

Євдокімов В.А.

Математичне та інформаційно-технологічне забезпечення комп'ютерної системи моделювання процесів ціноутворення енергоринку

Монографія



НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова

Євдокімов Володимир Анатолійович

**МАТЕМАТИЧНЕ ТА ІНФОРМАЦІЙНО-
ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ
МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ
ЦІНОУТВОРЕННЯ ЕНЕРГОРИНКУ**

МОНОГРАФІЯ

Вінниця
«Європейська наукова платформа»
2023

Відповідальний редактор:

ОСТАПЧЕНКО Константин Борисович кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних систем та технологій Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Рецензенти:

БЛІНОВ Ігор Вікторович доктор технічних наук, завідувач відділу моделювання електроенергетичних об'єктів та систем, заступник директора Інституту електродинаміки НАН України з наукової роботи.

ВИННИЧУК Степан Дмитрович доктор технічних наук, професор, завідувач відділу моделювання енергетичних процесів і систем Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України.

УЦАПОВСЬКИЙ Константин Валерійович доктор економічних наук, Голова Національної комісії, що здійснює державне регулювання в сферах енергетики та комунальних послуг.

БОРИСЕНКО Андрій Володимирович доктор технічних наук, професор кафедри теплоенергетичних установок теплових та атомних електростанцій Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського».

Євдокімов В.А.

Є 15 Математичне та інформаційно-технологічне забезпечення комп'ютерної системи моделювання процесів ціноутворення енергоринку : монографія / В. А. Євдокімов, під ред. К. Б. Остапченко. — Вінниця, Україна : Європейська наукова платформа, 2023. — 136 с.

ISBN 978-617-8126-95-7

DOI 10.36074/Yevdokimov-monograph.2023

Монографію присвячено дослідженням проблемі математичного моделювання процесу ціноутворення на ринку електроенергії. Розглянутий процес ціноутворення як результат взаємопов'язаної взаємодії функціональних підсистем, елементарних вузлів, вузлових точок ринку на яких формуються потоки децентралізованого організаційного (потік регуляторних впливів), технологічного (потік енергії), економічного (потік фінансів) та інформаційного (потік показників стану ринку і зовнішнього середовища) управління, які забезпечують функціонування процесу динамічного ціноутворення. Його відмінність визначається способом декомпозиції складної організаційно-технічної системи ціноутворення, яка базується на реально взаємопов'язаних процесах фізичного потокорозподілу енергії та економічного потокорозподілу. Запропоновано нові засоби математичного та комп'ютерного моделювання процесів функціонування системи ціноутворення, шляхом побудови алгоритмічних та імітаційних моделей досліджуваних процесів формування цін та інформаційно-технологічного забезпечення для застосування в програмно-апаратній комп'ютерній системі моделювання із розвинутими засобами змістовної обробки даних і користувацького інтерфейсу задля організації всебічного дослідження процесу ціноутворення та підвищення продуктивності вирішення завдань удосконалення діючих та розробки нових механізмів управління процесом ціноутворення.

Монографія призначена для наукових співробітників, спеціалістів та фахівців в галузі знань інформаційні технології, розробки яких пов'язані з побудовою математичних моделей та інформаційно-технологічного забезпечення задля дослідження процесів функціонування ринку електричної енергії та ціноутворення на ньому, аспірантів та студентів вищих навчальних закладів відповідних спеціальностей - електрична інженерія, енергоменеджмент, інформаційні технології.

Монографія підготовлена за результатами досліджень, які проводилися за проектами «Розвиток теорії побудови системи підтримки прийняття рішень щодо формування торгових заявок з поставки електроенергії генеруючими компаніями», (шифр: «Генерація»), державний реєстраційний № 0115U004341; Теоретико-ігрові моделі та методи мінімізації ризиків для систем підтримки прийняття рішень з управління попиту на ринку електроенергії (шифр: «Потенціал»), державний реєстраційний № 0121U000392; «Розроблення системи моделювання ОЕС України з великими частками обсягів виробництва електроенергії енергоблоками АЕС та енергетичними установками, що використовують ВДЕ» (Підтримка пріоритетних для держави наукових досліджень і науково-технічних (експериментальних) розробок Відділення фізико-технічних проблем енергетики НАН України на 2022 - 2023 рр., (шифр «Модель ОЕСУ», державний реєстраційний № 0122U002122.

УДК 004.94:621.311.001.57

ISBN 978-617-8126-95-7

© Євдокімов В.А., 2023
© ГО «Європейська наукова платформа», 2023

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	5
ПЕРЕДМОВА	7
РОЗДІЛ 1.	
ПРОЦЕС ЦІНОУТВОРЕННЯ НА РИНКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІИ	14
1.1. Аналіз досліджень проблем розвитку ринку електроенергії	14
1.2. Формальний опис системи управління процесом ціноутворення	18
1.3. Проблеми функціонування системи ціноутворення	22
РОЗДІЛ 2.	
МАТЕМАТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ЦІНОУТВОРЕННЯ	32
2.1. Обчислювальний метод вузлової трансформації процесу ціноутворення на ринку електроенергії	32
2.1.1. Опис процесу ціноутворення	32
2.1.2. Стадії технологічного процесу ціноутворення	38
2.1.3. Формалізація процесу ціноутворення	39
2.1.4. Обчислювальні процедури динаміки процесу ціноутворення	41
2.1.5. Обговорення результатів	49
2.2. Математичне моделювання рівноваги на сегменті ринку «на добу наперед»	51
2.2.1. Математична модель задачі	51
2.2.2. Алгоритм розв'язку	59
2.3. Алгоритмічна модель розрахунку ціни та обсягів в пропозиціях ТЕС	62
2.3.1. Припущення моделі	62
2.3.2. Ціни пропозиції блоку ТЕС	63
2.3.3. Обсяги електроенергії в пропозиціях ТЕС	65
2.3.4. Аналіз результатів обчислювальних експериментів	65
РОЗДІЛ 3.	
ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ЦІНОУТВОРЕННЯ	69
3.1. Комп'ютерні системи моделювання процесів прийняття рішень системою ціноутворення ринку електричної енергії	70
3.1.1. Організаційна модель інформаційно-технологічного забезпечення процесів прийняття рішень	72
3.1.2. Концептуальна модель інформаційно-технологічного забезпечення процесів прийняття рішень	74

3.2. Інформаційне забезпечення адаптивної системи підтримки прийняття рішень.....	76
3.2.1. Аналіз подання процесів функціонування системи організаційного управління.....	76
3.2.2. Інформаційна модель предметної області.....	82
3.2.3. Функціональна організація інформаційно-технологічного забезпечення.....	86
3.3. Організація інтерфейсу користувача	91
3.3.1. Класифікація операцій взаємодії з об'єктами предметної області	91
3.3.2. Функціональні модулі інтерфейсів користувача.....	94
3.4. База даних процесів ціноутворення ринку електричної енергії.....	96
3.4.1. Принципи побудови бази даних-процесів ціноутворення ринку	96
3.4.2. Опис інформаційної логічної моделі бази даних.....	98
3.4.3. Опис масиву даних бази даних моніторингу динаміки розвитку альтернативної електроенергетики.....	102

РОЗДІЛ 4.

КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ЦІНОУТВОРЕННЯ ЕНЕРГОРИНКУ.....	111
4.1. Аналіз стану сучасних досліджень із створення комп'ютерних систем моделювання процесів управління ринком електроенергії	111
4.2. Функції системи моделювання.....	117
4.3. Інформаційно-моделююча система аналізу процесів ціноутворення ринку електричної енергії.....	119
4.3.1. Концептуальна модель інформаційно-моделюючої системи.....	119
4.3.2. Інтерфейси інформаційно-моделюючої системи.....	122
4.4. Інтерфейс користувача з формування торгових стратегій купівлі та продажу електричної енергії	127

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	130
----------------------------------	-----

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АЕС	– атомна електростанція;
БД	– база даних;
БР	– балансуючий ринок;
ВДР	– внутрішньодобовий ринок;
ВЕС	– вітроелектростанція;
ВДЕ	– відновлювані джерела енергії;
ГЕС	– гідроелектростанція;
ГК	– генеруючі компанії;
ГУ	– генеруючі установки;
ЕЕ	– електрична енергія;
ЄС	– Європейський союз;
ІМС	– інформаційно-моделююча систем
ЛЕС	– локальна електроенергетична система;
Міненерго	– Міністерство енергетики;
НАЕК «Енергоатом»	– Національна атомна енергогенеруюча компанія «Енергоатом»;
НЕК «Укренерго»	– Національна енергетична компанія «Укренерго»;
НКРЕКП	– Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг;
ОЕС	– об'єднана електроенергетична система;
ОМГ	– об'єкт малої генерації;
ООМ	– об'єктно-орієнтоване моделювання;
ОР	– оператор ринку;
ОРЕ	– оптовий ринок електроенергії;
ОСП	– оператор системи передачі;
ОСР	– оператор системи розподілу;
ПЗ	– програмне забезпечення;
ПОН	– постачальник останньої надії;
Про	– предметна область;
ПСЗ	– право соціального забезпечення;

ПУП	– постачальник універсальних послуг;
РДД	– ринок двосторонніх договорів;
РДН	– ринок «на добу наперед»;
РДП	– ринок допоміжних послуг;
СЕС	– сонячна електростанція;
СО	– системний оператор;
СОТС	– складна організаційно-технічна система;
СОУ	– система організаційного управління;
СППР	– система підтримки прийняття рішень;
ТЕС	– теплова електростанція;
ТЕЦ	– теплоелектроцентраль.

ПЕРЕДМОВА

Перехід до нової моделі ринку електричної енергії (ЕЕ) України побудованого з дотриманням вимог Директиви 2009/72/ЄС (*“Directive of the European Parliament and of the Council of 13 July 2009 concerning common rules for the internal market in electricity”*) [1] та відповідно до Закону України «Про ринок електричної енергії» [2] є закономірним результатом його розвитку згідно прийнятої раніше Концепції функціонування та розвитку оптового ринку електроенергії (ЕЕ) України. І разом з тим, частиною загальної тенденції зміни основних принципів функціонування ринків ЕЕ в країнах Європейського союзу (ЄС), США, Австралії і багатьох інших. Процес реформування ринку ЕЕ України відповідно до світових тенденцій розвитку енергоринків, що почався ще в наприкінці 90-х років, завершився переходом з 01.07.2019 р. до відомої моделі його організації «Конкуренція на всіх рівнях».

Таке перетворення організації ринку ЕЕ, призвело до кардинальних змін в системі оперативно-технологічної, інформаційної та організаційно-економічної взаємодії суб'єктів ринку. Але особливо відчутно ці зміни проявляються в частині ринкового ціноутворення на ЕЕ і особливо при застосуванні регуляторних механізмів встановлення тарифів для компаній відновлюваної енергетики, енергопідприємств віднесених до категорії природних монополій, на надання енергопідприємствами системних послуг з метою забезпечення стійкості енергосистеми, тарифів для кінцевих споживачів.

У цих умовах, які можна назвати умовами розвитку ринкового ціноутворення на ЕЕ, питання з приводу формування цін продажу ЕЕ виробниками для подальшої подачі у вигляді торгових заявок на різні сегменти ринку ЕЕ є одними з найбільш важливих. Оскільки багато в

чому визначають фінансові результати їх роботи на ринку ЕЕ. У зв'язку з цим в нових умовах функціонування ринку ЕЕ постає питання розроблення та дослідження методичного інструментарію для підготовки і прийняття рішень про ціни в торгових заявках на поставку ЕЕ та системних послуг на новоутворені сегменти ринку: «на добу наперед» (РДН); «внутрішньодобової ринок» (ВДР); ринок двосторонніх договорів (РДД); ринок допоміжних послуг (РДП); балансуючий ринок (БР). Саме на кожному з цих сегментів ринку існують свої особливості функціонування та ризики при формуванні рівноважних цін. В кінцевому підсумку це є питанням формування стратегії ціноутворення генеруючих компаній (ГК) на них і в цілому на ринку ЕЕ, яке набуває особливої важливості як в частині аналізу застосовуваних раніше методик, так і в частині розробки нових алгоритмів та методик на їх основі, що відповідають новим Правилам ринку [3, 4].

Системне управління складними організаційно-технічними системами (СОТС), що об'єднують множину взаємопов'язаних структурних підсистем і елементів, які взаємодіють між собою та з зовнішніми технічними і соціально-економічними системами в процесах ціноутворення в ринкових умовах, є комплексною проблемою, дослідженням якої присвячено багато робіт. У структурі галузей господарського комплексу держави можна виділити чимало таких СОТС: електроенергетика; теплоенергетика; видобутку та транспорту газу; та інші.

В умовах ринкової економіки кожна з цих СОТС зазнала ряд перетворень при реформуванні систем організаційного управління, викликаних створенням у зовнішньому середовищі нових ринків з відповідної структурою управління, на яких реалізується вироблена

ними продукція або послуга. Це зумовило необхідність створення в СОТС нових структурних підсистем організаційного управління, головною функцією діяльності яких є організація процесів ціноутворення (тарифоутворення) на ринках продукції і послуг, а в деяких — і розподіл доходу від реалізованої продукції відповідно до, встановлених на ринку, правил ціноутворення та методик тарифоутворення.

Об'єднання таких підсистем в єдине організаційне, оперативно-технологічне, економічне та інформаційне середовище в електроенергетиці, що забезпечує процеси конкурентного та (або) «соціально направленного» ціноутворення, є, по суті, окремою організаційно-технічною системою управління, і стає однією з найважливіших в системі взаємовідносин, що виникають між учасниками ринку під час здійснення операцій купівлі-продажу електроенергії та допоміжних послуг. З огляду на те, що в складі такого середовища утворюються нові підсистеми організаційного управління, інфраструктурні інформаційно-технологічні підсистеми і елементи на основі засобів обчислювальної техніки і телекомунікаційного устаткування, його також можна включити до класу СОТС. А технічною її основою стає об'єднана електроенергетична система (ОЕС). Тому що зміни в структурі виробництва і споживання електроенергії є визначальними в процесах ціноутворення та тарифоутворення.

Одним із пріоритетних напрямів стратегічного планування розвитку електроенергетичної галузі господарства у багатьох державах світу на сучасному етапі є перехід до застосування інтелектуальних технологій збору, зберігання, накопичення, змістовної переробки та передачі значно збільшених обсягів інформації. Зростання обсягів перероблюваної інформації обумовлено необхідністю створення якісно

нових засобів інформаційного забезпечення ускладнених процесів ціноутворення, організаційної, оперативно-технологічної та інформаційної взаємодії управління виробництвом, передачею, розподілом та постачанням електроенергії кінцевим споживачам. Ускладненість процесів інформаційного забезпечення характеризується одночасним впливом на зазначені процеси при прийнятті технічних рішень щодо управління технологічної взаємодії традиційних енергосистем та безперервно зростаючої кількості в регіональних енергосистемах об'єктів генерації електричної енергії різної потужності для власних потреб в домогосподарствах, що використовують для отримання електроенергії відновлювані джерела енергії.

У зв'язку з реалізацією плану розвитку енергетики відповідно до Енергетичної стратегії України на період до 2035 року [5], згідно з яким передбачається виконання основних складових концепції Smart Grid, що отримала назву 3D (декарбонізація, децентралізація, діджиталізація), задля перетворення електроенергетики України в інтелектуальну екологічно безпечну систему [6, 7], енергетична галузь переживає перехідний період, в рамках якого передбачається поетапне проведення значних змін у структурі виробництва електроенергії, з метою забезпечення споживачам доступу до надійних та сучасних джерел ЕЕ необхідної якості.

Необхідно зазначити також, що перетворення енергетичної галузі мають відбуватися з урахуванням вимог взятих Україною на себе міжнародних зобов'язань щодо переведення економіки на загальносвітовий шлях низьковуглецевого розвитку. У роботі [6, с. 9] стверджується, що стосовно енергетики «низьковуглецевий розвиток має супроводжуватися як економічним зростанням, так і

переформатуванням енергетичної системи на основі нових технологій, а також забезпеченням соціальної справедливості та зниженням капіталомісткості нових технологій». Тобто реалізація стратегії розвитку електроенергетики, із забезпеченням необхідних політичних умов, вимагатиме вирішення комплексу науково-технічних проблем, пов'язаних з технологічним, інформаційним, нормативним забезпеченням надійного функціонування ОЕС України разом із Європейською енергетичною системою ENTSO-E в ринкових умовах. У роботі [7] описано основні складові концепції 3D, а також запропоновано та обґрунтовано ключові науково-технічні заходи і засоби досягнення головної мети, а саме перетворення електроенергетики України в інтелектуальну екологічно безпечну систему на основі практичної реалізації основних принципів концепції Smart Grid. Особливу увагу приділено випереджаючому зростанню ролі децентралізованих локальних систем електропостачання, що отримали назву Microgrid, які фактично стають локальними енергетичними системами (ЛЕС). До їх структури входять зазвичай не тільки установки децентралізованої (розподіленої, розосередженої) малої генерації, але й цифрові вимірювальні пристрої, інформаційно-комунікаційне обладнання, що функціонально забезпечує виконання основних вимог до системи Microgrid як до централізованої енергосистеми задля інформаційного забезпечення керованості, гнучкості, стійкості та надійності постачання споживачів ЕЕ з необхідними показниками якості.

У роботі [8], на основі проведеного аналізу багатьох джерел, присвячених формуванню планів повоєнного відновлення та розвитку економіки України, (див., наприклад, [9, 10]), розглянуто можливі

сценарії відновлення енергетики. Серед основних проблем для роботи енергетичної галузі, поряд з ризиками технічного характеру та ресурсного забезпечення, виділено і проблему з ціноутворенням та недостатнім фінансуванням. Інакше кажучи, від своєчасного вирішення проблеми управління процесом ціноутворення, у частині підвищення продуктивності прийнятих рішень суттєво залежить залучення необхідних фінансових ресурсів.

Впровадження планів з розвитку структури виробництва в Україні мають передувати теоретичні та експериментальні дослідження процесів ціноутворення з використанням імітаційних моделей, результати яких можуть бути покладені в основу обґрунтування запровадження нових механізмів ціноутворення на ринку електроенергії з урахуванням особливостей структури виробництва, передачі та розподілу електроенергії.

Тобто реалізація стратегії розвитку електроенергетики, поряд із забезпеченням необхідних політичних умов, вимагатиме вирішення комплексу науково-технічних проблем пов'язаних з технологічним інформаційним, нормативним забезпеченням надійного функціонування ОЕС України разом із Європейською енергетичною системою ENTSO-E в ринкових умовах. Прийняття рішень щодо практичної реалізації основних напрямів стратегії в частині будівництва нових генеруючих потужностей також потребує пошуку науково підтверджених та збалансованих, у сенсі раціонального та економічно обґрунтованого розміщення нових об'єктів атомної, альтернативної генерації з використанням відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), накопичувачів енергії з метою залучення масштабних інвестицій для прискорення впровадження інноваційних рішень на основі

застосування надійних, ефективних та стійких технологій інтелектуальних електричних мереж.

Проблемі ціноутворення на ринках електроенергії у багатьох країнах світу і, зокрема, у тих з них, у яких реалізована десятиліттями раніше, ніж чинна в Україні модель ринку з умовною назвою "Конкуренція на всіх рівнях", як однією з ключових проблем розвитку ринку, присвячено дуже багато робіт. А їхнім оглядам, класифікації застосовуваних нових підходів, у тому числі і мультиагентного, та інших методів аналізу процесів ціноутворення, прогнозу основних показників функціонування ринку – десятки таких робіт. І цей потік не зменшується. Ця обставина дозволяє зробити висновок про те, що проблема підвищення продуктивності прийняття рішень в напрямку формування нових та удосконалення діючих механізмів ціноутворення на ринку електроенергії є актуальною та потребує вирішення комплексу взаємопов'язаних задач математичного і комп'ютерного моделювання процесу ціноутворення, розробки інформаційно-технологічного та інформаційно-аналітичного забезпечення дослідження процесів у системах ціноутворення на сучасному етапі розвитку електроенергетики.

РОЗДІЛ 1

ПРОЦЕС ЦІНОУТВОРЕННЯ НА РИНКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІИ

1.1. Аналіз досліджень проблем розвитку ринку електроенергії

Практичних проблем розвитку ціноутворення на ринку ЕЕ, які для вирішення потребують проведення теоретичних досліджень, існує дуже багато. Серед них є проблеми, пов'язані з підвищенням енергоефективності процесів виробництва, передачі і використання ЕЕ, з економічною диспетчеризацією виробництва передачі та розподілу ЕЕ, зі змінами структури виробництва і споживання ЕЕ тощо.

До числа важливих проблем розвитку ринку належить проблема управління попитом. У США і в країнах ЄС усвідомили необхідність наукового дослідження цієї проблеми і пошуку практичних рішень на основі застосування результатів теоретичних досліджень ще в кінці 70-х років минулого століття. Аналіз світової практики досліджень цієї проблеми і застосування результатів досліджень при вирішенні різних задач управління наведено в роботах [11, 12].

Ефективність практичного застосування розробленого методичного інструментарію, призначеного для вирішення різних задач управління попитом підтверджується переконливими прикладами. Так, наприклад, за даними, наведеними в роботі [11], з 1985 по 1995 рік понад 500 енергокомпаній в різних штатах США успішно застосували розроблений інструментарій та отримали економію 29 ГВт пікового навантаження. Середні питомі витрати на досягнення такого результату склали всього 2-3 центи на кіловат-годину, що було набагато нижче середньої ставки тарифу.

В Україні дослідженням даної наукової проблеми також присвячено чимало робіт. Наприклад, в роботі [13] надано детальний аналіз особливостей взаємодії виробників і споживачів ЕЕ в умовах функціонування нової моделі ринку ЕЕ в Україні, на основі якого зроблено висновок про необхідність удосконалення нової моделі ринку ЕЕ, запропоновано один з можливих механізмів управління режимами електроспоживання («управління попитом»).

Крім зазначеної проблеми багато ринків ЕЕ стикаються з проблемою появи безпосередньо в системі розподілу ЕЕ генеруючих установок (ГУ) розподіленої генерації, яка має флуктуаційні особливості. Виявлено і значні додаткові проблеми, які стосуються роботи ринку ЕЕ в цілому. Серед них наступні:

- організаційні, пов'язані з необхідністю регламентувати діяльність ГУ;

- організаційно-економічні, пов'язані з встановленням спеціальних тарифів купівлі-продажу виробленої ними ЕЕ на ринку;

- оперативно-технологічні з можливою неконтрольованою видачею ЕЕ в енергосистему і необхідністю підтримки «гарячого резерву» потужності ЕЕ для забезпечення балансу потужності виробництва і споживання ЕЕ;

- інформаційно-технологічні, пов'язані з необхідністю розвитку автоматизованої системи комерційного обліку енергії та інших автоматизованих систем управління технологічними процесами аж до рівня споживчої генерації.

Докладніший перелік організаційних, економічних та технічних проблем взаємодії ГУ з ЕЕ, які стосуються об'єктів розподіленої генерації

можна знайти в роботах [14-17]. Досвід дослідження зазначених проблем свідчить про те, що для їх аналізу, оцінки їх впливу на процеси ціноутворення на оптовому ринку ЕЕ (ОРЕ) і його сегментах необхідно використовувати імітаційні моделі. Більш детальний аналіз проблем з якими стикаються дерегульовані та децентралізовані ринки ЕЕ і причин їх виникнення наведено в роботах [18-20].

Серед проблем, що виникають, розглянуто такі: висока вартість впровадження моделі ринку; складна структура розподілу ринку на його сегменти; неминуча волатильність та маніпулювання спотових цін; маніпулювання окремими гравцями, здійснюване ринковою владою; неефективні інвестиції; складність зниження вартості генерації; непередбачуваність цін на ринках енергоресурсів; неокупність вартості виробництва ЕЕ часткою генеруючих потужностей (відновлювальна енергетика); нерівний розподіл доходів від реалізації спільно виробленої і поставленої споживачам продукції. Тому в багатьох країнах створюються імітаційні моделі функціонування ринків для проведення досліджень з урахуванням особливостей їх протікання, що уможливорює пошук найбільш раціональних і оптимальних механізмів розподілу доходів між сегментами ринку та безпосередньо їх суб'єктами. Для створення імітаційних моделей використовуються різноманітні методології та методи моделювання, комп'ютерні засоби та інформаційні технології [21].

Викладене вище свідчить про актуальність дослідження комплексної проблеми математичного та комп'ютерного моделювання організаційної, оперативно-технологічної та інформаційної взаємодії підсистем і елементів, що входять до СОТС ринку ЕЕ, з метою

підвищення ефективності механізмів їх функціонування в умовах децентралізованого управління, яке передбачає відсутність єдиного керуючого центру формування координаційних команд для кожного з елементів підсистем. На основі проведеного аналізу літературних джерел можна також зробити висновок про те, що залишається велика кількість невирішених проблем подальшого розвитку ринку ЕЕ. Серед них особливе значення має науково-практична проблема ціно- та тарифоутворення. Для її вирішення необхідно визначити систему взаємопов'язаних задач, реалізація яких із застосуванням нових технологій імітаційного моделювання та й інформаційно-комунікаційних технологій забезпечить підвищення обґрунтованості і якості прийнятих рішень. Теоретичні дослідження цієї проблеми тривають у багатьох країнах світу, що дозволяє зробити висновок про її важливість та про те, що від її вирішення, зрештою, залежить і вирішення інших проблем ринку ЕЕ та енергетики в цілому. Саме підвищення ефективності виробництва ЕЕ і енерговикористання, а також вирішення інших згаданих практичних проблем вдосконалення і розвитку ринків ЕЕ впливає на соціальний рівень розвитку держави.

Аналіз публікацій і досліджень показує, що до числа актуальних проблем математичного і комп'ютерного моделювання процесів ціноутворення в СОТС входять наступні: адекватний математичний опис процесів функціонування СОТС і розробка алгоритмічних моделей механізмів організаційної, оперативно-технологічної та інформаційної взаємодії між підсистемами і елементами, що їх утворюють; розвиток теорії побудови інтегрованих комп'ютерних систем організаційного управління СОТС, методів та засобів імітаційного моделювання

процесів управління в СОТС на основі застосування нових інформаційних технологій; підвищення ефективності механізмів функціонування СОТС при управлінні ними в швидкозмінних умовах існування і проведення інституційних змін у взаєминах між її підсистемами і з суб'єктами управління господарською діяльністю у зовнішньому середовищі.

Задля вирішення зазначених проблем виникає потреба створення нових засобів математичного моделювання, застосування інформаційних технологій, що дозволяють розробляти комп'ютерні імітаційні моделі, які адекватно відображають процеси функціонування СОТС, а також враховують особливості взаємодії досліджуваної СОТС із зовнішнім середовищем.

1.2. Формальний опис системи управління процесом ціноутворення

Для проведення теоретичних і прикладних досліджень будемо розглядати виділену підсистему ціноутворення, яка є складовою частиною великомасштабної СОТС, а саме ринок ЕЕ як окремий об'єкт організаційного управління. Її основою є технічна система - ОЕС, яка розглядається як зовнішнє середовище. Зміни в структурі виробництва і споживання ЕЕ в якій є визначальними в процесах ціноутворення та тарифоутворення.

Розглянемо формальний опис зазначеної підсистеми СОТС ринку ЕЕ, його організаційної системи, яка забезпечує цілеспрямовану взаємодію підсистем та елементів СОТС для вирішення функціональних задач управління ціноутворенням. Виділимо основні рівні і області їх взаємозв'язків з іншими елементами і суб'єктами господарювання

зовнішнього середовища, а також наведемо короткий перелік функціональних задач організаційного управління, вирішення яких має бути забезпечено відповідними органами управління системи для досягнення поставлених цілей управління ціноутворенням та розподілом доходів між суб'єктами ринку від реалізації продукту кінцевому споживачеві. На рис. 1.1 наведено структурну схему організаційно-технічної системи ціноутворення на ринку ЕЕ.

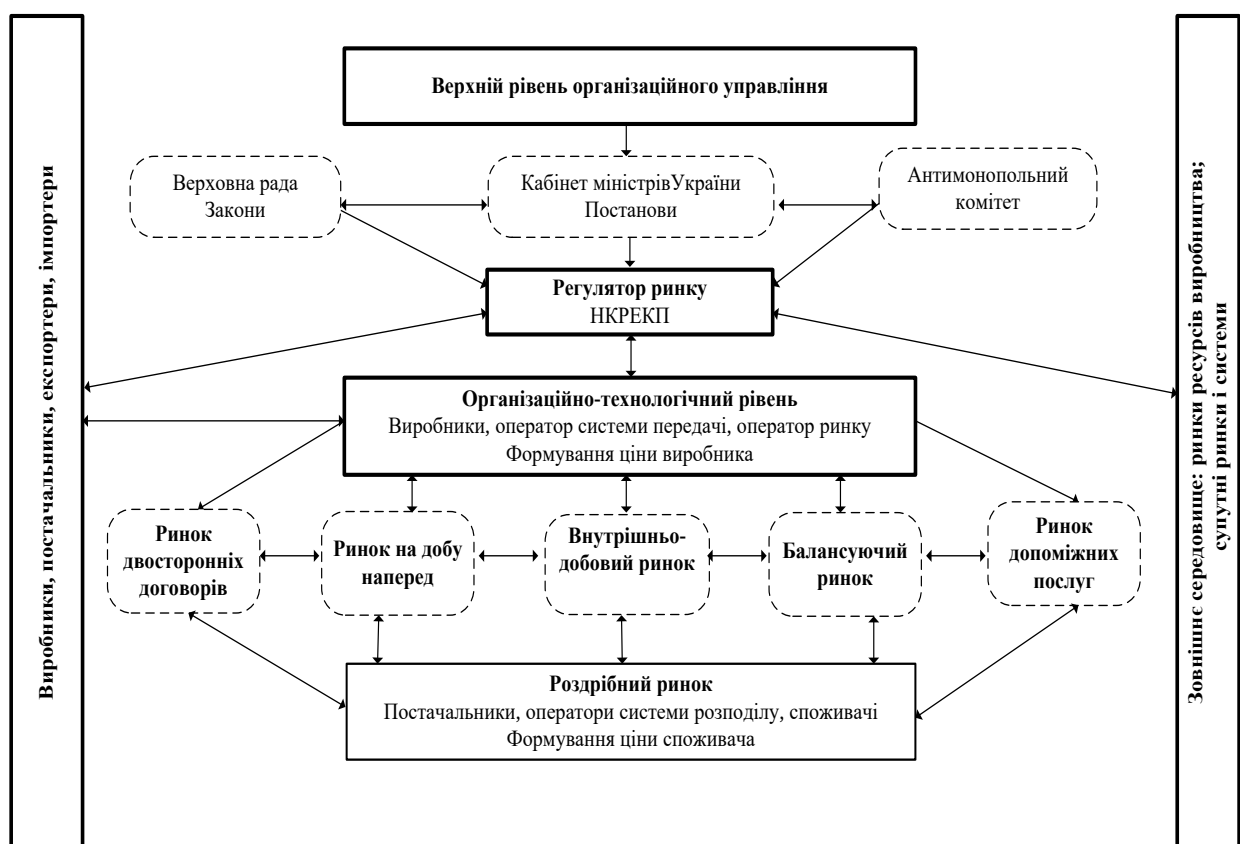


Рисунок 1.1. Структурна схема організаційно-технічної системи ціноутворення на ринку ЕЕ

Перший рівень, який назвемо Верхнім рівнем організаційного управління, утворюють органи державної влади, що забезпечують підготовку і прийняття законодавчих та нормативних (регуляторних)

актів для створення необхідних умов функціонування і розвитку ринку ЕЕ, максимально адекватних обстановці на міжнародному та державному рівнях, формування загальносистемних планів розвитку господарського комплексу держави та їх реалізацію.

Другий рівень — уповноважений Верхнім рівнем організаційного управління орган регулювання, Національна комісія що здійснює державне регулювання у сферах енергетики і комунальних послуг (НКРЕКП), — Регулятор ринку. На цьому рівні реалізуються функції і завдання децентралізованого організаційного управління, спрямовані на забезпечення необхідних умов стійкого розвитку і функціонування ринку ЕЕ в цілому. А також функції планування розвитку енергосистеми, формування та затвердження нормативно-правової бази у вигляді правил (регуляторних механізмів) взаємодії учасників ринку, в тому числі і правил ціноутворення, функції контролю виконання затверджених правил і процедур функціонування його підсистем і елементів на основі даних моніторингу.

Третій рівень — Організаційно-технологічний рівень управління утворюють підсистеми — сегменти ринку, що забезпечують управління процесами взаємоузгодженого оперативно-технологічного та інформаційного забезпечення процесів виробництва, передачі, розподілу та споживання спільно виробленої продукції, тобто ЕЕ, на ринку. А також управління процесами формування балансів виробництва і споживання ЕЕ, ціноутворення на сегментах ринку відповідно до Правил та організації взаєморозрахунків між виробниками, постачальниками ЕЕ і постачальниками системних послуг з диспетчерського управління, передачі і розподілу ЕЕ на ньому. Це

сегменти: РДД; РДН; ВДР;БР; РДП. Всі ці сегменти оптового ринку мають функціональну специфіку, працюють і реалізують інтереси учасників ринку через застосування узгоджених з Регулятором Правил ринку, серед яких прописано і механізми ціноутворення. Суб'єктами управління цих підсистем (елементами) є ГК виробники ЕЕ, в тому числі і компанії розподіленої генерації, а також оптові постачальники ЕЕ (енерготрейдери).

Четвертий рівень — управління роздрібним ринком ЕЕ. На цьому сегменті ринку представлено такі елементи: постачальники ЕЕ, компанії розподільчих мереж, постачальники універсальних послуг (ПУП), які постачають ЕЕ побутовому та малому споживачеві, а також постачальник «останньої надії», який забезпечує обов'язковою поставкою ЕЕ споживачу. Серед останніх зростає кількість «активних» споживачів, які прагнуть продавати надлишки власної генерації на ринку ЕЕ і, отже, можуть стати активними елементами системи ціноутворення.

Таким чином, бачимо, що система управління ціноутворенням на ринку ЕЕ належить до числа централізованих динамічних розподілених СОТС і є ієрархічно побудованою багаторівневою територіально розподіленою системою, яка складається з множини підсистем і елементів, взаємопов'язаних між собою вертикально та горизонтально системоутворюючими зв'язками.

Створення універсальної математичної моделі процесу функціонування ієрархічно побудованих багаторівневих СОТС з урахуванням всього різноманіття підсистем і елементів, а також особливостей прояву їх взаємопов'язаної горизонтальної і вертикальної

організаційної, оперативно-технологічної, економічної та інформаційної взаємодії, є занадто складною проблемою для вирішення аналітичними методами. Тому зазвичай при вирішенні практичних проблем розвитку і вдосконалення ринків ЕЕ дослідники застосовують різні способи декомпозиції СОТС на підсистеми, не порушуючи принципу її цілісності, після чого використовують метод імітаційного моделювання для побудови моделей досліджуваних процесів в підсистемах, виділяючи коло відповідних проблем.

1.3. Проблеми функціонування систем ціноутворення

З моменту початку періоду функціонування нової моделі на оптовому ринку ЕЕ діє принципово нова для ринку система ціноутворення, заснована на ринкових принципах. Тому вплив цін торгових заявок на обсяги продажів продукції і допоміжних послуг на фінансові результати діяльності ГК істотно зростає. А, отже, ГК необхідно переглянути принципи і методичні основи прийняття рішення про ціни та обсяги при їх формуванні. Більш того, в цих умовах функціонування оптового ринку ГК потрібно виробити певну стратегію цінового позиціонування на сегментах ринку сформованих і діючих в підсистемі Оператора ринку (ОР) - РДД, РДН, ВДР, а також в підсистемі Оператора системи передачі (ОСП) - БР, РДП. Конкурентна модель ринку електроенергії України офіційно запрацювала з 1 липня 2019 року. Згідно з Правилами ринку основними учасниками ринку є виробники ЕЕ - ГК і покупці - постачальники оптові та роздрібні, енерготрейдери. Схема взаємодії виробників, постачальників, споживачів ЕЕ з сегментами ринку представлена на рис. 1.2.

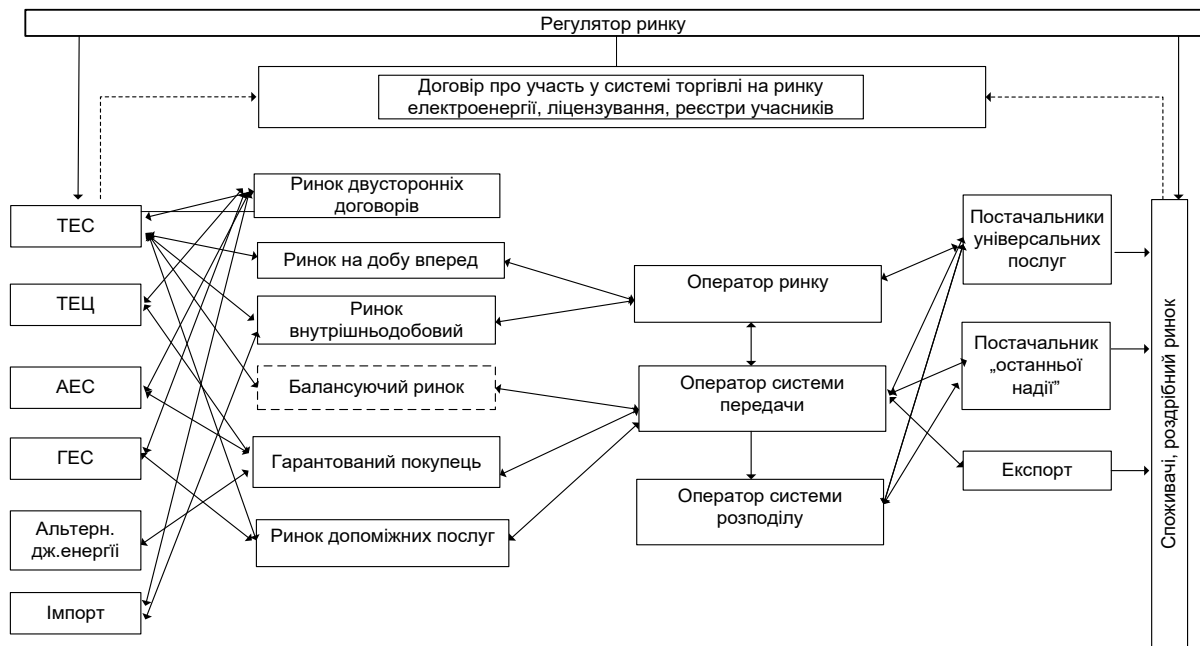


Рисунок 1.2. Схема взаємодії учасників ринку електроенергії з відповідними сегментами ринку

Основними структурними елементами системи організаційного, оперативно-технологічного та інформаційного управління, відповідно до Правил ринку, визначені ОР і ОСП, які і забезпечують роботу на новостворених сегментах ринку в сенсі організації торгівлі ЕЕ і допоміжними послугами з урахуванням вимог забезпечення надійності поставок ЕЕ і стійкості режимів ОЕС. Теоретично всі суб'єкти могли б купувати і продавати ЕЕ за вільними ринковими (нерегульованим) цінами. Однак фактично тільки на сегментах ринку РДН, ВДР і БР реалізований ринковий принцип ціноутворення. В його основу покладено механізм конкурентного ціноутворення, що враховує баланс попиту і пропозиції на аукціоні цінкових торгових заявок покупців і продавців ЕЕ.

На сегментах ринку ВДР і БР проводиться усунення поточного небалансу між попитом і пропозицією, що здійснюється шляхом покупки

продажу ЕЕ за цінами які формуються з застосуванням відомих, затвердженими Регулятором ринку, механізмів ціноутворення. Також відомий всім учасникам ринку і головний критерій відбору заявок - мінімізація сукупної вартості виробленої ЕЕ та, при цьому, максимізації обсягу виробленої ЕЕ. Аналіз обсягів ЕЕ які були продані і куплені на різних сегментах ринку, який був проведений на підставі даних з відкритих джерел, показує, що в першому півріччі 2020 року було реалізовано приблизно: на ринку ДД - 65% виробленої енергії, в тому числі 40% для покриття обсягів для виконання задач реалізації прав соціального забезпечення (ПСЗ), 10% на біржі, 15% на основі позабіржових угод; на РДН - 28%; на ВДР - 2%; на БР - 5%.

Наведені дані свідчать про те, що в даний час ринок ЕЕ України не є конкурентним в повному розумінні цього слова і залишається частково регульованим. Хоча офіційно Регулятор ринку не визначає і не задає прогнозну оптову ціну ринку. Проведений аналіз динаміки цін на різних сегментах ринку дозволяє висловити припущення про те, що ціна продажу ЕЕ, що формується в результаті торгів на РДН, учасниками яких в основному стають компанії теплової генерації, фактично стає опорною для прийняття рішень щодо формування заявок генеруючими компаніями на інших сегментах ринку. Тому формування торгових заявок ГК на РДН і комплексних заявок задля продажу ЕЕ та допоміжних послуг на інших сегментах ринку, що забезпечують реалізацію стратегії компаній, має визначальне значення. Отже ціни РДН, що визначаються в результаті торгів на аукціоні, задають початкові умови процесу ціноутворення на ринку ЕЕ.

Аналіз стану взаєморозрахунків між учасниками ринку показав,

незважаючи на те, що ринок електричної енергії в Україні за європейськими правилами вже працює 4 роки, але і на сьогодні залишається чимало проблем, які безпосередньо пов'язані з недосконалістю процесу ціноутворення. Проблемними залишаються питання роботи такого сегменту ринку, як БР, формування ринкових механізмів реалізації права соціального забезпечення (ПСЗ), в частині підтримки «зеленої» генерації і забезпеченням побутового споживача ЕЕ за пільговими тарифами. Не урегульованість та відсутність комплексного підходу до управління процесами ціноутворення на рівні взаємодії між учасниками ринку ЕЕ, призвело до створення на ринку ЕЕ великих боргів між тими, хто є найбільш впливовими гравцями процесу ціноутворення, а саме, ОСП, якій діє у складі Національної енергетичної компанії «Укренерго» (НЕК «Укренерго»), ДП «Гарантований покупець», ПУП та учасниками балансуючого ринку. Так, за даними НЕК «Укренерго» станом на 20.06.2023 року, загальний рівень заборгованості на балансуючому ринку складає майже 16,6 млрд. грн., а загальна заборгованість по реалізації ПСЗ, в частині «зеленої» генерації оператора системи передачі перед ДП «Гарантований покупець» станом на 26.06.2023 року складає 21,5 млрд. грн. та заборгованість виробників електричної енергії Національної атомної енергогенеруючої компанії «Енергоатом» (НАЕК «Енергоатом») та Прат «Укргідроенерго», що виконують спеціальні обов'язки по забезпеченню побутового споживача електричної енергією за пільговими тарифами перед ДП «Гарантований покупець» станом на 01.07.2023 року складає 18,1 млрд.грн. Тобто, загальна кредиторська заборгованість лише оператора системи передачі складає близько

38 млрд.грн. і це лише за 4 роки існування нової моделі ринку.

Ще одною із проблем процесу ціноутворення роботи існуючої моделі ринку електричної енергії України є існування регуляторних механізмів так званих «граничних цін», впроваджених на сегменті ринку РДН, ВДР та БР, які встановлює національний Регулятор ринку. Застосування таких механізмів на ринку не сприяють розвитку ринкових відносин, перешкоджають встановленню конкурентної рівноваги між виробниками та споживачами електроенергії. Що зрештою негативно відбивається і на процесі ціноутворення та призводять до створенню боргів виробників електричної енергії, що виконують спеціальні обов'язки по забезпеченню побутового споживача електричної енергії за пільговими тарифами.

Відповідно до пункту 9 розділу XVII «Прикінцеві та перехідні положення» Закону України «Про ринок електричної енергії» Регулятор має право встановлювати граничні ціни (тимчасові мінімальні та/або максимальні цінові межі на РДН, ВДР та балансуєчному ринку для кожної торгової зони з відповідним обґрунтуванням. Рівень граничних цін має впливати на формування вільної (ринкової) ціни у мінімальний спосіб. Доцільність встановлення і рівень граничних цін у разі їх встановлення мають переглядатися Регулятором не менше одного разу на шість місяців. При цьому, Регулятор встановлює граничні ціни з відповідним обґрунтуванням, що включає, зокрема інформацію щодо індексу споживчих цін, індексу цін виробників, ціни на електричну енергію, з урахуванням отриманих від ОР, НЕК «Укренерго» та Міністерством енергетики «Міненерго» пропозицій щодо рівня граничних цін та після проведення консультації з Антимонопольним комітетом України. На

рис.1.3 відображені результати аналізу динаміки цін на РДН за даними сайта [22] із урахуванням рішень Регулятора щодо затвердження граничних цін при подачі заявок на купівлю та продаж ЕЕ на РДН.

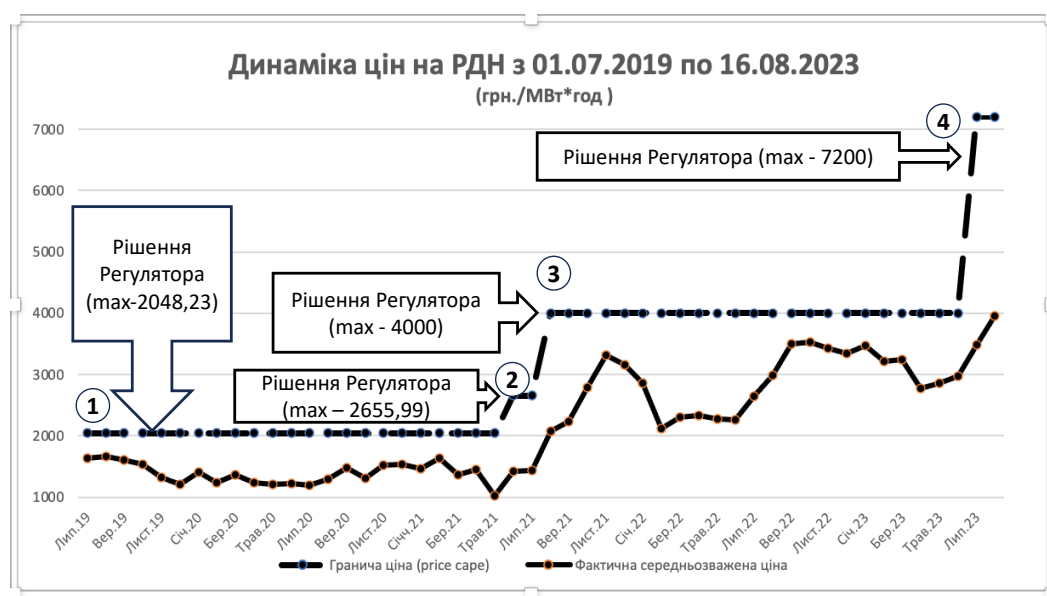


Рисунок 1.3. Динаміка цін на РДН

Як видно із рисунку, з моменту відкриття нового ринку електричної енергії було чотири рази переглянуто Регулятором рішення щодо збільшення граничних цін на РДН, починаючи із 2048,23 грн./МВт*год до 7200 грн./МВт*год (1 – постанова НКРЕКП від 24.06.2019 №1169 та від 08.04.2020 №766, 2 – постанова НКРЕКП від 16.06.2021 №973, 3 – постанова НКРЕКП від 30.07.2021 №1227, 4 – постанова НКРЕКП від 27.06.2023 №1126), що в свою чергу призвело до збільшення ціни на РДН близько у 2,5 рази (ціна при відкритті ринку складала 1639,74 грн./МВт*год, а станом на 16.08.2023 року – 4028,64 грн./МВт*год). Тобто регуляторний вплив перегляду граничних цін суттєво впливає на динаміку цін на РДН і як наслідок на ринкову (аукціонну) ціну «товару» ЕЕ виробника.

Наразі серед фахівців (теоретиків, практиків), які займаються проблемами ринку ЕЕ, надзвичайно актуалізувалося питання щодо визначення цін на ЕЕ, оскільки борги енергетичних компаній за поточного рівня цін мають тенденцію стрімкого зростання за відсутності джерел покриття сформованого дефіциту коштів. Продовження такого негативного тренду вже у найближчий час може поставити під загрозу енергозабезпечення української економіки. Однак, навіть, якщо окремі цінові параметри будуть переглянуті у наступні місяці, то це не змінить загальної багаторічної тенденції енергетичної інфраструктури до деградації. Дану проблему не можливо подолати окремими тимчасовими рішеннями Уряду та Регулятора, оскільки причини її виникнення мають системний характер, і відбивають комплексний вплив множини зовнішніх і внутрішніх факторів, які можуть впливати на процес ціноутворення у тому числі, соціально-економічні, політичні та історичні фактори. У короткостроковій перспективі такими рішеннями з боку Уряду може бути перегляд тарифів для населення та зміни форми ПСЗ (від товарної до фінансової), а з боку Регулятора - перегляд граничних цін на відповідних сегментах ринку. Але такі рішення фактично теж є ситуативними та, як показує практика не створюють передумови до вирішення проблеми стабільності ринку ЕЕ.

Не менш складна ситуація із ціноутворенням складається на ринках ЕЕ в країнах ЄС. Наведені нижче дані дозволяють зробити висновок про те, що це також є наслідком застосування не ефективних регуляторних механізмів і свідчить про те, що проблема управління ціноутворенням є досить складною і досі не вирішена.

Періодично проблеми із ціноутворенням на ринках ЕЕ в ЄС виникали і раніше. Докладний огляд та аналіз причин і факторів, що

призводили до утворення великих боргів одних учасників ринку, перед іншими наведено в роботі [23] та представлені на сайті [24]. В якості прикладу наведемо ситуації в деяких країнах ЄС, які призвели до формування «дефіциту тарифу». Дефіцит тарифів в Іспанії поступово накопичувався з 2000 року і станом на кінець 2013 року Іспанія мала найвищий дефіцит тарифів на електроенергію серед країн-членів ЄС. Сума непогашеного тариф борг оцінюється приблизно в 30 мільярдів євро (3% ВВП). Тарифний дефіцит також став проблема економічної політики в Іспанії.

Тарифний борг у Португалії також значний. Загальний накопичений тарифний борг був оцінений регулятором на 3,7 млрд євро (2,2% ВВП) на кінець 2013 р.; за іншими оцінками уряду, він може бути навіть вищим на рівні 2,6% ВВП (4,4 млрд євро). Це означає значне збільшення порівняно з 2,85 мільярдами євро (1,7% ВВП) тарифного боргу на кінець 2012 року (ERSE 2013). Більшість тарифного дефіциту Португалії виникла в 2008, 2012 та 2013 роках.

Франція показує дефіцит тарифу на рахунку "Внесок у державну службу електроенергії"(CSPE). Цей внесок покриває витрати на підтримку відновлюваних джерел енергії (які складають 60% CSPE витрати), підтримка когенерації, субсидії на витрати на електроенергію на Корсі та на інших островах, а також соціальний тариф для незахищених споживачів. Кумулятивний дефіцит на кінець 2012 року оцінено Французьким енергетичним регулятором до 3,5 млрд євро, що еквівалентно 0,18% ВВП. Французька енергетична компанія, у 2013 році мала дефіцит CSPE у розмірі 0,45 мільярда євро. Це приносить кумулятивний тарифний борг на кінець 2013 року якій склав приблизно 4 мільярди євро (0,2% ВВП).

На рис.1.4. відображена динаміка цін РДН на європейських ринках за період з 01.07.2019 року до 18.08.2023 року. Як видно і в даний час відбуваються досить різкі коливання цін, що також може свідчити про незбалансованість застосовуваних регуляторних механізмів, що діють у процесі ціноутворення в плані учета зовнішніх факторів, що справляють істотний вплив на нього.

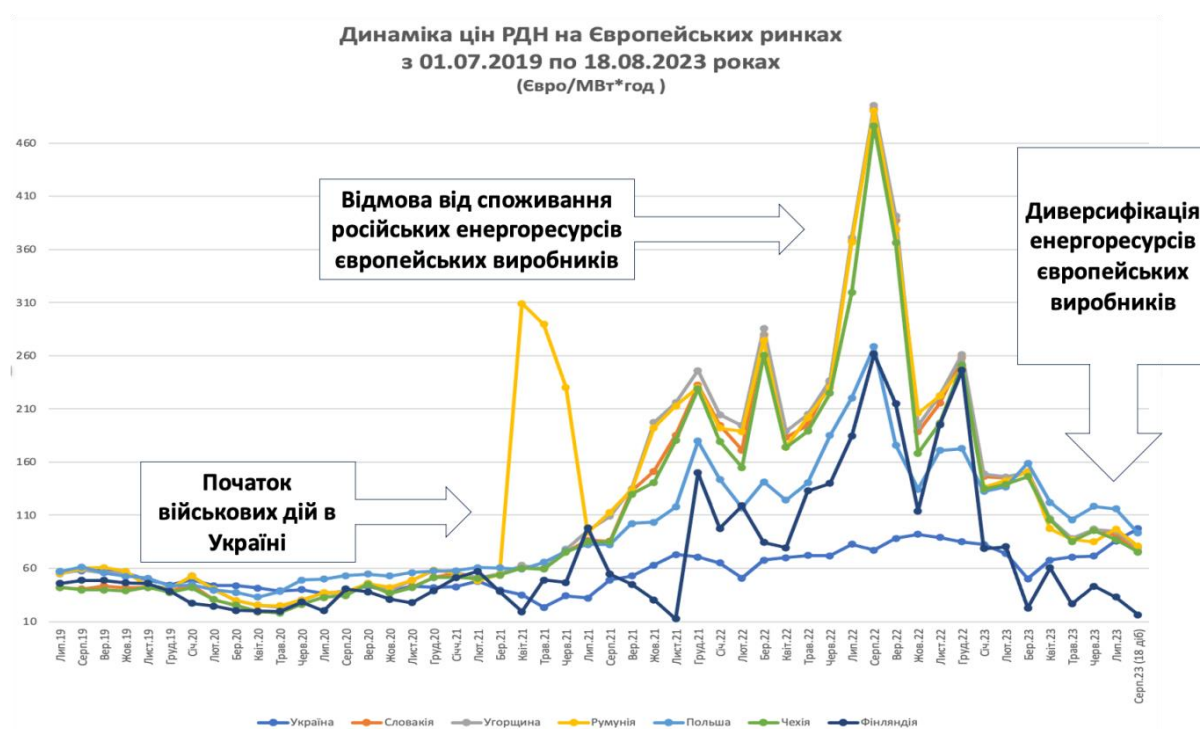


Рисунок 1.4. Динаміка цін РДН на Європейських ринках

Наведені приклади свідчать про необхідність підвищення ефективності управління процесом ціноутворення за рахунок створення більш чіткої системи координації дій учасників ринку ЕЕ та Регулятора, на основі результатів випереджаючого дослідження проблем ціноутворення з використанням імітаційних моделей, які відображають взаємопов'язані динамічні потокорозподіли - ЕЕ та фінансів всіх стадіях технологічного процесу виробництва, передачі та розподілу ЕЕ.

Опис такої системи ціноутворення, в якій повною мірою

враховуються всі зовнішні (екзогенні) і внутрішні (ендогенні) фактори які роблять певний вплив на процеси ціноутворення є досить скрутним завданням. На основі проведеного аналізу літературних джерел про стан та перспективи розвитку систем ціноутворення можна зробити висновок про те, що рішення більшості задач організаційного управління, в кінцевому підсумку вимагає попереднього, не тільки технічного, але й всебічного економічного обґрунтування подання цінових пропозицій торгових заявок, з урахуванням впливу факторів невизначеності, а також оцінки наслідків прийнятих рішень, у тому числі і їх подальшого впливу на стан вищеназваних сегментів ринку при формуванні рівноважних цін на них. Тому можливо стверджувати, що в нинішніх умовах є актуальним завдання створення системної моделі процесу ціноутворення на ринку ЕЕ, розробки сучасного математичного і інформаційно-технологічного забезпечення та побудови на основі їх застосування комп'ютерних систем моделювання процесів ціноутворення, задля підвищення продуктивності вирішення завдань розробки та впровадження нових механізмів управління ціноутворенням, з урахуванням можливого зниження впливу факторів невизначеності на прийняття рішень.

РОЗДІЛ 2

МАТЕМАТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ЦІНОУТВОРЕННЯ

2.1.Обчислювальний метод вузлової трансформації процесу ціноутворення на ринку електроенергії

Розглянемо питання розроблення методу вузлової трансформації процесу ціноутворення на ринку ЕЕ. Основною ідеєю для розробки методу стала детально розглянута в монографії Стофта С. [18] ідея застосування локалізованого (вузлового) ціноутворення для аналізу динаміки змін ціни в мережах передачі ЕЕ, і узагальнена для випадку аналізу динаміки зміни ціни у всьому ланцюгу фізичного потокорозподілу енергії. Відмінна риса пропонованого методу полягає в тому, що він дає можливість відобразити реально існуючий взаємозв'язок динамічних процесів потокорозподілу ЕЕ і ціноутворення з необхідною дискретністю часу. В його основі лежить оригінальний спосіб декомпозиції подання ціноутворення в СОТС у вигляді сукупності взаємопов'язаних підсистем фізичного і економічного потокорозподілу, які складаються з різних за кількісним складом множин елементарних вузлів, утворюваних з вузових точок трансформації енергії, та які одночасно стають локальними вузлами ціноутворення, оскільки саме в них відбувається зміна (трансформація) ціни під впливом внутрішніх та зовнішніх факторів [25, 26].

2.1.1. Опис процесу ціноутворення

Розробка методу вузлової трансформації процесу ціноутворення і подальше його застосування в СОТС включає послідовність виконання

основних конструктивних етапів.

Першим з них є опис процесу ціноутворення, основним призначення якого є його застосування у процесі створення адекватної імітаційної моделі досліджуваного процесу ціноутворення. А для побудови моделі, як відомо, важливим етапом є аналіз об'єкта дослідження предметної області моделювання, виділення найбільш істотних і відмітних особливостей динаміки процесу, його структуроване уявлення у вигляді взаємопов'язаних певним чином частин - підсистем, кожна з яких має свої чітко виражені особливості впливу на об'єкт, та визначення факторів впливу на об'єкт.

Очевидно, що досліджуваний процес не може розглядатися у відриві від технологічного процесу виробництва продукції, яка випускається. У нашому випадку такою продукцією є ЕЕ, в процесі виробництва і доставки її кінцевому споживачеві одночасно беруть участь тисячі енергетичних компаній, які забезпечують виробництво, транспорт ЕЕ по високовольтних лініях електропередач, диспетчеризацію виробництва і споживання енергії з метою виконання досить жорстких вимог до стійкості режимів функціонування ОЕС і до випуску продукції необхідної якості, розподілу і збуту ЕЕ кінцевому споживачу. Відмітна особливість взаємодії агентів ринку ЕЕ від взаємодії агентів на ринках інших видів продукції полягає в тому, що технологічно електроенергетична галузь є цілісною єдиною системою виробництва і споживання ЕЕ, яка пов'язана з безперервним і нерозривним (миттєвим) характером виробництва, передачі, розподілу й споживання, з продукцією виробництва, яку на даний час можна вважати такою, що не накопичується, з територіальним характером споживання ЕЕ, з обмеженими можливостями маневрування

ресурсами виробництва продукції через неможливість їх миттєвого запуску або зупинки, з обмеженими можливостями міжсистемних перетоків потужності у вузлах ОЕС, з неминучими втратами при передачі ЕЕ, з наявністю єдиних транспортних магістралей та об'єктивно необхідним режимом централізованого диспетчерського управління завантаженням всіх генеруючих блоків електростанцій, пов'язаних паралельною роботою в ОЕС.

Другим етапом є побудова опису факторів впливу зовнішнього середовища на процеси, що відбуваються в електроенергетиці. У тому числі і ті, що набирають масштабний характер у розвитку електроенергетики в багатьох країнах світу. А саме процеси які пов'язані з декарбонізацією виробництва ЕЕ, децентралізацією процесів управління і з цифровізацією технологічних процесів при виробництві, передачі та споживання ЕЕ. До числа зовнішніх і внутрішніх факторів, які можуть впливати на процес ціноутворення на всі виділені вузли і точки системи з різним ступенем впливу, можуть бути віднесені наступні :

А) Зовнішні політичні -

1. Регулювання цін з боку держави;
2. Державне регулювання моделі ринку;
3. Динаміка цін на газ, нафту і вугілля;
4. Ліміти на споживання певних видів палива;

Б) Зовнішні сезонні -

1. Залежність попиту на ЕЕ від метеофакторів;
2. Використання дорогого викопного палива на пікових навантаженнях;
3. Паводкові періоди роботи гідроелектростанцій (ГЕС);

В) Зовнішні екологічні -

1. Водність річок;
2. Пріоритет завантаження теплових електростанцій (ТЕС) перед атомними електростанціями (АЕС);

Г) Внутрішні ринкові -

1. Погодинні ціни, що подаються в заявках учасниками ринку;
2. Обсяги, що подаються в заявках учасників;
3. Структура цінових заявок учасників ринку;
4. Індивідуальні цінові стратегії учасників ринку;
5. Доля ціноприймаючих заявок;
6. Ступінь конкурентності середовища для постачальників і споживачів;
7. Випадки маніпулювання цінами;

Д) Внутрішні економічні -

1. Рентабельність цінових заявок генерації;
2. Урахування в цінових заявках індивідуальних особливостей споживачів (неплатежі, перехресне субсидування);

Е) Внутрішні технологічні -

1. Склад та параметри генеруючого обладнання на операційну годину (типи електростанцій, види використовуваного палива);
2. Прогноз електроспоживання по території, що виконується ОСП;
3. Повідомлення про склад і параметри генеруючого обладнання;
4. Необхідні резерви на збільшення або зниження навантаження;
5. Регламентування режимних обмежень при роботі обладнання;
6. Ремонтні компанії (особливо великих електростанцій - ТЕС, теплоелектроцентралей (ТЕЦ), АЕС і ГЕС);
7. Аварії, позапланові ремонти генеруючого обладнання;

8. Актуальна топологія електричної мережі;

9. Системні обмеження;

10. Розміщення резервів потужності;

11. Введення нових потужностей;

Ж) Внутрішні сезонні -

1. Залежність попиту на ЕЕ від метеофакторів;

2. Використання дорогого палива на пікових навантаженнях;

3. Паводкові періоди роботи ГЕС;

4. Робота електростанцій на теплофікаційному режимі;

5. Сезонні ремонти (літо);

З) Внутрішні географічні -

1. Розташування споживачів в районах з дорогою генерацією;

2. Розміщення ГЕС.

В основу запропонованого переліку факторів впливу на процес ціноутворення були закладені показники, які були використані в роботі в якості показників ринкового середовища [27].

Наведений перелік факторів впливу, які важко враховуються і не завжди піддаються кількісній оцінці ступеня впливу на процес ціноутворення і фактично стають факторами ризику, дозволяє виділити наступні класифікаційні групи ризиків, які виникають в процесі ціноутворення: ринкові; виробничі, комерційні, природні, політичні, юридичні, екологічні, фінансові, маркетингові, технічні, посередницькі, банківські, страхові та ін.

У літературі ринкові фактори зазвичай згадуються як мінливість доходів через невизначеність ринкових цін на ЕЕ і коливань попиту на неї. Наприклад, для генеруючих компаній об'єктивна відсутність достовірної інформації про потенційний обсяг попиту на ЕЕ призводить

до виникнення спектра ризиків при формуванні торгових заявок.

Паливні ризики зазвичай пов'язують з коливаннями цін на паливо, у виробництві палива, в співвідношенні паливо/потужність, збої в доставці/постачанні палива, а також ризики транспортування палива при експлуатації електростанції.

В роботі [28] наведені і класифіковані різні види енергетичних ризиків з позиції можливості їх регулювання (обліку) енергетичними компаніями. Зокрема, для ГК в якості основних, визначені такі групи: фінансові (неплатежі покупців, кредитні); регуляторні (тарифи, обмеження зростання цін); ринкові (зниження попиту на ЕЕ, зміни цін на використовувані ресурси). Там же наведено, що згідно з даними опитування при дослідженні енергетичних ризиків, проведеного для їх ідентифікації відомою компанією KPMG серед енергетичних компаній, основними найбільш істотними ризиками є: ризик зміни законодавства в частині регулювання електроенергетики; ринковий ризик на енергію і потужність; ринковий ризик зміни цін на енергетичну сировину, експлуатаційно-технологічний ризик [29].

Одночасна реалізація цих дуже складних процесів розвитку електроенергетики обумовлює необхідність проведення структурних перетворень, а, отже, і залучення значних фінансових ресурсів. Крім того, необхідно зазначити і обов'язок електроенергетики при вирішенні задач реалізації права соціального захисту перед населенням. Таким чином, можна стверджувати, що система ціноутворення, фактично одночасно є і підсистемою більш складної еколого-соціально-економічної системи держави.

Опис такої системи ціноутворення, в якій повною мірою враховуються всі зовнішні (екзогенні) і внутрішні (ендогенні) фактори,

що роблять певний вплив на процеси ціноутворення є досить важким завданням. Тому на даному етапі дослідження приймемо допущення про те, що вплив основних зовнішніх факторів, що впливають на процес ціноутворення і пов'язаних з виконанням вимог екологічного та соціального характеру, враховуються Регулятором ринку, шляхом застосування відповідних регуляторних механізмів і знаходять відображення при встановленні тарифів на оплату ЕЕ для різних груп споживачів на заключному етапі процесу ціноутворення.

2.1.2. Стадії технологічної процесу ціноутворення

Будемо розглядати процес ціноутворення нерозривно пов'язаним з технологічними стадіями процесу виробництва ЕЕ і доставки її кінцевому споживачеві. Таких стадій, що відображають функціональну структуру електроенергетики в різних літературних джерелах виділяють декілька: генерація енергії високої напруги; диспетчеризація генерації високої напруги; передача енергії по високовольтних лініях передач високого (110-220 кВ), надвисокого класу (>220 кВ); диспетчеризація перетоків електроенергії в вузлах ОЕС в умовах обмежень перетоків потужності; надання системних послуг; генерація низької напруги; розподіл ЕЕ по мережах середнього класу (до 35 кВ) диференційованим в залежності від напруги і доставки постачальникам; збут роздрібним споживачам. На основі такого функціонального уявлення, можна вибудувати ланцюжок вузлів, в яких відбувається не тільки трансформація енергії та її поточкорозподіл, але й перехід права власності на продукцію і зміна її ціни. Надалі ці вузли будемо називати елементарними вузлами перетворення (трансформації) ціни на ЕЕ у

єдиній СОТС ціноутворення, а сам процес трансформації ціни - економічним поточкорозподілом.

Представляючи потік енергії від виробника до споживача, як послідовне проходження сукупності стадій трансформації енергії, приходимо до ланцюжка вузлів трансформації ціни на ЕЕ. Природно, що величина зміни ціни в цих елементарних вузлах безумовно залежить від обсягу ЕЕ, яка пройшла через нього, і від тарифу встановленого Регулятором ринку для цієї категорії послуг Оператору ринку, Операторів системи розподілу і Оператору системи передачі.

2.1.3. Формалізація процесу ціноутворення

Розглянутий процес ціноутворення в СОТС в результаті взаємопов'язаної взаємодії функціональних підсистем формує потоки децентралізованого організаційного (потік регуляторних впливів), технологічного (потік енергії) та інформаційного (потік показників стану ринку і зовнішнього середовища) управління, які забезпечують функціонування процесу динамічного ціноутворення.

Фактори впливу на процес ціноутворення, які не піддаються кількісній оцінці ступеня впливу на процес ціноутворення, фактично стають факторами ризику. В літературі виділяють наступні класифікаційні групи ризиків, які виникають в процесі ціноутворення: ринкові; виробничі, комерційні, природні, політичні, юридичні, екологічні, фінансові, маркетингові, технічні, посередницькі, банківські, страхові та ін.

Зокрема, для генеруючих компаній в якості основних, визначені такі групи: фінансові (неплатежі покупців, кредитні); регуляторні (тарифи,

обмеження зростання цін); ринкові (зниження попиту на ЕЕ, зміни цін на використовувані ресурси). Основними найбільш істотними ризиками є: ризик зміни законодавства в частині регулювання електроенергетики; ринковий ризик попиту на енергію; ринковий ризик зміни цін на енергетичну сировину; експлуатаційно-технологічний ризик.

Системний аналіз процесів такого класу складності передбачає декомпозицію досліджуваного процесу та його подання у вигляді сукупності взаємопов'язаних складних підсистем і їх складових елементів. У нашому випадку пропонується виділити три підсистеми для стадій трансформації, які умовно назовемо "Товар", "Послуга", "Продукт", та які охоплюють діяльність основних функціональних структур управління ринком ЕЕ на різних стадіях процесу ціноутворення. Це структури: організаційного (регуляторного) управління ціноутворенням на оптовому та роздрібному ринках – Регулятор ринку; оперативно-технологічного управління ціноутворенням - виробництвом, передачею та розподілом електроенергії – ОСП; організаційного (адміністративного) управління ціноутворенням на сегментах оптового ринку – ОР; організаційного управління учасників оптового та роздрібно-ринків. У подальшому елементи підсистем (сегменти ринку) називатимемо елементарними вузлами, а складові їх компоненти (окремі енергетичні компанії-виробники, постачальники, транспортери ЕЕ) – вузловими точками. В кожному вузлу і вузловій точці послідовно вирішуються наступні задачі ціноутворення: постановка цілей ціноутворення; аналіз факторів, що впливають на ціноутворення; вибір методу ціноутворення в залежності від обраної стратегії ціноутворення; встановлення цін. Виділені підсистеми вузлів трансформації

(перетворення) ціни на ЕЕ формуються з елементарних вузлів і вузлових точок. Спрощена схема ланцюга трансформації ціни зображена на рис.2.1.

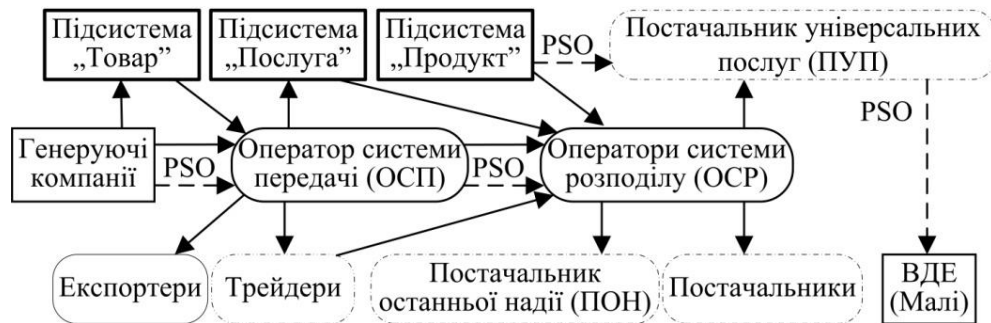


Рисунок 2.1. Схема ланцюга трансформації ціни

Підсистему елементарних вузлів, яку умовно названо "Товар"(Оптовий ринок), утворюють сегменти оптового ринку: РДД; РДН; ВДР; БР. Підсистему елементарних вузлів, яку умовно названо "Послуга", утворюють вузли: РДП; ГарПОК; оператор системи розподілу (ОСР); ОСП. Підсистему елементарних вузлів, яку умовно названо "Продукт"(Роздрібний ринок), утворюють вузли: ПУП, "Енергозбутові компанії" (Постачальники); постачальник останньої надії (ПОН); ГУ з використанням ВДЕ; "Споживачі".

2.1.4. Обчислювальні процедури динаміки процесу ціноутворення

Наступним кроком застосування методу є розробка його обчислювальних процедур, які нададуть можливості побудувати імітаційну модель процесу ціноутворення. Процес цінової трансформації відбувається у часі, породжуючи стадії трансформації, та розповсюджується у просторі агентів трансформації, поділених на рівні їх декомпозиції – підсистем, елементарних вузлів, вузлових точок

Введемо наступні позначення:

$$\varphi^{p,k}(t) = \varphi^{p,k}\left(v^{p,k}(t), z^{p,k}(t), X^{p,k}\right),$$

де $\varphi^{p,k}(t)$ - функція цінової трансформації на часовому інтервалі t , яка визначає такі змінні - обсягу $v^{p,k}(t)$ і ціни $z^{p,k}(t)$ ЕЕ за її одиницю та $X = \bigcup_{p,k} X^{p,k}$, $X^{p,k} = \{x_l^{p,k}(t) | l=1,2,...,L\}$ - множина формалізованих залежностей зміни динаміки зовнішніх факторів (змінних), перелік яких наведено вище та вплив яких враховується при трансформації ціни у вузлі k підсистеми p на даному часовому інтервалі; $p=1,2,3$ - номер підсистеми; $k=1,2,...,K^p$ - номер елементарного вузла трансформації ціни в підсистемі p . Природно припустити, що в кожному елементарному вузлі вплив зовнішніх чинників, які є екзогенними вхідними змінними величинами, має свої особливості впливу на динаміку зміни основних внутрішніх змінних величин - обсягу виробленого продукту і його ціни за одиницю товару.

Початком процесу ціноутворення будемо вважати добу визначення акцептованих цін на аукціонах відповідних сегментів оптового ринку – РДД, РДН, ВДР. При розрахунковому періоді в одну годину всі функціональні залежності як функції часу можуть бути представлені дискретними значеннями відповідного часового інтервалу – номеру доби з початку місяця $i=1,2,...,I$ і номеру години доби $j=1,2,...,24$:

$$v^{p,k}(t) = \left(v_{i,j}^{p,k} \mid i=\overline{1,I}, j=\overline{1,24}\right),$$

$$z^{p,k}(t) = \left(z_{i,j}^{p,k} \mid i=\overline{1,I}, j=\overline{1,24}\right), \varphi^{p,k}(t) = \left(\varphi_{i,j}^{p,k} = \varphi^{p,k} \left(v_{i,j}^{p,k}, z_{i,j}^{p,k}, \{x_l^{p,k} \mid l=\overline{1,L}\} \right) \mid i=\overline{1,I}, j=\overline{1,24} \right).$$

На першому етапі обчислювального процесу - визначенні

початкових вихідних даних, будемо вважати, що врахування впливу зовнішніх чинників у елементарних вузлах першої підсистеми "Товар" ($p=1$) здійснюється учасниками вказаних сегментів оптового ринку у вигляді заявок на участь в аукціонах купівлі-продажу ЕЕ, системних послуг і т.ін. Це фактично означає, що на вхід першої підсистеми вузлів надходять початкові умови $\varphi_{i,j}^{0,k} = \varphi^{0,k}(v_{i,j}^{0,k}, z_{i,j}^{0,k})$, які складаються з акцептованих на сегментах ринків РДН, ВДР в результаті проведеного аукціону, значення обсягів енергії та цін за одиницю товару, а також обсяги та ціни імпортованої енергії на сегменті РДД. Цю множину даних можна вважати вихідними даними планового економічного потокорозподілу на i -у добу місяця.

Далі на другому етапі в елементарних вузлах k відбувається трансформація цих даних як результат внутрішніх виробничо-технологічних, оперативно-технологічних організаційних процесів, що відбуваються в енергосистемі, стан яких характеризується певним набором інформативних показників - ендогенних змінних стану ОЕС, а також застосування Регуляторних механізмів, передбачених Правилами ринку. Тобто від 0 годин починається процес погодинного обліку в автоматизованій системі комерційного обліку ЕЕ фактичного потокорозподілу виробленої ЕЕ в мережах системи електропередачі та її споживання кінцевими споживачами протягом i -ї доби.

В результаті маємо, що

$$\varphi_{i,j}^{1,k}(v_{i,j}^{1,k}, z_{i,j}^{1,k}, X^{1,k}) = F^1(v_{i,j}^{0,k}, z_{i,j}^{0,k}, X^{1,k}), k = 1, 2, \dots, K^1,$$

де $F^1(v_{i,j}^{0,k}, z_{i,j}^{0,k}, X^{1,k})$ - композиція впливу певної кількості функцій з множини X (наприклад, зростання попиту, зміна погодних умов, використання резервів потужності тощо) та алгоритмів Правил ринку, які можуть змінити вхідні величини за рахунок зміни обсягових

показників і цінових змінних. Відбувається зміна ціни на величину витрат інфраструктури, що забезпечує функціонування сегментів ринку – елементарних вузлів.

Тобто зміна ціни визначається виразом

$$z_{i,j}^{1,k} = z_{i,j}^{0,k} + z_{i,j}^{INF,1,k},$$

де $z_{i,j}^{INF,1,k}$ - питомі витрати вузла k першої підсистеми на елемент інфраструктури INF . Очевидно, що економічний потокорозподіл EE , що здійснюється відповідно до результатів торгів на відповідних торгових майданчиках, передбачає її виробництво у необхідних обсягах за визначеними цінами. При цьому природно здійснюються необхідні витрати в кожному елементарному вузлі першої підсистеми в залежності від обсягу енергії, що виробляється. Це призводить до зміни як обсягів, так і ціни за одиницю продукції вузлах.

Позначимо через $\Delta^{p,k}(t) = \Delta^{p,k}(\varphi^{p,k}(t))$ функцію, що виражає закономірність зміни обсягу енергії та ціни в елементарному вузлі. Тоді для вузлів першої підсистеми отримаємо функції зміни обсягів виробленої енергії та цін на неї наступного виду:

$$\Delta^{1,k}(t) = \varphi^{1,k}(t) - \varphi^{0,k}(t).$$

Таким чином, на вхід наступної другої підсистеми елементарних вузлів, що забезпечує диспетчерське управління потокорозподілом та транспорт енергії від шин електростанцій до розподільчих мереж, подається сукупний обсяг енергії, утворений на виході першої підсистеми $\varphi^{1,1}(v_{i,j}^{1,1}, z_{i,j}^{1,1}), \varphi^{1,2}(v_{i,j}^{1,2}, z_{i,j}^{1,2}), \dots, \varphi^{1,K^1}(v_{i,j}^{1,K^1}, z_{i,j}^{1,K^1})$. В результаті на виході цієї підсистеми маємо, аналогічно першому перетворенню, результат комплексного впливу зовнішніх і внутрішніх факторів на технологічний

процес транспорту енергії високовольтними лініями електропередач, диспетчерське управління, в умовах жорстких обмежень в точках перетікання потужності та необхідність виконання критерію забезпечення мінімуму витрат на передачу енергії, що матиме наступного вигляду:

$$\varphi^{2,k}(v_{i,j}^{2,k}, z_{i,j}^{2,k}, X^{2,k}) = F^2(v_{i,j}^{1,k}, z_{i,j}^{1,k}, X^{2,k}), k=1,2,\dots,K^2.$$

Таким чином, друге збільшення ціни в елементарних вузлах другої підсистеми визначається виразом

$$\Delta^{2,k}(t) = \varphi^{2,k}(t) - \varphi^{1,k}(t).$$

При цьому дуже важливою вимогою залишається дотримання балансу обсягів, у момент переходу з однієї підсистеми в іншу, не дивлячись на трансформацію ціни та на те, що погодинні обсяги енергії прив'язані до погодинних цін. Крім того, обсяги енергії, закуплені постачальниками на оптовому ринку, призначені для передачі підсистемою вузлів "Послуга", фактично набуває адресного характеру, оскільки відправниками товару на адресу одного постачальника чи експортера можуть виявитися всі елементарні вузли, сегменти оптового ринку, першої підсистеми "Товар".

Аналогічно були отримані вирази для $\varphi^{3,k}(v_{i,j}^{3,k}, z_{i,j}^{3,k}, X^{3,k})$ і $\Delta^{3,k}(t)$ при переході від другої підсистеми до третьої.

Далі позначимо через $\tilde{V}_i^1 = \sum_{j=1}^{24} \sum_{k=1}^{K^1} v_{i,j}^{1,k}$ - сумарний обсяг енергії, що пройшов через першу підсистему вузлів за добу, а через $\tilde{Z}_{i,j}^1 = \frac{1}{K^1} \sum_{k=1}^{K^1} z_{i,j}^{1,k}$ - середню ціну, що склалася у вузлах кожну годину j доби у першій підсистемі.

Тоді індексом ціни першої підсистеми будемо називати

середньодобову ціну $\tilde{Z}_i^1 = \frac{1}{24} \sum_{j=1}^{24} \sum_{k=1}^{K^1} z_{i,j}^{1,k}$ або середньозважену добову ціну

$\tilde{Z}_i^1 = \frac{1}{\tilde{V}_i^1} \sum_{j=1}^{24} \sum_{k=1}^{K^1} z_{i,j}^{1,k} \times v_{i,j}^{1,k}$, яка формується в першій підсистемі.

Враховуючи те, що ОСП компенсує втрати енергії у високовольтних лініях передач, вважатимемо, що обсяг енергії після її трансформації у другій підсистемі залишається незмінним. Можливі відхилення обсягів енергії від акцептованих через зміни погодних ситуацій чи виникнення аварійних ситуацій у цій роботі не розглядаються. Тоді будемо мати, що $\tilde{V}_i^2 = \tilde{V}_i^1$.

Відмінна особливість трансформації ціни у другій підсистемі вузлів полягає в тому, що вона залежить лише від обсягу переданої енергії. А множину елементарних вузлів утворюють центри системних послуг, які забезпечують її передачу. Тому зміни цін відбуваються у зв'язку з необхідністю обліку витрат, понесених у кожному елементарному вузлі. Технічних складнощів розрахунок вузлового розподілу витрат не становить.

Приймемо далі, що:

а) витрати на послугу з диспетчерського керування, з урахуванням витрат інфраструктури розраховуються за тарифом T^{DU} за формулою

$$Z_{i,j}^{DU,2,1}(v_{i,j}^{1,k}) = T^{DU} \times v_{i,j}^{1,k};$$

б) витрати на послуги з передачі Е/Е, з урахуванням витрат інфраструктури на виконання спеціальних обов'язків для забезпечення загальносупільних інтересів (PSO), на покриття витрат з купівлі Е/Е для компенсації втрат, розраховуються за тарифом T^{PE} за формулою

$$Z_{i,j}^{PE,2,1}(v_{i,j}^{1,k}) = T^{PE} \times v_{i,j}^{1,k};$$

в) покриття витрат на надання допоміжних системних послуг

розраховуються за тарифом T^{DP} за формулою

$$Z_{i,j}^{DP,2,1}(v_{i,j}^{1,k}) = T^{DP} \times v_{i,j}^{1,k}.$$

Витрати на допоміжні системні послуги вимагають більшої деталізації через зростання частки ВДЕ у загальному обсязі виробництва ЕЕ. Ця обставина буде врахована за наявності необхідних для розрахунку погодинних вихідних даних.

Тоді для визначення величини збільшення ціни в вузлах другої підсистеми отримаємо

$$z_{i,j}^{2,k} = z_{i,j}^{1,k} + T^{DU} \times v_{i,j}^{1,k} + T^{PE} \times v_{i,j}^{1,k} + T^{DP} \times v_{i,j}^{1,k}.$$

На основі цих даних визначимо індекс ціни другої підсистеми, як середньодобову ціну $\tilde{Z}_i^2 = \frac{1}{24} \sum_{j=1}^{24} \sum_{k=1}^{K^2} z_{i,j}^{2,k}$ або як середньозважену добову ціну

$$\tilde{Z}_i^2 = \frac{1}{\tilde{V}_i^2} \sum_{j=1}^{24} \sum_{k=1}^{K^2} z_{i,j}^{2,k} \times v_{i,j}^{2,k}.$$

Подальший потокорозподіл енергії здійснюється в третій підсистемі "Продукт", елементарні вузли якої забезпечують функціонування роздрібного ринку. Будемо також вважати, що у цих вузлах обсяг закупленої ЕЕ компаніями ПУП на оптовому ринку не змінюється. Проте, через необхідність урахування також впливу зовнішніх і внутрішніх факторів у кожному вузлі можуть відбуватися зміни ціни. Крім того на формування ціни може впливати певна кількість регіональних особливостей, пов'язаних з віддаленістю від генеруючих потужностей та їх типом, обсягом попиту і пропозиції, енергоємністю, структурою і динамікою споживання у різні сезонні періоди року, а також розвиток ВДЕ, які підключені до регіональних розподільних мереж. Тому, як і раніше, загальний вираз трансформації цін у третій підсистемі матиме вигляд:

$$\varphi^{3,k}(v_{i,j}^{3,k}, z_{i,j}^{3,k}, X^{3,k}) = F^3(v_{i,j}^{2,k}, z_{i,j}^{2,k}, X^{3,k}), k=1,2,\dots,K^3.$$

Але у підсистемі "Продукт" зміна ціни на ЕЕ проходить дві стадії. Перша пов'язана з її передачею розподільними електромережами компаніями ОСР, а друга з компаніями ПУП та іншими постачальниками, які здійснюють збут ЕЕ кінцевим споживачам – населенню та іншим суб'єктам господарювання. Крім того, в цій підсистемі може відбуватися в деякій частині вузлів і зміна вхідних показників обсягів споживання за рахунок купівлі/продажу енергії на сегменті БР або у ПОН, а також і вхідних цін. Тому формальний опис процесу ціноутворення у цій підсистемі відрізняється від опису попередніх підсистем.

Введемо додаткові позначення:

а) $z_{i,j}^{OSR,3,k}$, $z_{i,j}^{PUP,3,k}$ - ціни за розподіл купованої енергії у ОСР і ПУП;

б) $v_{i,j}^{BR,3,k}$, $v_{i,j}^{PON,3,k}$, $v_{i,j}^{VDE,3,k}$ - додаткові обсяги купованої енергії відповідно у ПУП на БР, у ПОН та у ВДЕ;

в) $z_{i,j}^{BR,3,k}$, $z_{i,j}^{PON,3,k}$, $z_{i,j}^{VDE,3,k}$ - ціни за одиницю додаткового обсягу енергії відповідно від БР, ПОН і ВДЕ.

Тоді отримаємо, що

$$v_{i,j}^{3,k} = v_{i,j}^{2,k} + v_{i,j}^{BR,3,k} + v_{i,j}^{PON,3,k} + v_{i,j}^{VDE,3,k},$$

$$\tilde{V}_i^3 = \tilde{V}_i^2 + \sum_{j=1}^{24} \sum_{k=1}^{K^3} (v_{i,j}^{BR,3,k} + v_{i,j}^{PON,3,k} + v_{i,j}^{VDE,3,k}).$$

Ці дані надходять на вхід компаній ОСР третьої підсистеми. На основі цих даних формуються вихідні ціни ПУП для кінцевих споживачів. Таким чином для вихідних цін будемо мати вираз

$$z_{i,j}^{3,k} = z_{i,j}^{2,k} + z_{i,j}^{BR,3,k} + z_{i,j}^{PON,3,k} + z_{i,j}^{VDE,3,k} + z_{i,j}^{OSR,3,k} + z_{i,j}^{PUP,3,k}.$$

Тоді індекс ціни третьої підсистеми визначається як

середньодобова $\tilde{Z}_i^3 = \frac{1}{24} \sum_{j=1}^{24} \sum_{k=1}^{K^3} z_{i,j}^{3,k}$ або як середньозважена добова

$$\tilde{Z}_i^3 = \frac{1}{\tilde{V}_i^3} \sum_{j=1}^{24} \sum_{k=1}^{K^3} z_{i,j}^{3,k} \times v_{i,j}^{3,k}.$$

2.1.5. Обговорення результатів

Очевидно, що наведена формалізація процесу ціноутворення шляхом його декомпозиції та подання у вигляді трьох взаємопов'язаних підсистем економічного потокорозподілу, прив'язаних до фактичного адресного розподілу виробленої ЕЕ в мережах електропередачі не є єдиною можливою. Необхідно також зазначити, що для обліку всіх особливостей процесу ціноутворення з урахуванням впливу на нього зовнішніх факторів знадобиться більша деталізація виділених стадій трансформації ціни. Але навіть таке її уявлення не дає можливості аналітичного розв'язання задачі без знання нелінійних залежностей F^1 , F^2 , F^3 , вихідними даними для яких можуть бути не тільки кількісні, але й слабо формалізовані якісні дані.

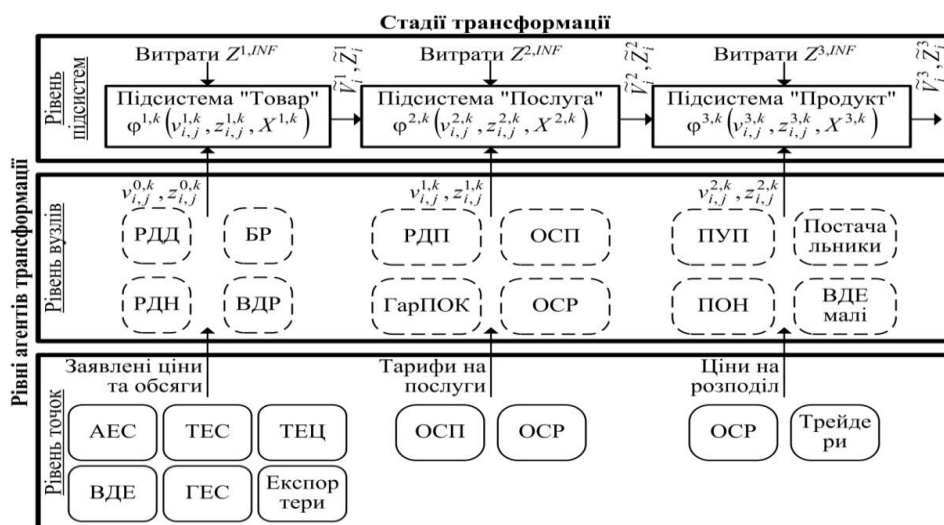


Рисунок 2.2. Спрощена схема стадій трансформації

Тому основним призначенням методу вузлової трансформації є побудова імітаційної (алгоритмічної) моделі процесу ціноутворення (спрощена схема подана на рис. 2.2) на основі максимального наближення економічного поточкорозподілу до фізичного розподілу ЕЕ у ланцюзі "виробник–транспортувальник–споживач" та використання її для створення мультиагентного середовища комп'ютерної науково-практичної інформаційно-моделюючої системи, агентами-користувачами якої можуть бути, як людино-машинні комплекси елементарних вузлів, вузлових точок, так і комп'ютерні засоби науковців та студентів.

Його відмінність визначається способом декомпозиції СОТС ціноутворення, який базується на реально взаємопов'язаних процесах фізичного поточкорозподілу енергії та економічного поточкорозподілу. Обчислювальні процедури визначення індексів, що відображають динаміку зміни цін та обсягів ЕЕ у підсистемах, елементарних вузлах та вузлових точках, дозволяють створити нову імітаційну модель ціноутворення з багаторівневою системою часових рядів цінних індексів, яка у свою чергу дозволить побудувати систему моніторингу та індикаторного аналізу стану ринку ЕЕ, а також проведення розрахунково-експериментальних досліджень з прогнозування та оцінки впливу на ціноутворення динамічних процесів зміни як внутрішніх, так і зовнішніх факторів.

Практичне значення результатів полягає в тому, що застосування методу для побудови імітаційних моделей процесів ціноутворення дозволяє підвищити прозорість функціонування ринку, виявляти не типові відхилення в динаміці зміни цін у вузлах і точках ціноутворення, своєчасно коригувати регуляторні механізми для їх усунення і

відслідковувати наслідки прийнятих рішень. Неважко побачити і його можливе застосування для побудови імітаційних моделей СОТС ціноутворення на ринку газу, регіональних ринках теплової енергії та інших енергоринків.

2.2. Математичне моделювання рівноваги на сегменті ринку «на добу наперед»

Визначення рівноважної ціни електричної енергії на підставі цінових заявок виробників (продаж електроенергії) та цінових заявок постачальників (купівля електроенергії), приводить до рішення нелінійної задачі, що містить два типи невідомих змінних - цілочисельні змінні, значення яких відображають ринкові рішення щодо акцепту заявок на купівлю та продаж електроенергії, та дійсні змінні, які визначають рівноважні ціни для кожного розрахункового періоду. Розглянемо питання побудови математичної моделі задачі та розроблення спеціалізованого обчислювального алгоритму її розв'язку [30].

2.2.1. Математична модель задачі

Нехай $\forall j$ або $\forall k$ та $\forall i$ величини $(\bar{B}_{j,i}, \bar{P}_{j,i})$ або $(\bar{S}_{k,i}, \bar{P}_{k,i})$ є обсяг і ціна купівлі або продажу електроенергії, зазначені в заявці j для розрахункового періоду i . При цьому всі заявлені обсяги та ціни задовольняють обмеженням

$$\bar{B}_{j,i} \geq 0, \quad P_i^{\min} \leq \bar{P}_{j,i} \leq P_i^{\max}, \quad \bar{S}_{k,i} \geq 0, \quad P_i^{\min} \leq \bar{P}_{k,i} \leq P_i^{\max}.$$

Нехай I – множина розрахункових періодів, а множини заявок $J = J_1 \cup J_2 \cup J_3 \cup J_4 \cup J_5$ та $K = K_1 \cup K_2 \cup K_3 \cup K_4 \cup K_5$ на купівлю та продаж складаються з підмножин заявок певного типу.

У відповідності до затверджених Регулятором Правил ринку «на добу наперед» та внутрішньодобового ринку (від 14.03.2018 №308) існує декілька видів заявок на купівлю та продаж електричної енергії на ринку «на добу наперед». Так, можуть бути подані наступні види заявок, а саме:

- погодинні, що містять погодинні ціни та обсяги одного розрахункового періоду;

- прості блочні, що містять одну ціну, що є середньозваженою по обсягах, що зазначаються у всіх розрахункових періодах, які входять у блок;

- профільована блочна, що містять пари «ціна-обсяг» для кожного розрахункового періоду, які входять у блок;

- пов'язані блочні, що складаються з набору простих блочних заявок, пов'язаних у декілька рівнів. Прийняття пов'язаних блочних заявок (другого та третього рівнів) може відбутися лише за умови акцепту простої блочної заявки попереднього рівня. При цьому, заявка має такі обмеження, як: максимальна кількість рівнів пов'язаних простих блочних заявок - 3; максимальна кількість простих блочних заявок, пов'язаних з заявкою попереднього рівня - 3; загальна максимальна кількість простих блочних заявок у пов'язаній блочній заявці – 7;

- гнучка заявка передбачає автоматичний вибір розрахункового періоду для акцепту заявленого обсягу електричної енергії за найвигіднішою ціною, тобто дає можливість її ініціатору придбати або продати певний обсяг електроенергії (у МВт-год) по вказаній (бажаній

ініціатором) ціні.

Такі види заявок працюють на європейських ринках, але не всі види таких заявок застосовуються при проведенні торгів на ринку «на добу наперед». В роботі [31] проведено аналіз світового досвіду функціонування конкурентних ринків ЕЕ в частки використання способів подання заявок учасників ринків РДН та БР. Встановлено, що існує два основних підходу щодо подання заявок купівлі-продажу ЕЕ. Перший підхід, в якому в заявках використовуються «поетапні ціново-кількісні пари», застосовують генеруючі компанії на ринках Іспанії, Італії, Нідерландів, Польщі та Румунії. Другий підхід, в якому в заявках використовуються подання «дискретних ціново-кількісних пар з лінійною інтерполяцією по між ними», застосовується на біржах ЕЕ NordPool, Німеччині, Франції [31]. Там же детальніше описано особливості використання цих підходів.

Проведений аналіз літературних джерел, наприклад, [32-39], показує, що для формування заявок знаходять застосування різні імітаційні моделі сегментів ринку з метою пошуку оптимальних рішень для подачі заявок з купівлі-продажу ЕЕ, а також моделі процесів ціноутворення на них. Чимало досліджень присвячено удосконаленню методів прогнозування цінових показників функціонування ринку. Природно, що перераховані інструментальні засоби з різним ступенем продуктивності можуть бути використані і використовуються в якості систем підтримки прийняття рішень (СППР).

Основними серед заявок на сегменті ринку РДН в Україні, як правило є, погодинні та блочні заявки для продажу і для купівлі - погодинні. При цьому, в Україні більше використовують при продажу на РДН блочні (прості та зв'язані) заявки, а для купівлі - погодинні. Це

пов'язано із тим, що в структурі продажу електричної енергії на ринку «на добу наперед» більше припадає на ТЕС та електростанції з використанням ВДЕ, а при купівлі – постачальники та трейдери.

Підмножини типових заявок

на купівлю	на продаж
J_1 – погодинні	K_1 – погодинні
J_2 – прості блочні	K_2 – прості блочні
J_3 – зв'язані блочні	K_3 – зв'язані блочні
J_4 – профільовані блочні	K_4 – профільовані блочні
J_5 – гнучкі блочні	K_5 – гнучкі блочні

Відповідно до вимог Додатку №5 до Правил РДН та ВДР, які діють на сьогодні (із змінами до Правил РДН та ВДР, згідно постанови НКРЕКП від 11.02.2022 №250), для визначення ціни та обсягів купівлі-продажу електричної енергії на РДН застосовується «принцип максимізації коефіцієнта соціального доходу». Тому, математичне формулювання задачі визначення ціни та обсягів купівлі-продажу електричної енергії має вигляд оптимізаційної задачі з наступним функціональним критерієм

$$C_{SI} = \left(\sum_{\forall j \in J_1} \sum_{\forall i \in I} B_{j,i} (\bar{P}_{j,i} - P_i) + \sum_{\forall j \in J_2} b_j \sum_{\forall i \in I} \bar{B}_{j,i} (\bar{P}_j - P_i) + \sum_{\forall j \in J_3} b_j \sum_{\forall i \in I} B_{j,i} (\bar{P}_j - P_i) + \sum_{\forall j \in J_4} b_j \sum_{\forall i \in I} \bar{B}_{j,i} (\bar{P}_{j,i} - P_i) + \sum_{\forall j \in J_5} \bar{B}_j \sum_{\forall i \in I} b_{j,i} (\bar{P}_j - P_i) \right) + \left(\sum_{\forall k \in K_1} \sum_{\forall i \in I} S_{k,i} (P_i - \bar{P}_{k,i}) + \sum_{\forall k \in K_2} s_k \sum_{\forall i \in I} \bar{S}_{k,i} (P_i - \bar{P}_k) + \sum_{\forall k \in K_3} s_k \sum_{\forall i \in I} S_{k,i} (P_i - \bar{P}_k) + \sum_{\forall k \in K_4} s_k \sum_{\forall i \in I} \bar{S}_{k,i} (P_i - \bar{P}_{k,i}) + \sum_{\forall k \in K_5} \bar{S}_k \sum_{\forall i \in I} s_{k,i} (P_i - \bar{P}_k) \right) \rightarrow \max, \quad (1)$$

а також низкою обмежень, які враховують особливості застосування заявок різного типу.

Обмеження, обумовлені параметрами погодинних заявок: $\forall j \in J_1$ та $\forall k \in K_1$.

За умовою подільності обсягу $\bar{B}_{j,i}$ погодинної заявки на купівлю маємо

$$0 \leq B_{j,i} \leq b_{j,i} \bar{B}_{j,i}, \quad \forall j \in J_1, \quad \forall i \in I,$$

а за умовою його неподільності –

$$B_{j,i} = b_{j,i} \bar{B}_{j,i}, \quad \forall j \in J_1, \quad \forall i \in I,$$

де

$$b_{j,i} \in (0,1), \quad \forall j \in J_1, \quad \forall i \in I.$$

Обмеження зверху ціни РДН ціною $\bar{P}_{j,i}$ погодинної заявки на купівлю

$$P_i \leq b_{j,i} \bar{P}_{j,i}, \quad \forall j \in J_1, \quad \forall i \in I.$$

За умовою подільності обсягу $\bar{S}_{k,i}$ погодинної заявки на продаж маємо

$$0 \leq S_{k,i} \leq s_{k,i} \bar{S}_{k,i}, \quad \forall k \in K_1, \quad \forall i \in I,$$

а за умовою його неподільності –

$$S_{k,i} = s_{k,i} \bar{S}_{k,i}, \quad \forall k \in K_1, \quad \forall i \in I,$$

де

$$s_{k,i} \in (0,1), \quad \forall k \in K_1, \quad \forall i \in I.$$

Обмеження знизу ціни РДН ціною $\bar{P}_{k,i}$ погодинної заявки на продаж

$$P_i \geq s_{k,i} \bar{P}_{k,i}, \quad \forall k \in K_1, \quad \forall i \in I.$$

Обмеження, обумовлені параметрами простих блочних заявок:

$\forall j \in J_2$ та $\forall k \in K_2$.

Обмеження зверху ціни РДН ціною $\bar{P}_j$ простої блочної заявки на купівлю

$$\frac{\sum_{i \in I} P_i \bar{B}_{j,i}}{\sum_{i \in I} \bar{B}_{j,i}} \leq b_j \bar{P}_j, \quad \forall j \in J_2$$

Обмеження знизу ціни РДН ціною $\bar{P}_k$ простої блочної заявки на продаж, якщо така заявка не є материнською для зв'язаних блочних заявок,

$$\frac{\sum_{i \in I} P_i \bar{S}_{k,i}}{\sum_{i \in I} \bar{S}_{k,i}} \geq s_k \bar{P}_k, \quad \forall k \in K_2$$

Обмеження, обумовлені параметрами зв'язаних блочних заявок:
 $\forall j \in J_3$ та $\forall k \in K_3$.

Обмеження зверху ціни РДН ціною $\bar{P}_j$ зв'язаної блочної заявки на купівлю

$$b_m \frac{\sum_{i \in I} P_i \bar{B}_{j,i}}{\sum_{i \in I} \bar{B}_{j,i}} \leq b_j \bar{P}_j, \quad \forall j \in J_3$$

Умова першого рівня зв'язності заявки $j \in \bar{J}_3$ з материнською заявкою $m \in J_2$

$$B_{j,i} = b_m \bar{B}_{j,i}, \quad \forall j \in \bar{J}_3 \in J_3, \quad \forall m \in J_2, \quad \forall i \in I$$

Умова другого рівня зв'язності заявки $j \in \bar{\bar{J}}_3$ з заявкою першого рівня зв'язності $\bar{m} \in \bar{J}_3$

$$B_{j,i} = b_{\bar{m}} \bar{B}_{j,i}, \quad \forall j \in \bar{\bar{J}}_3 \in \bar{J}_3 \in J_3, \quad \forall \bar{m} \in \bar{J}_3, \quad \forall i \in I$$

Умова третього рівня зв'язності заявки $j \in \bar{\bar{J}}_3$ з заявкою другого рівня зв'язності $\bar{m} \in \bar{J}_3$

$$B_{j,i} = b_{\bar{m}} \bar{B}_{j,i}, \quad \forall j \in \bar{\bar{J}}_3 \in \bar{J}_3 \in J_3, \quad \forall \bar{m} \in \bar{J}_3, \quad \forall i \in I.$$

Обмеження знизу ціни РДН ціною $\bar{P}_k$ зв'язаної блочної заявки на продаж

$$s_m \frac{\sum_{\forall i \in I} P_i \bar{S}_{k,i}}{\sum_{\forall i \in I} \bar{S}_{k,i}} \geq s_k \bar{P}_k, \quad \forall k \in K_3.$$

Умова першого рівня зв'язності заявки $k \in \bar{K}_3$ з материнською заявкою $m \in K_2$

$$s_m \left(\sum_{\forall i \in I} P_i \bar{S}_{m,i} - \bar{P}_m \sum_{\forall i \in I} \bar{S}_{m,i} \right) + s_k \left(\sum_{\forall i \in I} P_i \bar{S}_{k,i} - \bar{P}_k \sum_{\forall i \in I} \bar{S}_{k,i} \right) \geq 0, \\ \forall k \in \bar{K}_3 \in K_3, \quad \forall m \in K_2, \quad \forall i \in I.$$

Умова другого рівня зв'язності заявки $k \in \bar{\bar{K}}_3$ з заявкою першого рівня зв'язності $\bar{m} \in \bar{K}_3$

$$S_{k,i} = s_{\bar{m}} \bar{S}_{k,i}, \quad \forall k \in \bar{\bar{K}}_3 \in \bar{K}_3 \in K_3, \quad \forall \bar{m} \in \bar{K}_3, \quad \forall i \in I.$$

Умова третього рівня зв'язності заявки $k \in \bar{\bar{\bar{K}}}_3$ з заявкою другого рівня зв'язності $\bar{\bar{m}} \in \bar{K}_3$

$$S_{k,i} = s_{\bar{\bar{m}}} \bar{\bar{S}}_{k,i}, \quad \forall k \in \bar{\bar{\bar{K}}}_3 \in \bar{\bar{K}}_3 \in \bar{K}_3, \quad \forall \bar{\bar{m}} \in \bar{\bar{K}}_3, \quad \forall i \in I.$$

Обмеження, обумовлені параметрами профільованих блочних заявок: $\forall j \in J_4$ та $\forall k \in K_4$.

Обмеження зверху ціни РДН ціною $\bar{P}_{j,i}$ профільованої заявки на купівлю

$$P_i \leq b_j \bar{P}_{j,i}, \quad \forall j \in J_4, \quad \forall i \in I.$$

Обмеження знизу ціни РДН ціною $\bar{P}_{k,i}$ профільованої заявки на продаж

$$P_i \geq s_k \bar{P}_{k,i}, \quad \forall k \in J_4, \quad \forall i \in I.$$

Обмеження, обумовлені параметрами гнучких заявок: $\forall j \in J_5$ та $\forall k \in K_5$.

Умови акцептування гнучкої заявки $j \in J_5$ на купівлю

$$0 \leq \sum_{\forall i \in I} b_{j,i} \leq 1, \quad \forall j \in J_5.$$

Обмеження зверху ціни РДН ціною $\bar{P}_j$ гнучкої заявки на купівлю

$$P_i \leq b_{j,i} \bar{P}_j, \quad \forall j \in J_5, \quad \forall i \in I.$$

Умови акцептування гнучкої заявки $k \in K_5$ на продаж

$$0 \leq \sum_{\forall i \in I} s_{k,i} \leq 1, \quad \forall k \in K_5.$$

Обмеження зверху ціни РДН ціною $\bar{P}_k$ гнучкої заявки на продаж

$$P_i \geq s_{k,i} \bar{P}_k, \quad \forall k \in K_5, \quad \forall i \in I.$$

Баланс акцептованих обсягів купівлі та продажу електроенергії

$$\left(\begin{array}{l} \sum_{\forall j \in J_1} \sum_{\forall i \in I} B_{j,i} \\ + \sum_{\forall j \in J_2} b_j \sum_{\forall i \in I} \bar{B}_{j,i} \\ + \sum_{\forall j \in J_3} b_j \sum_{\forall i \in I} B_{j,i} \\ + \sum_{\forall j \in J_4} b_j \sum_{\forall i \in I} \bar{B}_{j,i} \\ + \sum_{\forall j \in J_5} \bar{B}_j \sum_{\forall i \in I} b_{j,i} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{l} \sum_{\forall k \in K_1} \sum_{\forall i \in I} S_{k,i} \\ + \sum_{\forall k \in K_2} s_k \sum_{\forall i \in I} \bar{S}_{k,i} \\ + \sum_{\forall k \in K_3} s_k \sum_{\forall i \in I} S_{k,i} \\ + \sum_{\forall k \in K_4} s_k \sum_{\forall i \in I} \bar{S}_{k,i} \\ + \sum_{\forall k \in K_5} \bar{S}_k \sum_{\forall i \in I} s_{k,i} \end{array} \right), \quad \forall i \in I.$$

Функціональний критерій (1) оптимізаційної задачі має тотожний спрощений вигляд

$$C_{SI} = \left(\begin{array}{l} \sum_{\forall j \in J_1} \sum_{\forall i \in I} B_{j,i} \bar{P}_{j,i} \\ + \sum_{\forall j \in J_2} b_j \bar{P}_j \sum_{\forall i \in I} \bar{B}_{j,i} \\ + \sum_{\forall j \in J_3} b_j \bar{P}_j \sum_{\forall i \in I} B_{j,i} \\ + \sum_{\forall j \in J_4} b_j \sum_{\forall i \in I} \bar{B}_{j,i} \bar{P}_{j,i} \\ + \sum_{\forall j \in J_5} \bar{B}_j \bar{P}_j \sum_{\forall i \in I} b_{j,i} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{l} \sum_{\forall k \in K_1} \sum_{\forall i \in I} S_{k,i} \bar{P}_{k,i} \\ + \sum_{\forall k \in K_2} s_k \bar{P}_k \sum_{\forall i \in I} \bar{S}_{k,i} \\ + \sum_{\forall k \in K_3} s_k \bar{P}_k \sum_{\forall i \in I} S_{k,i} \\ + \sum_{\forall k \in K_4} s_k \sum_{\forall i \in I} \bar{S}_{k,i} \bar{P}_{k,i} \\ + \sum_{\forall k \in K_5} \bar{S}_k \bar{P}_k \sum_{\forall i \in I} s_{k,i} \end{array} \right) \rightarrow \max \quad (2)$$

Сформульована оптимізаційна задача є нелінійною і містить два типи невідомих змінних - цілочисельні змінні, значення яких відображають ринкові рішення щодо акцепту заявок на купівлю та продаж ЕЕ, та дійсні змінні, які визначають рівноважні ціни для кожного розрахункового періоду.

2.2.2. Алгоритм розв'язку

На сьогодні не існує універсальних алгоритмів, придатних для розв'язку такої задачі. Тому пропонується спеціалізований алгоритм її розв'язку, загальна схема якого представлена на рис. 2.3. Основою побудови алгоритму є принципова можливість розгляду сформульованої оптимізаційної задачі у параметричному вигляді, де в якості параметрів виступають рівноважні ціни на ринку. При такому розгляді оптимізаційної задачі її можна представити як задачу змішаного цілочисельного лінійного програмування, невідомими змінними якої є відповідні рішення щодо акцепту заявок на купівлю та продаж електроенергії. Тоді для знаходження рівноважних цін на РДН – значень

невідомих параметрів задачі – можна застосувати ітераційний метод їх пошуку на дискретній множині цін погодинних заявок на продаж електроенергії. При цьому значення цін на РДН визначаються на кожній ітерації у відповідності до Правил ринку.

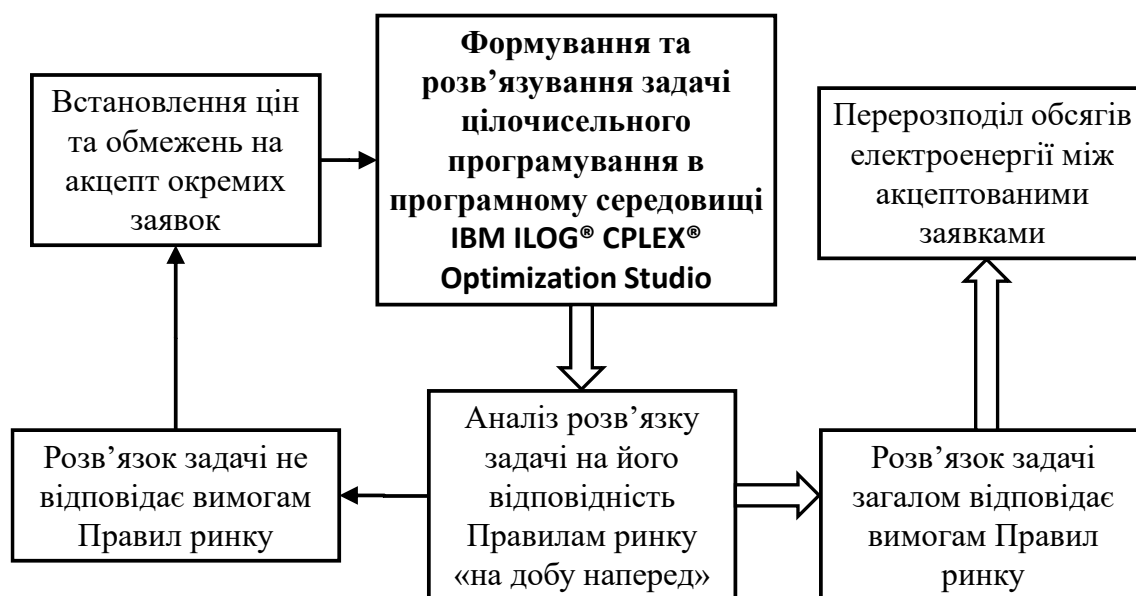


Рисунок 2.3. Узагальнена схема алгоритму пошуку рівноваги на РДН

У сформульованій задачі математичного моделювання ринкової рівноваги на РДН не відображено наступні вимоги «Правил ринку «на добу наперед» та внутрішньодобового ринку» № 1740 від 11 лютого 2022 року № 250, зазначені у окремих пунктах Додатку 5:

1. пункт 4.6. «Для пропорційного розподілу обсягу проданої електричної енергії між кроками заявок на купівлю визначається відношення обсягу, що має бути розподілений, до загального обсягу, заявленого з ціною на РДН, на яке потім будуть помножені обсяги кожного відповідного кроку заявок на купівлю»;

2. пункт 4.7. «Для пропорційного розподілу обсягу купленої електричної енергії між кроками заявок на продаж визначається

відношення обсягу, що має бути розподілений, до загального обсягу, заявленого з ціною на РДН, на яке потім будуть помножені обсяги кожного відповідного кроку заявок на продаж»;

3. пункт 5.2. «Крок погодинної заявки на продаж електричної енергії ... приймається повністю, якщо його ціна нижча або дорівнює ціні на РДН для відповідного розрахункового періоду і є достатній обсяг для купівлі з метою повного задоволення останнього кроку заявки на продаж»;

Врахування перших двох вимог правил ринку здійснюється на заключному етапі обробки отриманого рішення сформульованої задачі математичного програмування.

Дотримання третьої вимоги забезпечується ітераційною послідовністю дій щодо визначення ринкових цін з уточненням переліку заявок та розв'язування задач оптимізації для цього переліку.

Формулювання та розв'язування задачі змішаного цілочисельного лінійного програмування здійснюється в програмному середовищі IBM ILOG® CPLEX® Optimization Studio. Програмна імплементація такої задачі здійснена мовою OPL [40, 41]

Алгоритм реалізований мовою OPL у вигляді програмного коду. Його застосовано для отримання розв'язку тестового завдання з пошуку рівноважного стану на ринку «на добу наперед». В процесі виконання тестового завдання було встановлено, що витрати часу на отримання розв'язків задач змішаного цілочисельного лінійного програмування не перевищували 0.03 с. Це свідчить про високу швидкість отримання розв'язку сформульованої оптимізаційної задачі. Отримані кількісні дані результатів тестових розрахунків визначення погодинних рівноважних цін підтверджують, що запропонована математична модель

рівноважного стану ринку «на добу наперед» та запропонований алгоритм розв'язування оптимізаційної задачі моделювання можуть бути застосовані Оператором ринку для виконання щоденних практичних розрахунків.

2.3. Алгоритмічна модель розрахунку ціни та обсягів в пропозиціях теплових електростанцій

Алгоритмічна модель - комплекс алгоритмів які описують функціонування системи [42]. У нашому випадку алгоритмічну модель системи ціноутворення на ринку ЕЕ утворює сукупність алгоритмічних моделей її сегментів. Розглянемо як приклад побудову алгоритмічної моделі процесу підготовки пропозицій ГК ТЕС на РДН.

2.3.1. Припущення моделі

Для побудови моделі були прийняті такі припущення:

- вся ЕЕ продається та купується на сегменті ринку “на добу наперед” - РДН;
- купівля продаж ЕЕ за двосторонніми договорами не здійснюється, крім купівлі гарантованим покупцем ЕЕ у виробників ЕЕ за “зеленим” тарифом та виробників на ТЕЦ (погодинні обсяги купівлі такої ЕЕ дорівнюють фактичним сумарним обсягам купівлі в ОРЕ;
- торги на аукціоне РДН проводяться для кожної години розрахункової доби;
- попит – не еластичний та дорівнює прогнозованому графіку покриття навантаження;
- пропозиції – всі виробники - генеруючи потужності в ОЕС, з

урахуванням графіку ремонтів та реконструкції блоків ТЕС, АЕС;

- імпорт ЕЕ в Україну відсутній;
- для участі на РДН виробники подають пропозиції цін та обсягів, усі пропозиції подаються окремо для кожної години розрахункової доби;
- усі розрахунки здійснювались без урахування ПДВ.

2.3.2. Ціни пропозиції блоку ТЕС

1. Ціна ЕЕ у пропозиціях ТЕС, для відповідного блоку, розраховується за формулою, грн./МВт-год:

$$C_{\Pi}^{TEC} = \frac{b_{p\delta 4} \times C_{\delta}^{yne}}{1000} \times 1,032,$$

де $b_{p\delta 4}$ – питомі витрати умовного палива на відпущену ЕЕ, при максимальному значенні потужності на кривій графіка вихідних нормативних питомих витрат умовного палива відповідного блоку, г/кВт-год; 1000 – приведення результату розрахунку до одиниць виміру – грн./МВт-год; 1,032 – акциз на ЕЕ виробників, відповідно до вимог п. 215.3.9 «Податкового кодексу України»; C_{δ}^{yne} – середньозважена ціна тонни умовного палива (т.у.п.) на виробництво ЕЕ відповідним блоком, грн./т.у.п.

2. Середньозважена ціни умовного палива. Середньозважена ціна умовного палива на виробництво ЕЕ відповідним блоком розраховується за формулою:

$$C_{\delta}^{yne} = \sum_k \left(\frac{C_{\delta k}^{nn}}{K_{\delta k}^Q} \times \frac{r_{\delta k}^e}{100} \right),$$

де k – вид натурального палива (вугілля, газ, мазут); $C_{\delta k}^{nn}$ – ціна

натурального палива з урахуванням витрат на транспортування, із урахуванням доставки та перевалки викопного палива (без ПДВ), грн./т, грн./тис.мЗ; $r_{\delta k}^e$ – відсоток використання умовного палива на виробництво ЕЕ, %; $K_{\delta k}^Q$ – калорійний еквівалент переведення натурального палива в умовне.

3. Калорійний еквівалент $K_{\delta k}^Q$. Калорійний еквівалент переведення натурального палива в умовне розраховується за формулою:

$$K_{\delta k}^Q = \frac{Q_k}{7000},$$

де Q_k – теплота згоряння палива k , кКал/кг; 7 000 – теплотворна здатність умовного палива, кКал/кг.

4. Питомі витрати умовного палива. Питомі витрати умовного палива на відпущену ЕЕ, при максимальному значенні потужності на кривій графіка вихідних нормативних питомих витрат умовного палива відповідного блоку, визначаються за наступною формулою, г/кВт·год:

$$b_{p\delta 4} = b_{p\delta 4}^{6H} \times K_{ct}^{\phi},$$

де $b_{p\delta 4}^{6H}$ – вихідні нормативні питомі витрати умовного палива на відпущену ЕЕ, що визначаються за кривою графіка вихідних нормативних питомих витрат умовного палива відповідного блоку, затвердженого центральним органом виконавчої влади, що здійснює управління в електроенергетиці, г/кВт·год.; K_{ct}^{ϕ} – коефіцієнт приведення нормативних питомих витрат умовного палива на відповідному блоці до фактичних середньозважених питомих витрат умовного палива на електростанції.

5. Коефіцієнт приведення нормативних питомих витрат K_{ct}^{ϕ} .

Коефіцієнт приведення нормативних питомих витрат умовного палива на відповідному блоці до фактичних середньозважених питомих витрат умовного палива на електростанції розраховується за формулою:

$$K_{ct}^{\phi} = \frac{b_{ct}^{\phi}}{b_{ct}^{\phi n}},$$

де $b_{ct}^{\phi n}$ – середньозважені питомі витрати умовного палива станції, розраховані виходячи з нормативних питомих витрат умовного палива на відпущену ЕЕ її блоків, г/кВт·год; b_{ct}^{ϕ} – фактичні питомі витрати умовного палива станції, г/кВт·год.

2.3.3. Обсяги електроенергії в пропозиціях ТЕС

Обсяг виробленої ЕЕ у пропозиціях ТЕС, для відповідного блоку, розраховується за формулою, МВт·год:

$$E_n^{TEC} = \frac{(K \times P_{\delta \max}^{TEC} - P_{\delta \min}^{TEC})}{2} + P_{\delta \min}^{TEC},$$

де $P_{\delta \max}^{TEC}$ – максимальна потужність блоку, МВт; $P_{\delta \min}^{TEC}$ – мінімальна потужність блоку, МВт; K – коефіцієнт корисного відпуску.

2.3.4. Аналіз результатів обчислювальних експериментів

1. Розрахунок погодинних маржинальних цін купівлі-продажу ЕЕ. В результаті проведених обчислювальних експериментів отримано погодинні маржинальні ціни купівлі-продажу ЕЕ на РДН; перелік блоків ТЕС, які стали переможцями на умовному аукціоні РДН.

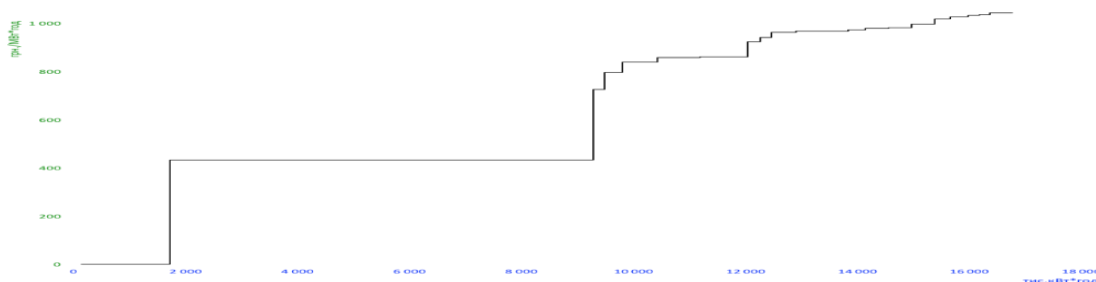


Рисунок 2.4. Результат розрахунку маржинальних цін

2. *Дослідження адекватності алгоритмічної моделі.* Задля підтвердження адекватності було проведено порівняльний аналіз цін на ЕЕ вироблену на ТЕС, які склалися на ОРЕ та цін отриманих за результатами розрахунків в алгоритмічній моделі ціноутворення на ринку ЕЕ. Метою проведення цього порівняльного аналізу є визначення похибки розрахунку ціни на ЕЕ алгоритмічній моделі ціноутворення на сегменті ринку РДН у порівнянні з ціною, яка склалася на діючому ОРЕ, та оцінка адекватності вибору складу генеруючого обладнання ТЕС для покриття графіку навантаження отриманого за результатами розрахунків в моделі.

Для здійснення порівняльного аналізу цін на ЕЕ виробленої на ТЕС (далі – порівняльний аналіз), ціни отримані в результаті розрахунків з використанням моделі порівнювалися з граничними цінами системи, що склалися на діючому ОРЕ у відповідному періоді. Для представлення результатів порівняльного аналізу обрано 22 грудня 2016 року, як найбільш репрезентативний день роботи ОЕС України в період з 01.10.2016 по 31.12.2016. Порівняльний аналіз здійснювався для кожної години обраної доби.

Перелік спільних вихідних даних для обох моделей:

- попит;
- графіки покриття АЕС, ТЕЦ, ГЕС, електростанцій з використанням

ВДЕ;

- ціни та калорійність палива (вугілля, газ, мазут);
- графік ремонтів блоків ТЕС.

Перелік вихідних даних, які не були приведені в моделі у відповідність до вихідних даних, які використовуються в ОРЕ:

- номери блоків ТЕС, які повинні бути в роботі за вимогою системних обмежень (в моделі встановлювалась обов'язкова робота блоків на розсуд її розробників за принципом економічної обґрунтованості);

- питомі витрати умовного палива на відпущену електричну енергію;
- резерви потужності.

Аналіз похибки результати розрахунків. Для проведення аналізу похибки розрахунку цін ЕЕ виробленої на ТЕС порівнювалися погодинні та середньозважені добові ціни.

У зв'язку з особливостями правил роботи ОРЕ безпосереднє порівняння погодинних цін на ЕЕ вироблену на ТЕС, не дає можливості оцінити похибку розрахунків в моделі. Це пов'язано з тим, що ціна в нічній та денній зонах визначається за різними умовами згідно правил ОРЕ. Так, з метою більшої диференціації цін частина витрат перенесена в денну зону (холостий хід), в нічній зоні ціна ЕЕ ТЕС не відображає в повній мірі реальні витрати ТЕС. В цілому, як свідчать результати роботи ОРЕ, в грудні місяці 2016 року ціни в більшості годин були сформовані на ринкових умовах (по найдорожчому блоку, без досягнення граничного обмеження на ціну ЕЕ).

Графік погодинних цін на ЕЕ ТЕС в ОРЕ показує, що ціна в ОРЕ впродовж доби має значну різницю між денною та нічною зонами. Водночас, графік погодинних цін ТЕС в моделі має лише незначні

коливання, впродовж всієї доби. На прикладі 17 години (денна зона) 22 грудня 2016 року ціна на ЕЕ ТЕС, що увійшли до графіку навантаження на діючому оптовому ринку, склала 1 217 грн./МВт*год. Ціна ЕЕ виробленої на ТЕС, що увійшли до графіку навантаження отриманого в результаті розрахунку в моделі склала 1 090 грн./МВт*год. При цьому, відхилення цін у нічній зоні має протилежний знак. Так, наприклад о 3 годині 22 грудня 2016 року ціна на електричну енергію ТЕС в ОРЕ склала 782 грн./МВт*год., а за результатами розрахунку в імітаційній моделі 1 003 грн./МВт*год.

Причини відхилення цін у годинах доби:

- цінові заявки ТЕС в ОРЕ в денній зоні покривають витрати, які не були покриті в нічні години доби;

- умовно-змінні витрати виробників в ОРЕ розраховуються на підставі питомих витрат на рівні прийнятого завантаження блоків, а в моделі питомі витрати однакові для кожного блоку по всіх годинах доби та встановлені для максимального рівня завантаження блоку.

Виходячи з вищенаведеного для визначення похибки розрахунку цін на ЕЕ вироблену на ТЕС, більш коректним є порівняння середньозважених добових цін. На прикладі 22 грудня 2016 року середньозважена добова ціна на ЕЕ ТЕС, що увійшли до графіку навантаження ОРЕ склала 1 110 грн./МВт*год. Середньозважена добова ціна на ЕЕ виробленої на ТЕС, що увійшли до графіку навантаження отриманого в результаті розрахунку в імітаційній моделі склала 1 034 грн./МВт*год. Відхилення середньозваженої добової ціни становить 6,8 %. Зважаючи на рівень отриманого за розрахунками відхилення, можна зробити висновок, що похибка в розрахунках цін на ЕЕ вироблену на ТЕС в алгоритмічній моделі не перевищує 10 %.

РОЗДІЛ 3

ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ЦІНОУТВОРЕННЯ

У даному розділі розглянуто теоретичні та прикладні задачі розробки сучасних засобів інформаційно-технологічного забезпечення комп'ютерних систем моделювання в електроенергетиці у вигляді інтерактивних адаптивних об'єктно та функціонально орієнтованих систем підтримки прийняття рішень для вирішення завдань планування розвитку генеруючих потужностей, у тому числі пропонується підхід щодо вирішення задачі побудови комп'ютерної системи моделювання процесів ціноутворення з розвиненими засобами об'єктно-орієнтованого моделювання (ООМ) процесів функціонування суб'єктів СОТС ціноутворення з метою формування єдиної структури бази даних (БД) при створенні уніфікованого моделюючого середовища користувача, розроблено засади створення інформаційно-технологічної забезпечення побудови СППР енергетичних компаній, як суб'єктів ринку ЕЕ.

Основною метою пропонованого підходу є створенню інформаційно-технологічного забезпечення комп'ютерної системи моделювання задля підвищення інформаційної забезпеченості роботи користувачів-фахівців суб'єктів системи організаційного управління СОТС ціноутворенням за рахунок скорочення термінів автоматизації процесів прийняття рішень, прискорення формування інтерфейсів взаємодії користувача з інтегрованим інформаційно-методичним ресурсом (БД, базою моделей, базою знань), створення єдиного

(уніфікованого) програмного середовища.

Досягнення сформульованої мети визначає наступні напрямки робіт з побудови комп'ютерної системи і використання її в якості СППР для системи організаційного управління (СОУ) процесом ціноутворення на ринку ЕЕ:

- побудова організаційної моделі інформаційно-технологічного забезпечення СППР;
- формування концептуального представлення організаційної структури адаптивної предметно-незалежної СППР;
- об'єктне моделювання даних предметної області з метою формування єдиної (уніфікованої) структури бази даних суб'єктів організаційного управління;
- функціональне моделювання технологічних процесів обробки і подання даних з метою уніфікації (стандартизації) програмного інтерфейсу системи через типізацію (класифікацію) операцій взаємодії користувача з об'єктами предметної області в програмному забезпеченні системи;
- розробка протоколів (інтерфейсів) інформаційного обміну даними з моделями різного призначення, які підключаються до бази даних суб'єктів організаційного управління ціноутворенням.

3.1. Комп'ютерні системи моделювання процесів прийняття рішень системою ціноутворення ринку електричної енергії

Основною метою побудови систем моделювання для вирішення задач підтримки прийняття рішень є істотне підвищення

продуктивності організаційного управління:

1. ефективності - в результаті скорочення чисельності обслуговуючого персоналу;
2. оперативності - внаслідок скорочення часу обробки великих обсягів інформації;
3. обґрунтованості прийнятих рішень - в результаті забезпечення можливості проведення багатоваріантного аналізу запропонованих варіантів внесення змін до механізмів (правил) функціонування СОУ для досягнення поставлених цілей управління і оцінки наслідків прийнятих рішень [43].

Природно припустити, що побудова системи, яка фактично призначена для реалізації функцій інтерактивної адаптивної СППР, можливо тільки за допомогою комп'ютерної системи моделювання, що забезпечує можливість проектування і побудови імітаційних комп'ютерних моделей процесів функціонування СОУ. Така система повинна включати:

- засоби формального математичного опису складних суб'єктів СОТС і процесів їх організаційної взаємодії між собою і зовнішнім середовищем;
- єдиний інформаційний простір, що об'єднує засоби об'єктно-орієнтованого концептуального та інформаційного моделювання процесів взаємодії складних суб'єктів СОТС між собою і зовнішнім середовищем;
- уніфіковану систему класифікаторів та довідників, структуру зберігання даних, єдину систему протоколів і інтерфейсів;
- уніфіковані засоби застосування комп'ютерних моделей.

3.1.1. Організаційна модель інформаційно-технологічного забезпечення процесів прийняття рішень

В основу адаптивної організаційної схеми побудови об'єктно-орієнтованої СППР повинні бути покладені типові риси, за допомогою яких можна відрізнити один об'єкт даних від іншого. Доцільність такого аналізу і виділення класів об'єктів предметної області при розробці моделей зовнішнього (що відбиває інтерфейс програмного додатка системи) і концептуального (відбиває уявлення даних функціональних завдань програмного додатка системи) рівнів організаційної схеми обумовлена тим, що для різних функціональних задач програмного додатка часто використовуються однакові операції візуалізації і перетворення над інформаційними масивами даних. Крім того, функції та процеси обробки даних при поетапному впровадженні підсистем інтегрованої системи швидко модифікуються, відтворюючи змінні вимоги користувачів до предметної області.

Все це вимагає такої організації структури системи, при якій об'єкти предметної області та взаємозв'язки між ними були б визначені незалежно від реалізації конкретних функціональних завдань обробки даних в процедурах і інтерфейсах програмного забезпечення і являли собою єдину структуру. В результаті, об'єктом проектування і опису в організаційній моделі системи повинні виступати не тільки структури даних предметної області, а, й самі процедури реалізації функціональних задач. Введення додаткового проміжного логічного підрівня подання процедурної та інтерфейсної частин програмного середовища між рівнями концептуальної і зовнішньої моделю предметної області забезпечить необхідну незалежність, тобто адаптивність СППР до

можливих змін і розширенням зовнішньої і концептуальної моделей даних (рис. 3.1) [44].

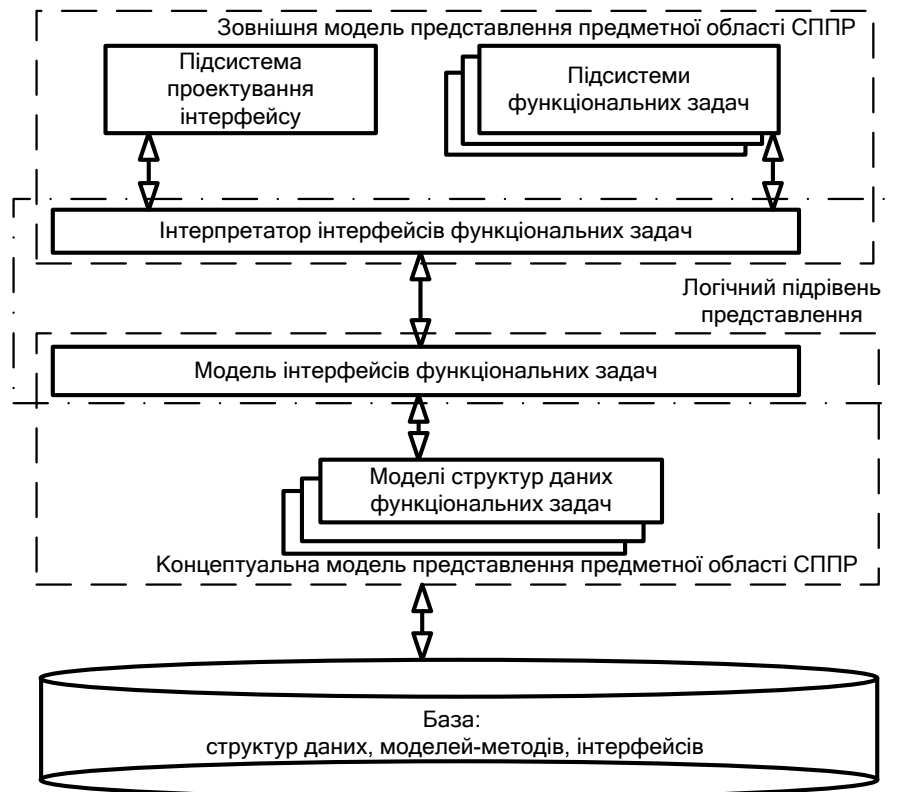


Рисунок 3.1. Схема організаційної моделі побудови СППР

До функціональності сучасних інформаційних систем слід висувати вимоги, які передбачають відкритість структури системи, наявність гнучкого інтерфейсу (механізму) для включення нових об'єктів і алгоритмів вирішення прикладних завдань і можливості адаптації до змін, як в структурі, так і в значеннях параметрів об'єктів предметної області. Таким чином, інформаційна частина - база даних і технологічна частина - програмне забезпечення будуть складатися з функціональної складової, яка відображає особливості і процеси предметної області, і інформаційної складової, яка відображає уніфіковані способи взаємодії з об'єктами предметної області.

3.1.2. Концептуальна модель інформаційно-технологічного забезпечення процесів прийняття рішень

Відмітна особливість пропонованого концептуального підходу до створення інформаційно-технологічної платформи побудови і реалізації функцій СППР полягає в формалізації компонентів DDM-парадигми (Data-Dialog-Model) [45, 46] як проблемно-незалежних компонентів концептуальної моделі СППР в СОУ:

1. компонент Data - блок об'єктно-орієнтованого моделювання суб'єктів, що беруть участь в структуроутворюючих зв'язках організаційного управління для визначення показників (параметрів) функціонування енергоринку;

2. компонент Dialog - адаптивна модель взаємодії (інтерфейсу) і представлення даних користувачеві, що реалізує спосіб динамічного зв'язування, який організовується у вигляді власної моделі шляхом створення словника відображень структур і атрибутів даних функціональних завдань предметної області енергоринку на операції візуалізації даних;

3. компонент Model - засоби генерації моделей в СППР, які реалізують функції проблемного аналізу і представляються як уніфіковані методи - моделюючі алгоритми, що визначають правила утворення і зміни значень показників функціонування енергоринку, що реалізують основні етапи роботи з даними СППР.

В роботах [44, 47] запропоноване вдосконалення DDM-парадигми та обгрунтовано включення до структури СППР організаційного управління суб'єктами СОТС наступних проблемно-незалежних компонентів подання процесів функціонування предметної області СОУ (рис. 3.2):

- моделі суб'єктів, що беруть участь в структуроутворюючих зв'язках організаційного управління для визначення правила функціонування СОТС;
- моделі показників (параметрів) функціонування СОТС;
- моделюючі алгоритми (моделі різного призначення), що визначають правила утворення і зміни значень показників функціонування СОТС;
- модель інтерфейсів користувача для представлення даних процесів функціонування СОТС;
- менеджери даних, інтерфейсів, моделей.

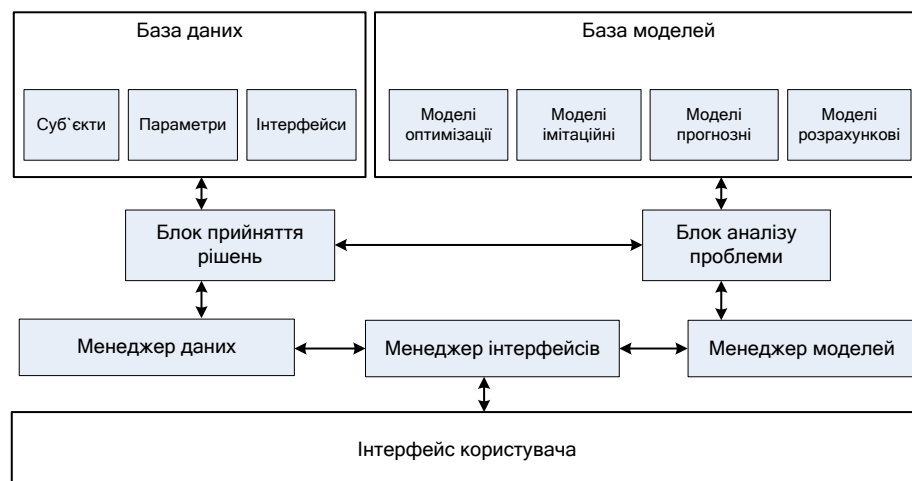


Рисунок 3.2. Концептуальна модель побудови СППР організаційного управління

Важливим компонентом концептуальної моделі СППР є менеджер даних, що забезпечує інтерфейс користувача з структурами даних предметної області СОУ з можливістю подальшого моніторингу та оцінки показників функціонування СОТС. Тому, при використанні об'єктно-орієнтованого підходу до створення адаптивної СППР передбачається проведення етапу об'єктного аналізу предметної області (ПрО), а потім,

на його основі, реалізація етапу об'єктно-орієнтованого моделювання ПрО СОУ. Суть такого аналізу полягає в ототожненні сутностей - суб'єктів і процесів ПрО СОУ у вигляді сукупності інформаційних об'єктів, що взаємодіють один з одним на основі принципів ООМ та розробці на їх основі єдиної специфікації ПрО функціонування СОУ.

3.2. Інформаційне забезпечення адаптивної системи підтримки прийняття рішень

3.2.1. Аналіз подання процесів функціонування системи організаційного управління

Однією з головних умов створення адаптивних інформаційних систем є уніфікація даних. Розробка єдиної системи уніфікації являє собою складну і трудомістку задачу, для вирішення якої доцільно використовувати міжнародний досвід і стандарти. Основою побудови єдиної системи класифікації і єдиного інформаційного простору даних повинна стати узагальнена інформаційна модель, яка однаковою способом відповідно до стандартів ІЕС [48, 49] описує всю множину типових фізичних суб'єктів СОТС на основі принципів ООМ.

Дотримуючись принципів ООМ, в такий узагальненої інформаційної моделі підтримується опис фізичних суб'єктів СОТС на всіх рівнях СОУ, що дозволяє одночасно представляти в інформаційному забезпеченні системи їх властивості та зв'язки, створюючи можливість застосовувати єдину систему класифікаторів, довідників та уніфікувати систему доступу до даних.

Основними поняттями ООМ є об'єкти, класи, властивості, події, методи, а принципами - інкапсуляція, успадкування і поліморфізм [50-

53]. Об'єктна модель описує структуру об'єктів, що становлять систему $Object := \langle Attributes, Condition, Behaviour \rangle$ з атрибутів *Attributes*, поточного стану *Condition*, операцій поведінки *Behaviour*. В об'єктній моделі повинні бути відображені ті поняття і об'єкти реального світу ПрО, які важливі для розроблюваної системи. Створювані класи об'єктів впорядковані в ієрархічну структуру, побудовану на відношенням підпорядкування, які засновані на принципах інкапсуляції, успадкування і поліморфізму.

Суб'єкти організаційного управління в СОТС є об'єктами предметної області СОУ, що подаються засобами ООМ із усіма його принципами. В результаті інформаційна модель процесів функціонування СОУ повинна використовувати принципи подання метаданих, як засобу відтворення понять ООМ, до яких віднесені об'єкти, атрибути, події, методи.

В результаті модель предметної області СОУ, що побудована за принципами ООМ із застосування метаданих, буде відповідати сучасним вимогам до функціональності інформаційних систем, які обумовлюють:

- відкритість структури системи;
- гнучкий інтерфейс для включення нових параметрів, суб'єктів і алгоритмів обробки даних предметної області;
- можливість адаптації до змін як у структурі, так і в значеннях параметрів суб'єктів і алгоритмів предметної області.

Для створення адаптивної СППР на етапі аналізу даних про ПрО, тобто про суб'єктів СОТС, проводиться виділення типових компонентів і функцій із визначенням їх у множині понять ООМ та розробці на їх основі єдиної специфікації ПрО функціонування СОУ [43, 44].

Предметна область - це сукупність інформаційних елементів-

сутностей, які характеризують діяльність суб'єктів організаційного управління в СОТС, їх склад і структуру, і дозволяють описувати необхідні функціональні завдання, які вирішуються в системі для досягнення цілей управління. Предметна область СОУ SA визначається складом суб'єктів СОТС і сценаріїв їх функціонування:

$$SA = (S, f^S, SC),$$

де S - суб'єкти СОТС; f^S - структура суб'єктів; SC - сценарії функціонування суб'єктів.

Суб'єкт - це сутність, а саме об'єкт або група (сукупність) об'єктів, що має важливе функціональне призначення в даній ПрО. До суб'єктів віднесені організаційні структури, що здійснюють діяльність в рамках ПрО. У загальному випадку суб'єкт може бути представлений ієрархічною структурою в складі територіально віддалених один від одного, функціонально підпорядкованих один одному або розділених залежно від функцій управління суб'єктів діяльності. Тому суб'єкт характеризується індивідуальністю, станом, структурою і певною поведінкою.

Індивідуальність - це властивість суб'єкта, що дозволяє відрізнити його від інших суб'єктів в ПрО. Індивідуальність зіставлена з певним переліком значень якісних характеристик – статичних у часі (технічних, фізичних) властивостей суб'єкта.

Стан суб'єкта визначається вектором поточних значень кількісних характеристик - детермінованих і не детермінованих параметрів його функціонування. Таким чином, кожен суб'єкт, як організаційна структура, однозначно характеризується сукупністю статичних властивостей і динамічних параметрів функціонування, змінюваних в

часі:

$$S = (C, P), S \subseteq ST \times C, P \subseteq PT \times S,$$

де C - статична властивість, яка ідентифікує суб'єкт в його класі (типі суб'єкта) ST ; P - динамічний параметр, який відноситься до одного з встановлених в PrO класів (типів параметрів) PT і характеризує компонент вектора поточного стану суб'єкта S .

Суб'єкт для забезпечення своєї діяльності в рамках PrO пов'язаний з іншими суб'єктами різного роду відношеннями, в результаті яких формується семантична мережа (структура) суб'єктів у даній області:

$$f^S : S \times S \rightarrow LT,$$

де LT - множина класів відношень (типів зв'язків), що встановлюються між суб'єктами в рамках PrO .

Зв'язок - це відношення, яке встановлюється між суб'єктами в PrO , що має власну властивість. В результаті семантична мережа суб'єктів в PrO утворюється із сукупності підмереж суб'єктів, виділених за певними і встановленим в PrO властивостям їх відносин. Наприклад, в електроенергетичній системі як різновиду СОТС група генеруючих компаній (генкомпаній) буде утворена з урахуванням наявності функціональних зв'язків між суб'єктами - генкомпаніями (теплової енергетики, гідроенергетики та ін.). Генкомпанію буде пов'язано структурними зв'язками із вхідними до її складу юридично підлеглими електростанціями і їх блоками, а енергокомпанія - оптовий постачальник ЕЕ, природно, буде пов'язана територіальними зв'язками з підприємствами - оптовими споживачами і роздрібними постачальниками електроенергії.

Поведінка суб'єкта - це змінна в часі послідовність векторів його власного стану за встановлений (розрахунковий) період діяльності. Діяльність в ПрО регламентується технологічними процесами, реалізованими суб'єктами в рамках цієї області. Ці процеси ідентифікуються нормативними документами і представляються у вигляді алгоритмів, які формують значення параметрів функціонування суб'єктів для досягнення цілей управління СОТС в цілому. Конкретний суб'єкт може брати участь в декількох незалежних процесах відповідно до його цільового спрямування, тобто може мати кілька алгоритмів-процедур розрахунку, результати яких можуть бути використані в алгоритмах розрахунку параметрів інших суб'єктів. Після завершення всіх регламентованих розрахунково-технологічних операцій відбувається зміна стану ПрО в цілому. Порядок зміни значень параметрів суб'єктів визначається сценарієм функціонування в ПрО.

Сценарій - це задана послідовність взаємопов'язаних розрахунково-технологічних операцій, які призводять до зміни існуючих або утворення нових значень параметрів функціонування суб'єктів в ПрО на встановлений інтервал часу D :

$$SC = (O, f^O, V, M, f^V),$$

де O - розрахунково-технологічні операції, групи операцій;
 $f^O : O \times O \rightarrow \{0,1\}$ - схема проведення розрахунку операцій; $V \subseteq P \times D$ - показники обчислення параметрів суб'єкта; $M = (R_i | i=1, n)$ - алгоритми (правила) реалізації розрахунково-технологічних операцій;
 $f^V : O \rightarrow V \times M$ - цільове призначення проведення розрахунково-технологічних операцій.

Показник обчислення - це сутність, що задає тип результату,

отриманого внаслідок виконання операції у відповідності з правилом сценарію.

Тип результату показника обчислення $V = (D, PT, ST)$ задається встановленим інтервалом часу D , на якому визначається результат, типом параметра PT та типом суб'єкта ST . Кожне обчислення реалізується на основі правила продукції, яке призводить до утворення необхідного результату для заданого показника діяльності суб'єкта на встановлений інтервал часу за допомогою формул (методів) розрахунку. У підсумку результатом виконання сценарію буде розрахунок з чітко заданими вихідними значеннями параметрів і чітко визначеними типами результатів для заданого моменту або періоду часу для всієї сукупності суб'єктів в ПрО.

Правило - це набір (система) продукцій, що складається з тверджень, послідовно оброблюваних з метою обчислення значення показника і присвоювання результату заданому показником параметру. Фактично в інформаційній моделі поняття «Правило» ототожнюється з алгоритмом обчислення параметра, визначеного в схемі розрахунку.

Твердження - це вираз продукції такого вигляду:

$$R_i = \langle i; V; Q; A \Rightarrow B; Z \rangle,$$

де i - найменування (номер) твердження; V - характеристика застосування твердження (показник обчислення параметра); Q - умова застосування (встановлений інтервал часу - дискретність параметра); $A \Rightarrow B$ - ядро продукції у вигляді конструкції «ЯКЩО A ТО B »; Z - результат продукції. Це означає, що якщо виконана умова Q і елемент A вірний, то виконується оператор B і для V встановлюється результат Z . Отже, твердження описується порядковим номером його

входження в правило і оператором (алгоритмом) обчислення результату.

Операторами слугують наступні типи тверджень: логічні, присвоювання результату, перехід на наступне твердження. У твердженнях правила можуть бути використані наступні види логічних операторів:

«ЯКЩО умова ТО результат»,

«ЯКЩО умова ТО результат₁ ІНАКШЕ результат₂»,

де під *результатом* розуміється оператор присвоювання параметру суб'єкта значення результату розрахунку або оператор переходу на задане за номером наступне твердження для обчислення результату, а під *умовою* використовуються оператори всіх типів порівняння операндів умови.

Якщо виконується умова логічного оператора, то реалізується перший результат, інакше здійснюється перехід на наступне правило або реалізується другий результат твердження.

Операндами в умові можуть бути показники обчислень, параметри суб'єктів і формули (методи) обчислення проміжних значень в умові перевірки, константи.

3.2.2. Інформаційна модель предметної області

Виділення такої сукупності інформаційних об'єктів, що володіють перерахованими характеристиками і відносинами між ними, дає можливість побудувати об'єктну інформаційну модель певної ПрО і на цій основі в подальшому розробити уніфіковану систему класифікаторів і довідників, структуру зберігання даних, єдину систему протоколів і інтерфейсів, а також єдині засоби програмування застосування

комп'ютерних моделей функціонування технологічних процесів в СОТС [43, 44, 47]. Таким чином, специфікація ПрО адаптивної СППР може бути представлена у вигляді семантичної мережі класів інформаційної моделі (рис.3.3), що має декларативну і процедурну складові:

$$SP = (E, SN, f^{SN}),$$

де $E = E^{DECL} \cup E^{PROC} = \{e_i | e_i \in SA\}$, $E^{DECL} \cap E^{PROC} = \emptyset$ - множина сутностей ПрО, що визначають сукупність її інформаційних складових (класів); E^{DECL} - підмножина сутностей інформаційної частини моделі, яка визначає склад, зв'язки та атрибути об'єктів подання суб'єктів і параметрів процесів в ПрО; E^{PROC} - підмножина сутностей функціональної частини моделі, яка визначає структуру і взаємозв'язок об'єктів подання розрахунково-технологічних процесів функціонування суб'єктів в ПрО; $f^{SN}: E \times E \rightarrow SN$ - семантична мережа класів у специфікації ПрО, яка визначається на множині семантик (призначень) $SN = \{"класифікація", "належність", "складання", "характеризування"\}$.

Об'єктний аналіз ПрО функціонування суб'єктів організаційного управління призводить до побудови компонентів словника цієї ПрО $E = \{e_i\}$ - класів інформаційних об'єктів: суб'єкт, властивість, стан, параметр, показник обчислення, сценарій, правило, твердження, метод, оператор, формула (метод), операнд, розрахунок, результат.

На підставі такої специфікації в семантичній мережі до суб'єктів відносять об'єкти організаційного управління, структуру і склад їх технологічного обладнання, юридичні особи та інші організаційні структури, над компонентами вектора стану яких проводяться

розрахунково-технологічні операції (оптимізації, прогнозування). Кожен суб'єкт в описі має значення свого типу, перелік власних властивостей і перелік суб'єктів, з якими встановлені відносини. Функціональний стан суб'єкта визначається переліком параметрів - компонентів вектора стану, які відтворюють різні показники його діяльності. Кожен параметр в описі має значення свого типу, перелік власних властивостей і перелік суб'єктів, до яких він має відношення.

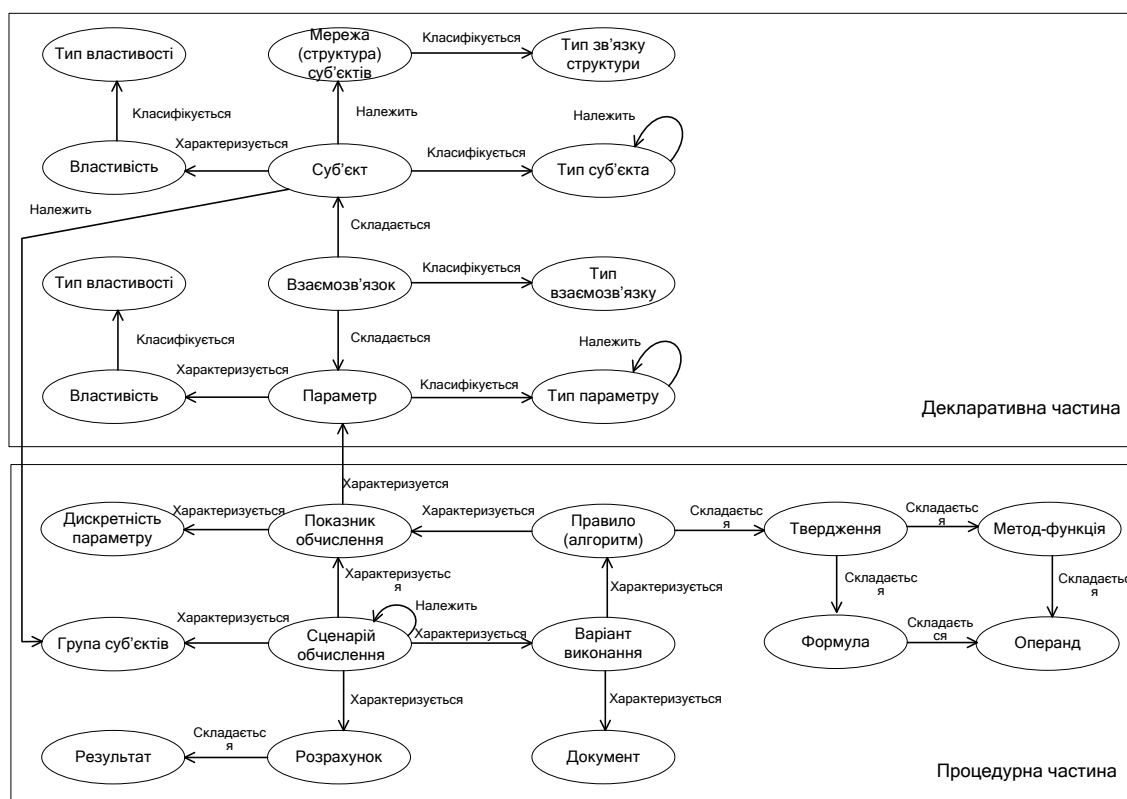


Рисунок 3.3. Семантична мережа класів специфікації ПрО

Моделюючи алгоритми розрахунково-технологічних операцій застосовуються для встановлення взаємозв'язків між різними параметрами суб'єктів. Алгоритми реалізуються за допомогою сценаріїв схем проведення розрахунків на підставі правил їх продукційного подання, показників обчислення значень параметрів суб'єктів, методів/функцій обчислення, продукційних тверджень, формул

і їх операндів. Отже, інформаційна модель, формалізована у вигляді специфікації ПрО СППР, буде представлена як сукупність наступних складових:

- моделі об'єктів, які беруть участь в структуроутворюючих зв'язках суб'єктів СОТС в ПрО;
- моделі параметрів, що визначають стан функціонування суб'єктів в ПрО;
- моделюючи алгоритми (алгоритми реалізації методів), що визначають правила утворення і зміни значень параметрів функціонування суб'єктів в ПрО;
- результати оптимізаційних, прогнозних розрахунків, які визначають перспективу діяльності суб'єктів в ПрО.

Таким чином, застосування ООМ до проектування специфікації ПрО адаптивної СППР забезпечує ряд переваг:

- опис системи у вигляді інформаційних об'єктів відповідає семантиці (змістовному змісту) суб'єктів в ПрО;
- поведінка суб'єктів в ПрО подається за допомогою об'єктів певного класу, що сприяє легкій зміні їх поведінки;
- об'єднання інформаційних об'єктів ПрО у сітку за допомогою визначених семантичних відношень дозволяє уніфікувати структуру зберігання даних і інтерфейси їх взаємозв'язку;
- забезпечення можливості паралельних обчислень станів суб'єктів, кожен з яких володіє власними властивостями і поведінкою.

Виділення такої сукупності інформаційних класів, що володіють перерахованими характеристиками і відносинами між ними, дає можливість побудувати об'єктну інформаційну модель певної ПрО і на цій основі в подальшому розробити уніфіковану систему класифікаторів

і довідників, структуру зберігання даних, єдину систему протоколів і інтерфейсів, а також єдині засоби програмування застосування комп'ютерних моделей функціонування технологічних процесів в СОТС.

3.2.3. Функціональна організація інформаційно-технологічного забезпечення

Функціональна організація - це структуроване подання функцій СОУ, потоків даних і сутностей інформаційної моделі, які пов'язують ці функції. Вона будується методом декомпозиції від складних функцій до більш простих. Елементи кожного рівня декомпозиції є дії з перетворення інформаційних потоків з використанням заданих процесів функціонування СОУ під їх управлінням. Функціональну організацію утворюють підсистеми, які характеризуються вхідними та вихідними потоками даних, а також механізмами управління та реалізованими функціями обробки даних [53].

Розглянемо функціональну організацію адаптивної об'єктно-орієнтованої СППР (рис. 3.4).

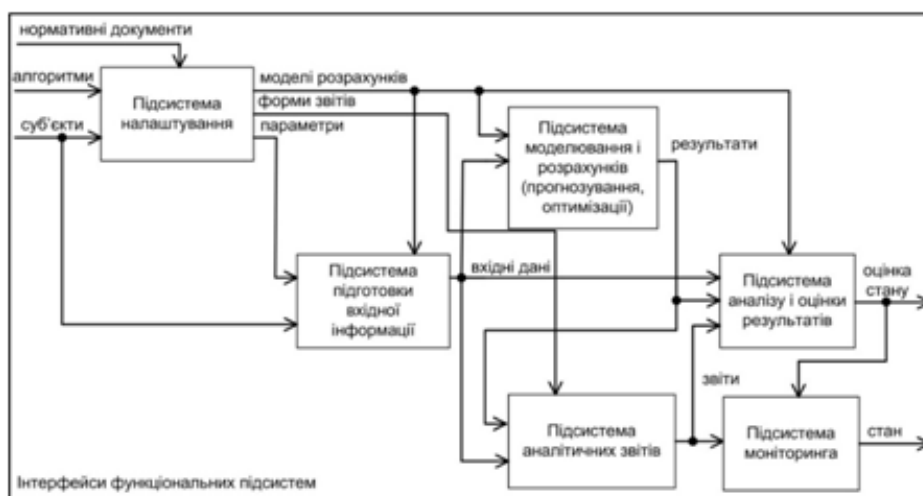


Рисунок. 3.4. Функціональна модель побудови СППР

В цілому базовий програмний комплекс об'єктно-орієнтованої СППР побудований на принципах декомпозиції і структурований з підсистем, що реалізують завдання, що відображають стадії з підготовки, аналізу і вироблення рішення у функціонуванні інформаційної моделі предметної області [53].

Таким чином, на верхньому рівні декомпозиції функцій СППР в її склад входять наступні підсистеми: «Налаштування»; «Підготовки вхідної інформації»; «Проведення розрахунків, оптимізації, прогнозування»; «Моніторингу» «Формування звітів»; «Візуального аналізу».

На наступних рівнях декомпозиції функціональні підсистеми деталізуються комплексом завдань, що вирішуються.

Підсистема «Налаштування» забезпечує можливість адаптації та і налаштування комп'ютерної моделі до змін механізмів функціонування організаційної системи, варіантів розрахунку параметрів технологічних процесів і компонентів управління.

У підсистемі вирішуються наступні задачі: ведення схем розрахунків; ведення показників обчислення параметрів розрахунків; формування алгоритмів правил обчислення параметрів; ведення формул обчислень.

Задача «Ведення схем розрахунків» призначена для створення структури процесу проведення розрахунків, опису її елементів, призначення алгоритмів і формул обчислення значень параметрів у розрахунках. Вона є основною в підсистемі при внесенні змін до алгоритмів проведення розрахунків всіх видів в СППР.

Задача «Ведення показників обчислення параметрів розрахунків» призначена для супроводу та контролю створення та використання параметрів обчислень в схемах і правилах розрахунків.

Задача «Формування алгоритмів правил обчислення параметрів» призначена для супроводу та контролю створення правил обчислення параметрів схем розрахунків.

Задача «Ведення формул обчислень» призначена для супроводу та контролю створення формул обчислень, які використовуються в твердженнях правил розрахунків.

Підсистема «Підготовки вхідної інформації» на основі нормативних документів і первинних даних здійснює формування інформаційних структур, необхідних для використання іншими підсистемами. Підсистема забезпечує внесення коригувань в поточні (оперативні) та ретроспективні вхідні дані, підготовку додаткових даних для їх подальшого використання в різних розрахунках.

У підсистемі вирішуються наступні задачі: ведення нормативних документів, формування нормативних параметрів, ведення технологічних параметрів системи; завантаження вхідних даних.

Ведення нормативних документів забезпечує супровід переліку джерел інформації, на підставі яких вносяться зміни в алгоритми проведення розрахунків при вдосконаленні механізмів функціонування СОУ та вводяться необхідні вхідні дані про суб'єкти системи.

Формування нормативних параметрів забезпечує виконання вимог до підготовки вихідних даних для виконання наступних розрахунків. Поточний стан нормативних параметрів забезпечується здійсненням дій, пов'язаних з веденням опису параметра та його нових значень.

Ведення технологічних параметрів системи забезпечує налаштування режимів її роботи до визначених вимог, які впливають на технологічні процеси проведення розрахунків.

Завантаження вхідних даних забезпечує виконання вимог до перевірки достатності, верифікації та підготовки в потрібній формі вхідних даних для проведення розрахунків. Виконання функцій завантаження здійснюється з джерел інформації, які можуть бути як внутрішніми, так і зовнішніми щодо структур даних СППР.

Підсистема «Проведення розрахунків, оптимізації, прогнозування» забезпечує можливість проведення і отримання результатів розрахунків параметрів обчислень, що діють на розрахункову дату основних схем розрахунку, визначених у підсистемі «Налаштування системи» та підготовлених для цього при завантаженні даних в підсистемі «Підготовки вхідної інформації».

Технологічний процес проведення розрахунків здійснюється поетапно: підготовка до проведення розрахунку; формування та виконання плану проведення розрахунку; контроль стану проведення розрахунку, аналіз змін масиву вхідних даних і результатів.

Кожна операція проведення розрахунку визначається наступними атрибутами: дата проведення розрахунку; дата даних джерела інформації; версія розрахунку; варіант завантаження; час виконання; ознака про стан виконання; місце знаходження результатів.

Підготовка до проведення розрахунку передбачає реалізацію наступних кроків: внесення необхідних коригувань у вхідні дані або виконання нового завантаження; аналіз стану виконання завантаження вхідних даних.

Надалі необхідно виконати вибір розрахункового завдання, провести сам розрахунок та остаточний аналіз як кінцевих результатів, так і стану завершення процесу розрахунку.

З метою визначення конкретного завдання та режиму проведення

поточного варіанту розрахунку застосовується картка опису. У картці представлені атрибути варіанту розрахунку, версія, дата розрахунку та дата підготовки даних, повідомлення про результати та час виконання, ким була виконана сесія розрахунку, опис його варіанту, а також атрибути, які визначають план проведення та режими виконання розрахунку.

Ієрархічна структура схеми розрахунку дозволяє розподілити його на незалежні частини, які логічно відокремлені одна від одної. У зв'язку з цим, застосування поетапного режиму проведення розрахунку означає можливість проміжного контролю як поточних результатів розрахунків, так і даних про стан виконання окремих частин схеми реалізованого розрахунку.

Стан виконання розрахунку фіксується в спеціальному журналі, який має вигляд переліку повідомлень про ситуації, які виникають в процесі обчислення параметрів об'єктів.

У цьому журналі відтворюється наступна інформація: поточний номер повідомлення; час виникнення; параметр і об'єкт розрахунку; одиниця дискретності часу; текст повідомлення.

Підсистема «Моніторингу» забезпечує за допомогою відповідних засобів підготовку основних інформативних показників оцінки ефективності функціонування суб'єктів СОУ, формування рішень щодо оцінки у вигляді зведених форм документів. Для цього в підсистемі передбачено вирішення таких завдань: підготовка форм оцінки інформативних показників; формування зведених форм документів.

Підсистема «Формування звітів» призначена для формування в електронному та друкованому вигляді стандартних звітних форм документів про вхідні дані та результати розрахунків. Для реалізації цієї

мети в підсистемі вирішуються наступні завдання: підготовка форм представлення інформації, формування вихідних звітних документів.

Технологічний процес підготовки форм документів здійснюється поетапно та передбачає: опис подання звітного документа; створення шаблону форми звітного документа; опис структури масиву даних документа; формування переліку полів форми документа; формування переліку полів фільтра даних документа.

Підсистема «Візуального аналізу» передбачає проведення аналізу результатів розрахунків параметрів суб'єктів, що діють на розрахункову дату основних схем розрахунків, які визначені в підсистемі «Налаштування» і підготовлені при завантаженні даних в підсистемі «Підготовки вхідної інформації».

Виходячи з аналізу особливостей механізмів організаційного управління енергоринком, подальший розвиток підходу до побудови СППР стосовно стратегії поведінки учасників ринку на його сегментах та формуванні стратегії розвитку ринку ЕЕ в цілому має здійснюватися не тільки на основі переходу до об'єктно-орієнтованої СППР, а й з урахуванням її ієрархічної структури та інтеграції складових в єдину інформаційну систему управління ціноутворенням для вирішення проблемних ситуацій в організації управлінської діяльності суб'єктів ринку.

3.3. Організація інтерфейсу користувача

3.3.1. Класифікація операцій взаємодії з об'єктами предметної області

В організаційній структурі об'єктно-орієнтованої СППР програмне забезпечення утворюється з функціональних підсистем та програмного

інтерпретатора інтерфейсів функціональних завдань. А інформаційне забезпечення представляється у вигляді моделей концептуального уявлення суб'єктів предметної області і метаданих інтерфейсу взаємодії користувача з функціональними задачами.

Організація технологічного процесу функціонування СППР, забезпечує виконання функцій підготовки, проведення та обробки даних результатів розрахунків, складається з послідовного здійснення завдань функціональних підсистем, призначення яких відповідає основним типовим операціям взаємодії кінцевого користувача з СППР. Такими типовими операціями є:

- внесення змін до алгоритми розрахунків;
- збір і підготовка вихідних даних;
- проведення обчислень показників функціонування організаційної системи; формування звітних даних з результатами розрахунків їх подання в наочній формі;
- проведення візуального аналізу даних і моніторингу результатів розрахунку.

Менеджер інтерфейсів, як сполучна ланка між менеджерами даних і моделей у концептуальній моделі побудови СППР, відіграє роль засобу уявлення та інтерпретації інформації, яка породжується з даних і моделей. В результаті програмне забезпечення об'єктно-орієнтованої СППР, повинно складатися з підсистем орієнтованих на рішення функціональних задач в рамках забезпечення інформаційних потреб користувача предметної області СОУ.

Кожна функціональна задача, в цілому, характеризується вхідними даними (потокотом даних), вихідними даними (потокотом результатів) і методами їх обробки (інтерпретації та подання). Під методами обробки

слід розуміти інструментальні функції, які забезпечують різноманітні механізми маніпулювання вхідними даними функціональних завдань. До таких методів обробки даних належать операції вибірки даних, фільтрації даних, внесення змін в елементи даних, видалення даних, агрегування даних для формування аналітичної звітної інформації або інших даних-результатів.

В основу адаптивної організаційної моделі менеджера інтерфейсів повинні бути покладені типові риси, які дозволяють класифікувати і відображати відмінності об'єктів один від одного. Доцільність такого аналізу і виділення класів об'єктів ПрО при розробці інформаційної моделі обумовлена тим, що для різних функціональних задач часто використовуються однакові операції візуалізації і перетворення над інформаційними потоками даних. Крім того, функції та процеси обробки даних при поетапному впровадженні СППР швидко модифікуються, відтворюючи змінні вимоги користувачів до ПрО. Все це вимагає такої організації структури СППР, при якій об'єкти ПрО і взаємозв'язку між ними були б визначені незалежно від реалізації конкретних функціональних задач обробки даних в процедурах і інтерфейси прикладної програми, і представляли собою єдину структуру.

Таким чином, можна говорити про наступну концептуальну схему побудови СППР у вигляді трирівневої організаційної структури «функціональне середовище предметної області - функціональна задача - інструментальна функція обробки». В результаті прикладна частина системи буде структуруватися з підсистем, які виділяються не за проблемно-орієнтованими ознаками, а за функціональними (об'єктними) ознаками, які орієнтовані на типові операції взаємодії з об'єктним предметним середовищем при інтерпретації та поданні даних.

3.3.2. Функціональні модулі інтерфейсів користувача

Застосування принципів вертикальної і горизонтальної декомпозиції дозволяє виділити при побудові організаційної структури програмного комплексу три рівня інтерфейсу взаємодії функціональних задач СППР:

- рівень проблемно-орієнтованого середовища користувача предметної області СОУ;
- рівень інструментальних засобів вирішення функціональної задачі, обраної користувачем;
- рівень реалізації функції інструментального засобу функціональної задачі.

Перший рівень організовує роботу користувача при вирішенні прикладної проблеми предметної області СОУ і пропонує обумовлені в концептуальній моделі сукупності функціональних задач. Цей рівень представлений у вигляді модуля «Менеджер інтерфейсів», який відтворює доступну сукупність і послідовність застосування задач у вигляді ієрархічного меню або дерева підсистем.

Другий рівень відтворює процедуру реалізації визначеної на першому рівні функціональної задачі, тип якої встановлюється в залежності від поданих в концептуальній моделі інформаційних зв'язків елементів структур даних предметної області в інтерфейсі реалізації функціональної задачі. Кожна функціональна задача може використовувати такі типові інформаційні зв'язки між значеннями елементів структур даних:

- прості відношення (списочного типу «один до одного»);
- структуровані відношення (ієрархічного типу «один до багатьох»);

– функціональні відношення (з'єднання декількох структур із утворенням нових елементів даних за допомогою агрегативних функцій).

Залежно від типу відношень між елементами структур даних, які утворюють в програмному комплексі функціональну задачу, використовуються наступні модулі: для простих відношень модуль «Таблиця»; для структурованих відношень – модуль «Дерево»; для функціональних відношень – модуль «Звіт», «Картка».

Модуль «Таблиця» відтворює реляційні структури даних і передбачає функції редагування, перевірки, підготовки, пошуку-фільтрування, видалення, друку даних. Модуль «Дерево» відтворює ієрархічні структури даних і передбачає виконання тих ж функцій, що і модуль «Таблиця». Модуль «Звіт» спрямований на обробку різних структур, які знаходяться в простих або структурованих відношеннях між собою, з використанням агрегативних (аналітичних) функцій для формування нових узагальнених даних. Функціями цього модуля служать формування, перегляд та виведення даних.

Крім наведених модулів, які пов'язані з типами відношень між елементами структур даних, для забезпечення нормального функціонування інформаційної системи другий рівень також включає наступні обслуговуючі модулі, до числа яких віднесено модуль «Реєстрація» для ідентифікації користувача і визначення його прав доступу до функціональних задач і їх функцій.

Третій рівень забезпечує реалізацію типових функцій, які утворюють процедури обробки елементів структур даних функціональної задачі.

В результаті на основі представленої специфікації створено системну основу формування єдиного інформаційного і програмного

середовища для побудови СППР в складі:

- єдиної системи класифікаторів і довідників;
- єдиної системи протоколів і інтерфейсів взаємодії користувача;
- уніфікованої структури зберігання даних,
- уніфікованої системи збирання даних реального часу і комерційного обліку виробничих показників суб'єктів ринку.

Розробка і застосування такого програмного середовища надає єдиний програмний продукт розгортання і супроводу СППР, який знизить ризик, складність та витрати при переході до нових задач організаційного управління суб'єктами ринку ЕЕ.

3.4. База даних процесів ціноутворення ринку електричної енергії

3.4.1. Принципи побудови бази даних процесів ціноутворення ринку

База даних процесів ціноутворення ринку електричної енергії [54] призначена для збору, накопичення та візуалізації інформації про процеси функціонування ринку ЕЕ. Застосовується для розв'язання комплексу розрахункових задач алгоритмічного моделювання функціонування учасників ринку ЕЕ, здійснення аналізу та прогнозування поведінки суб'єктів ринку та процесу ціноутворення на ньому.

Одним з найважливіших етапів роботи з проектування і побудові бази даних є етап аналізу даних. Це пов'язане з тим, що при реалізації інформаційних потреб особи, що приймає рішення, дані містять в собі інформацію про структуру предметного середовища і характер функціонування процесів, які підлягають автоматизації. В даному випадку мова йде про автоматизацію процесів, пов'язаних з

вирішенням комплексу розрахункових задач, які забезпечують в цілому розрахунки показників процесів функціонування ринку ЕЕ.

Виходячи з аналізу особливостей механізмів організаційного управління ринком електричної енергії, подальший розвиток підходу до побудови системи моделювання процесів функціонування ринку має здійснюватися не тільки на основі переходу до об'єктно-орієнтованої СППР, а й з урахуванням її ієрархічної структури та інтеграції складових в єдину інформаційну систему управління для вирішення проблемних ситуацій в організації управлінської діяльності суб'єктів СОТС ринку ЕЕ.

Таким чином можна зробити висновок про те, що для автоматизації процесів організаційного управління на ринку ЕЕ слід розглядати СППР як об'єктно-орієнтовану ієрархічну інтегровану систему. В результаті істотну роль для вирішення проблеми об'єктного моделювання даних предметної області організаційного управління набуває функціональне моделювання технологічних процесів обробки даних з метою уніфікації програмного інтерфейсу єдиної інтегрованої системи через типізацію (класифікацію) операцій взаємодії особи, що приймає рішення з об'єктами (структурами даних) предметної області СОТС.

Суб'єкти ринку ЕЕ є об'єктами предметної області СОТС, що подаються засобами ООМ із усіма його принципами. Суть такого підходу полягає у ототожненні сутностей – суб'єктів та процесів ринку електричної енергії як сукупності інформаційних об'єктів, взаємодіючих один з одним у предметній області СОТС, за принципами ООМ. В результаті база даних для відтворення моделі процесів функціонування ринку електричної енергії повинна використовувати принципи подання метаданих, як засобу відтворення понять ООМ, до яких віднесені об'єкти, атрибути, події, методи.

В результаті БД предметної області СOTS, що побудована за принципами ООМ із застосування метаданих, буде відповідати сучасним вимогам до функціональності інформаційних систем, які обумовлять:

- відкритість структури системи;
- гнучкий інтерфейс для включення нових параметрів, об'єктів і алгоритмів обробки прикладної області;
- можливість адаптації до змін як у структурі, так і в значеннях параметрів, об'єктів прикладної області.

3.4.2. Опис інформаційної логічної моделі бази даних

Однією з головних умов створення адаптивних інформаційних систем для застосування в різних СOTS, в тому числі в енергетиці, є уніфікація даних.

Основою побудови єдиної системи класифікації та побудови єдиного інформаційного простору даних є узагальнена інформаційна модель Міжнародної Електротехнічної Комісії (IEC) Common Information Model (CIM), яка однаковим способом описує всю множину типових фізичних суб'єктів електроенергетичної системи. Дотримуючись принципів ООМ, CIM підтримує опис фізичних суб'єктів на всіх рівнях організаційного управління, що дозволяє однаковим чином описати елементи системи, їх властивості та зв'язки. І тим самим забезпечує можливість створення єдиної системи класифікаторів, довідників і систем доступу.

Тому, завданням побудови інформаційної логічної моделі є створення уніфікованого подання для відтворення об'єктів

концептуальної моделі процесів функціонування ринку. В результаті всі вхідні та вихідні дані в інформаційній логічній моделі представляються у вигляді інформаційних блоків і поділяються на інформаційні сутності, пов'язані зв'язками-відношеннями функціональної взаємозалежності їх даних у середовищі предметної області процесів функціонування ринку.

База даних процесів функціонування ринку ЕЕ складається з таких інформаційних блоків сховищ даних [55]:

1) DATA – блок даних сховища оперативних, ретроспективних, статистичних, нормативних даних процесів функціонування ринку, що складається із даних про об'єкти, параметри функціонування ринку;

2) ALG – блок даних сховища алгоритмів моделювання і прогнозування при проведенні обчислюваних розрахунків, утворюючих зміни у процесах функціонування ринку;

3) SIM – блок даних сховища результатів моделювання і прогнозування при формуванні обчислюваних завдань розрахунків змін у процесах функціонування ринку;

4) ADM – блок даних сховища описів інтерфейсів користувачів для взаємодії із системою моделювання і прогнозування процесів функціонування ринку.

Поділ на блоки даних пов'язаний із складовими концептуального подання предметної області процесу функціонування ринку ЕЕ, тобто із призначенням даних до реалізації функціональних задач на ринку. Надалі всі сутності блоків даних фактично відносяться до двох типів – функціональних для подання елементів концептуальної моделі процесів функціонування ринку ЕЕ та обслуговуючих для класифікації цих елементів.

Блок даних сховища DATA призначений для опису станів суб'єктів,

які є елементами (об'єктами) предметної області процесів функціонування ринку ЕЕ, відтворюваних у результатах проведення розрахунків.

Логічно поділені на дві групи: об'єкти, призначені для опису станів суб'єктів технологічного процесу при проведенні розрахунків; об'єкти, призначені для опису параметрів, що відтворюють стани процесів у суб'єктах, які мають кількісне або якісне значення, що може змінюватися у часі.

До об'єктів першої групи віднесено:

- суб'єкти ринку;
- джерела інформації;
- нормативні документи;
- устаткування, тощо.

До об'єктів другої групи віднесено:

- нормативні параметри;
- технологічні константи;
- розрахункові параметри процесів функціонування ринку, тощо.

Блок даних сховища ALG про алгоритми моделювання і прогнозування призначений для опису будови розрахункових правил, за якими формуються значення параметрів суб'єктів у процесах функціонування ринку. Будова правил має наступну ієрархію інформаційних об'єктів предметного середовища:

- схеми розрахунків;
- параметри обчислень у схемах;
- правила розрахунку параметрів обчислень;
- твердження правил (побудовані на реалізації умовного оператора);

- формули обчислень у твердженнях, складові (операнди) формул.

Блок даних сховища SIM про завдання та результати розрахунків з моделювання і прогнозування призначений для опису дій, що виконує користувач за функціональними обов'язками при проведенні розрахункових операцій, а також для накопичення отриманих в результаті розрахунків даних для подальшого використання при формуванні вихідних форм документів.

Блок даних сховища ADM про інтерфейси користувача призначений для зберігання метаданих про структуру і параметри інтерфейсів взаємодії користувача з базою даних при проведенні всіх операцій відповідно функціонального призначення у системі моделювання і прогнозування процесів функціонування ринку.

Представлена базова інформаційна логічна модель, її структура та склад елементів, є вихідною інформацією для застосування при розробці структури бази даних та її формуванні, з подальшою розробкою моделюючих алгоритмів реалізації методик розрахунку показників та механізмів функціонування ринку електричної енергії.

Використання методу ООМ при розробленні БД призвело до утворення:

- єдиної уніфікованої системи опису суб'єктів ринку електричної енергії, процесів прийняття рішень, єдину систему класифікаторів та довідників даних про об'єкти СОТС з уніфікованою структурою зберігання даних;

- уніфікованої системи збору, перевірки достовірності, достатності, надмірності даних реального часу, що характеризують стан досліджуваного об'єкта, формування даних комерційного обліку параметрів функціонування ринку;

- процедури розробки організаційної, концептуальної, інформаційної та функціональної складових частин комп'ютерних моделей, які забезпечують адекватне уявлення процесів організаційного управління на основі реальних взаємин між суб'єктами ринку, аналізу, інтерпретації і візуалізації результатів моделювання.

В результаті створення і застосування БД забезпечить автоматизацію інформаційних процесів, пов'язаних з:

- організацією підготовки вхідних та формування вихідних даних про результати розрахунків з моделювання і прогнозування функціонування ринку;

- проведенням моделюючих розрахунків для складових суб'єктів ринку;

- складанням звітності та організацією статистичного обліку;

- оперативним контролем за станом розвитку функціонування ринку на основі аналітичної обробки даних.

3.4.3. Опис масиву даних бази даних моніторингу динаміки розвитку альтернативної електроенергетики

Відбудова та розвиток альтернативної електроенергетики України потребує вивчення та оцінки стану її об'єктів, створення інформаційної системи моніторингу з розвинутими засобами обробки даних, включно зі створенням інформаційно-технологічної карти показників розвитку її об'єктів у розрізі регіонів за наступними показниками [56]:

1. По видах: сонячні електростанції (СЕС); вітрові електростанції (ВЕС); ГЕС; електростанції, що використовують енергію біомаси (Біомаса), газу з органічних відходів, газу каналізаційно-очисних

станцій: біогазів (Біогаз) та інші.

2. По приєднанню до мереж (розподільні або магістральні мережі).

3. По обсягах приєднання (малі, середні, великі).

4. З урахуванням виду діяльності (виробництво, активне споживання, виробництво-споживання).

Разом з тим, Україна уже має багаторічний досвід розвитку альтернативної генерації, який можна проаналізувати, визначити його сильні сторони та недоліки, використати зокрема у дослідженні та вивченні наступних задач:

- аналіз та візуалізація стану розвитку, виявлення динаміки та інтенсивності розвитку відновлювальної енергетики в державі та в регіонах;

- виявити регіони зі значним домінуванням сонячних та вітряних станцій, зокрема з метою передбачення можливих проблем з резервуванням потужності енергосистеми та запропонувати шляхи їх вирішення;

- встановити залежності між зміною структури споживання електричної енергії від зміни структури виробництва ЕЕ виробниками з використанням альтернативних джерел енергії;

- визначити потенційних шляхів розвитку об'єктів альтернативної енергетики та розробити регуляторні механізми стимулювання розвитку її об'єктів в залежності від регіону розміщення;

- формування та обробка ретроспективних даних з метою розробки нових методів прогнозування відпуску ЕЕ об'єктами альтернативної енергетики;

- вивчити можливості і перспективи розвитку ЛЕС з метою запровадження Smart-договорів (контрактів) для локальних

децентралізованих мікроринків електроенергії;

- виявлення перспектив розвитку об'єктів ВДЕ в рамках приєднання України до енергосистем континентальної Європи ENTSO-E;

- оцінка наслідків військового вторгнення Росії в Україну для відновлювальної енергетики та визначення шляхів їх подолання.

Для розв'язання цих задач потрібно зібрати, обробити та сформулювати відповідні вихідні дані, а саме інформація про:

- 1.об'єкти альтернативної електроенергетики (назва, регіон розташування (відповідна область України), адреса фізичного розташування, вид джерела енергії, встановлена потужність, тип мережі, до якої підключений об'єкт (магістральна або розподільна), дата і розмір встановлення зеленого тарифу для об'єкта, статус (об'єкт в розробці, активний, припинив діяльність, немає інформації (для об'єктів на тимчасово окупованих територіях));

- 2.суб'єкти альтернативної електроенергетики, яким належать об'єкти (назва, код ЄДРПОУ, юридична адреса, дата рішення про видачу ліцензії (дата набуття ліцензії суб'єктом на виробництво електроенергії), статус (працює, не працює, немає інформації (для об'єктів на тимчасово окупованих територіях));

- 3.дані про діяльність об'єктів (фактичний відпуск електричної енергії);

- 4.інша аналітична та/або статистична інформація про об'єкт.

На сьогодні з наявних джерел інформації щодо виробників електричної енергії з альтернативних джерел доступні реєстр виробників за «зеленим» тарифом на державних електронних ресурсах, зокрема на сайтах ДП «Гарантований покупець» [57] або НКРЕКП (<https://www.nerc.gov.ua>).

Реєстри містять дані про найменування та розташування об'єктів альтернативної енергетики, інформацію про суб'єктів господарювання, що мають у користуванні об'єкти альтернативної електроенергетики, дані щодо джерела енергії, що використовує об'єкт для генерації електричної енергії, дату встановлення та розмір «зеленого» тарифу. Реєстри доступні у PDF-форматі, з часом інформація доповнюється і оновлюється. Проте обсяг даних, що міститься у реєстрах, є недостатнім для вирішення вище окреслених задач (зокрема відсутня інформація про тип мережі приєднання до об'єднаної енергосистеми, до якої приєднаний об'єкт, в якому регіоні він знаходиться, актуальний статус об'єкта тощо). Також на ресурсі ДП «Гарантований покупець» міститься погодинна інформація фактичного відпуску ЕЕ виробниками з альтернативних джерел, з якими співпрацює компанія, в розрізі джерел.

Додатково існує сервіс Energy Map [58], що акумулює офіційні бази даних про всі сектори енергетики України, перетворює їх у зручний для аналізу формат та дозволяє відстежувати і вчасно реагувати на зміни у галузі. Сервіс містить інформацію про назву та місце розташування об'єктів ВДЕ, вид альтернативного джерела енергії, назву та код ЄДРПОУ компаній-власника об'єкту ВДЕ, розмір «зеленого» тарифу та дату його встановлення. Однак інформація потребує уточнення та доповнення (відсутні дані про тип мережі приєднання до об'єднаної енергосистеми, актуальна інформація про стан діяльності об'єкта).

Детальна інформація про об'єкти відновлюваної енергетики міститься на ресурсі ENERGO.UA [59], зокрема містяться такі дані об'єкти з ВАД, як назва та місце розташування, вид альтернативного джерела, встановлені потужності, місячний фактичний відпуск ЕЕ Проте інформація, що є у вільному доступі, потребує попереднього збору та

верифікації. Також відсутні дані щодо типу мереж, до яких підключені електростанції.

Таким чином, на сьогодні немає єдиного інформаційного ресурсу, що містить усю необхідну інформацію про об'єкти альтернативної електроенергетики, яку можна використати для моніторингу та аналізу стану відновлюваної електроенергетики, вивчення можливостей щодо розробки регуляторних механізмів стимулювання розвитку відновлюваної енергетики на рівні регіональних енергосистем Об'єднаної енергосистеми України. Тому задача з розробки інформаційної системи, що містить дані про об'єктів альтернативної енергетики, є актуальною і важливою [56].

Створення такої інформаційної системи дозволить здійснювати збір і систематизацію актуальної інформації про об'єкти, що використовують альтернативні джерела енергії, з необхідною дискретністю у часі, та розширить можливості її подальшого використання у вирішенні наукових і практичних задач. Предметна область – об'єкти відновлювальної генерації. Потенційні користувачі – виробники з альтернативних джерел (для визначення та аналізу ринку й вирішення інших задач у своїй діяльності), оператори системи розподілу і передач (наприклад для виявлення і попередження проблем з резервуванням потужності), інші (зокрема учасники ринку ЕЕ для використання даних у своїй бізнес-діяльності та прийнятті рішень).

У інформаційної системі повинна бути передбачена можливість підготовки та формування узагальнених даних за регіонами, суб'єктами, видом генерації за різні періоди, залежно від вимог до вихідних конкретних завдань дослідження.

Виділимо основні складові інформаційного масиву та тип даних, що

він має містити:

1. Ключ об'єкта – унікальний запис, значення якого однозначно визначає об'єкт у масиві (тип даних – ціле число);
2. Назва об'єкта – інформація, що описує об'єкт (тип даних – текст);
3. Регіон розташування – відповідна область України, де фізично розташований об'єкт (тип даних – текст);
4. Адреса розташування – повна адреса фізичного розташування об'єкта (тип даних – текст);
5. Вид генерації – дані про джерело альтернативної енергії – СЕС, ВЕС, ГЕС, Біомаса, Біогаз (тип даних – текст);
6. Встановлена потужність об'єкта альтернативної електроенергетики (тип даних – дійсне число);
7. Тип мережі, до якої підключений об'єкт, – розподільна або високовольтна (тип даних – текст);
8. Дата встановлення «зеленого» тарифу для об'єкта (тип даних – дата);
9. Розмір «зеленого» тарифу, що встановлений для об'єкта (тип даних – дійсне число);
10. Статус об'єкта – об'єкт в розробці, активний, припинив діяльність, немає інформації (для об'єктів на тимчасово окупованих територіях) (тип даних – текст);
11. Дата припинення діяльності об'єкта – заповнюється, якщо об'єкт більше не працює (тип даних – дата);
12. Код ЄДРПОУ компанії, якій належить об'єкт, (тип даних – текст);
13. Назва компанії, якій належить об'єкт (тип даних – текст);
14. Юридична адреса компанії, якій належить об'єкт (тип даних – текст);

15. Дата рішення про видачу ліцензії виробнику електричної енергії за «зеленим» тарифом (тип даних – дата);

16. Статус суб'єкта – працює, не працює, немає інформації (для об'єктів на тимчасово окупованих територіях) (тип даних – текст).

Уся необхідна інформація про об'єкти і суб'єкти альтернативної електроенергетики є у різних відкритих джерелах, проте необхідно провести роботи по її збору та уточненню. Очевидно, що разом з тим має бути передбачена можливість верифікації та актуалізації даних, а також їх поповнення новими об'єктами відновлювальної електроенергетики.

Станом на сьогодні сформовано і реалізовано в Ексел описаний вище інформаційний ресурс, частина якого зображена на рис. 3.5.

Ключ об'єкта	Назва	Регіон розташування	Адреса розташування	Вид генерації	Встановлена потужність, МВт*год	Тип мережі приєднання	Дата встановлення "зеленого" тарифу	Розмір "зеленого" тарифу, коп/кВт*год	Статус об'єкта	Дата припинення діяльності об'єкта	Код ЄДРПОУ	Назва суб'єкта	Юридична адреса суб'єкта	Дата рішення про видачу ліцензії	Статус суб'єкта
16	СОНЯЧНА ЕЛЕКТ	АР Крим	АР КРИМ, САКСЬКИЙ СЕС	-	-	-	01.05.2012	-	немає інфор	-	36905408	ПРАТ "ОУЛ	АР КРИМ, М. СІМ	19.04.2012	немає інфор
17	СОНЯЧНА ЕЛЕКТ	Одеська	ОДЕСЬКА ОБЛ, БІЛГО СЕС	-	21,769044	розподільна	05.07.2012	774,59	активний	-	37058103	ТОВ "ФРАНКО	ОДЕСЬКА ОБЛ, Б	05.07.2012	активний
18	СОНЯЧНА ЕЛЕКТ	Вінницька	ВІННИЦЬКА ОБЛ, ТИМ СЕС	-	0,035	розподільна	01.01.2011	774,59	активний	-	37058475	ТОВ "ВІННИЦЯ-	М. ВІННИЦЯ, ВУЛ	09.12.2010	активний
19	СОНЯЧНА ЕЛЕКТ	Вінницька	ВІННИЦЬКА ОБЛ, МС СЕС	-	0,99985	розподільна	01.01.2011	774,59	активний	-	37058475	ТОВ "ВІННИЦЯ-	М. ВІННИЦЯ, ВУЛ	09.12.2010	активний
20	СОНЯЧНА ЕЛЕКТ	Закарпатська	ЗАКАРПАТСЬКА ОБЛ., СЕС	-	5,40702	розподільна	16.08.2012	774,59	активний	-	37784089	ТОВ "СОНЯЧНА	ЗАКАРПАТСЬКА О	19.07.2012	активний
21	СОНЯЧНА ЕЛЕКТ	Закарпатська	ЗАКАРПАТСЬКА ОБЛ., СЕС	-	9,9936	розподільна	16.08.2012	774,59	активний	-	37784089	ТОВ "СОНЯЧНА	ЗАКАРПАТСЬКА О	19.07.2012	активний
22	Сонячна електро	Запорізька	Запорізька обл., Токм СЕС	-	6	розподільна	15.12.2016	425,36	не працює	19.05.2020	37581105	ТОВ "ТОКМАК	ЗАПОРІЗЬКА ОБЛ.	20.09.2012	не працює
23	СОНЯЧНА ЕЛЕКТ	Запорізька	ЗАПОРІЗЬКА ОБЛ., ТО СЕС	-	4,01798	розподільна	15.12.2016	774,59	активний	-	40973044	ТОВ "САНТАЛЕКС	М. ЗАПОРІЖЖЯ, В	08.12.2016	активний
24	СОНЯЧНА ЕЛЕКТ	Одеська	ОДЕСЬКА ОБЛ., АРЦИ СЕС	-	21,51644	розподільна	04.10.2012	774,59	активний	-	36965561	ТОВ "ДУНАЙСЬКА	ОДЕСЬКА ОБЛ., А	24.09.2012	активний
25	СОНЯЧНА ЕЛЕКТ	Одеська	ОДЕСЬКА ОБЛ., АРЦИ СЕС	-	21,6183	розподільна	22.10.2012	774,59	активний	-	36965598	ТОВ "ДУНАЙСЬКА	ОДЕСЬКА ОБЛ., А	22.10.2012	активний
26	СОНЯЧНА ЕЛЕКТ	Черкаська	ЧЕРКАСЬКА ОБЛ., КАЛ СЕС	-	31,92	розподільна	29.11.2012	402,84	активний	-	36783152	ТОВ "ЧИСТА	ЧЕРКАСЬКА ОБЛ.,	25.10.2012	активний
27	СОНЯЧНА ЕЛЕКТ	Одеська	ОДЕСЬКА ОБЛ., РЕНІЙ СЕС	-	21,3851	розподільна	06.12.2012	774,59	активний	-	36881398	ТОВ "ЛИМАНСЬКА	ОДЕСЬКА ОБЛ., І	29.11.2012	активний
28	СОНЯЧНА ЕЛЕКТ	Одеська	ОДЕСЬКА ОБЛ., РЕНІЙ СЕС	-	21,98339	розподільна	06.12.2012	774,59	активний	-	36881382	ТОВ "ЛИМАНСЬКА	ОДЕСЬКА ОБЛ., І	06.12.2012	активний
29	САМБІРСЬКА СОЛ	Львівська	ЛЬВІВСЬКА ОБЛ., САЛ СЕС	-	3,11672	розподільна	20.12.2012	774,59	активний	-	36808350	ТОВ "САМБІРСЬКА	ЛЬВІВСЬКА ОБЛ.,	13.12.2012	активний
30	СОНЯЧНА ЕЛЕКТ	Вінницька	ВІННИЦЬКА ОБЛ., МС СЕС	-	0,997845	розподільна	24.12.2012	774,59	активний	-	38135211	ТОВ "ЕКОСОЛАР	М. ВІННИЦЯ, ВУЛ	24.12.2012	активний
31	СОНЯЧНА ЕЛЕКТ	Вінницька	ВІННИЦЬКА ОБЛ., МС СЕС	-	0,99987	розподільна	27.12.2012	774,59	активний	-	38135183	ТОВ "ЕВРОСОЛАР	М. ВІННИЦЯ, ВУЛ	24.12.2012	активний
32	СОНЯЧНА ЕЛЕКТ	Харківська	М. ХАРКІВ, ВУЛ. ПЛЕХ СЕС	-	0,106	розподільна	26.12.2013	774,59	активний	-	34952770	ТОВ "ФРУНЗЕ	М. ХАРКІВ, ВУЛ. П	14.02.2013	активний
33	СОНЯЧНА ЕЛЕКТ	Миколаївська	МИКОЛАЇВСЬКА ОБЛ. СЕС	-	29,30664	розподільна	07.03.2013	774,59	активний	-	37326260	ПРАТ "НЕПТУН	МИКОЛАЇВСЬКА С	25.02.2013	активний
34	СОНЯЧНА ЕЛЕКТ	Івано-Франківська	ІВАНО-ФРАНКІВСЬКА СЕС	-	2,8028	розподільна	25.04.2013	774,59	активний	-	38370298	ТОВ "СОНЯЧНА ЕЛЕ	ІВАНО-ФРАНКІВС	18.04.2013	активний
35	СОНЯЧНА ЕЛЕКТ	Вінницька	ВІННИЦЬКА ОБЛ., ПШ СЕС	-	0,30276	розподільна	25.04.2013	774,59	активний	-	37908677	ТОВ "ВІНСОЛАР"	ВІННИЦЬКА ОБЛ.,	05.04.2013	активний
36	СОНЯЧНА ЕЛЕКТ	Вінницька	ВІННИЦЬКА ОБЛ., ПШ СЕС	-	1,27699	розподільна	10.10.2013	774,59	активний	-	37908677	ТОВ "ВІНСОЛАР"	ВІННИЦЬКА ОБЛ.,	05.04.2013	активний

Рисунок 3.5. Масив даних об'єктів ВДЕ

Проте для подальшого використання при створенні бази даних

розвитку об'єктів відновлювальної електроенергетики та її використанні для розв'язання різних наукових і практичних задач, вона має містити, окрім масиву даних про виробників з використанням альтернативних джерел, й інші структурні елементи в залежності від поставлених цілей і задач. Зокрема для аналізу та планування розвитку стану альтернативної генерації необхідний додатковий масив ретроспективних даних фактичного відпуску електричної енергії виробниками з альтернативних джерел у розрізі регіонів та за видами генерації. На сьогодні також сформовано масив таких даних за період з 01.07.2019 по 31.12.2021 рік (погодинні дані). Частина інформаційного ресурсу, сформованого за допомогою Excel, зображена на рис. 3.6.

A	B	C	D	E
Область	Джерело	Доба постачання	год	Значення, кВт*год
Вінницька	Біогаз	01.01.2020	1	12253
Вінницька	Біогаз	01.01.2020	2	12334
Вінницька	Біогаз	01.01.2020	3	12308
Вінницька	Біогаз	01.01.2020	4	12339
Вінницька	Біогаз	01.01.2020	5	12268
Вінницька	Біогаз	01.01.2020	6	12330
Вінницька	Біогаз	01.01.2020	7	12413
Вінницька	Біогаз	01.01.2020	8	12394
Вінницька	Біогаз	01.01.2020	9	12421
Вінницька	Біогаз	01.01.2020	10	12335
Вінницька	Біогаз	01.01.2020	11	12275
Вінницька	Біогаз	01.01.2020	12	12303
Вінницька	Біогаз	01.01.2020	13	12346
Вінницька	Біогаз	01.01.2020	14	12370
Вінницька	Біогаз	01.01.2020	15	12368
Вінницька	Біогаз	01.01.2020	16	12159
Вінницька	Біогаз	01.01.2020	17	12129
Вінницька	Біогаз	01.01.2020	18	12168

Рисунок 3.6. Масив даних погодинного фактичного відпуску ЕЕ з ВДЕ

Для здійснення прогнозів виробництва ЕЕ потрібна інформація про погоду у розрізі регіонів (метеорологічні дані). Для оцінки якості прогнозування і порівняння прогностичних засобів – масиви прогнозованих даних про відпуск ЕЕ з ВАД, розраховані з

застосуванням засобів на основі використання різних методів та моделей.

Окрім аналізу відпуску ЕЕ, важливим є визначення обсягів і структури споживання ЕЕ за регіонами розміщення об'єктів альтернативної електроенергетики. Наприклад, співставлення цих даних може виявити регіони, де є перспективним побудова нових станцій, що в свою чергу сприятиме розробці ефективних локальних механізмів підтримки ВДЕ. Тому до вище перерахованих даних варто додати складову «Споживання» (з інформацією про споживача та період, регіон, обсягів споживання)

Таким чином, отримаємо орієнтовний набір масивів даних (рис. 3.7), що можуть бути складовими частинами інформаційної системи розвитку відновлювальної електроенергетики, на основі якої можна будувати моделі та засоби для розв'язання різних практичних та наукових задач.

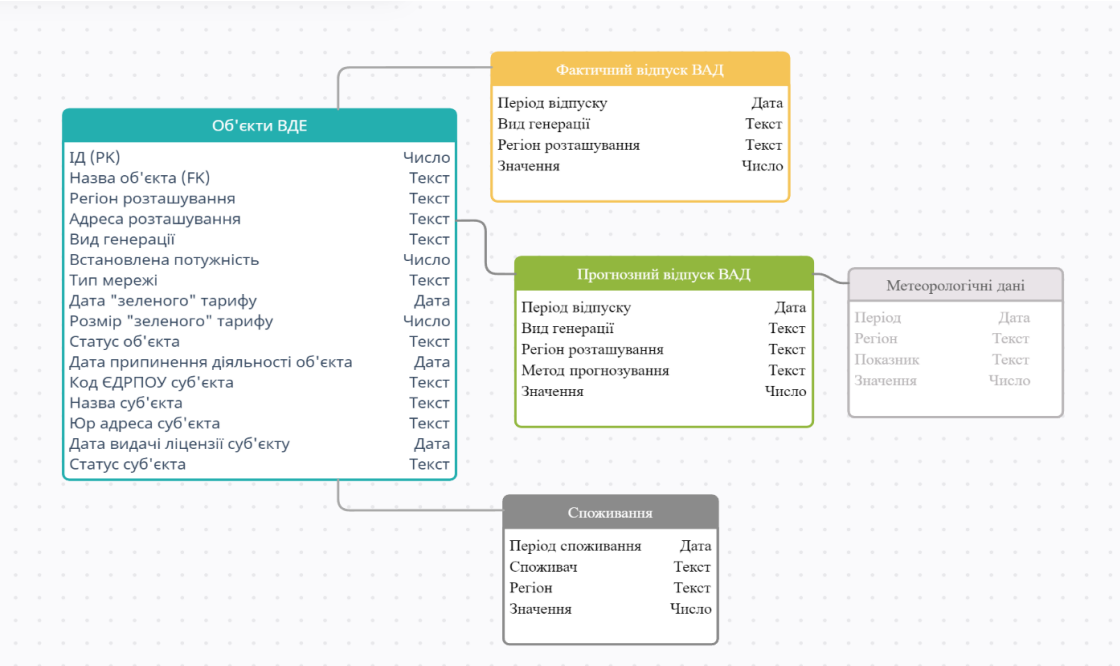


Рисунок 3.7. Структура масивів даних як складових частин інформаційної системи розвитку відновлювальної електроенергетики України

РОЗДІЛ 4

КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ЦІНОУТВОРЕННЯ ЕНЕРГОРИНКУ

4.1. Аналіз стану сучасних досліджень із створення комп'ютерних систем моделювання процесів управління ринком електроенергії

Серед проблем створення комп'ютерних систем моделювання, які призначені для аналізу процесів функціонування ринку ЕЕ, у тому числі й процесу в СОТС ціноутворення, що виникають є висока вартість впровадження моделі ринку, складна структура розподілу ринку на його сегменти, неминуча волатильність та маніпулювання спотових цін, маніпулювання окремими гравцями, здійснюване ринковою владою, складність зниження вартості генерації, непередбачуваність цін на ринках енергоресурсів, некупність вартості виробництва ЕЕ частиною генеруючих потужностей, нерівний розподіл доходів від реалізації спільно виробленої і поставленої споживачам продукції. Тому, в багатьох країнах світу створюються імітаційні моделі функціонування ринків для проведення досліджень з урахуванням особливостей їх протікання, які забезпечать пошук найбільш раціональних і оптимальних механізмів збалансованого розподілу доходів між сегментами ринку та їх учасниками - суб'єктами ринку.

Для створення таких імітаційних моделей та систем використовуються різноманітні методології та методи моделювання, комп'ютерні засоби та інформаційні технології, аналіз яких якісно розкрито у роботі [21]. Методологічну основу створення СОТС ціноутворенням на ринку ЕЕ утворюють економічні, макроекономічні, імітаційні, ретрополяційні, багатокритеріальні моделі. Тому, до складу найбільш застосованих у світі СОТС входить ядро у вигляді модуля

(підсистеми) «вирішувача» задач, який подається як бібліотека математичних методів. В найбільш простих COTS за розміром та обсягом використаних даних можуть застосовуватися «вирішувачі», що знаходяться у відкритому доступі. Але в більш досконалих системах доцільно застосовувати бібліотеки методів, алгоритми яких розробляються й удосконалюються провідними науково-дослідними установами та спеціалізованими комерційними компаніями.

На даний час, практично всі відомі великі світові виробники програмних й програмно-апаратних платформ, такі як, SAP, ORACLE, IBM, Siemens та інші, поставляють комплексні рішення та засоби, як для побудови комп'ютерних систем, так і самі готові системи, у тому числі для організаційного управління енергетичними ринками. Але крім цих платформ сьогодні в світі побудовано і перебувають в експлуатації спеціалізовані комп'ютерні системи, які забезпечують моделювання процесів функціонування енергоринків. Найбільш відомі з них це NEMS, GEMS, GEMINI (США); PRIMES, PLEXOS, AURORA (ЄС); NEMSIM (Австралія).

Національна система моделювання енергетики (NEMS) [60] - це економічна і енергетична модель енергетичних ринків США, створена Управлінням енергетичної інформації (EIA) США. NEMS моделює виробництво, споживання, перетворення, імпорту, експорт і ціноутворення на енергію. Модель ґрунтується на припущеннях для економічних змінних, включаючи взаємодію на світовому енергетичному ринку, доступність ресурсів (яка впливає на витрати), технологічний вибір і характеристики, а також демографічні дані.

Система складається з модулів, які взаємодіють в рамках розрахунків рівноваги для довгострокових прогнозів. До складу NEMS входять модулі, які поділені за функціональними ознаками та

належностями до складових енергетичних ринків на наступні групи:

- модулі постачання енергоресурсів (ринок нафти, ринок природного газу, ринок вугілля і поновлювані види палива);
- модулі виробництва енергії (ринок ЕЕ, ринок рідкого палива з нафтопереробних заводів);
- модулі споживання енергії (житловий попит, комерційний попит, транспортний сектор і промисловий попит);
- модулі моделювання макроекономічної діяльності та міжнародної енергетичної діяльності;
- інтеграційний модуль для забезпечення механізму досягнення загальної ринкової рівноваги між усіма модулями.

NEMS враховує безліч джерел енергії, які використовуються для паливних цілей (генерації тепла і електроенергії) і сировини. Первинні джерела і носії енергії, враховані в NEMS, включають сиру нафту і орендний конденсат, рідини для установок природного газу, сухий природний газ, вугілля, ядерну енергію/уран, звичайну гідроелектроенергію, біомасу, інші поновлювані джерела енергії і іншу первинну енергію. Енергоносії та сировину для кінцевого споживання, про які повідомляє NEMS, включають, серед іншого, електрику, природний газ, вугілля, бензин, дизельне паливо, мазут, пропан, гас, зріджені нафтопереробні гази, реактивне паливо, поновлювані джерела енергії (в першу чергу біомасу і вітер) і нафтохімічну сировину.

Кожен з модулів NEMS може використовувати свою власну унікальну субнаціональну регіональну структуру. Тому, прогнози від NEMS надаються як на національному, так і на регіональному рівні.

EIA США надає доступ до NEMS зовнішнім користувачам через свою програму архівування моделей. Архів містить вихідний код моделі

і вхідні дані, які використовуються для отримання заданого варіанту прогнозу. Однак, NEMS не використовується широко за межами EIA, оскільки для її розгортання потрібне додаткове комерційне програмне забезпечення, таке як компілятори і пакети оптимізаційного моделювання, на додаток до вихідного коду і даних обраної моделі. Тому, основним використанням NEMS є підготовка річного звіту Annual Energy Outlook, що публікується на веб-сайті EIA. NEMS також використовується для спеціальних запитів, пов'язаних з аналізом сценаріїв та економічних й екологічних наслідків змін політики або структури в галузі енергетики. Отже, можна вважати, що NEMS побудована за принципом створення проблемно-орієнтованої прикладної інформаційної системи.

PLEXOS Integrated Energy Model [61] - це програмне забезпечення для моделювання, розроблене для аналізу ринку енергії. На початку, він був розроблений як симулятор ринку ЕЕ. Потім, його функціональність була розширена за рахунок об'єднання в останніх версіях ринків ЕЕ, газу, тепла і води.

PLEXOS - це високопродуктивна платформа моделювання, оперативно використовувана учасниками енергетичного ринку, проектувальниками систем, інвесторами, регулюючими органами, консультантами та аналітиками по всьому світу. Моделювання PLEXOS засноване на математичному програмуванні. Система підтримує різні горизонти планування від довгострокового до короткострокового і кілька різних часових кроків. Моделі PLEXOS можуть фіксувати особливості короткострокових експлуатаційних обмежень об'єктів моделювання. PLEXOS використовує оптимізацію для відтворення властивостей і особливостей фізичної поведінки об'єктів енергосистеми за допомогою програмного середовища.

Він перетворює вхідні дані в математичну задачу, яка знаходить кращий спосіб дій з ряду доступних варіантів. Також можливо виконувати довгострокове планування, середньострокове і короткострокове планування, при цьому кожна фаза автоматично пов'язана з іншими. Можна налаштовувати PLEXOS з необмеженим набором сценаріїв, індивідуальних обмежень, умовних змінних, фізичних елементів, горизонтів моделювання, тривалості періоду моделювання. Ця керована даними гнучкість створює механізм динамічного рішення, яке адаптується до даних користувача для забезпечення правильного балансу деталізації і продуктивності, а також дає максимальну масштабованість і точний контроль. Отже, можна вважати, що PLEXOS побудована за принципом створення процедурно-орієнтованої прикладної інформаційної системи.

Програмне забезпечення прогнозування AURORA [62] це надійне, просте в освоєнні і орієнтоване на користувача програмне забезпечення для моделювання, прогнозування і аналізу ринку ЕЕ. AURORA забезпечує найвищий рівень інтеграції програмного забезпечення, управління моделями та простоту обміну даними. Це програмне забезпечення для моделювання ринку, яке забезпечує можливість складання прогнозів цін, аналізу вартості, аналізу невизначеностей і функціональних можливостей автоматизованих систем енергоринку. AURORA була розроблена для моделювання динамічного і нестабільного ринку, будь то моделювання вітру і сонця, інтеграції систем накопичення і довгострокового розширення сховищ, допоміжних послуг і т.ін.

Всі ці програмні комплекси, в переважній більшості, орієнтовані на моделювання енергетики в цілому та використовуються національними регулюючими органами для аналізу стратегій розвитку енергетичних

комплексів. Хоча, аналіз структур виробників і постачальників ринків ЕЕ свідчить про те, що енергетичні ринки такого масштабу в світі формуються не тільки з великих гравців, але й з великої кількості учасників з невеликими оборотними коштами. У таких учасників немає економічних стимулів і можливостей використовувати їх як «помічника» при формуванні стратегії власної поведінки на ринку ЕЕ. Крім того, ці комплекси зазвичай не дають можливості оцінити взаємний вплив стратегії і тактики багатьох суб'єктів ринку, які можуть в перспективі стати об'єктами «розподіленої генерації» в енергетичній системі та впливати на процеси ціноутворення на ринку ЕЕ. Ця обставина додає значну частку невизначеності при формуванні стратегії розвитку ринку ЕЕ в цілому.

Тому, актуальним стає створення зручної у використанні комп'ютерної системи моделювання, в складі інформаційно-технологічного забезпечення якої є інформаційно-моделююча система аналізу процесів ціноутворення, інформаційно-розрахункові та інформаційно-довідкові системи, яка агрегує всю наявну інформацію про процеси їх функціонування і орієнтована на відтворення стадій ціноутворення у процесі вироблення і прийняття управлінських рішень стосовно стратегії власної поведінки учасників ринку на його сегментах.

Основним призначенням програмно-апаратної комп'ютерної системи моделювання Equant Cloud є надання можливості учасникам — агентам ринку ЕЕ України в режимі онлайн виконувати наступні завдання: інформаційне забезпечення математичного моделювання процесів у СОТС ціноутворення на окремих сегментах ринку; моніторинг об'ємних та цінових показників динаміки функціонування оптового і роздрібного ринків; прогнозування зміни цін та формування стратегії поведінки агентів з урахуванням їх інтересів та комерційних ризиків;

виконання розрахунків поточних функціональних задач планування виробництва ЕЕ та управління електроспоживанням; наукове досліджування різних сценаріїв еволюційного розвитку СОТС ціноутворення на оптовому і роздрібному ринках ЕЕ при різних припущеннях про вдосконалення регуляторних механізмів, інституційних норм, необхідність удосконалення яких обумовлена майбутніми суттєвими змінами як в структурі виробництва, так і в інформаційно комунікаційному забезпеченні процесів передачі та розподілу ЕЕ в майбутньому.

4.2. Функції системи моделювання

Комп'ютерна система моделювання забезпечує комп'ютеризоване формування актуальної та ретроспективної вхідної інформації, необхідної суб'єктам ринку, для виконання у відповідності до Закону України «Про ринок електричної енергії» [2] та інших нормативних документів про розрахунок цін та обсягів виробництва, передачу, розподіл ЕЕ та тарифи для кінцевих споживачів, аналіз отриманих проміжних та кінцевих результатів для оперативного контролю за станом показників функціонування ринку, їх збереження в БД, формування вихідних форм для інтерпретації результатів розрахунків та надання користувачеві інформації, в тому числі і візуалізовано [63].

До числа основних функціональних блоків відносяться блоки, які пов'язані із здійсненням збору, обробки динамічних і статистичних даних про процеси ціноутворення, засоби прогнозування цін: «Оптовий ринок», «Роздрібний ринок», «Прогнозування», «Відновлювальні джерела енергії».

Блоки сформовано з комплексу алгоритмічних моделей сегментів ринку та моделей короткострокового (на добу наперед) прогнозу цін; моделюючих алгоритмів розрахунку цінових показників на різних сегментах ринку та програмних засобів їх реалізації; БД та відповідної системи управління БД; засобів, які забезпечують організацію роботи інформаційно-моделюючої, інформаційно-розрахункової системи та інформаційно-довідкових систем.

З метою формування інформаційних актуальних структур даних інформаційно-довідкових систем, необхідних для проведення процедур автоматизації зазначених функцій, а також первинного візуального аналізу та контролю стану функціонування ринку комп'ютерна система здійснює збір первинних даних від суб'єктів ринку, а саме: опис суб'єктів; опис параметрів, що відтворюють кількісні характеристики виробничих процесів суб'єктів ринку (виробіток, відпуск, перетік, споживання, отримання та ін.); значення параметрів, що відтворюють погодинні обсяги виробництва, відпуску, передачі і споживання ЕЕї, обсяги перетікання ЕЕ, втрати ЕЕ; дані диспетчерського журналу.

Окремо формується набір даних про нормативні параметри проведення розрахунків, які складаються з наступних даних від Регулятора: тарифні зони; тарифи для суб'єктів; тариф на передачу ЕЕ та її розподіл.

Алгоритмічне моделювання в розрахунковій моделі комп'ютерної системи здійснюється з застосуванням отриманих вхідних даних і за допомогою комплексу розрахункових задач для визначення наступних показників: оптові ціни сегментів ринку; роздрібні ціни. Комплекс задач, що реалізується розрахунковою моделлю комп'ютерної системи, вирішується наступними функціональними модулями: панель авторизації, яка буде визначати відповідного агента (виробник,

постачальник, трейдер, оператор системи передачі, розподілу та ін.); мапа цін РДН та мапа виробників України; ціни та обсяги на сегментах ринку електроенергії; виробіток (споживання); загальна інформація по роздрібному ринку; прогнозування цін та обсягів на РДН; роздрібні ціни.

4.3. Інформаційно-моделююча система аналізу процесів ціноутворення ринку електричної енергії

4.3.1. Концептуальна модель інформаційно-моделюючої системи ціноутворення

Виходячи з аналізу особливостей механізмів організаційного управління ринком електроенергії, подальший розвиток підходу до побудови системи моделювання процесів функціонування ринку має здійснюватися не тільки на основі переходу до об'єктно-орієнтованої СППР, а й з урахуванням її ієрархічної структури та інтеграції складових в єдину інформаційну систему управління для вирішення проблемних ситуацій в організації управлінської діяльності суб'єктів СОТС ціноутворення [64, 65].

Діяльність суб'єктів СОТС ціноутворення на ринку ЕЕ описується сукупністю якісних та кількісних характеристик - атрибутів, які відрізняють кожен суб'єкт від іншого та характеризують зміни його стану в результаті взаємодії з іншими суб'єктами. Як правило, вона представляється постійними (технічними) характеристиками - властивостями функціонування суб'єкта та динамічними характеристиками - параметрами функціонування.

Діяльність суб'єкта регламентується також розрахунково-технологічними процесами, які виконуються всіма суб'єктами СОТС в

межах певних Правил ринку - механізмів функціонування. Ці процеси ідентифікуються нормативними документами та реалізуються за допомогою моделюючих алгоритмів формування значень параметрів - компонентів управління суб'єктів. Конкретний суб'єкт може виконувати кілька незалежних процесів відповідно до мети його діяльності, тобто здійснювати кілька процедур - алгоритмів розрахунку, результати яких можуть бути використані в моделюючих алгоритмах інших суб'єктів. Після завершення всіх регламентованих процедур і відповідних розрахунково-технологічних процесів одержуємо дані про зміну стану СОТС ринку ЕЕ.

Таким чином, опис предметної області СОТС може бути представлений у вигляді концептуальної моделі з інформаційною (декларативною) та функціональною (процедурною) частинами. Інформаційна частина моделі визначає склад, зв'язки та атрибути об'єктів предметної області моделювання, а функціональна частина - структуру і взаємозв'язок об'єктів розрахунково-технологічних процесів функціонування суб'єктів СОТС.

До суб'єктів в концептуальній моделі віднесені: країни, енергетичні підприємства, їх устаткування (станції, блоки), електричні мережі та інші суб'єкти, до яких застосовуються або які визначають розрахункові операції з метою формування значень функціональних показників їх діяльності. Кожен суб'єкт в описі має значення типу суб'єкта, перелік власних властивостей і перелік структурних елементів, з яких він складається або входить відповідно до визначеної підпорядкованості. Суб'єкт, для забезпечення своєї діяльності в межах предметної області, пов'язаний різного роду зв'язками з іншими суб'єктами, в результаті яких формується логічна структура суб'єктів цієї предметної області. Наприклад, енергетичне підприємство-генеруюча компанія

відображається в моделі відповідним типом "генкомпанія" з переліками властивостей відповідного типу - код ОКПО, юридична адреса, керівник, і переліком інших суб'єктів, з якими у нього встановлено різного роду взаємозв'язки - територіальна підпорядкованість до країни, управлінська підпорядкованість станцій і блоків, що входять до нього, функціональна підпорядкованість до групи розрахункових суб'єктів.

Функціональний стан кожного суб'єкта визначається переліком параметрів, які відображають різноманітні кількісні показники його діяльності. Кожен параметр в описі має значення типу параметра (показника функціонування), перелік власних властивостей та перелік суб'єктів, поведінка яких характеризується цим параметром. В результаті для параметра обов'язково встановлюється приналежність до певного основного (первинного) суб'єкту, а при необхідності уточнюється його приналежність до додаткових інших суб'єктів, які відображають особливості спільного функціонування. Таким чином, до складу базових елементів-сутностей – об'єктів концептуальної моделі входять: суб'єкти; типи суб'єктів; типи властивостей суб'єктів; типи підпорядкованості (зв'язку) суб'єктів; параметри; типи параметрів; типи властивостей параметрів; типи приналежності (функціонального взаємозв'язку) параметрів до суб'єктів.

Зміна функціональних станів суб'єктів відбувається в результаті виконання розрахунків (моделюючих, прогнозуючих та ін.) згідно встановлених схем алгоритмів і відображається в кількісних значеннях їх параметрів.

Розглянута концептуальна модель є динамічною та відображає не тільки поточний стан суб'єктів, але зміни їх стану у часі. Тому, загалом вона реалізується на тривимірному поданні даних у вигляді куба, вимірами в якому є - час, суб'єкти, параметри, а вузлами - значення

параметру, що характеризує стан функціонування суб'єкта на встановлений інтервал (дискретність) часу. Зміна стану відбувається за рахунок моделюючих алгоритмів, які є розширенням вимірів кубу даних станів, за рахунок додавання вимірів-ознак проведених варіантів розрахунків.

4.3.2. Інтерфейси інформаційно-моделюючої системи

Основною метою створення інформаційно-моделюючої системи (ІМС) є підвищення ефективності і оперативності функціонування учасників при проведенні торгів на лібералізованому ринку ЕЕ за рахунок визначення оптимальних стратегій її учасників. У цих стратегіях учасників ринку враховуються ризики на різних її сегментах за допомогою імітаційної моделі функціонування ринку, розробленої із застосуванням засобів алгоритмічного моделювання процесів формування показників цін, обсягів від учасників в умовах конкурентного відбору пропозицій виробників та постачальників. Також здійснюється оцінка мінімально можливих цін та тарифів, виходячи з витрат, які можуть бути понесені учасниками ринку [64, 65].

Головним призначенням ІМС є надання, як споживачам так і виробникам електроенергії, інформації щодо формування стратегії своєї поведінки на ринку в напрямку досягнення балансу як власних, так і суспільних інтересів. Такий підхід дозволить досягнути синергетичного ефекту взаємного впливу бізнес-інтересів різних учасників, які одночасно взаємодіють і конкурують на різних сегментах ринку електроенергії. В результаті здійснення сценарного аналізу поведінки цих різних груп учасників на ринку ЕЕ стане можливим визначити основні фактори ризику при прийнятті рішень та сформува

пропозиції щодо корегування стратегії подальшого розвитку самого ринку, а також його окремих сегментів [64, 65].

ІМС створюється для автоматизації наступних процесів:

- здійснення аналізу поведінки учасників в умовах лібералізованого ринку, зокрема, визначати перелік генеруючого устаткування, яке може бути включене в роботу, за результатами моделювання конкурентного відбору пропозицій виробників на РДН і БР;

- збирання та візуалізації інформації про функціонування ринку електроенергії у зручній єдиній формі для виробників, постачальників, споживачів, підприємств системи передачі ЕЕ та диспетчерського управління задля здійснення зрівняльного аналізу цін і тарифів;

- зберігання бази даних кінцевих споживачів з урахуванням регіону постачання і класу напруги мереж до яких підключений споживач, що забезпечить підвищення точності та актуальності даних при проведенні моделюючих розрахунків для всіх користувачів системи;

- здійснення оцінки мінімально-можливих цін та тарифів виходячи з витрат, які можуть бути понесені учасниками ринку електроенергії та визначення мінімальної ціни у кінцевого споживача в нових умовах організаційної і технологічної взаємодії учасників ринку відповідно до його Правил;

- обслуговування та автоматизація процесів підготовки торгів на РДН та ВДР для забезпечення виконання ключових функцій з прийому і зберігання технічної та комерційної інформації, яка надається учасниками ринку, обробка оперативних даних учасників ринку, моніторинг динаміки показників сегментів ринків та аналіз поведінки її учасників;

- ведення нормативних документів в частині діючих тарифів, витрат на передачу ЕЕ магістральними мережами, її розподіл;
- накопичення поточної інформації від виробників, постачальників, споживачів ЕЕ в частині обсягів виробництва та відпуску ЕЕ, постачання ЕЕ споживачам, обсягів втрат ЕЕ, заявок та обмежень за потужністю виробників;
- накопичення та зберігання результатів розрахунків обсягів купівлі-продажу ЕЕ, середньозважених цін на ЕЕ, аналітико-статистичних та прогнозних розрахунків.

ІМС подається як частина СППР організаційного управління учасників на ринку ЕЕ. Вона враховує діючі і прогнозує майбутні ціни й обсяги ЕЕ на ринку, моделює процеси ціно- та тарифоутворення, зокрема на таких сегментах як РДН та БР. Результати моделювання подаються і переглядаються як в графічному, так і в табличному вигляді. Деякі результати відтворюються за допомогою картографічного подання.

До складу ІМС входять наступні функціональні підсистеми для реалізації прикладних задач організаційного управління учасників ринку електроенергії (рис. 4.1):

1) Моніторинг інформаційного стану функціонування ринку та її суб'єктів; її прикладні задачі:

- відтворення оперативного стану ринку і її суб'єктів;
- відтворення ретроспективного стану;
- порівняльний аналіз стану за різні періоди функціонування;

2) Прогнозування трендів зміни стану функціонування ринка; її прикладні задачі:

- короткострокове цінове прогнозування стану функціонування

ринку;

– середньострокове прогнозування трендів ціни й обсягів споживання на ринку;

3) Моделювання сценаріїв зміни стану функціонування ринку; її прикладні задачі:

- динаміка змін цін та тарифів на різних сегментах ринку;
- аналітичний аналіз сценаріїв поведінки суб'єктів на ринку і зміни його стану;
- однокритеріальний аналіз оцінки показника в абсолютних і відносних величинах (приростах) з можливістю зміни бази порівняння;
- багатоваріантний аналіз декількох розрахунків показника з поданням у вигляді графіків і таблиць даних;
- параметричний аналіз зміни показника від зміни незалежних параметрів з можливістю завдання діапазону допустимих змін.

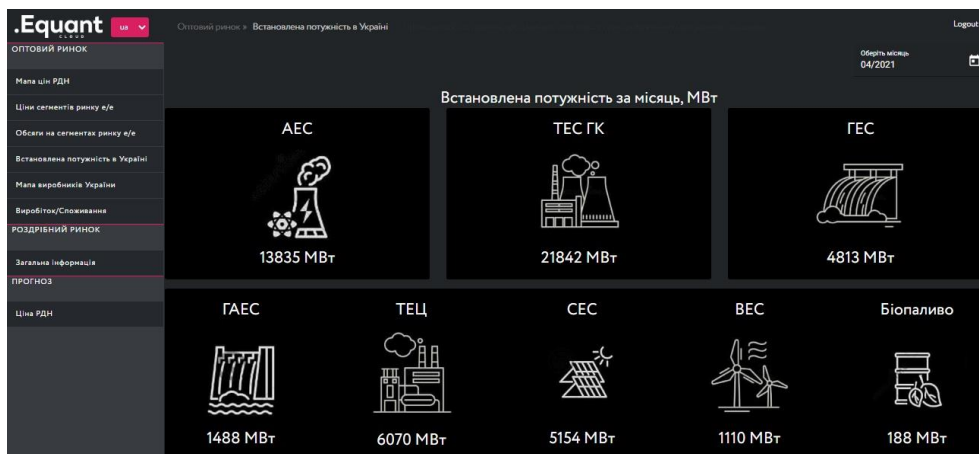


Рисунок 4.1. Інтерфейс основних функціональних підсистем

ІМС дозволяє діючим учасникам, а також майбутнім активним споживачам ЕЕ визначити обсяги та ціни на відповідних сегментах ринку ЕЕ. При цьому в ній передбачена можливість врахування:

- тарифу на послугу з передачі ЕЕ магістральними мережами;

- тарифу на розподіл ЕЕ місцевими локальними мережами;
- тарифів на постачання ЕЕ постачальниками універсальних послуг;
- тарифу з диспетчерського управління та цін і тарифів на інші послуги.

Система формує і актуалізує базовий набір вхідних даних, який дозволяє користувачеві на першому етапі отримати певні результати розрахунків поточного стану ринку в показниках складових ціни у споживача (рис.4.2).

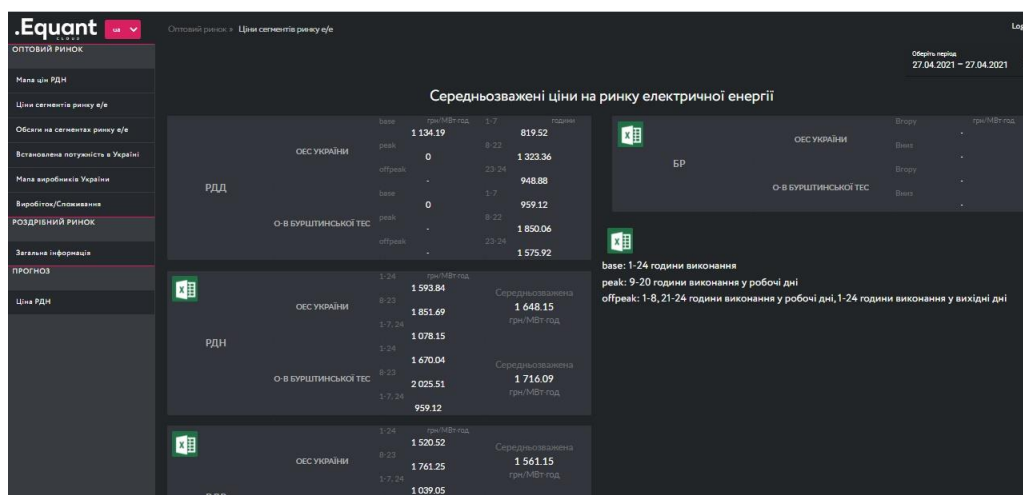


Рисунок 4.2. Інтерфейс середньозваженої ціни на ринку електричної енергії

На наступних етапах надається можливість (рис.4.3):

- здійснювати оціночні розрахунки із внесенням власних вхідних даних для погодинного прогнозування цін за допомогою нейросіткової моделі для різних варіантів показників стану ринку;
- проводити прогнозні розрахунки цін і тарифів, враховуючи у процесі розрахунку дані інших користувачів, що створює ефект онлайн-гри;

– формувати різниці цін споживача в діючому ринку та отриманої за результатами оціночних розрахунків.

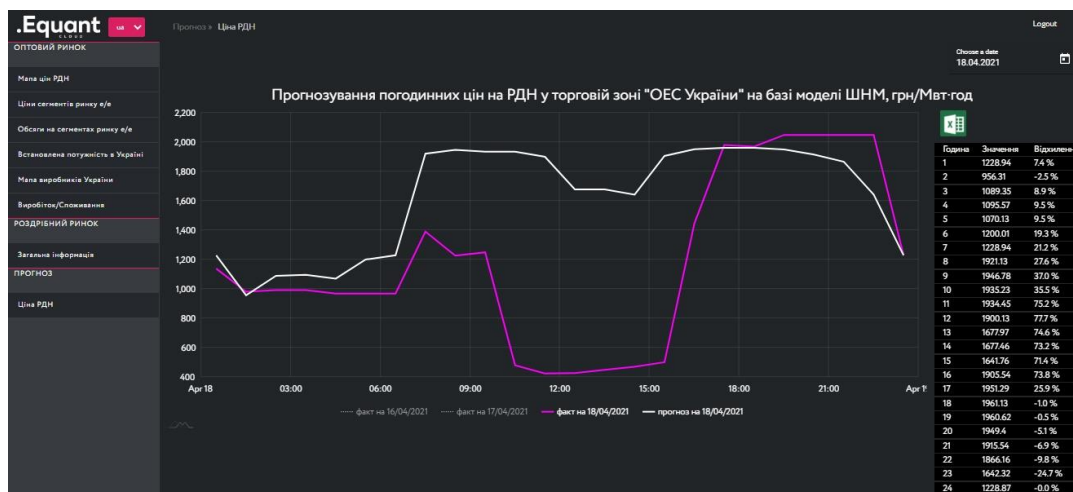


Рисунок 4.3. Інтерфейс прогнозування погодинних цін на добу

Отже, основним результатом створеної ІМС стає підвищення продуктивності процесу прийняття рішень за рахунок поліпшення координації та підвищення інформаційної забезпеченості роботи користувачів СППР, скорочення термінів підготовки інформації про стан функціонування ринку, прискорення надання інформації за допомогою зручних інтерфейсів взаємодії користувача з системою, створення інтегрованого інформаційного ресурсу і єдиного програмного середовища для формування стратегії поведінки учасників ринку ЕЕ.

4.4. Інтерфейс користувача з формування торгових стратегій купівлі та продажу електричної енергії

На виконання вимог Закону про ринок електроенергії НКРЕКП [2] затвердила нові Правила ринку ЕЕ України і Правила РДН та ВДР [3, 4] щодо функціонування цих ринків. Для ефективної роботи на зазначених сегментах ринку необхідний не тільки досвід користувачів, але й

інструментарій, який дозволить учасникам сегментів ринку здійснювати необхідні моделюючі розрахунки для визначення ризиків та пошуку шляхів ефективної поведінки на цих сегментах при формуванні торгових стратегій купівлі та продажу електричної енергії.

Комп'ютерна система забезпечує комп'ютеризоване формування всієї необхідної для розрахунків суб'єктів ринку вхідної інформації, виконання у відповідності до правил ринку та інших нормативних документів розрахунків, аналізу отриманих проміжних та кінцевих результатів для оперативного контролю за станом функціонування ринку, їх збереження в БД, формування вихідних форм для надання інформації користувачеві. Вона забезпечує автоматизацію таких інформаційних процесів: організація підготовки вхідних та формування вихідних даних про результати розрахунків з моделювання функціонування ринку; проведення моделюючих та прогнозованих розрахунків для суб'єктів ринку; складання звітності та організація статистичного обліку; оперативний контроль за станом розвитку функціонування ринку на основі аналітичної обробки даних. Крім того, система надає можливість враховувати ціни і обсяги діючого ринку, моделювати процес ціно- та тарифоутворення, зокрема на таких сегментах як РДН, ВДР. До складу БД включено сегменти та суб'єкти сегментів ринку ЕЕ, а саме: виробники; енергопостачальники; оператори системи передачі; оператори системи розподілу; сегмент РДН; сегмент ВДР; сегмент БР; сегмент роздрібний ринок.

Комп'ютерна система здійснює збір первинних даних від суб'єктів ринку з метою формування інформаційних структур даних, необхідних для проведення первинного візуального аналізу та контролю стану функціонування ринку, а саме: опис суб'єктів; опис параметрів, що відтворюють кількісні характеристики виробничих процесів суб'єктів

ринку (виробіток, відпуск, перетік, споживання, отримання та ін.); значення параметрів, що відтворюють погодинні обсяги виробництва, відпуску, передачі і споживання ЕЕ, обсяги перетікання електроенергії, втрати електроенергії; інші дані. Нормативні параметри проведення розрахунків складаються з наступних даних від НКРЕКП: тарифні зони; тарифи для суб'єктів; тариф на передачу електроенергії та розподіл.

Комплекс задач, що реалізується розрахунковою моделлю, вирішується наступними функціональними модулями (підсистемами): панель управління; виробники; система передачі; система розподілу; енергопостачальники (енерготрейдери); РДН; ВДР; БР; аналіз і прогноз. Розроблені та забезпечують взаємодію користувача з комп'ютерною системою такі інтерфейси: інтерфейс виробників ЕЕ; інтерфейс розрахунків ринку двосторонніх договорів; інтерфейс розрахунків РДН; інтерфейс розрахунків ВДР; інтерфейс розрахунку складових ціни ЕЕ для постачальників та споживачів ЕЕ; інтерфейс виробників із відновлювальних джерел енергії; інтерфейс прогнозування цін та обсягів та ін. Приклад вікна інтерфейсу ціни сегментів ринку комп'ютерної системи наведено на рис. 4.4.

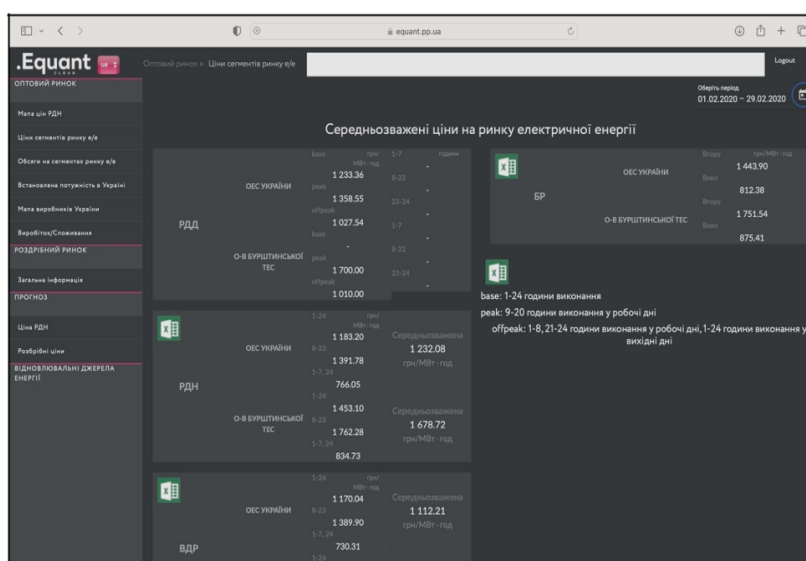


Рисунок 4.4. Приклад вікна інтерфейсу

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Директива Європейського парламенту та Ради №2009/72/ЄС від 13 липня 2009 року про спільні правила внутрішнього ринку електроенергії. 2009. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://eurlex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=celex%3A32009L0072> (дата звернення: 11.03.2021).
- [2] Про ринок електричної енергії: Закон України № 2019-VIII від 13.04.2017 р. [Електронний ресурс]. Режим доступу <https://zakon.rada.gov.ua>. (дата звернення: 15.03.2023).
- [3] Постанова Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг №307 від 14.03.2018 «Про затвердження Правил ринку». [Електронний ресурс]. Режим доступу <https://zakon.rada.gov.ua>. (дата звернення: 15.03.2023). (дата звернення: 15.03.2023).
- [4] Постанова Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг №308 від 14.03.2018 «Про затвердження правил ринку «на добу наперед» та внутрішньодобового ринку» [Електронний ресурс]. Режим доступу <https://zakon.rada.gov.ua>. (дата звернення: 15.03.2023).
- [5] Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». Распорядження Кабінету Міністрів від 18 серпня 2017 р. № 605 р. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80#Text>. ((дата звернення: 09.04.2022).
- [6] Геєц В.М. Економіка України в імперативах низьковуглецевого розвитку. Доповідь на науковій сесії Загальних зборів НАН України 17 лютого 2022 року // Вісник Національної академії наук України, 2022, № 3, с. 8-17. <https://doi.org/10.15407/visn2022.03.00>.
- [7] Кириленко О.В. Заходи та засоби перетворення енергетики України на інтелектуальну екологічно безпечну систему. Доповідь на науковій сесії Загальних зборів НАН України 17 лютого 2022 року // Вісник НАН України, 2022, № 3, с. 18-23. <https://doi.org/10.15407/visn2022.03.018>.
- [8] Кириленко, О. В., Снежкін, Ю. Ф., Басок, Б. І., Базєєв, Є. Т. (). Енергетика України: ймовірні сценарії відновлення та розвитку. Вісник НАН України. 2022, №9, с. 22-37. <https://doi.org/10.15407/visn2022.09.022>.
- [9] Ukraine Recovery Plan. <https://recovery.gov.ua/en>.

- [10] National projects. Energy. <https://bit.ly/3xQg4KB>.
- [11] Гительман Л.Д., Ратников Б.Е., Кожевников М.В. Управление спросом на электроэнергию: адаптация зарубежного опыта // Экономика региона, 2013, №1(76), с.84-89.
- [12] Нехороших И.Н., Добринова Т.В., Анисимов А.Ю., Жегловская А.В. Мировая практика управления спросом на электроэнергию // Экономика в промышленности, 2019, 12, № 3, с. 280 – 287.
- [13] Находов В., Замулко А. Усовершенствование новой модели рынка электроэнергии путем управления режимами электропотребления (научное мнение). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://reform.energy/news/usovershenstvovanie-novoy-modeli-rynka-elektroenergii-putem-upravleniya-rezhimami-elektropotrebleniya-nauchnoe-mnenie-13412>. (дата звернення: 15.01.20).
- [14] Праховник А.В., Попов В.А., Ярмолюк Е.С., Кокорина М.Т. Перспективы и пути развития распределенной генерации в Украине // Энергетика: економіка, технології, екологія, 2012, №2, с.7-14.
- [15] Voropay N.I. Prospects and ways of development of distributed generation in electric power systems. International Scientific and Practical Conference "Small Power Engineering - 2005". [Electronic resource]: [site]: Access mode: <http://www.combienergy.ru/stat/983>. (date of access 19.10.2019).
- [16] Євдокімов В.А. Деякі питання дослідження технічного і організаційно-економічного впливу розподіленої генерації на функціонування енергосистеми та ринок електричної енергії // Моделювання та інформаційні технології. Зб. наук. праць. Київ: 2019, вип. № 88, с. 134-143.
- [17] Woo C.K., King M., Tishler A., Chow L.C. H. Cost of electricity deregulation // Energy, 2006, Vol. 31, pp. 747–768.
- [18] Стофт С. Экономика энергосистем. Введение в проектирование рынков электроэнергии: Пер. с англ. М.: Мир, 2006, 623 с.
- [19] Беляев Л.С. Проблемы электроэнергетического рынка. Новосибирск: Наука, 2009, 296 с.
- [20] Айзенберг Н.И., Филатов А.Ю. Моделирование и анализ механизмов функционирования электроэнергетических рынков. Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2013, 100 с.
- [21] Саух С.Е. Методология и методы математического моделирования энергетики в рыночных условиях // Электронное моделирование, 2018, 40, №3, с. 3 – 32.

- [22] <https://www.oree.com.ua/>.
- [23] Linden A.J., Kalantzis F., Maincent E, Pieńkowski J. Electricity Tariff Deficit. Temporary or Permanent Problem in the EU? European Commission Directorate-General for Economic and Financial Affairs. http://ec.europa.eu/economy_finance/publications/.
- [24] https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/uk/QANDA_22_3141.
- [25] Борукаєв З.Х., Євдокімов В.А., Остапченко К.Б. Обчислювальний метод вузлової трансформації процесу ціноутворення на ринку електроенергії // Техн.електродинаміка. 2022, № 5, с. 67-76. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2022.05.067>.
- [26] А.С. 115256. Науковий твір «Обчислювальний метод вузлової трансформації процесу ціноутворення на ринку електроенергії» / З.Х. Борукаєв, В.А. Євдокімов, К.Б. Остапченко; дата реєстрації 13 жовтня 2022 р. № 115256: опубл. URL: <https://sis.ukrpatent.org>.
- [27] Соловьева И.А., Дзюба А.П. Показатели рыночной среды в прогнозировании электропотребления // Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и энергоменеджмент», 2013, том 7, с. 47-57.
- [28] Камчатова Е.Ю. Риски энергетических компаний / Е.Ю. Камчатова, А.В. Костенко // Вестник университета. 2016, №11, с. 69-74.
- [29] Market Risk Management in Russian electricity companies. Analytical study. KPMG, 2012 [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.kpmg.com/RU/ru/IssuesAndInsights/ArticlesPublications/Documents/Market-risk-management-at-Russian-power-companies-rus.pdf> (accessed date: 11.10.2016).
- [30] А.С. 115332 Україна. Науковий твір «Математична модель рівноваги на ринку електроенергії «на добу наперед» » / С.Є. Саух, В.А. Євдокімов; дата реєстрації 17 жовтня 2022 р. №115332; опубл. URL: <https://sis.ukrpatent.org>.
- [31] Блінов І.В., Парус Є.В. Підхід до формування лотів виробників на аукціоні з купівлі-продажу електричної енергії // Праці Інституту електродинаміки НАН України. К.: ІЕД НАНУ. 2011, вип.28, с. 20-25.
- [32] Королев М., Углов Д. Составляем заявки на продажу. // Профессиональный журнал, 2004, с. 64-69.
- [33] Амелина А.Ю., Лисин Е.М., Анисимова Ю.А., В. Стриелковски.В. Выбор оптимальной стратегии поведения генерирующей компании на рынке «на сутки вперед» в условиях рыночного регулирования. // Вектор науки ТГУ, 2013, № 4, с. 63-68.

- [34] Микешина А.А. Стратегия поведения генерирующей компании на оптовом рынке электроэнергии. // Экономика, Статистика и Информатика. 2010, №6, с. 190-192.
- [35] Филатов С.А. Модели и методы формирования оптимальных стратегий поведения генерирующих компаний на оптовом рынке электрической энергии: автореф. дисс. ...канд. экон. наук: 08.00.13 / С.А. Филатов. – СПб: из-во СПб ГИЭУ. – 19 с.
- [36] Секретарев Ю. А., Мятёж Т.В., Мошкин Б.Н. Математическая модель управления функционированием генерирующей компании в современных условиях // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2018, том 329, № 2, с. 146–158.
- [37] Битеряков Ю.Ф., С.А. Кутинов К вопросу формирования цен на конкурентных рынках электроэнергии // Вестник ИГЭУ. 2005, вып. 2, с. 1-4.
- [38] Кириленко О.В., Блінов І.В., Парус Є.В. Балансуючий ринок електроенергії України та його математична модель // Технічна електродинаміка. 2011, № 2, с. 36-43.
- [39] Кириленко О.В., Блінов І.В., Парус Є.В. Іванов Г.А. Імітаційна модель ринку електричної енергії «на добу наперед» з неявним урахуванням мережевих обмежень енергетичних систем // Техн. електродинаміка. 2019, № 5, с. 60-67. DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2019.05.060>.
- [40] User's Manual for CPLEX. <https://www.ibm.com/docs/en/icos/20.1.0?topic=cplex-users-manual>.
- [41] Optimization Programming Language (OPL). <https://www.ibm.com/docs/en/icos/12.8.0.0?topic=opl-optimization-programming-language>.
- [42] Першиков В.И., Савинков В.М. Толковый словарь по информатике. М.: Финансы и статистика, 1991, 543 с.
- [43] Теоретико-ігрове та об'єктно-орієнтоване моделювання систем організаційного управління: монографія / В.Ф. Євдокимов, З.Х. Борукаєв, К.Б. Остапченко, О.І. Лісовиченко. Київ: ТОВ «Три К», ІПМЕ ім.Г.Є.Пухова НАН України, 2019, 283 с.
- [44] Borukaiev Z., Ostapchenko K., Chemerys O., Evdokimov V. Information Technology Platform for Automation of Decision-Making Processes by the Organizational Management System. In Power Systems Research and Operation: Selected Problems II. Studies in Systems, Decision and Control / ed. by O.Kyrylenko, S.Denysiuk, D.Derevianko, I.Blinov, I.Zaitsev, A.Zaporozhets.

- Springer, Cham, 2023, vol 220, pp.257-279.
- [45] Sprague, R. H., Carlson, E. D. (1982). Building effective decision support systems. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- [46] Sprague, R. H., Watson, H. J. (1996). Decision support for management. EnglewoodCliffs, NJ: Prentice-Hall.
- [47] Моделі та засоби автоматизації систем організаційного управління енергоринком: монографія / З. Х. Борукаєв, І. В. Блінов, К. Б. Остапченко, О. А. Чемерис, В. В. Шкарупило; за заг. ред. З. Х. Борукаєва. Вінниця: ГО «Європейська наукова платформа», 2022. 122 с. ISBN 978-617-8037-82-6, DOI 10.36074/mtzasoye-monograph.2022.
- [48] IEC 62325-301. Framework for energy market communications. Part 301: Common information model (CIM) extensions for markets, 2018. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://webstore.iec.ch/publication/31487>.
- [49] IEC 62325-351. Framework for energy market communications. Part 351: CIM European market model exchange profile, 2016. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://webstore.iec.ch/publication/25128>.
- [50] Колесов Ю.Б. Объектно-ориентированное моделирование сложных динамических систем. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2004, 240 с.
- [51] Грэхэм И. Объектно-ориентированное моделирование. Принципы и практика. М.: Изд-во Вильямс, 2004, 880 с.
- [52] Буч Г. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений на С++: Третье изд.; пер. с англ. И. Романовского, Ф. Андреева. М.: Изд-во Вильямс, 2008, 720 с.
- [53] Ostapchenko K. Lisovychenko O., Evdokimov V. Functional organization of system of support of decision-making of organizational management // Адаптивні системи автоматичного управління, 2020, №1(36), с. 17-31. URL: <https://doi.org/10.20535/1560-8956.36.2020.209753>.
- [54] А.С. 112221 Україна. База даних « Моделі процесів функціонування ринку електроенергії» / К.Б. Остапченко, В.А. Євдокімов, З.Х. Борукаєв; дата реєстрації 9 березня 2022 р. №112221; опубл. <https://sis.ukrpatent.org>.
- [55] Остапченко К.Б., Євдокімов В.А., Борукаєв З.Х. Сховище оперативних даних системи підтримки прийняття рішень для організаційного управління ринком електроенергії. Електронне моделювання. 2022. Т. 44. № 3, с. 101-112.
- [56] Лукашевич Я.П., Євдокімов В.А. Інформаційна система моніторингу динаміки розвитку альтернативної електроенергетики. Електронне моделювання. 2022. Т. 44. № 5, с. 90-101.

- [57] Офіційний сайт ДП «Гарантований покупець». [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.gpее.com.ua/get_document/83 (дата звернення: 10.04.2022).
- [58] Energy Map. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://map.ua-energy.org/> (дата звернення: 10.04.2022).
- [59] ПЛАТФОРМА ENERGO.UA. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.energo.ua/> (дата звернення: 10.04.2022).
- [60] The National Energy Modeling System: An Overview 2018, available at: <https://www.eia.gov/outlooks/aeo/nems/documentation/>.
- [61] Plexos market simulation software, available at: <https://energyexemplar.com/solutions/plexos/>.
- [62] Aurora electric modeling, forecasting and analysis software, available at: <https://energyexemplar.com/solutions/aurora/>.
- [63] Євдокімов В.А. Функціональна організація інтерфейсу користувача програмно-апаратної комп'ютерної системи Equant Cloud. Електронне моделювання. 2023, 45(2), с. 83-84.
- [64] Євдокімов В.А. Інформаційно-моделююча система аналізу процесу ціноутворення на ринку електричної енергії // Журнал «Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки». 2021, № 3, с. 10-18.
- [65] Остапченко К.Б., Лісовиченко О.І., Євдокімов В.А., Борукаєв З.Х. Створення інформаційно-моделюючої системи аналізу процесів ціноутворення на ринку електричної енергії // Електронне моделювання. 2021, том 43, №4, с. 51-68.

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

ЄВДОКИМОВ Володимир Анатолійович

ORCID: 0000-0001-9497-4030

Scopus Author ID: 57857542800

**МАТЕМАТИЧНЕ ТА ІНФОРМАЦІЙНО-
ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ
СИСТЕМИ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ
ЦІНОУТВОРЕННЯ ЕНЕРГОРИНКУ**

МОНОГРАФІЯ

Українською мовою

Редакція: Остапченко К.Б.

Верстка тексту: Зрада С.І.

Дизайн внутрішнього блоку: Бондаренко І.В.

Підписано до друку 30.09.2023. Формат 60×84/16.

Умовно-друк. арк. 7,90. Тираж: 200 примірників.

Замовлення № 382. Цифровий друк.

Папір офсетний. Гарнітура Franklin Gothic Book.

Віддруковано з готового оригінал-макету.

Видавець: ГО «Європейська наукова платформа»

21037, Україна, м. Вінниця, вул. Зодчих, 18, офіс 81

Телефони: +38 098 1948380; +38 098 1956755 | E-mail: info@ukrlogos.in.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи: ДК № 7172 від 21.10.2020 р.

