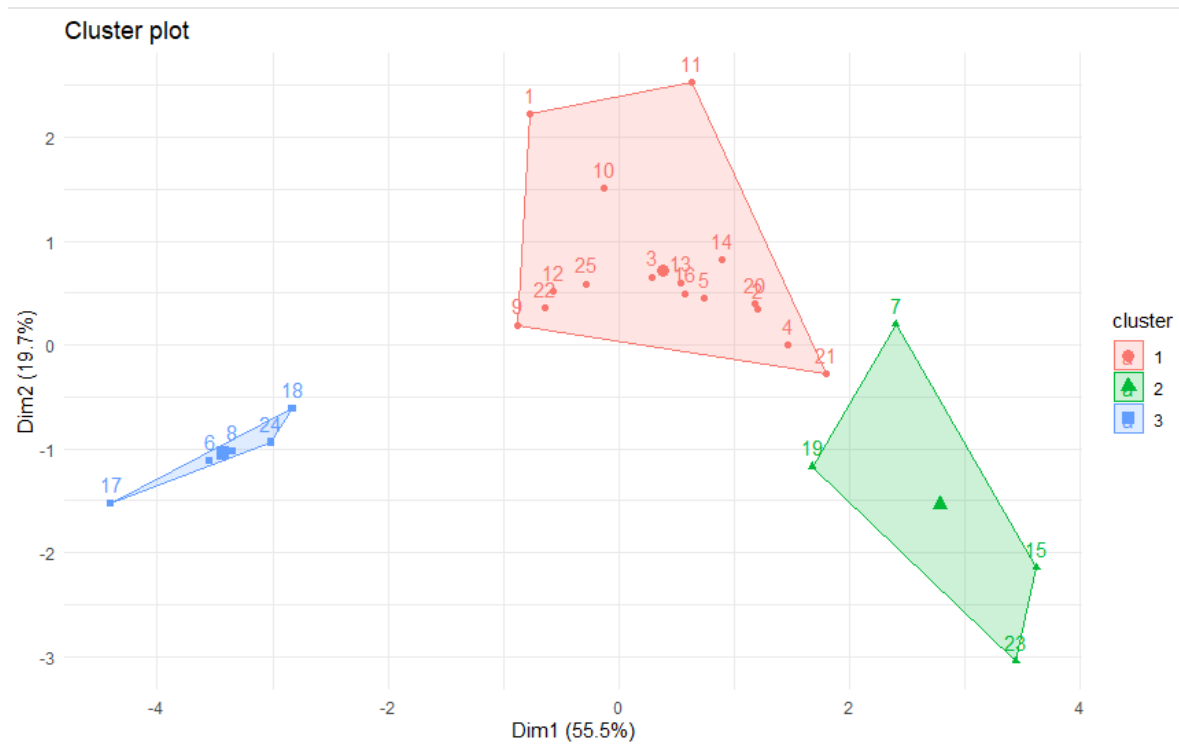


Рис. 3.6 Графічний результат методу K-середніх

*Джерело: складено автором*



Cluster	Enterprise	Autonomy coefficient
1	Barvinok	
2	Kharkivenergozbyt	
3	Poltavaenergozbyt	
4	Khmelnuenergozbyt	
5	Chercasenergozbyt	
9	Ivivenergozbyt	
10	Ery Trading	
11	Energy Global	
12	Energo-gaz	
13	Energy Tred group	
14	ZAPORIZHZHIAENERGOPOSTACHANYA	
16	OBEC	
20	MAKSI ENERGY	
21	ENERGY Saving Solutions	
22	ENERGOZAXID	
25	LymanEnergy2	
6	Galnaftogaz	0.5177018
8	Novoargo	0.4906614
17	DTEK	0.5662960
18	VERACKS ENERGY	0.4497774
24	Akvaresource-1	0.4689658
7	United Energy	0.01953872
15	ENERGY 365	0.01151619
19	New energy holding	0.04824302
23	Solarenergo	0.01593510

Рис. 3.7 Склад кластерів

*Джерело: складено автором*

Описові статистики побудови зображено на рис 3.8. Також у таблицях 3.3 та 3.4 наведені центроїди та характеристика кластерів, що краще дає зрозуміти структуру і характеристику кластерів.

```
> str(ent_kmeans)
List of 9
 $ cluster      : int [1:25] 1 1 1 1 1 3 2 3 1 1 ...
 $ centers      : num [1:3, 1:8] -0.3 -0.969 1.735 -0.238 1.801 ...
 .. attr(*, "dimnames")=List of 2
 .. ..$ : chr [1:3] "1" "2" "3"
 .. ..$ : chr [1:8] "Autonomy.coefficient" "Finacial.dependency.ratio" "x..Financial.stability.ratio" "working.capital.flex
 bility.ratio" ...
 $ totss       : num 192
 $ withinss    : num [1:3] 44.03 26.02 2.42
 $ tot.withinss: num 72.5
 $ betweenss   : num 120
 $ size        : int [1:3] 16 4 5
 $ iter        : int 3
 $ ifault      : int 0
 - attr(*, "class")= chr "kmeans"
> show(ent_kmeans)
K-means clustering with 3 clusters of sizes 16, 4, 5

Cluster means:
Autonomy.coefficient Finacial.dependency.ratio x..Financial.stability.ratio working.capital.flexibility.ratio
1 -0.3001428 -0.2378023 -0.3897215 0.3034525
2 -0.9686525 1.8014877 -0.7511715 -1.4512346
3 1.7353789 -0.6802229 1.8480461 0.1899396
Ratio.of.attracted.and.equity.ratio Independence.Ratio Debt.capital.concentration.ratio Investment.ratio
1 -0.2305998 -0.3894059 0.3325351 0.13754826
2 1.7949956 -0.7537794 0.3951899 0.02062923
3 -0.6980772 1.8491222 -1.3802642 -0.45665783

Clustering vector:
[1] 1 1 1 1 1 3 2 3 1 1 1 1 1 2 1 3 3 2 1 1 1 2 3 1

within cluster sum of squares by cluster:
[1] 44.028510 26.020748 2.419873
(between_SS / total_SS = 62.3 %)

Available components:
[1] "cluster" "centers" "totss" "withinss" "tot.withinss" "betweenss" "size"
[8] "iter" "ifault"
>
```

Рис. 3.8 Описові статистики побудови

*Джерело: складено автором*

## Центроїди

Змінні	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
x1	0,49868048	0,1412095	0,02380826
x2	2,01824281	11,530176	55,3744005
x3	0,99899712	0,1601136	0,02461499
x4	-0,0990842	0,5177796	-9,0177205
x5	1,02697138	11,030176	54,3744005
x6	0,99210894	0,1600505	0,02461329
x7	0,50509969	0,959162	0,97577172
x8	2,10759101	39,814062	32,3947438

Таблиця 3.4

## Інтерпретація кластерів

Criteria	Rate	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
x1	>0,5	High level	Middle level	Low level
x2	1,25-2,0	High level	Middle level	Low level
x3	>1	High level	Middle level	Low level
x4	>0,5	Middle level	High level	Low level
x5	0,25-1	High level	Middle level	Low level
x6	1,0-4,0	High level	Middle level	Low level
x7	0,2-0,5	High level	Middle level	Low level
x8	>1	Low level	High level	Middle level

У перший кластер увійшли п'ять компаній: АТ "ДТЕК Дніпровські електромережі", ТОВ "ВЕРАКС ЕНЕРДЖИ", ТОВ "АКВАРЕСУРС-1", Концерн Галнафтогаз, ТОВ "Новоагро" [60], що склало 20% від загальної кількості. Компанії даного кластеру характеризуються високим рівнем фінансової стійкості за усіма показниками. Важливо зробити акцент на тому, що саме ці компанії і є лідерами енергоринку.

У другий кластер увійшли шістнадцять компаній (64%): ПАТ "ЕК Барвінок", Харківенергозбут, Полтаваенергозбут, Хмельницькенергозбут, Черкасиенергозбут, Львівенергозбут, ТОВ "Еру Трейдинг", ТОВ "АС ЕНЕРГІЯ ГЛОБАЛ", ТОВ "ЕНЕРГО-ГАЗ", ТОВ "ЕНЕРДЖІ ТРЕЙД ГРУП", ТОВ "ЗАПОРІЖЖЯЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ", ТОВ "ОДЕСЬКА ОБЛАСНА ЕНЕРГОПОСТАЧАЛЬНА КОМПАНІЯ", ТОВ "МАКСІ ЕНЕРДЖІ", ТОВ "ЕНЕРДЖІ СЕЙВІНГ СОЛЮШН", ТОВ "ЕНЕРГОЗАХІД", ТОВ "ЛИМАНСЬКА ЕНЕРДЖИ 2" [61]. У цей кластер потрапили компанії з достатнім рівнем фінансової стійкості.

Третій кластер сформував чотири компанії (16%): ТОВ "СОЛАРЕНЕРГО", ТОВ "НЬЮ ЕНЕРДЖІ ХОЛДИНГ", ТОВ "ЕНЕРДЖІ 365", ТОВ "Юнайтед Енерджі" [61]. Підприємства в цьому кластері мають низький рівень фінансової стійкості за всіма показниками. Зокрема, фінансова незалежність цих компаній знаходиться в діапазоні 2-4% [61].

Перейдемо до факторного аналізу, який дозволить нам обрати показники, які мають найбільший вплив на опис процесів, що відбуваються. Спочатку побудуємо кореляційну матрицю (рис. 3.9)

	Autonomy.coefficient	Finacial.dependency.ratio	X..Financial.stability.ratio	Working.capital.flexibility.ratio	Ratio.of.attracted.and.equity.ratio	Independence.Ratio
Autonomy.coefficient	1.00000000	-0.61450291	0.96987578	0.2520797	-0.6213932	0.9708619
Finacial.dependency.ratio	-0.61450291	1.00000000	-0.4951947	-0.3743089	0.9994038	-0.4967657
X..Financial.stability.ratio	0.96987578	-0.49519468	1.00000000	0.1840175	-0.5049510	0.9999571
Working.capital.flexibility.ratio	0.25207972	-0.37430891	0.1840175	1.00000000	-0.3751203	0.1847690
Ratio.of.attracted.and.equity.ratio	-0.62139319	0.99940376	-0.5049510	-0.3751203	1.00000000	-0.5065351
Independence.Ratio	0.97086192	-0.49676571	0.9999571	0.1847690	-0.5065351	1.00000000
Debt.capital.concentration.ratio	-0.62356914	0.27861781	-0.7248140	-0.1049806	0.3024532	-0.7253031
Investment.ratio	-0.02284838	-0.08142821	-0.1172071	0.2014253	-0.0800342	-0.1164318

Рис. 3.9 Кореляційна матриця

*Джерело: складено автором*

Кореляції є високими, тому будемо використовувати саме метод головних компонент. На рис. 3.10 зображено результат реалізації цього методу.

Importance of components:	Comp.1	Comp.2	Comp.3	Comp.4	Comp.5	Comp.6	Comp.7	Comp.8
Standard deviation	2.1070381	1.2548324	0.9335083	0.84539677	0.62032358	0.120781966	1.536046e-02	5.215738e-03
Proportion of Variance	0.5549512	0.1968255	0.1089297	0.08933696	0.04810017	0.001823535	2.949297e-05	3.400490e-06
Cumulative Proportion	0.5549512	0.7517767	0.8607064	0.95004340	0.99814357	0.999967107	9.999966e-01	1.000000e+00

Рис. 3.10 Результат методу головних компонент

*Джерело: складено автором*

З рис. 3.10 видно, що власні значення є більшими або близькими до 1 для перших трьох компонент, кумулятивна дисперсія показує, що перші три компоненти пояснюють 86,07% загальної дисперсії. Побудуємо графік кам'янистого осипу (рис. 3.11)

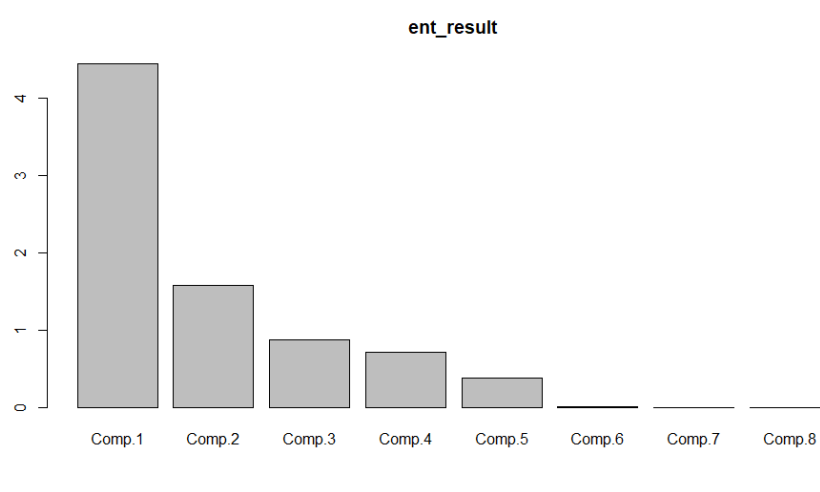


Рис. 3.11 Графік кам'янистого осипу

*Джерело: складено автором*

В цілому, можна побачити, що за методом головних компонент із 8-ми стартових значень факторних змінних можна створити 3-и синтетичних змінних, які будуть давати розуміння інформаційного простору ознак на рівні 86,07%. Продовжимо побудовою графіка розподілу об'єктів в просторі головних компонент (рис. 3.12)

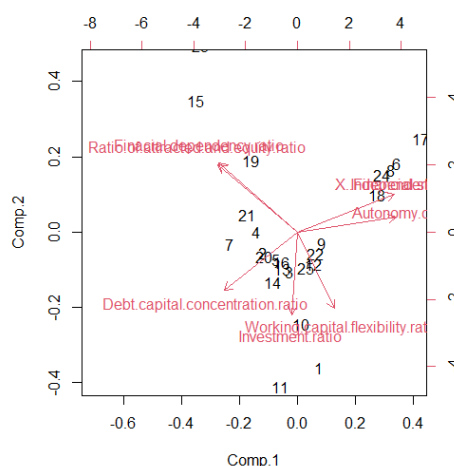


Рис. 3.12 Графік вкладу компонент

*Джерело: складено автором*

Видно, що «Барвінок», «Еру Трейдинг» та «АС ЕНЕРГІЯ ГЛОБАЛ» мають найбільші показники за коефіцієнтом маневреності робочого капіталу та інвестування. ТОВ «ЕНЕРДЖІ 365», ТОВ «НЬЮ ЕНЕРДЖІ ХОЛДИНГ» мають низький рівень стійкості за рахунок коефіцієнта фінансової залежності, коефіцієнта співвідношення залученого і власного капіталу. А ось перший кластер має таку високу фінансову стійкість за рахунок коефіцієнту автономії, фінансової стабільності. На рис. 3.13 та на рис. 3.14 зображено факторні навантаження та факторні оцінки відповідно.

Loadings:								
	Comp.1	Comp.2	Comp.3	Comp.4	Comp.5	Comp.6	Comp.7	Comp.8
Autonomy.coefficient	0.453		0.139		0.339	0.802		
Finacial.dependency.ratio	-0.359	0.409	0.392	-0.186	0.120		-0.704	
X..Financial.stability.ratio	0.442	0.226	0.171		0.237	-0.429		0.693
Working.capital.flexibility.ratio	0.168	-0.452	0.201	-0.848				
Ratio.of.attracted.and.equity.ratio	-0.364	0.400	0.383	-0.181	0.153		0.709	
Independence.Ratio	0.443	0.225	0.171		0.235	-0.386		-0.719
Debt.capital.concentration.ratio	-0.336	-0.345	-0.152	0.164	0.838	-0.119		
Investment.ratio		-0.489	0.747	0.417	-0.163			
SS loadings								
	Comp.1	Comp.2	Comp.3	Comp.4	Comp.5	Comp.6	Comp.7	Comp.8
Proportion Var	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125
Cumulative var	0.125	0.250	0.375	0.500	0.625	0.750	0.875	1.000

Рис. 3.13 Факторні навантаження

Джерело: складено автором

	Comp.1	Comp.2	Comp.3	Comp.4	Comp.5	Comp.6	Comp.7	Comp.8
1	0.7899095	-2.26595039	2.53300126	1.39771663	-0.98490743	0.025781033	0.0087462697	7.284731e-04
2	-1.2284149	-0.34807060	-0.76933856	-0.18441658	0.10880865	-0.132596807	0.0414592927	-1.244413e-03
3	-0.2885345	-0.66761459	-0.62537612	-0.39396756	-0.36861965	-0.021338108	-0.0110506194	-6.228063e-05
4	-1.4972323	0.00128344	-0.34705685	-0.68710560	-0.11824315	-0.104307395	-0.0127594171	-2.416574e-03
5	-0.7584212	-0.45425937	-0.74376015	-0.48265616	-0.29066718	-0.083752283	-0.0139801496	-1.620433e-03
6	3.6198419	1.14023967	0.26829947	0.01573664	0.28120580	0.010021188	0.0023565056	-1.438103e-02
7	-2.4460233	-0.20334380	2.03938652	-0.37541208	-0.13809991	-0.109072971	-0.0003869947	-2.374589e-03
8	3.4202544	1.04206272	0.20924942	-0.07126971	0.11634176	0.027724512	0.0038376288	-1.202344e-02
9	0.8911878	-0.19339117	-0.60296762	-0.29374913	-0.30568108	0.201726233	-0.0020224879	4.011098e-03
10	0.1324413	-1.53931155	0.85568701	0.44516495	-0.68993099	-0.008004116	-0.0023030028	5.423926e-04
11	-0.6396178	-2.58046165	0.20082967	0.97463003	2.43318258	0.058309349	-0.0214807794	-7.860000e-04
12	0.5838243	-0.52881813	-0.36932272	-0.19443087	-0.40022482	0.141411969	-0.0030718618	2.999722e-03
13	-0.5456631	-0.61240222	-1.11991530	0.29014304	0.56131571	0.063553999	0.0301505991	3.121710e-03
14	-0.9128054	-0.83861660	-0.59200243	0.08228637	0.17721025	-0.111907726	0.0373666078	-4.137585e-04
15	-3.6919925	2.18897084	1.79362832	-1.74634482	0.64929415	0.147561999	0.0067753596	2.470984e-03
16	-0.5820358	-0.50648992	-0.78154655	-0.45517991	-0.31097145	-0.060955059	-0.0134545371	-8.014641e-04
17	4.4904494	1.55903256	0.59687977	0.03881839	0.52282136	-0.337867413	-0.0064949047	1.335515e-02
18	2.8864140	0.62619564	0.12984862	-0.17381179	0.04318083	0.134894705	0.0029669208	7.893826e-03
19	-1.7073509	1.19614286	-1.20635833	2.07230755	-0.46088578	-0.066785141	-0.0137224061	-1.191898e-03
20	-1.2021625	-0.40201417	-0.29471894	-0.57568875	-0.24429635	-0.121712324	-0.0128193979	-1.769408e-03
21	-1.8281750	0.28271472	-0.06334716	-0.83154574	-0.01576424	-0.083122785	-0.0105772129	-2.075548e-03
22	0.6569494	-0.36417280	-0.56011527	-0.29591312	-0.35480927	0.163993133	-0.0031490561	3.464282e-03
23	-3.5109280	3.10726112	0.09015315	2.07618840	0.01092674	0.083952380	-0.0014827506	1.597251e-03
24	3.0772188	0.95843932	0.05797870	0.07579613	0.08856533	0.093424392	0.0025621510	-1.141334e-03
25	0.2910663	-0.59742591	-0.69911589	-0.70729633	-0.30975187	0.089067234	-0.0074657570	2.117285e-03

Рис. 3.14 Факторні оцінки

Джерело: складено автором

Отже, головні компоненти інтерпретуються так:

1. Фінансова стійкість та контроль: ця група включає фактори, що відображають рівень автономії, незалежності та фінансової стабільності компанії.
2. Інвестиційний потенціал: ця група включає фактори, що відображають рівень інвестування та маневреність робочого капіталу, що може вказувати на здатність компанії до ефективного використання своїх ресурсів.
3. Фінансова структура: ця група включає фактори, що відображають співвідношення залученого і власного капіталу та рівень фінансової залежності компанії. Ці показники можуть бути важливими для оцінки ризиків зміни рівня заборгованості компанії.

Хотілось би зазначити, якщо порівняти дані результати з багатокутником конкурентоспроможності на рис. 3.1, то можна зробити висновок, що наприклад ПАТ «ЕК «Барвінок» за критеріями комерційної діяльності займав останнє місце, хоча має достатній рівень фінансової стійкості. А ось ТОВ «Юнайтед Енерджі» має більш високі показники за комерційною діяльністю, проте знаходиться у кластері з низьким рівнем фінансової стійкості. Аналогічно з ТОВ «ЕНЕРДЖІ 365», який знаходиться в лідерах за комерційними показниками, проте має низький рівень фінансової стійкості. АТ «ДТЕК» є лідером у всіх рейтингах. Отже, два різні дослідження можуть показати різний розподіл енергетичних підприємств. Саме тому важливо аналізувати підприємства за різними показниками, як фінансовими, так і комерційними.

Отже, після проведеного аналізу фінансового стану підприємств енергетичної галузі, можна зробити висновок про те, що їх фінансовий стан є стабільним і задовільним в цілому, оскільки 84% компаній відносяться до кластеру компаній з високим і достатнім рівнем фінансової стійкості. Хоча необхідно звернути увагу на те, що рівень фінансової незалежності компаній найбільш «високого» кластеру є близьким до порогового, який дорівнює 0,5, а також близьку «розміщеність» компаній другого кластера до «критичного» кластеру за компонентою, яка пояснює 55,5% дисперсії показників фінансової стійкості. Отримані результати свідчать про необхідність розробки відповідних превентивних стратегій фінансової стабілізації [61].

## ВИСНОВОК

Енергетична галузь - одна з найголовніших галузей в економіці країни. Її становище та розвиток грають вирішальну роль в економічному, політичному стані нашої країни. Україна володіє необхідними ресурсами для розвитку зеленої енергетики та заміщення неекологічних паливно-енергетичних ресурсів. Енергетичний комплекс України має великий потенціал, і на даний момент держава може забезпечувати електроенергією сама себе та навіть якийсь обсяг експортувати. Проте проблеми нового ринку, а саме монополізація у галузі, великі борги, а сьогодні ще й воєнна агресія сусідньої держави – не дозволяють повноцінно функціонувати та розвиватися енергетичному ринку.

Рекомендується споживачам перерозподіляти масштаби споживання електроенергії на позапікові години для розвантаження мереж. Саме такі висновки можна зробити після отриманих результатів аналізу динаміки індексів РДН та середньозваженої ціни на електроенергію за допомогою ARIMA моделі. Проте такий підхід більш вигідний для великих підприємств, щодо малих – потрібні додаткові заходи з боку держави.

Було побудовано дві моделі динаміки обсягів споживання, виробництва електроенергії, розраховано прогноз, проаналізовано сьогоднішній стан згаданих показників. Розглянуто розвиток енергетичної галузі після реформ, розкриті наслідки реалізації концепції «нового ринку».

Також була розроблена багатофакторна регресійна модель експорту електроенергії, де було визначено чинники впливу на обсяг експорту. На жаль, зберігалась тенденція зниження експорту. А у 2022 році держава заборонила експорт через недостачу електроенергії на внутрішньому ринку. Дуже важливо зберігати продаж саме цього виду ресурсу закордон, бо ціна на європейському ринку більш велика, саме це приносить великі прибутки енергетичним підприємствам, а значить і для країни в цілому.

У завершенні було проаналізовано фінансову стійкість підприємств енергетичної галузі за допомогою кластерного аналізу. Результати показали, що більшість підприємств мали достатній рівень фінансової стійкості, але наблизений

до критичного рівня. Дуже важливо для цих підприємств розробити превентивні стратегії фінансової стабілізації.

Залишається сподіватись, що структура паливно-енергетичного комплексу залишиться незмінною, усі об'єкти комплексу залишаться українськими, на стрімкий розвиток галузі після перемоги, усунення негативних наслідків реформування галузі, а також, що ринок електроенергії в Україні розвиватиметься відповідно до ринкових законів, що відповідають стандартам сучасної європейської держави.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Базилевич В. Ринкова економіка: Основні поняття і категорії. Навчальний посібник / В. Базилевич, К. Базилевич. - К.: Знання, 2010. - 263 с
2. Торгова Енергетична Компанія. Основные элементы нового рынка электроэнергии – [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://tek.energy/ru/news/osnovnye-elementy-novogo-rynka-elektroenergii-rynok-sutki-vpered>
3. Про схвалення Концепції функціонування та розвитку оптового ринку електричної енергії України [Електронний ресурс]: Закон України від 16.11.2002 р. № 1789: станом на 19 квіт. 2023 р. – Режим доступу: [https://zakononline.com.ua/documents/show/235916\\_235981](https://zakononline.com.ua/documents/show/235916_235981)
4. Тарасюк Т.О. Ринок електроенергії в Україні – [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://pravo.ua/articles/rynok-jelektrojenergii-in-ukraine/>
5. Про затвердження правил ринку [Електронний ресурс]: постанова НКРЕКП від 14 березня 2018 р. № 307 зі змінами: станом на 19 квіт. 2023 р. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0307874-18#Text>(дата звернення: 19.04.23). – назва з екрана
6. Вербинський В. Ринок електроенергії в Україні. Проблеми вдосконалення / В. Вербицький, О. Шевцов, М. Земляний // Регіональний філіал НІСД у м. Дніпропетровську. – 2010. – С.48-52.
7. Про ринок електричної енергії [Електронний ресурс]: Закон України Відомості Верховної Ради (ВВР), 2017, № 27-28, ст.312 станом на 19 квіт. 2023 р. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19#Text> (дата звернення: 19.04.23). – назва з екрана.
8. СЕРЕДНЬОЗВАЖЕНА ЦІНА АКЦЕПТОВАНОЇ НА РДН ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ – [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://www.oree.com.ua/index.php/newsctr/n/2041>
9. Дефіцит енергії та ризик відключень– [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://www.radiosvoboda.org/a/ukraine-energy-risk-of-blackout-cabmin-russia-akhmetov--kolomoysky/31089501.html>

10. Чем запомнился 2019 год в украинской электроэнергетике? – [Электронный ресурс] — Режим доступа: [https://elektrovesti.net/69002\\_sozdanie-novogo-rynka-shantazh-snizhenie-tsen-i-defitsit-chem-zapomnilsya-2019-god-v-ukrainskoy-elektroenergetike](https://elektrovesti.net/69002_sozdanie-novogo-rynka-shantazh-snizhenie-tsen-i-defitsit-chem-zapomnilsya-2019-god-v-ukrainskoy-elektroenergetike)
11. Суходоля О.М. Досвід реформування ринку електричної енергії в Україні / О.М. Суходоля // Стратегічні пріоритети. – 2014. – №1 (30). – С. 50-64.
12. Огляди ПЕК України від ВЕА [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://vse.energy/spec-projects/review-pek>
13. «Про внесення деяких змін до законів України щодо відновлення енергетичної безпеки та зеленої трансформації енергетичної системи України» [Електронний ресурс]: Пояснювальна записка до проекту Закону України від 03.03.2021 р. № 179: станом на 19 квіт. 2023 р. – Режим доступу:
14. Виробництво електроенергії в Україні – [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://vse.energy/news/pek-news/electro/1967-power-generation-202201>
15. Споживання електроенергії в Україні – [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://vse.energy/news/pek-news/electro/1968-ee-cons-01>
16. Як змінювались експорт та імпорт електроенергії в Україні – [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://www.slovoidilo.ua/2022/02/23/infografika/suspilstvo/yak-zminyuvalys-eksport-ta-import-elektroenerhiyi-ukrayini-2014-roku>
17. Светуньков С.Г., Светуньков І.С. Методи соціально-економічного прогнозування: посібник для вузів. Том II. – СПб.: Вид. СПГУЕФ, 2010. – 103 с
18. Shumway, R. H., & Stoffer, D. S. (2017). Time Series Analysis and Its Applications: With R Examples. Springer.
19. Box, G. E. P., Jenkins, G. M., & Reinsel, G. C. (2015). Time Series Analysis: Forecasting and Control. Wiley.
20. Канторович Г.Г. Анализ временных рядов / Г.Г. Канторович // Экономический журнал ВШЭ. – 2010. – Т. 6, No1. – С. 85-117; Т. 6, No2. – С. 251-273; Т. 6, No3. – С. 379-401

21. Дзюбановська Н. В., Ляшенко О. М. Застосування ARIMA-моделей для прогнозування динаміки зовнішньої торгівлі України. Причорноморські економічні студії. 2018. Випуск 35. Ч. 1. С. 142-147.
22. Прогнозування за допомогою моделей ARIMA см. В кн.: Діброва Т. Л. Статистичні методи прогнозування. М.: ЮНИТИ, 2011. С. 178-184.
23. Моделі оцінки и аналізу складних соціально-економічних систем / под ред. В. С. Пономаренко, Т. С. Клебанова, Н. А. Кизима. – Харків : ІД "ІНЖЕК", 2013. – 659 с.
24. Кравець Т.В. Рейтингове оцінювання діяльності підприємств за допомогою модифікованого методу кластеризації / Т.В. Кравець, Г.М. Кузнецов // Держава та регіони. Серія: Економіка та підприємництво. - 2010. - № 6. - С. 173 - 180.
25. Пістунов І. М. Кластерний аналіз в економіці: навч. посіб. / І.М. Пістунов, О.П. Антонюк, І.Ю. Турчанінова. — Дніпропетровськ : Нац. гірн. ун-т, 2012. — 84 с.
26. Гур'янова Л.С. Економетрика: навчальний посібник для студентів напряму підготовки «Економічна кібернетика» всіх форм навчання / Л.С. Гур'янова, Т.С. Клебанова, О.А. Сергієнко, С.В. Прокопович. – Х.: ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2015. – 380.
27. Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2018). "Forecasting: principles and practice." OTexts: Melbourne, Australia. Available online at <https://otexts.com/fpp2/>.
28. Аналіз РДН та ВДР. – [Електронний ресурс] —Режим доступу: [https://www.oree.com.ua/index.php/graphs\\_trading/month\\_rdn\\_main](https://www.oree.com.ua/index.php/graphs_trading/month_rdn_main)
29. Brockwell, P. J., & Davis, R. A. (2016). Introduction to time series and forecasting. Springer. – [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-29854-2>
30. Ugarte M.D., Militino A.F., Arnholt A.T. Probability and statistics with R. Boca Raton, London, New York: CRC Press, Taylor&Francis Group, 2018. 700 p.
31. На ринку електроенергії з'явився ціновий індикатор – [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://www.ueex.com.ua/presscenter/news/na-rinku-elektroenergii-zyavivsya-tsinovij-indikativ/>

32. РДН і ВДР у грудні 2021 року – [Електронний ресурс] —Режим доступу: <https://vse.energy/news/pek-news/electro/1936-price-ee-202112>
33. Торгівля електроенергією на РДН і ВДР – [Електронний ресурс] —Режим доступу: <https://vse.energy/spec-projects/infographpek/1640-rdn-vdr>
34. Індекс інфляції в Україні 2023 – [Електронний ресурс] —Режим доступу: <https://index.minfin.com.ua/ua/economy/index/inflation/>
35. European wholesale electricity price data – [Електронний ресурс] —Режим доступу: <https://ember-climate.org/data-catalogue/european-wholesale-electricity-price-data/>
36. Federal Reserve Bank of St. Louis – [Електронний ресурс] —Режим доступу: <https://fred.stlouisfed.org/series/POLLORSGPNOSTSAM#0>
37. Eurostat – [Електронний ресурс] — Режим доступу: [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/explore/all/envir?lang=en&subtheme=nrp&display=list&sort=category&extractionId=NRG\\_CB\\_EIM\\_custom\\_5202389](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/explore/all/envir?lang=en&subtheme=nrp&display=list&sort=category&extractionId=NRG_CB_EIM_custom_5202389)
38. Index Mundi Energy – [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://www.indexmundi.com/energy/>
39. Міністерство енергетики України: Інформаційна довідка про основні показники розвитку галузей ПЕК України – [Електронний ресурс] — Режим доступу: [https://www.mev.gov.ua/taxonomy/term/111?date\\_from=&date\\_to=2023-03-24&title=&page=10](https://www.mev.gov.ua/taxonomy/term/111?date_from=&date_to=2023-03-24&title=&page=10)
40. Індекс промислового виробництва – [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://index.minfin.com.ua/ua/economy/index/industrial/>
41. Чернишев В.Г. Економетричне моделювання регіональних ринків праці України / Окара Д.В., Чернишев В.Г., Шинкаренко В.М. // Збірник наукових праць Національного авіаційного університету «Проблеми системного підходу в економіці». – 2018. – Вип. 2. – С.164 – 170
42. Wooldridge, J. M. (2019). Introductory econometrics: A modern approach (7th ed.). Cengage Learning. – 2019. 435 p.
43. Експорт електроенергії з України – [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://www.ukrenergexport.com/uk/Electricity-Export>

44. Ковальчук Н. О. Фінансова стійкість вітчизняних підприємств як передумова їх стабільного функціонування / Н. О. Ковальчук, Т. В. Руснак // Глобальні та національні проблеми економіки. – 2016. – В. 11. – С. 368-371.
45. Пігуль Н.Г. Аналіз фінансової стійкості підприємств України. Приазовський економічний вісник. 2019. – Вип. 1. – С. 186-190.
46. Юрій Е.О. Дослідження фінансової стійкості в системі оцінки фінансового стану підприємства // Молодий вчений. 2017. Вип. 10. С. 1112-1117.
47. Рейтинг постачальників електроенергії. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://dixigroup.org/wp-content/uploads/2020/11/rejtynh-postachalnykiv-elektroenerhii-pilot-2020.pdf> (дата звернення: 21.04.23). – Назва з екрана.
48. Murtagh, F., & Legendre, P. (2014). Ward's hierarchical agglomerative clustering method: which algorithms implement ward's criterion? *Journal of Classification*, 31(3), 274-295.
49. Савельєва А.О. Фінансова стійкість підприємства та фактори, що впливають на неї / А.О. Савельєва // Матеріали XLVII науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 14-23 березня 2018 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fm/all-fm-2018/paper/view/3806/3169> (дата звернення: 21.02.2023).
50. Gao, P., Greenberg, R., & Wong-On-Wing, B. (2017). A comprehensive review of financial performance measures: A synthesis of literature and future directions. *Journal of Accounting Literature*, 38, 55-85.
51. Гончаренко, А. Ю., & Єфименко, О. В. Аналіз фінансової стійкості підприємства на основі факторного аналізу та регресійних моделей. *Науковий вісник Національного гірничого університету*, (5), 2015 р., 117-124.
52. Марусяк, В. В. Методи оцінки фінансової стійкості підприємств. *Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут"*, 2019 р., (42), 41-48.
53. Токарев О.М., Гук О.В. Фінансова стійкість підприємств як передумова його інноваційного розвитку / О.М. Токарев, О.В. Гук // *Сучасні підходи до управління підприємством: збірник наукових праць*. – Київ, 2018. С. 284-291.

54. Звітність українських підприємств. - [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zvitnist.com> (дата звернення: 21.04.23). – Назва з екрана.
55. Показники фінансової стійкості і стабільності підприємства та їх оцінка – [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://buklib.net/books/28029/>
56. Показники фінансової стійкості – [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://fin-admin.com/ua/fnansovij-analz/41-pokazniki-fnansovo-stjkost.html>
57. Овсяннікова А.О. Оцінювання фінансової стійкості та платоспроможності підприємства як інструменту контролю за його діяльністю. - Наука і вища освіта : тези доповідей XXIII Міжнар. наук. конф., м. Запоріжжя, 23 квітня 2015 р. / Класичний приватний університет. – Запоріжжя : КПУ, 2015. – 638 с.
58. Клебанова Т.С., Гур'янова Л.С., Чаговець Л.О., «Бізнес-аналітика багатовимірних процесів», ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2018 р., 271 с., – [Електронний ресурс] — Режим доступу: <http://ebooks.git-elt.hneu.edu.ua/babap/index.html>
59. Чаговець Л.О. Застосування методів Data Science у комплексному оцінюванні економічного розвитку регіонів / Л.О. Чаговець, С. В. Прокопович, В.А. Холод // Управління розвитком. - № 3. – 2020. – с. 43-56. Режим доступу: <http://www.repository.hneu.edu.ua/jspui/handle/123456789/25471>
60. Єдині та державні реєстри України. - [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://opendatabot.ua/registry>
61. Гур'янова Л.С. Моделі кластерного аналізу рівня фінансової стійкості підприємств енергетичного сектору / Л.С. Гур'янова, Д.І. Дерюгіна // тези доповідей XIV Міжнародна науково-практична конференція “Сучасні проблеми моделювання соціально-економічних систем”., м. Харків, 6-7 квітня 2023 р. – [Електронний ресурс] — Режим доступу: <https://mpsesm.org/book/2023/pages/sections/section01/page04.html>

## ДОДАТОК А

Таблиця А.1

Вхідні дані середньозваженої ціни на електроенергію та індексів РДН

Дата	Середньозважена ціна, грн/МВт,год	Індекс BASE, грн/МВт,год	Індекс PEAK, грн/МВт,год	Індекс Off- PEAK, грн/МВт,год
05.01.2022	2758,54	2551,07	3238,24	1863,91
12.01.2022	3010,50	2785,89	3593,49	1978,29
19.01.2022	2799,96	2602,67	3264,16	1941,18
26.01.2022	3262,38	2792,71	3983,92	1601,50
02.02.2022	2553,68	2393,69	3056,77	1730,60
09.02.2022	1971,05	1865,42	2667,21	1063,62
16.02.2022	2094,66	2029,16	2550,00	1508,33
23.02.2022	2455,01	2313,48	2946,67	1680,28
02.03.2022	2331,93	2223,82	2646,25	1801,40
09.03.2022	2318,80	2223,82	2646,25	1801,40
16.03.2022	2285,40	2223,82	2646,25	1801,40
23.03.2022	2268,17	2223,82	2646,25	1801,40
30.03.2022	2274,10	2223,82	2646,25	1801,40
06.04.2022	2370,12	2223,82	2646,25	1801,40
13.04.2022	2348,66	2223,82	2646,25	1801,40
20.04.2022	2315,93	2223,82	2646,25	1801,40
27.04.2022	2271,94	2223,82	2646,25	1801,40
04.05.2022	2335,20	2223,82	2646,25	1801,40
11.05.2022	2220,02	2223,82	2646,25	1801,40
18.05.2022	2347,27	2223,82	2646,25	1801,40
25.05.2022	2268,49	2223,82	2646,25	1801,40
01.06.2022	2281,50	2223,82	2646,25	1801,40
08.06.2022	2216,77	2223,82	2646,25	1801,40
15.06.2022	2351,67	2223,82	2646,25	1801,40
22.06.2022	2247,88	2223,82	2646,25	1801,40
29.06.2022	2344,64	2223,82	2646,25	1801,40
06.07.2022	2649,67	2497,91	2700,73	2295,09
13.07.2022	2694,89	2664,33	2834,38	2494,28
20.07.2022	2616,30	2594,94	2801,21	2388,66
27.07.2022	2720,63	2633,20	2803,21	2463,19
03.08.2022	3010,35	2910,41	3179,90	2640,92
10.08.2022	3012,58	2893,29	3209,83	2576,75
17.08.2022	2888,74	2838,63	3172,08	2505,17
24.08.2022	2998,39	2846,38	3149,92	2542,83
31.08.2022	3330,91	3129,29	3610,83	2647,75
07.09.2022	3329,50	3099,40	3547,67	2651,12

Закінчення табл. А.1

Дата	Середньозважена ціна, грн/МВт,год	Індекс BASE, грн/МВт,год	Індекс PEAK, грн/МВт,год	Індекс Off-PEAK, грн/МВт,год
14.09.2022	3670,14	3271,17	3875,67	2666,67
21.09.2022	3553,46	3303,46	3941,67	2665,25
28.09.2022	3579,89	3317,39	3968,42	2666,36
05.10.2022	3537,26	3295,67	3933,92	2657,43
12.10.2022	3641,91	3299,33	3966,25	2632,41
19.10.2022	3673,53	3331,58	3996,50	2666,67
26.10.2022	3474,63	3333,33	4000,00	2666,67
02.11.2022	3424,04	3124,12	3903,33	2344,91
09.11.2022	3458,98	3318,00	3974,19	2661,80
16.11.2022	3420,44	3316,49	3982,48	2650,51
23.11.2022	3411,44	3329,48	3996,37	2662,58
30.11.2022	3388,07	3295,73	3940,42	2651,04
07.12.2022	3412,26	3320,13	3984,86	2655,40
14.12.2022	3339,90	3322,71	3985,42	2660,00
21.12.2022	3412,73	3322,36	3980,42	2664,31
28.12.2022	3422,27	3322,33	3989,00	2655,67
04.01.2023	3523,36	3329,54	3999,33	2659,75
11.01.2023	3528,44	3330,04	4000,00	2660,08
18.01.2023	3514,94	3322,54	4000,00	2645,08
25.01.2023	3512,14	3332,58	3999,17	2666,00
01.02.2023	3402,25	3258,27	3916,58	2599,95
08.02.2023	3388,33	3250,53	3858,14	2642,92
15.02.2023	3272,11	3123,38	3796,92	2449,84

Таблиця А.2

## Вхідні дані обсягів продажу електроенергії на РДН

Дата	Обсяг продажів електроенергії, МВт.год
19.01.2022	40244,60
23.03.2022	41845,10
30.03.2022	41747,90
06.04.2022	41502,10
13.04.2022	39040,30
20.04.2022	44460,40
27.04.2022	44709,20
04.05.2022	42276,80
11.05.2022	47735,40
18.05.2022	49744,90
25.05.2022	59897,50
01.06.2022	57022,00
08.06.2022	51615,80



## Закінчення табл. А.2

Дата	Обсяг продажів електроенергії, МВт.год
15.06.2022	34572,90
22.06.2022	59479,80
29.06.2022	64858,90
06.07.2022	64610,00
13.07.2022	62273,00
20.07.2022	63202,90
27.07.2022	51169,70
03.08.2022	56079,80
10.08.2022	64788,20
17.08.2022	66693,00
31.08.2022	70092,80
07.09.2022	62218,40
14.09.2022	61606,40
21.09.2022	55263,20
28.09.2022	49793,20
05.10.2022	57753,00
12.10.2022	61574,50
19.10.2022	64914,20
26.10.2022	62934,90
02.11.2022	63951,70
09.11.2022	58343,00
16.11.2022	53890,40
23.11.2022	64021,30
30.11.2022	65713,70
07.12.2022	65836,20
14.12.2022	65246,70
21.12.2022	63888,20
28.12.2022	62399,20
29.12.2022	63405,40
30.12.2022	67074,60
31.12.2022	64045,90
01.01.2023	60815,00
02.01.2023	62570,30
03.01.2023	63163,70
04.01.2023	61842,10
05.01.2023	61387,80
06.01.2023	68809,70
07.01.2023	68777,70
08.01.2023	76056,80
09.01.2023	82256,60
10.01.2023	85139,50

## ДОДАТОК Б

Таблиця Б

Вхідні дані для побудови регресійної моделі експорту електроенергії в Україні

Період	Експорт енергії	Споживання енергії	Виробництво енергії	Індекс споживчих цін	Ціна на енергію (Угорщина)	Ціна на енергію (Польща)	ВВП Польщі	ВВП Угорщина	Індекс промислової продукції
09/2019	475,90	11117,80	11235,70	100,70	55,69	55,99	101,32	102,23	103,7
10/2019	618,00	12363,00	12373,90	100,70	56,94	53,17	101,23	102,22	106,5
11/2019	628,90	13073,20	13038,10	100,10	43,93	50,32	101,13	102,18	96,5
12/2019	713,60	14013,30	14219,50	99,80	41,08	44,55	101,02	102,10	98,1
01/2020	697,20	13970,40	14102,20	100,20	52,96	44,14	100,90	101,97	91,9
02/2020	740,30	13062,40	13249,40	99,70	39,84	40,87	100,78	101,76	101,1
03/2020	773,60	12691,50	13015,40	100,80	29,75	36,94	100,87	99,02	103,7
04/2020	237,90	11180,70	11264,80	100,80	25,32	33,30	94,80	92,20	87,6
05/2020	125,10	10781,00	10868,00	100,30	23,57	38,55	91,70	88,81	103,5
06/2020	102,30	10845,90	10926,00	100,20	30,02	48,39	93,27	91,41	104,4
07/2020	133,00	11460,30	11565,70	99,40	36,69	48,98	94,82	94,00	104,2
08/2020	136,60	11273,70	11398,30	99,80	37,63	52,29	96,38	96,58	96,5
09/2020	467,00	10862,70	11277,50	100,50	45,72	53,74	96,15	96,84	104,5
10/2020	497,30	11831,20	12193,00	101,00	39,32	52,19	95,96	97,11	105,6
11/2020	478,90	13389,30	13706,10	101,30	48,92	53,55	95,73	97,22	101,2
12/2020	329,40	15083,60	15281,20	100,90	58,19	56,65	96,13	97,29	102,7
01/2021	51,86	14215,70	14450,70	101,30	56,39	54,79	96,49	97,30	84,3
02/2021	6,61	14103,00	13127,90	101,00	50,86	58,89	96,89	97,43	100,3
03/2021	504,10	14058,70	14430,10	101,70	55,05	59,63	97,35	97,67	111,1
04/2021	379,90	12352,40	12686,50	100,70	62,97	59,36	97,89	97,97	97,0
05/2021	460,00	11291,90	11715,90	101,30	59,94	65,65	98,42	98,31	97,2
06/2021	362,40	11054,00	11405,00	100,20	77,94	76,23	98,64	98,65	100,2
07/2021	366,30	12204,10	12573,40	100,10	95,15	82,34	98,84	98,99	103,4
08/2021	344,10	11929,00	12241,20	99,80	109,06	82,40	99,13	99,33	96,8
09/2021	304,30	11434,20	11735,20	101,20	135,13	102,24	99,48	99,66	102,7
10/2021	246,60	13071,90	13346,80	100,90	197,29	103,23	99,89	99,97	108,0

## ДОДАТОК В

Таблиця В1

## Фінансові показники енергетичних компаній

Підприємства	Коефіцієнт автономії	Коефіцієнт фінансової залежності	Коефіцієнт фінансової стабільності	Коефіцієнт маневрості робочого капіталу	Коефіцієнт співвідношення залученого і власного капіталу	Коефіцієнт незалежності	Коефіцієнт концентрації позикового капіталу	Коефіцієнт інвестування
ПАТ «ЕК Барвінок»	0,2508	3,9868	0,3348	0,9962	2,9868	0,3348	0,7492	262,4975
ПРАТ «Харківенергозбут»	0,0596	16,7700	0,0563	-1,3246	17,7700	0,0563	1,0596	2,3712
ТОВ «Полтаваенергозбут»	0,1155	8,6616	0,1305	1,1704	7,6616	0,1305	0,8845	16,3672
ТОВ «Хмельницьке нергозбут»	0,0363	27,5434	0,0377	0,2140	26,5434	0,0377	0,9637	0,9931
ТОВ «Черкасиенергозбут»	0,0737	13,5704	0,0796	0,5484	12,5704	0,0796	0,9262	2,2143
ТОВ «Львівенергозбут»	0,2513	3,9800	0,3356	0,6669	2,9800	0,3354	0,7490	2,4781
ТОВ «Еру Трейдинг»	0,1674	5,9748	0,2010	1,2985	4,9748	0,2010	0,8326	135,9583
ТОВ «АС ЕНЕРГІЯ ГЛОБАЛ»	0,2757	3,6275	0,2161	1,3847	4,6275	0,2161	1,7200	120,2571
ТОВ "ЕНЕРГО-ГАЗ"	0,2156	4,6384	0,2748	0,9639	3,6384	0,2748	0,7822	27,7102
ТОВ «ЕНЕРДЖІ ТРЕЙД ГРУП»	0,1617	6,1825	0,1392	-2,4111	7,1825	0,1392	1,1503	0,2164
ТОВ «ЗАПОРІЖЖЯ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ»	0,0923	10,8378	0,0845	-0,8471	11,8378	0,0843	1,0947	31,1705
ТОВ «ОДЕСЬКА ОБЛАСНА ЕНЕРГОПОСТАЧАЛЬНА КОМПАНІЯ»	0,0882	11,3423	0,0967	0,6571	10,3423	0,0966	0,9131	2,6210
ТОВ «МАКСІ ЕНЕРДЖІ»	0,0465	21,4877	0,0488	0,9485	20,4877	0,0484	0,9498	19,4160
ТОВ «ЕНЕРДЖІ СЕЙВІНГ СОЛЮШН»	0,0281	35,6364	0,0289	0,2387	34,6364	0,0289	0,9716	1,3136

## Продовження табл. В1

Підприємства	Коефіцієнт автономії	Коефіцієнт фінансової залежності	Коефіцієнт фінансової стабільності	Коефіцієнт маневрності робочого капіталу	Коефіцієнт співвідношення залученого і власного капіталу	Коефіцієнт незалежності	Коефіцієнт концентрації позикового капіталу	Коефіцієнт інвестування
ТОВ «ЕНЕРГОЗАХІД»	0,2233	4,4778	0,2875	0,9054	3,4778	0,2875	0,7735	10,5760
ТОВ «ЛИМАНСЬКА ЕНЕРДЖИ 2»	0,1734	5,7655	0,2098	2,8747	4,7655	0,2098	0,8265	0,8646
АТ «Концерн Галнафтогаз»	0,5177	1,9316	1,0254	-0,3001	0,9753	1,0254	0,5035	0,5902
ТОВ «Новаагро»	0,4907	2,0381	0,9633	0,0143	1,0381	0,9630	0,4919	0,5244
АТ "ДТЕК Дніпровські електромережі"	0,5663	1,7659	1,3057	-0,1526	0,7659	1,2832	0,4412	0,7688
ТОВ "ВЕРАКС ЕНЕРДЖИ"	0,4498	2,2233	0,8174	0,8771	1,2233	0,8099	0,5553	8,1375
ТОВ "АКВАРЕСУРС-1"	0,4690	2,1324	0,8831	-0,9341	1,1324	0,8790	0,5336	0,5170
ТОВ "Юнайтед енерджі"	0,0195	51,1804	0,0199	0,9922	50,1804	0,0199	0,9795	127,8900
ТОВ «ЕНЕРДЖІ 365»	0,0115	86,8343	0,0117	0,3695	85,8343	0,0116	0,9886	1,5861
ТОВ «НЬЮ ЕНЕРДЖІ ХОЛДИНГ»	0,0482	20,7284	0,0507	-16,3889	19,7284	0,0507	0,9510	0,0575
ТОВ "СОЛАРЕНЕРГО"	0,0159	62,7545	0,0162	-21,0437	61,7545	0,0162	0,9841	0,0454