

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МОДЕЛЮВАННЯ В ЕНЕРГЕТИЦІ
ІМ. Г.Є. ПУХОВА**

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

БОРУКАЄВ ЗЕЛІМХАН ХАРИТОНОВИЧ

УДК 004.94 : 51-74

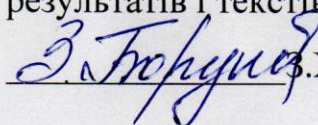
ДИСЕРТАЦІЯ

**МАТЕМАТИЧНІ ТА КОМП'ЮТЕРНІ МОДЕЛІ ПРОЦЕСІВ
ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕХАНІЗМІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ І РОЗВИТКУ
СИСТЕМ ОРГАНІЗАЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ**

Спеціальність 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи
Галузь знань – Інформаційні технології

Подається на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук.

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

 З.Х. Борукаєв

Науковий консультант Євдокимов Віктор Федорович,
член-кореспондент НАН України, доктор технічних наук, професор

Київ – 2018

Анотація

Борукаєв З.Х. Математичні та комп'ютерні моделі процесів вдосконалення механізмів функціонування і розвитку систем організаційного управління. - Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.02 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи. - Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України, Київ, 2018.

Дисертація присвячена вирішенню актуальної науково-прикладної проблеми удосконалення методів і засобів математичного та комп'ютерного моделювання процесів прийняття рішень у складних багаторівневих системах організаційного управління в напрямку підвищення їх продуктивності на основі розроблення нових засобів організації процесів підготовки та використання моделюючих систем, як носіїв досліджуваних моделей, шляхом побудови комплексу взаємопов'язаних математичних і комп'ютерних моделей механізмів функціонування систем організаційного управління.

Розроблено підхід до побудови дескриптивних теоретико-ігрових моделей процесів прийняття рішень з вдосконалення механізмів функціонування складних багаторівневих систем організаційного управління, на прикладі енергоринку України, з урахуванням реальних особливостей організаційної, технологічної та інформаційної взаємодії його суб'єктів, у межах якого: розроблено засоби математичного опису процесів ігрової взаємодії суб'єктів енергоринку; побудовано дескриптивні моделі енергоринку та його сегментів, що описують коаліційний характер взаємовідносин гравців у конфліктних ситуаціях; розроблені процедури формування оптимального рішення багаторівневих кооперативних ігор, аналізу моделей задля визначення діапазонів обмежень у змінах компонентів стану управління для збереження стійкості процесів управління, формування взаємоузгоджених, прийнятних для учасників ринку альтернативних варіантів змін до механізмів функціонування ринку.

Побудовані математичні моделі процесів вдосконалення механізмів визначення цінових показників ринку ЕЕ.

Розроблено нові уніфіковані засоби об'єктно-орієнтованого концептуального та інформаційного моделювання процесів взаємодії суб'єктів систем організаційного управління, з застосуванням яких побудовано імітаційну комп'ютерну модель оптового ринку електроенергії.

Проведено дослідження комп'ютерних моделей шляхом вирішення прикладних і тестових задач, яке підтверджує їх адекватність.

Теоретичні результати з розроблення математичних моделей та комп'ютерних систем моделювання були використані при розробці автоматизованої системи розрахунку платежів суб'єктів оптового ринку електроенергії України. Система впроваджена на Державному підприємстві «Енергоринок».

Ключові слова: дескриптивна модель, інформаційна модель, комп'ютерна модель, концептуальна модель, кооперативна гра, механізми функціонування, моніторинг енергоефективності, об'єктно-орієнтований опис, організаційно-технічна система, процес, система організаційного управління, теоретико-ігровий опис.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Борукаев З.Х. Теоретические и информационные аспекты создания компьютерной системы управления топливно-энергетическим комплексом / З.Х. Борукаев, В.Ф. Евдокимов, К.Б. Остапченко, В.Ф. Шатров // Электрон. моделирование. – 2002. - Т. 24, №1. – С. 58 - 69.

2. Борукаев З.Х. Информационно-аналитическая система мониторинга оптового рынка электроэнергии / З.Х. Борукаев, В.Ф. Евдокимов, К.Б. Остапченко // Моделювання та інформаційні технології: зб. наук. праць. – К.: 2002. - Вип. №14. - С. 3 - 13.

3. Борукаев З.Х. Программный комплекс автоматизированной системы расчёта платежей субъектов энергоринку Украины / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, А.Б. Остапченко, О.И. Лисовиченко // Моделювання та інформаційні технології: зб. наук. праць. – К.: 2003. - Вип. № 24. – С. 47 - 51.

4. Евдокимов В.Ф. Некоторые вопросы создания компьютерных средств поддержки принятия решений для систем организационного управления в энергетике / В.Ф. Евдокимов, Ю.Г. Куцан, З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, Л.И. Грицюк // Энергетика и электрификация. – 2003. - №1. - С. 2 - 7.

5. Борукаев З.Х. Компьютерная модель Оптового рынка электроэнергии Украины / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко // Электрон. моделирование. - 2004. - Т.26, № 1. - С. 111 - 124.

6. Борукаев З.Х. О предпосылках теоретико-игрового подхода к моделированию энергетического рынка / З.Х. Борукаев // Моделювання та інформаційні технології : зб. наук. праць. – К.: 2005. - Вип. № 32. - С. 14 - 22.

7. Борукаев З.Х. О подходах и задачах построения общей модели энергетического рынка / З.Х. Борукаев // Институт проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова: зб. наук. праць. – К. : 2006. - Вип. № 32. - С. 66 - 77.

8. Борукаев З.Х. Подход к построению теоретико - игровой модели энергетического рынка / З.Х. Борукаев // Электрон. моделирование. – 2006. – Т.28, № 4. – С. 107 – 119.

9. Борукаев З.Х. Формирование оптимального решения многоуровневой коалиционной игры - модели энергоринка / З.Х. Борукаев // Энергетика та електрифікація. - 2006. - № 12. - С. 4 - 10.

10. Борукаев З.Х. Задачи и этапы программной реализации теоретико-игровых моделей энергетического рынка / З.Х. Борукаев // Автоматизація виробничих процесів. - 2006. - № 2(23). - С. 152 – 161.

11. Борукаев З.Х. К вопросу о создании комплексной системы прогнозирования электрической нагрузки / З.Х. Борукаев // Институт проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова : зб. наук. праць. – К.: 2006. - Вип. № 33. - С. 69 - 76.

12. Борукаев З.Х. Об информационно-аналитической системе мониторинга энергоэффективности производства, передачи и потребления электроэнергии / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко // Моделювання та інформаційні технології : зб. наук. праць. - К.: 2006. - Вип. № 37. - С. 108 - 115.

13. Борукаев З.Х. Об основных требованиях к системе технико-экономических показателей мониторинга энергоэффективности производства, передачи и потребления электроэнергии / З.Х. Борукаев // Праці Інституту електродинаміки НАН України: зб. наук. праць. – К.: 2006. - № 3(15). - С. 11 - 15.

14. Евдокимов В.Ф. Компьютерная модель мониторинга энергоэффективности: информационно-технологические аспекты / В.Ф. Евдокимов, З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко // Энергетика та електрифікація. - 2006. - № 11. - С. 52 - 57.

15. Борукаев З.Х., Компьютерная модель мониторинга энергоэффективности: аспекты информационного моделирования / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, Л.И. Грицюк // Энергетика та електрифікація. - 2007. - № 1. - С. 3 - 7.

16. Борукаев З.Х. Построение информационной модели системы мониторинга энергоэффективности электроэнергетики / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, Л.И. Грицюк // Энергетика та електрифікація. - 2007. - № 2. - С. 60 - 65.

17. Борукаев З.Х. Построение математической модели функционирования оптового рынка электроэнергии для решения задач организационного управления / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко // Электрон. моделирование. - 2007. - Т.29, № 2. - С. 73 - 84.

18. Борукаев З.Х. Подход к построению компьютерных моделей для оперативного (суточного) планирования поставок электрической энергии в условиях оптового рынка. Часть 1. Формулировка задачи / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.И. Лисовиченко // Моделювання та інформаційні технології : зб. наук. праць. - К.: 2012. - Вип. № 63. - С. 192 - 198.

19. Борукаев З.Х. Подход к построению компьютерных моделей для оперативного (суточного) планирования поставок электрической энергии в условиях оптового рынка. Часть 2. Методическое обеспечение / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.И. Лисовиченко // Институт проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова : зб. наук. праць. – К.: 2012. - Вип. № 63. - С. 172 - 185.

20. Борукаев З.Х. Подход к построению компьютерных моделей для оперативного (суточного) планирования поставок электрической энергии в условиях оптового рынка. Часть 3. Информационно-технологическое обеспечение / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.И. Лисовиченко // Институт проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова: зб. наук. праць. – К.: 2012. - Вип. № 62. - С. 164 - 186.

21. Борукаев З.Х. Планирование торгового диспетчерского графика распределения активной нагрузки на оптовом рынке электроэнергии. Часть 1. Математическая модель. / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.И. Лисовиченко // Институт проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова : зб. наук. праць. – Київ: 2012.- Вип. № 64. - С. 127 - 137.

22. Борукаев З.Х. Компьютерное моделирование задач планирования поставок электроэнергии на оптовом рынке с применением искусственных нейронных сетей / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.И. Лисовиченко // Институт проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова : зб. наук. праць. – К.: 2012. - Вип. № 65. - С. 140 - 152.

23. Борукаев З.Х. Анализ взаимосвязи данных динамики энергорынка с изменениями цен на рынках энергоносителей / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.И. Лисовиченко // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління». - 2015. - № 1(26). - С.85 - 101. (WorldCat, Open AIRE, Google Scholar)

24. Борукаев З.Х. Моделирование динамики прибыли генерирующих компаний в условиях изменения цен на энергоносители / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.И. Лисовиченко // Енергетика та електрифікація. – 2015. - № 10. - С. 31 - 35.

25. Борукаев З.Х. Математическое обеспечение методики расчета прогнозной оптовой цены на рынке электроэнергии / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.И. Лисовиченко // Энергетика та електрифікація. – 2015. - № 9. - С. 33 - 43. (WorldCat, Open AIRE, Google Scholar)

26. Борукаев З.Х. Модели для определения прогнозной оптовой цены покупки электроэнергии в условиях изменения цен на энергоносители / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.И. Лисовиченко // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління». - 2015. - № 2 (27). - С.35 - 43. (WorldCat, Open AIRE, Google Scholar)

27. Борукаев З.Х. Модель краткосрочного прогноза оптовой цены покупки электроэнергии в условиях изменения цен на рынках энергоносителей / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.И. Лисовиченко // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління». - 2016. - № 1 (28). - С. 11 - 22. (WorldCat, Open AIRE, Google Scholar)

28. Борукаев З.Х. Подход к построению систем поддержки принятия решений для автоматизации процессов организационного управления в энергетике / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.И.Лисовиченко // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління». - 2017. - №1(30). - С.36 - 48. (WorldCat, Open AIRE, Google Scholar)

Праці апробаційного характеру:

29. Борукаев З.Х. Автоматизированная система расчёта платежей субъектов оптового рынка электроэнергии / З.Х. Борукаев, В.Ф. Евдокимов, К.Б. Остапченко // Энергетика: Управление, качество и эффективность использования энергоресурсов: третья Всероссийская научно техническая конференция с международным участием 14-16 мая, 2003 г., г. Благовещенск, Российская федерация: сборник трудов в 2-х томах, изд-во Амурского государственного университета. - 2003. - Т.1. - С. 133 – 138.

30. Евдокимов В.Ф. О проблеме информатизации системы организационного управления топливно-энергетическим комплексом Украины /

В.Ф. Евдокимов, З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко // Информационные технологии в управлении энергетическими системами : международная конференция, 18-19 октября, 2005 г., г. Киев, Украина : тезисы докл. – С. 5 – 6.

31. Борукаев З.Х. Математическая модель функционирования оптового рынка электроэнергии / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко // Международная конференция «Моделирование - 2006», 16-18 мая 2006 г., Киев, Украина : сборник трудов. - С.33 - 36.

32. Борукаев З.Х. О теоретико-игровой модели рынка электрической энергии Украины / З.Х. Борукаев // Международная научно-практическая конференция «Функціонування і розвиток ринків електроенергії та газу», 31 мая-5 июня 2006 г., п.г.т. Партенит, Крым, Украина // Институт проблем моделирования в энергетике им. Г.С. Пухова : зб. наук. праць, Спеціальний випуск. – К. : 2006. - С. 34 - 43.

33. Борукаев З.Х. Проектирование информационно-аналитических систем мониторинга производных показателей в теплоэнергетическом комплексе / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.И. Лисовиченко // Автоматизация: проблемы, идеи, решения : міжнародна науково-технічна конференція, 5-9 вересня 2011 р., м. Севастополь, Україна : матеріали конф. - С. 211 - 213.

34. Борукаев З.Х. Проблемы математического моделирования распределения активной нагрузки на оптовом рынке электроэнергии / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.И. Лисовиченко // Автоматизация: проблемы, идеи, решения : міжнародна науково-технічна конференція, 9-13 вересня 2013 р., м. Севастополь, Україна : матеріали конф. - С. 31 - 32.

35. Борукаев З.Х. Прогнозирование электропотребления при решении задач оперативного суточного планирования поставок электроэнергии на оптовом рынке / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.И. Лисовиченко // Автоматизация: проблемы, идеи, решения : міжнародна науково-технічна конференція, 8-12 вересня, 2014 р., м. Севастополь, Україна : матеріали конф. - С. 31 - 32.

36. Борукаев З.Х. Модель прогноза оптовой цены покупки электроэнергии в условиях изменения цен на энергоносители / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко,

О.И. Лисовиченко // V международная конференция «Моделирование - 2016», 25-27 мая 2016 г., г. Киев, Украина : сборник трудов. - С.147 – 150.

37. Борукаев З.Х. Модель аналізу динаміки прибутку генеруючих компаній в умовах зміни цін на енергоносії / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.І.Лисовиченко // Прикладні науково-технічні дослідження : міжнародна науково-практична конференція, 5-7 квітня 2017 р., Івано-Франківськ, Україна : матеріали конф. - С. 28.

Додатковий список наукових праць:

38. Борукаев З.Х. Об одном подходе к созданию компьютерной системы организационного управления в энергетике / З.Х. Борукаев, В.Ф. Евдокимов, К.Б. Остапченко // Энергетика и электрификация. – 2002. - № 2. - С. 49 - 54.

39. Компьютерные системы организационного управления в энергетике / З.Х. Борукаев, В.Ф. Евдокимов, К.Б. Остапченко, В.Ф. Шатров. - Киев: ЦТИ Энергетика и электрификация, 2002. - 66 с.

40. Евдокимов В.Ф. О компьютерной системе мониторинга энергетического рынка Украины / В.Ф. Евдокимов, Ю.Г. Куцан, З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, Л.И. Грицюк // Энергетика и электрификация. - 2002. - № 12. - С. 15 - 18.

41. Борукаев З.Х. О компьютерной системе мониторинга энергетического производства / З.Х. Борукаев, В.Ф. Евдокимов, К.Б. Остапченко // Энергетика: Управление, качество и эффективность использования энергоресурсов: третья Всероссийская научно техническая конференции с международным участием , 14-16 мая, 2003 г., г. Благовещенск, Российская федерация : сборник трудов в 2-х томах, изд-во Амурского государственного университета. - 2003. - Т.1. - С.223 - 228.

42. Борукаев З.Х. О компьютерной системе мониторинга «Ресурсы производства и продукция ТЭК» / З.Х. Борукаев, Л.И. Грицюк, В.И. Кубанский, К.Б. Остапченко // XXII науково-технічна конференція “Моделювання”, 9-10 січня 2003 р., м. Київ, Україна : тези конф. - 2003. - С. 4 - 7.

43. Борукаев З.Х. Автоматизированная система расчёта платежей субъектов оптового рынка электроэнергии Украины / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, В.Ф. Евдокимов // Электрические сети и системы. – 2003. - №2. – С. 43 - 48.

44. Борукаев З.Х. Об информационно-технологической платформе компьютерного моделирования процессов организационного управления / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко // Информационные технологии в управлении энергетическими системами : международная конференция, 18-19 октября, 2005 г., г. Киев, Украина : тезисы докл. – С. 26 - 28.

45. Борукаев З.Х. Моделирование динамики энергорынка в условиях изменения цен на рынках энергоносителей. Часть 1. Общая формулировка задачи / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.И. Лисовиченко // Моделювання та інформаційні технології : зб. наукових прац. - К. : 2014. - Вип. № 73. - С. 139 - 146.

ABSTRACT

Borukaiev Z.Kh. Mathematical and computer models of processes for perfecting the functioning and development of organizational management systems – As the manuscript.

Thesis for the degree of Doctor of Technical Sciences in specialty 01.05.02 – mathematical modeling and computing methods. – Pukhov Institute for Modeling in Energy Engineering, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 2018

The present study is devoted to the important problem of practical nature, namely strive to improve mathematical and computer modeling ways in decision-making processes at complex multi-level organizational management systems for raising their productivity through the development of new organizational process tools for the preparation and using systems modeling as the studied model carrier.

The approach of building descriptive game-theoretical models in decision-making processes for perfecting mechanisms of complex multi-level organizational systems has been developed within the example of the Ukrainian energy market, taking

into account the real characteristics of institutional, technological and informational interaction between his agents, in which: the way to describe mathematical processes of gaming interactions between energy market's agents has been created; a descriptive multi-level game-theoretical energy market model describing coalition nature of level and inter-level relationships between agents in conflicts has been constructed. Multi-layer model, taking into account the interrelationship energy market with other markets and environmental and economic system, has been built; development procedures of best solution for multi-level cooperative games have been designed.

Mathematical models have been built. Models were designed to improve mechanisms of prices for payment calculating of market players.

The Information technology design of computer models for monitoring the state of institutional and technical systems, different-purpose decision support systems which involved new standardized resources of mathematical description of institutional management systems - structure concept modeling and functional state of subject field, informational modeling of its agents interactions, - has been created by applying object-oriented approach.

A computer simulated model of Energy Market has been built for dealing with challenges of institutional management.

Computer models have been researched by addressing practical and test tasks confirming its adequacy.

Theoretical results on developing computers model systems have been used in developing automatic calculation payment system for agents of wholesale energy market of Ukraine. The system is implemented in Public Enterprise «Energorynok».

Key words: a descriptive model, an informational model, a computer model, a conceptual model, a cooperative game, function mechanisms, a monitoring of energy efficiency, an object-oriented description, institutionally technological system, an institutional management system, theoretical gaming description.

LIST OF PUBLICATIONS

Main publications:

1. Борукаев З.Х. Теоретические и информационные аспекты создания компьютерной системы управления топливно-энергетическим комплексом / З.Х. Борукаев, В.Ф. Евдокимов, К.Б. Остапченко, В.Ф. Шатров // Электрон. моделирование. – 2002. - Т. 24, №1. – С. 58 - 69.

2. Борукаев З.Х. Информационно-аналитическая система мониторинга оптового рынка электроэнергии / З.Х. Борукаев, В.Ф. Евдокимов, К.Б. Остапченко // Моделювання та інформаційні технології: зб. наук. праць. – К.: 2002. - Вип. №14. - С. 3 - 13.

3. Борукаев З.Х. Программный комплекс автоматизированной системы расчёта платежей субъектов энергоринку Украины / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, А.Б. Остапченко, О.И. Лисовиченко // Моделювання та інформаційні технології: зб. наук. праць. – К.: 2003. - Вип. № 24. – С. 47 - 51.

4. Евдокимов В.Ф. Некоторые вопросы создания компьютерных средств поддержки принятия решений для систем организационного управления в энергетике / В.Ф. Евдокимов, Ю.Г. Куцан, З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, Л.И. Грицюк // Энергетика и электрификация. – 2003. - №1. - С. 2 - 7.

5. Борукаев З.Х. Компьютерная модель Оптового рынка электроэнергии Украины / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко // Электрон. моделирование. - 2004. - Т.26, № 1. - С. 111 - 124.

6. Борукаев З.Х. О предпосылках теоретико-игрового подхода к моделированию энергетического рынка / З.Х. Борукаев // Моделювання та інформаційні технології : зб. наук. праць. – К.: 2005. - Вип. № 32. - С. 14 - 22.

7. Борукаев З.Х. О подходах и задачах построения общей модели энергетического рынка / З.Х. Борукаев // Институт проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова: зб. наук. праць. – К. : 2006. - Вип. № 32. - С. 66 - 77.

8. Борукаев З.Х. Подход к построению теоретико - игровой модели энергетического рынка / З.Х. Борукаев // Электрон. моделирование. – 2006. – Т.28, № 4. – С. 107 – 119.

9. Борукаев З.Х. Формирование оптимального решения многоуровневой коалиционной игры - модели энергоринка / З.Х. Борукаев // Энергетика та електрифікація. - 2006. - № 12. - С. 4 - 10.

10. Борукаев З.Х. Задачи и этапы программной реализации теоретико-игровых моделей энергетического рынка / З.Х. Борукаев // Автоматизація виробничих процесів. - 2006. - № 2(23). - С. 152 – 161.

11. Борукаев З.Х. К вопросу о создании комплексной системы прогнозирования электрической нагрузки / З.Х. Борукаев // Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова : зб. наук. праць. – К.: 2006. - Вип. № 33. - С. 69 - 76.

12. Борукаев З.Х. Об информационно-аналитической системе мониторинга энергоэффективности производства, передачи и потребления электроэнергии / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко // Моделювання та інформаційні технології : зб. наук. праць. - К.: 2006. - Вип. № 37. - С. 108 - 115.

13. Борукаев З.Х. Об основных требованиях к системе технико-экономических показателей мониторинга энергоэффективности производства, передачи и потребления электроэнергии / З.Х. Борукаев // Праці Інституту електродинаміки НАН України: зб. наук. праць. – К.: 2006. - № 3(15). - С. 11 - 15.

14. Евдокимов В.Ф. Компьютерная модель мониторинга энергоэффективности: информационно-технологические аспекты / В.Ф. Евдокимов, З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко // Энергетика та електрифікація. - 2006. - № 11. - С. 52 - 57.

15. Борукаев З.Х., Компьютерная модель мониторинга энергоэффективности: аспекты информационного моделирования / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, Л.И. Грицюк // Энергетика та електрифікація. - 2007. - № 1. - С. 3 - 7.

16. Борукаев З.Х. Построение информационной модели системы мониторинга энергоэффективности электроэнергетики / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, Л.И. Грицюк // Энергетика та електрифікація. - 2007. - № 2. - С. 60 - 65.

17. Борукаев З.Х. Построение математической модели функционирования оптового рынка электроэнергии для решения задач организационного управления / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко // Электрон. моделирование. - 2007. - Т.29, № 2. - С. 73 - 84.

18. Борукаев З.Х. Подход к построению компьютерных моделей для оперативного (суточного) планирования поставок электрической энергии в условиях оптового рынка. Часть 1. Формулировка задачи / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.И. Лисовиченко // Моделювання та інформаційні технології : зб. наук. праць. - К.: 2012. - Вип. № 63. - С. 192 - 198.

19. Борукаев З.Х. Подход к построению компьютерных моделей для оперативного (суточного) планирования поставок электрической энергии в условиях оптового рынка. Часть 2. Методическое обеспечение / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.И. Лисовиченко // Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова : зб. наук. праць. – К.: 2012. - Вип. № 63. - С. 172 - 185.

20. Борукаев З.Х. Подход к построению компьютерных моделей для оперативного (суточного) планирования поставок электрической энергии в условиях оптового рынка. Часть 3. Информационно-технологическое обеспечение / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.И. Лисовиченко // Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова: зб. наук. праць. – К.: 2012. - Вип. № 62. - С. 164 - 186.

21. Борукаев З.Х. Планирование торгового диспетчерского графика распределения активной нагрузки на оптовом рынке электроэнергии. Часть 1. Математическая модель. / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.И. Лисовиченко // Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова : зб. наук. праць. – Київ: 2012.- Вип. № 64. - С. 127 - 137.

22. Борукаев З.Х. Компьютерное моделирование задач планирования поставок электроэнергии на оптовом рынке с применением искусственных нейронных сетей / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.И. Лисовиченко // Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова : зб. наук. праць. – К.: 2012. - Вип. № 65. - С. 140 - 152.

23. Борукаев З.Х. Анализ взаимосвязи данных динамики энергорынка с изменениями цен на рынках энергоносителей / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.И. Лисовиченко // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління». - 2015. - № 1(26). - С.85 - 101. (WorldCat, Open AIRE, Google Scholar)

24. Борукаев З.Х. Моделирование динамики прибыли генерирующих компаний в условиях изменения цен на энергоносители / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.И. Лисовиченко // Энергетика та електрифікація. – 2015. - № 10. - С. 31 - 35.

25. Борукаев З.Х. Математическое обеспечение методики расчета прогнозной оптовой цены на рынке электроэнергии / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.И. Лисовиченко // Энергетика та електрифікація. – 2015. - № 9. - С. 33 - 43. (WorldCat, Open AIRE, Google Scholar)

26. Борукаев З.Х. Модели для определения прогнозной оптовой цены покупки электроэнергии в условиях изменения цен на энергоносители / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.И. Лисовиченко // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління». - 2015. - № 2 (27). - С.35 - 43. (WorldCat, Open AIRE, Google Scholar)

27. Борукаев З.Х. Модель краткосрочного прогноза оптовой цены покупки электроэнергии в условиях изменения цен на рынках энергоносителей / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.И. Лисовиченко // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління». - 2016. - № 1 (28). - С. 11 - 22. (WorldCat, Open AIRE, Google Scholar)

28. Борукаев З.Х. Подход к построению систем поддержки принятия решений для автоматизации процессов организационного управления в энергетике / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.И.Лисовиченко // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління». - 2017. - №1(30). - С.36 - 48. (WorldCat, Open AIRE, Google Scholar)

Conference papers:

29. Борукаев З.Х. Автоматизированная система расчёта платежей субъектов оптового рынка электроэнергии / З.Х. Борукаев, В.Ф. Евдокимов, К.Б. Остапченко // Энергетика: Управление, качество и эффективность использования энергоресурсов: третья Всероссийская научно техническая конференция с международным участием 14-16 мая, 2003 г., г. Благовещенск, Российская федерация: сборник трудов в 2-х томах, изд-во Амурского государственного университета. - 2003. - Т.1. - С. 133 – 138.

30. Евдокимов В.Ф. О проблеме информатизации системы организационного управления топливно-энергетическим комплексом Украины / В.Ф. Евдокимов, З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко // Информационные технологии в управлении энергетическими системами : международная конференция, 18-19 октября, 2005 г., г. Киев, Украина : тезисы докл. – С. 5 – 6.

31. Борукаев З.Х. Математическая модель функционирования оптового рынка электроэнергии / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко // Международная конференция «Моделирование - 2006», 16-18 мая 2006 г., Киев, Украина : сборник трудов. - С.33 - 36.

32. Борукаев З.Х. О теоретико-игровой модели рынка электрической энергии Украины / З.Х. Борукаев // Международная научно-практическая конференция «Функціонування і розвиток ринків електроенергії та газу», 31 мая-5июня 2006 г., п.г.т. Партенит, Крым, Украина // Институт проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова : зб. наук. праць, Спеціальний випуск. – К. : 2006. - С. 34 - 43.

33. Борукаев З.Х. Проектування інформаційно-аналітичних систем моніторингу виробничих показників у теплоенергетичному комплексі / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.І. Лісовиченко // Автоматизація: проблеми, ідеї, рішення : міжнародна науково-технічна конференція, 5-9 вересня 2011 р., м. Севастополь, Україна : матеріали конф. - С. 211 - 213.

34. Борукаев З.Х. Проблемы математического моделирования распределения активной нагрузки на оптовом рынке электроэнергии / З.Х.

Борукаев, К.Б. Остапченко, О.И. Лисовиченко // Автоматизация: проблемы, идеи, решения : міжнародна науково-технічна конференція, 9-13 вересня 2013 р., м. Севастополь, Україна : матеріали конф. - С. 31 - 32.

35. Борукаев З.Х. Прогнозирование электропотребления при решении задач оперативного суточного планирования поставок электроэнергии на оптовом рынке / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.И. Лисовиченко // Автоматизация: проблемы, идеи, решения : міжнародна науково-технічна конференція, 8-12 вересня, 2014 р., м. Севастополь, Україна : матеріали конф. - С. 31 - 32.

36. Борукаев З.Х. Модель прогноза оптовой цены покупки электроэнергии в условиях изменения цен на энергоносители / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.И. Лисовиченко // V международная конференция «Моделирование - 2016», 25-27 мая 2016 г., г. Киев, Украина : сборник трудов. - С.147 – 150.

37. Борукаев З.Х. Модель аналізу динаміки прибутку генеруючих компаній в умовах зміни цін на енергоносії / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.І.Лисовиченко // Прикладні науково-технічні дослідження : міжнародна науково-практична конференція, 5-7 квітня 2017 р., Івано-Франківськ, Україна : матеріали конф. - С. 28.

Additional list of publications:

38. Борукаев З.Х. Об одном подходе к созданию компьютерной системы организационного управления в энергетике / З.Х. Борукаев, В.Ф. Евдокимов, К.Б. Остапченко // Энергетика и электрификация. – 2002. - № 2. - С. 49 - 54.

39. Компьютерные системы организационного управления в энергетике / З.Х. Борукаев, В.Ф. Евдокимов, К.Б. Остапченко, В.Ф. Шатров. - Киев: ЦТИ Энергетика и электрификация, 2002. - 66 с.

40. Евдокимов В.Ф. О компьютерной системе мониторинга энергетического рынка Украины / В.Ф. Евдокимов, Ю.Г. Куцан, З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, Л.И. Грицюк // Энергетика и электрификация. - 2002. - № 12. - С. 15 - 18.

41. Борукаев З.Х. О компьютерной системе мониторинга энергетического производства / З.Х. Борукаев, В.Ф. Евдокимов, К.Б. Остапченко // Энергетика: Управление, качество и эффективность использования энергоресурсов: третья Всероссийская научно техническая конференции с международным участием , 14-16 мая, 2003 г., г. Благовещенск, Российская федерация : сборник трудов в 2-х томах, изд-во Амурского государственного университета. - 2003. - Т.1. - С.223 - 228.

42. Борукаев З.Х. О компьютерной системе мониторинга «Ресурсы производства и продукция ТЭК» / З.Х. Борукаев, Л.И. Грицюк, В.И. Кубанский, К.Б. Остапченко // XXII науково-технічна конференція “Моделювання”, 9-10 січня 2003 р., м. Київ, Україна : тези конф. - 2003. - С. 4 - 7.

43. Борукаев З.Х. Автоматизированная система расчёта платежей субъектов оптового рынка электроэнергии Украины / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, В.Ф. Евдокимов // Электрические сети и системы. – 2003. - №2. – С. 43 - 48.

44. Борукаев З.Х. Об информационно-технологической платформе компьютерного моделирования процессов организационного управления / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко // Информационные технологии в управлении энергетическими системами : международная конференция, 18-19 октября, 2005 г., г. Киев, Украина : тезисы докл. – С. 26 - 28.

45. Борукаев З.Х. Моделирование динамики энергорынка в условиях изменения цен на рынках энергоносителей. Часть 1. Общая формулировка задачи / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.И. Лисовиченко // Моделювання та інформаційні технології : зб. наукових прац. - К. : 2014. - Вип. № 73. - С. 139 - 146.

ЗМІСТ

СПИСОК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ	24
ВСТУП.....	26
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД І АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОБЛЕМИ МАТЕМАТИЧНОГО ТА КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ ОРГАНІЗАЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ	40
1.1 Огляд розвитку досліджень процесів організаційного управління	40
1.1.1 Аналіз стану досліджень процесів вдосконалення механізмів організаційного управління.....	44
1.2 Аналіз стану досліджень процесів організаційного управління в енергетиці.	48
1.3 Система організаційного управління енергоринком	55
1.3.1 Аналіз функціонування і розвитку системи організаційного управління енергоринком.....	55
1.3.2 Структура і склад елементів системи організаційного управління енергоринком.....	61
1.3.3 Інформаційна взаємодія суб'єктів енергоринку	63
1.4. Висновки до розділу	65
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИКО-ІГРОВИЙ ПІДХІД ДО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПРИЙНЯТТЯ РИШЕНЬ ПО ВДОСКОНАЛЕННЮ МЕХАНІЗМІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕНЕРГОРИНКУ.....	66
2.1 Передумови застосування теоретико-ігрового підходу	66
2.1.1 Теоретико-ігровий опис структури енергоринку	66
2.1.2 Стратегії та інтереси гравців ринку	68
2.2 Підходи та задачі побудови теоретико-ігрової моделі енергоринку	73
2.3 Побудова загальної багаторівневої теоретико-ігрової моделі енергоринку...	80
2.3.1 Розробка ігрових засобів опису енергоринку та побудова однорівневої базової моделі	82
2.3.2 Модель рівня споживачів	85
2.3.3 Модель рівня постачальників	89
2.3.4 Модель рівня виробників	91

2.3.5	Модель рівня системи організаційного управління	93
2.3.6	Загальна багаторівнева модель.	94
2.4	Висновки до розділу.	95
РОЗДІЛ 3 ФОРМУВАННЯ РІШЕНЬ КОАЛІЦІЙНИХ ІГОР - МОДЕЛЕЙ СЕГМЕНТІВ ЕНЕРГОРИНКУ		97
3.1	Формування оптимального рішення коаліційної гри - моделі сегменту оптового ринку на добу наперед.	97
3.1.1	Побудова теоретико-ігрової моделі.	97
3.1.2	Основні етапи розіграшу гри	101
3.1.3	Принцип оптимальності гри	104
3.2	Формування оптимального рішення коаліційної гри - моделі оптово-роздрібного ринку.	107
3.2.1	Побудова теоретико-ігрової моделі оптово-роздрібного ринку	107
3.2.2	Процедура аналізу моделі.	110
3.2.3	Процедура формування рішення коаліційної гри.	115
3.2.4	Приклад реалізації процедури аналізу ігрової моделі в умовах балансуючого ринку.	120
3.3	Висновки до розділу.	124
РОЗДІЛ 4 МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ПРОЦЕСІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ ОРГАНІЗАЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ.		125
4.1	Модель оптимального добового розподілу обсягів виробництва електроенергії між блоками електростанцій.	126
4.1.1	Формулювання задачі математичного моделювання	126
4.1.2	Постановка задачі математичного моделювання	130
4.1.3	Побудова моделі	134
4.2	Модель оптового ринку електроенергії для вирішення задач вдосконалення механізмів функціонування.	142
4.2.1	Формулювання задачі математичного моделювання	142
4.2.2	Постановка задачі математичного моделювання	142

4.2.3.	Побудова моделі	21
.....		145
4.2.4	Застосування моделі	152
4.3	Висновки до розділу	154
РОЗДІЛ 5 МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ВДОСКОНАЛЕННЯ РЕГУЛЯТОРНИХ МЕХАНІЗМІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ ОРГАНІЗАЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ.....155		
5.1.	Модель динаміки прибутку суб'єктів організаційної системи	155
5.1.1	Формулювання задачі математичного моделювання	155
5.1.2	Постановка задачі математичного моделювання	156
5.1.3	Побудова моделі	157
5.2	Моделювання динаміки ринку електроенергії в умовах зміни цін на енергоносії	159
5.2.1	Аналіз даних динаміки цін на електричну енергію та енергоносії	163
5.2.2	Динамічна модель для розрахунку прогнозованої оптової ціни купівлі електроенергії	175
5.3	Висновки до розділу	179
6. РОЗДІЛ 6 КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ОРГАНІЗАЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ.....180		
6.1	Інформаційно-аналітичні системи моніторингу стану процесів функціонування систем організаційного управління	180
6.2	Основні вимоги до інформаційно-методичного середовища побудови комп'ютерних моделей	182
6.3	Об'єктно-орієнтоване моделювання процесів організаційного управління	188
6.3.1	Математичний об'єктно-орієнтований опис організаційної системи	188
6.3.2	Побудова концептуальної моделі	190
6.3.3	Алгоритмічна організація комп'ютерних моделей	193
6.3.4	Побудова інформаційної моделі	197
6.3.5.	Структурна організація програмного забезпечення комп'ютерної моделі	203

	22
6.3.6 Функціональна організація програмного забезпечення комп'ютерної моделі.....	204
6.4 Методична складова середовища побудови комп'ютерної моделі моніторингу енергоефективності.....	209
6.4.1 Інформаційно-методичні аспекти побудови комп'ютерної моделі.....	212
6.4.2 Організаційні аспекти побудови комп'ютерної моделі.....	213
6.4.3 Система показників енергоефективності.....	217
6.5 Висновки до розділу.....	223
РОЗДІЛ 7 КОМП'ЮТЕРНІ МОДЕЛІ ПРОЦЕСІВ ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕХАНІЗМІВ ОРГАНІЗАЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ.....	224
7.1. Комп'ютерна модель оптового ринку електроенергії.....	224
7.1.1 Функціональна та алгоритмічна організація автоматизованої системи розрахунків платежів.....	224
7.1.2 Програмне забезпечення автоматизованої системи розрахунків платежів.....	240
7.1.3 Приклад розрахунків обсягів купівлі-продажу електроенергії на оптовому ринку.....	242
7.2 Задача прогнозування показників функціонування енергоринку.....	247
7.2.1 Формулювання задачі.....	247
7.2.2 Вибір методичних засобів побудови прогностичних моделей.....	252
7.2.3 Побудова неформалізованої математичної моделі - штучної нейронної сітки.....	254
7.2.4 Комп'ютерна нейросіткова модель для розрахунку показників ринку.....	258
7.2.5 Програмне забезпечення комп'ютерної моделі.....	264
7.3 Дослідження моделі розрахунку прогнозованої оптової ціни купівлі електроенергії.....	266
7.4 Дослідження моделі динаміки прибутку генеруючих компаній.....	272
7.5 Висновки до розділу	274
ВИСНОВКИ.....	275
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	280

ДОДАТОК

А.....	305
ДОДАТОК Б.....	312
ДОДАТОК В.....	315
ДОДАТОК Г.....	321
ДОДАТОК Д.....	336

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АІС	- автоматизована інформаційна система;
АСОУ	- автоматизована система організаційного управління;
АСРП	- автоматизована система розрахунку платежів;
АТС	- адміністратор торгової системи;
АЕС	- атомна електростанція;
БД	- база даних;
ВВЛ	- високовольтна лінія;
ВВП	- валовий внутрішній продукт;
ВЕС	- вітроелектростанція;
ВСВГУ	- вибір складу включеного генеруючого устаткування;
ГАЕС	- гідроакumuлююча електростанція;
ГЕС	- гідроелектростанція;
ГУП	- грам умовного палива;
ДП «Енергоринок»	- державне підприємство «Енергоринок»;
ДДБР	- двосторонніх договорів і балансуєчий ринок;
ЕЕ	- електрична енергія;
ЕЕВ	- електроенергетичне виробництво;
ІАСМ	- інформаційно-аналітична система моніторингу;
ІТ	- інформаційна технологія;
ІТЗ	- інформаційно-технологічне забезпечення;
ККД	- коефіцієнт корисної дії;
КМ	- комп'ютерна модель;
КММ	- комп'ютерна модель моніторингу;
КСОУ	- комп'ютерна система організаційного управління;
Міненерговугілля	- Міністерство енергетики та вугільної промисловості;

НАЕК «Енергоатом»- «Енергоатом»;	Національна атомна енергогенеруюча компанія
НЕК «Укренерго»	- Національна енергетична компанія «Укренерго»;
НКРЕКП	-Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики і комунальних послуг;
ОЕЕС	- об'єднана електроенергетична система;
ОПР	- особа, яка приймає рішення;
ОРЕ	- оптовий ринок електроенергії;
ОТС	- організаційно - технічна система;
ПЕК	- паливно-енергетичний комплекс;
ПЗ	- програмне забезпечення;
ПНТ	- постачальники за нерегульованим тарифом;
ПрО	- предметна область;
ПРТ	- постачальники за регульованим тарифом;
СЕС	- сонячна електростанція;
СК	- синхронний компенсатор;
СО	- системний оператор;
СОУ	- система організаційного управління;
СУБД	- система управління базами даних;
ТДГ	- торговий диспетчерський графік;
ТЕС	- теплова електростанція;
ТЕЦ	- теплоелектроцентрально;
ШНС	- штучна нейронна сітка;
ШР	- шунтируючий реактор.

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасні складні організаційно-технічні системи (ОТС), як правило, поєднують множину взаємозалежних людино-машинних об'єктів – підсистем, взаємодіючих між собою та з іншими технічними системами, які відрізняються своїм цільовим виробничим призначенням і продукцією, що випускається, а також і з соціально-економічними системами в різних сферах життєдіяльності суспільства.

Проте, серед них чимало таких, які мають спільні характерні ознаки їх органів управління – систем організаційного управління (СОУ), як структурних підсистем ОТС. Основним для них є: ієрархічний багаторівневий характер організаційної, технологічної та інформаційної взаємодії підсистем; мінливість з часом власної структури та функцій; неповна відповідність своєї структури цілям розвитку ОТС, внаслідок змін процесів функціонування; використання великих людино-машинних моделюючих систем, які створюються для підтримки прийняття рішень в СОУ та фактично самі функціонують як складні ОТС і потребують неперервного вдосконалення математичного та інформаційно-технологічного забезпечення.

Математичне та комп'ютерне моделювання процесів організаційного управління в ОТС являє собою досить складну проблему. Її розв'язання обумовлює необхідність вирішення низки класів задач таких як: визначення складу та структури СОУ; побудови комп'ютерних систем моделювання для формування та вдосконалення механізмів функціонування складних багаторівневих організаційних систем; підготовки первинної інформації – розробки уніфікованих засобів математичного опису досліджуваних ОТС, структурування, настроювання, верифікації та зберігання даних, що характеризують стан об'єкта; перевірки та забезпечення якості моделюючих

засобів; дослідження моделей у різних режимах їх функціонування, інтерпретації та візуалізації результатів моделювання та ін.

Дослідженням цієї проблеми, шляхом побудови математичних і комп'ютерних моделей процесів організаційного управління в ОТС, була присвячена велика кількість робіт у науковій літературі. Значний внесок у розвиток теорії систем організаційного управління, концептуального проектування та удосконалення організаційних структур управління таких ОТС, створенню математичних моделей їх функціонування та розвитку, автоматизації процесів управління внесли відомі вітчизняні та зарубіжні вчені: В.М. Глушков, Д.М. Гвішіані, О.Г. Додонов, С.П.Ніканоров, Д.О. Новіков, Г. Кунц, С. О'Доннел, Д.О. Поспелов, А.О. Стогній, Т. Сааті, Р. Шеннон, С. Янг та ін.

Підвищення продуктивності, а саме ефективності, оперативності, обґрунтованості вирішення задач організаційного управління багато фахівців пов'язують з розвитком досліджень науково-прикладної проблеми удосконалення методів і засобів математичного та комп'ютерного моделювання процесів прийняття рішень та створення якісно нових комп'ютерних систем організаційного управління (КСОУ) та використання їх для ефективного подання процесів застосування механізмів функціонування СОУ, моніторингу, аналізу та прогнозування ключових інформативних показників (компонентів) стану управління з урахуванням особливостей взаємодії підсистем, що входять до них, оцінки наслідків прийнятих рішень.

Як відомо, у багатьох КСОУ, що знаходяться в експлуатації, неможливо проводити натурні експерименти. Тому для реалізації функцій формування нових і вдосконалення діючих механізмів функціонування та розвитку складних багаторівневих СОУ створюються нові людино-машинні об'єкти – комп'ютерні моделюючі системи як носії моделей ОТС, що забезпечують можливість урахування інституціональних змін законодавчого рівня та структурних змін в органах управління ОТС, що приводять до виникнення нових правил організаційної, технологічної, інформаційної взаємодії суб'єктів СОУ.

Побудова та експлуатація таких об'єктів, призводить до необхідності формулювання та постановки класу задач моделювання процесів прийняття рішень у СОУ, що створюється для формування та вдосконалення механізмів функціонування ОТС шляхом розвитку теорії систем організаційного управління в напрямку математичного моделювання реальних процесів прийняття рішень, у тому числі й слабо формалізованих, теорії побудови комп'ютерних систем моделювання, включаючи структурну та алгоритмічну організацію математичних та комп'ютерних моделей процесів управління у ОТС, що досліджуються.

У математичній теорії систем організаційного управління під механізмами функціонування СОУ розуміють набір правил і процедур, які визначають послідовність дій елементів (суб'єктів) системи, що входять до них, у процесах прийняття рішень з управління організаційною, технологічною та інформаційною діяльністю.

Розвиток СОУ для досягнення поставлених цілей в умовах інституційних і структурних змін, які можуть стосуватися як самих СОУ, так і їх взаємодії з зовнішніми виробничими та соціально-екологічними системами, забезпечується шляхом формування нових і вдосконалення діючих механізмів функціонування – правил організаційної, технологічної та інформаційної поведінки її суб'єктів у процесі виробництва ОТС (в подальшому Правила).

Процес прийняття рішень щодо вдосконалення механізмів функціонування СОУ включає постановку і комплексне вирішення наступних взаємопов'язаних задач: формування варіантів змін до механізмів функціонування; формування обмежень у змінах компонентів стану управління для збереження його стійкості; розрахунок компонентів стану управління з урахуванням зміни цін на ринках ресурсів виробництва; прогнозування та планування (короткострокове, довгострокове) змін компонентів стану управління; контроль матеріального балансу ресурсів, обсягів виробництва та фінансового балансу отримання і розподілу доходів від реалізації продукції між суб'єктами; стимулювання суб'єктів СОУ.

Аналіз публікацій з досліджень загальної проблеми моделювання процесів організаційного управління ОТС показав, що досі актуальними залишаються питання розроблення методів організації та оптимізації процесів моделювання підготовки й використання моделюючих систем як носіїв моделей, що надають можливість забезпечити підвищення продуктивності функціонування СОУ.

Встановлено також, що питання постановки та вирішення виділеного класу задач моделювання процесів прийняття рішень у багаторівневих СОУ на основі застосування ефективних уніфікованих засобів складання математичних теоретико-ігрових і об'єктно-орієнтованих описів процесів, що досліджуються, як сукупності формалізованих дій, спрямованих на формування та вдосконалення механізмів функціонування таких систем у науковій літературі відображення не знайшли.

Тому актуальною є науково-прикладна проблема удосконалення методів математичного та комп'ютерного моделювання процесів прийняття рішень у складних багаторівневих СОУ в напрямку підвищення їх продуктивності на основі розроблення нових засобів організації процесів підготовки й використання моделюючих систем як носіїв досліджуваних моделей, шляхом розвитку теорії побудови комп'ютерних систем моделювання, включаючи структурну та алгоритмічну організацію комплексу взаємопов'язаних математичних і комп'ютерних моделей механізмів функціонування СОУ.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження з теми дисертаційної роботи проведені в Інституті проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України відповідно до плану науково-дослідних робіт НАН України в межах фундаментальних і прикладних держбюджетних тем: «Інформаційно-аналітична система моніторингу енергоринку України», шифр «Система», державний реєстраційний № 0101U004675; «Інформаційно-аналітична система моніторингу енергоефективності при генеруванні, передачі та споживанні електричної енергії», шифр «Енергія», державний реєстраційний № 0104U000903; «Розробка

комп'ютерної моделі енергоринку на основі застосування теоретико-ігрових засобів моделювання», шифр «Енергоринок», державний реєстраційний № 0106U012551; «Комп'ютерні моделі оперативного планування поставок електроенергії на оптовому ринку», шифр «Енергія 1», державний реєстраційний № 0109U008563; «Розвиток теорії, розробка нових методів і засобів математичного та комп'ютерного моделювання енергетичних і енергоємних об'єктів, систем і установок», шифр «Модель», державний реєстраційний № 0107U001945; «Моделювання динаміки енергоринку в умовах зміни цін на пов'язаних ринках енергоносіїв», шифр «Баланс», державний реєстраційний № 0113U001086.

Автор брав участь у виконанні тем «Система», «Енергія», «Енергоринок», «Енергія 1», «Баланс», як ініціатор і науковий керівник робіт, а при виконанні теми «Модель» як виконавець.

Автор висловлює щирі подяки за надані консультації під час виконання дисертаційної роботи співавторам публікацій - науковому консультанту члену-кореспонденту НАН України, д.т.н., проф. Євдокимову В.Ф., к.т.н., доценту Остапченку К.Б., к.т.н., доценту Лісовиченку О.І.

Мета та завдання дослідження. Метою роботи є удосконалення методів математичного та комп'ютерного моделювання процесів прийняття рішень у складних багаторівневих СОУ в напрямку підвищення їх продуктивності на основі розроблення нових засобів організації процесів підготовки й використання моделюючих систем як носіїв досліджуваних моделей, шляхом розвитку теорії побудови комп'ютерних систем моделювання, включаючи структурну та алгоритмічну організацію комплексу взаємопов'язаних математичних і комп'ютерних моделей механізмів функціонування СОУ.

Досягнення поставленої мети досліджень обумовило необхідність вирішення наступних основних теоретичних і прикладних задач.

1. Провести огляд та аналіз стану досліджень з проблеми моделювання процесів функціонування та розвитку організаційного управління в ОТС.

2. Розробити теоретико-ігровий підхід до побудови дескриптивних моделей процесів прийняття рішень з вдосконалення механізмів функціонування складних багаторівневих СОУ з урахуванням реальних особливостей організаційної, технологічної та інформаційної взаємодії їх суб'єктів, в межах якого:

- розробити засоби складання математичного теоретико-ігрового опису процесів функціонування СОУ, в тому числі й слабо формалізованих;

- визначити структуру рівнів СОУ та сформулювати цілі, співпадаючі та суперечливі інтереси суб'єктів - гравців, які призводять до конфліктних ситуацій, стратегії їх досягнення як окремих гравців одного рівня, так і створених ними коаліцій;

- розробити спосіб математичного опису процесів коаліційної ігрової взаємодії суб'єктів багаторівневої структури СОУ, у вигляді сукупності множин гравців, їхніх інтересів, стратегій, а також множин коаліцій та їхніх інтересів, стратегій у конфліктних ситуаціях;

- розробити спосіб побудови математичних дескриптивних теоретико-ігрових моделей процесів прийняття рішень та побудувати загальну модель СОУ у вигляді багаторівневої кооперативної гри, що описує коаліційну взаємодію гравців;

- визначити функції виграшу гравців і коаліцій, створених у виділених рівнях, якими оцінюються результати вирішення кооперативної гри;

- розробити процедури аналізу моделей, формування оптимального рішення конфліктних ігрових ситуацій задля формування обмежень у змінах механізмів функціонування СОУ для збереження стійкого стану управління.

3. Побудувати комплекс взаємопов'язаних математичних моделей процесів вдосконалення механізмів функціонування та розвитку СОУ оптовим ринком електроенергії (ОРЕ) для сегменту ринку на добу наперед, в тому числі:

- модель планування оптимального торговельного диспетчерського графіка (ТДГ) електричного навантаження та розрахунку компоненти управління - оптової ціни купівлі електроенергії (ЕЕ) в сегменті ОРЕ на добу наперед за

критерієм мінімуму витрат на виробництво ЕЕ генеруючими компаніями енергосистеми;

- модель сегменту ОРЕ на добу наперед для вирішення задач аналізу та оцінки впливу впровадження нових або вдосконалення існуючих механізмів функціонування ОРЕ на розподіл платежів його суб'єктів, яка зв'язує балансовими співвідношеннями фізичні процеси виробництва, передачі та споживання ЕЕ та фінансові процеси формування цінових показників і обчислення платежів суб'єктів ринку на основі адекватного відтворення всіх розрахунково-технологічних процесів відповідно до діючих Правил ринку;

- модель динаміки компонентів стану управління енергоринком з урахуванням впливу динаміки структури виробництва ЕЕ та змін цін на основні енергоносії для розробки регуляторного механізму формування прогнозної оптової ціни купівлі ЕЕ на ОРЕ;

- математичну модель динаміки прибутку суб'єктів СОУ в залежності від зміни цін на ринках ресурсів виробництва для розробки регуляторного механізму їх стимулювання.

4. Розробити уніфіковані об'єктно-орієнтовані засоби концептуального та інформаційного моделювання процесів підготовки та використання моделюючих систем як носіїв моделей ОТС, що досліджуються, та побудови комп'ютерних систем моделювання процесів функціонування СОУ, включаючи структурну та алгоритмічну організацію комп'ютерних моделей, та на їх основі побудувати:

- інформаційно-методичне середовище побудови комп'ютерної моделі моніторингу енергоефективності електроенергетичного виробництва (ЕЕВ);

- комп'ютерну модель процесів організаційного управління сегментом ОРЕ на добу наперед для моніторингу, аналізу стану компонентів управління, вдосконалення механізмів його функціонування та оцінки наслідків прийняття рішень.

5. Побудувати нейросіткову комп'ютерну модель короткострокового прогнозування компонентів стану управління функціонуванням ОРЕ для вдосконалення механізму визначення прогнозної оптової ціни купівлі ЕЕ.

6. Провести розрахунково-експериментальні дослідження комп'ютерних моделей на прикладах вирішення практичних і тестових завдань.

Об'єкт дослідження – процеси функціонування та розвитку складних багаторівневих систем організаційного управління.

Предмет дослідження – математичні та комп'ютерні моделі процесів прийняття рішень, з формування та вдосконалення механізмів функціонування складних багаторівневих організаційних систем.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених задач були використані методи математичного та комп'ютерного моделювання процесів функціонування складних багаторівневих СОУ, а також: теорія та принципи кооперативних ігор – для побудови теоретико-ігрових дескриптивних моделей та розробки процедур формування оптимальних рішень і алгоритмів аналізу моделей, визначення функцій виграшу гравців і коаліцій; метод моніторингу теорії систем організаційного управління, об'єктно-орієнтований метод – для розробки інформаційно-методичного середовища комп'ютерних систем моделювання; апарат штучних нейронних сіток (ШНС) – для побудови неформалізованих математичних моделей прогнозування компонентів стану управління досліджуваних ОТС.

Наукова новизна одержаних результатів.

Наукова новизна, одержаних у роботі результатів, визначається комплексним підходом до вирішення науково-прикладної проблеми удосконалення методів математичного та комп'ютерного моделювання процесів прийняття рішень у складних багаторівневих СОУ в напрямку підвищення їх продуктивності на основі розроблення нових засобів організації процесів підготовки й використання моделюючих систем як носіїв досліджуваних моделей, шляхом розвитку теорії побудови комп'ютерних систем моделювання, включаючи структурну та алгоритмічну організацію взаємопов'язаних математичних і комп'ютерних моделей механізмів функціонування СОУ.

Наукову новизну складають такі основні результати.

1. Вперше розроблено підхід до побудови дескриптивних теоретико-ігрових моделей процесів прийняття рішень з вдосконалення механізмів функціонування складних багаторівневих СОУ на прикладі ОТС енергоринку України з урахуванням реальних особливостей організаційної, технологічної та інформаційної взаємодії його суб'єктів, у межах якого:

- визначені рівні СОУ енергоринку, сформульовані цілі, співпадаючі та суперечливі інтереси, стратегії як окремих гравців одного рівня, так і різних рівнів, що є передумовами створення коаліцій гравців у конфліктних ситуаціях при виконанні умов істотності гри;

- розроблений спосіб математичного опису процесів ігрової взаємодії суб'єктів багаторівневої та багатоеlementної структури СОУ енергоринком, у тому числі й слабо формалізованих, з використанням якого побудовано дескриптивну багаторівневу модель енергоринку, що описує коаліційний характер рівневих та міжрівневих взаємовідносин гравців у конфліктних ситуаціях, а також загальну багаторівневу модель, що враховує взаємозв'язок енергоринку з іншими ринками та еколого-економічною системою;

- побудовані трирівневі дескриптивні моделі сегментів енергоринку – оптового ринку за участю як основних гравців виробників, оптових постачальників ЕЕ та верхнього рівня СОУ ринком, а також оптово-роздрібного ринку, гравцями якого є оптові, роздрібні постачальники та верхній рівень СОУ ринком, визначені функції виграшу гравців і коаліцій, створених у виділених рівнях, якими оцінюються результати вирішення кооперативної гри;

- розроблені процедури формування оптимального рішення багаторівневих кооперативних ігор – моделей сегментів ринку, аналізу моделей для визначення діапазонів обмежень у змінах компонентів стану управління для збереження його стійкості, формування взаємоузгоджених, прийнятних для учасників ринку, варіантів змін до механізмів функціонування ринку.

2. Отримала подальший розвиток теорія систем організаційного управління шляхом побудови моделей процесів вдосконалення механізмів функціонування та розвитку СОУ, а саме для розрахунку компонентів стану управління з

урахуванням зміни цін на ринках ресурсів виробництва, планування компонентів стану управління; контролю матеріального балансу ресурсів, обсягів виробництва та фінансового балансу отримання й розподілу доходів від реалізації продукції між суб'єктами, у тому числі:

- побудовано модель для планування оптимального ТДГ електричного навантаження для сегмента ринку на добу наперед для визначення компоненти управління – оптової ціни купівлі ЕЕ, що відрізняється від відомих моделей використанням мінімуму витрат на виробництво ЕЕ генеруючими компаніями енергосистеми як критерія оптимальності;

- модель ОРЕ для вирішення задач аналізу та оцінки впливу впровадження нових або вдосконалення існуючих механізмів функціонування ОРЕ на розподіл платежів його суб'єктів, яка зв'язує балансовими співвідношеннями фізичні процеси виробництва, передачі та споживання ЕЕ та фінансові процеси формування цінових показників і обчислення платежів суб'єктів ринку на основі даних комерційного обліку та адекватного відтворення всіх розрахунково-технологічних процесів відповідно до діючих Правил ринку;

- побудовано модель динаміки прибутку компаній для вирішення задач управління формуванням прибутку компаніями, що використовують різні види ресурсів з урахуванням зміни цін на них задля вдосконалення регуляторного механізму стимулювання суб'єктів СОУ;

- побудовано модель динаміки оптової ціни купівлі ЕЕ на ОРЕ, що забезпечує, на відміну від відомих, можливість аналізу впливу динаміки структури виробництва ЕЕ та змін цін на основні енергоносії на її формування, для вдосконалення методики розрахунку компоненти стану управління – прогнозованої оптової ціни купівлі ЕЕ.

3. Отримала подальший розвиток теорія побудови комп'ютерних систем моделювання. На основі застосування методу об'єктно-орієнтованого моделювання розроблено інформаційно-технологічне забезпечення організації процесу підготовки та верифікації первинної інформації та використання комп'ютерних моделей, включаючи структурну та алгоритмічну організацію, для

побудови комп'ютерних моделей процесів вдосконалення механізмів функціонування СОУ, що включає:

- єдину уніфіковану систему опису суб'єктів СОУ, процесів прийняття рішень, єдину систему класифікаторів і довідників даних про об'єкти ОТС і суб'єкти СОУ, уніфіковану структуру зберігання даних;

- уніфіковані системи збору, перевірки достовірності, достатності, надлишковості даних реального часу, що характеризують стан об'єкта, що досліджується, формування даних комерційного обліку виробництва;

- процедури розроблення організаційної, концептуальної, інформаційної та функціональної складових часток комп'ютерних моделей, які забезпечують адекватне подання процесів організаційного управління з урахуванням реальних взаємовідносин між суб'єктами СОУ, аналізу, інтерпретації та візуалізації результатів моделювання;

- інформаційно-методичне середовище побудови комп'ютерної моделі моніторингу (КММ) енергоефективності ОТС, у склад якого входить методичне забезпечення у вигляді багаторівневої системи компонентів стану управління, які характеризують стан енергоефективності процесів виробництва, передачі та споживання ЕЕ;

- імітаційну комп'ютерну модель організаційної, технологічної та інформаційної діяльності ОРЕ, що забезпечує підвищення продуктивності процесів прийняття рішень за рахунок автоматизованого вирішення розрахунково-технологічних завдань багатоваріантного аналізу альтернатив вдосконалення механізмів функціонування та інтерпретацію і візуалізацію результатів моделювання, порівняльної оцінки впливу змін на компоненти стану управління та на розподіл платежів суб'єктів енергоринку, загальний час розрахунку не перевищує 5 хвилин, а розрахунки вартості, завдяки використанню запропонованого алгоритму розподілу небалансу, забезпечують необхідну точність результатів.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що наукові результати дисертаційного дослідження, які є рішенням поставленої науково-

прикладної проблеми у вигляді комплексу взаємопов'язаних математичних моделей процесів вдосконалення механізмів функціонування та розвитку СОУ, засобів об'єктно-орієнтованого інформаційно-технологічного забезпечення представляють наукову основу розробки інформаційно-методичного середовища для проектування та побудови комп'ютерних систем моделювання процесів прийняття рішень для широкого спектра структур організаційного управління ОТС.

Основні результати дисертаційної роботи знайшли практичне застосування, що підтверджується відповідними документами.

1. На основі застосування математичної та комп'ютерної моделей процесів організаційного управління ОРЕ, об'єктно-орієнтованого інформаційно-технологічного забезпечення розроблена та впроваджена в промислову експлуатацію автоматизована система розрахунку платежів (АСРП) суб'єктів ОРЕ України на Державному підприємстві «Енергоринок» (ДП «Енергоринок»). Включає також необхідні засоби вирішення завдань підготовки та прийняття рішень щодо вдосконалення механізмів функціонування ринку (ДОДАТОК Б).

2. Об'єктно-орієнтоване інформаційно-технологічне забезпечення було використано при розробці інформаційно-методичного середовища проектування автоматизованої системи організаційного управління (АСОУ) регіональної системи теплопостачання. Одержані результати були використані в Інституті технічної теплофізики НАН України (ДОДАТОК Б).

Особистий внесок здобувача. Основні наукові теоретичні та прикладні результати, які виносяться на захист, одержані автором самостійно. У роботах, опублікованих у співавторстві, особистий внесок здобувача полягає в наступному: [1] – постановка задачі створення КСОУ в енергетиці у вигляді трирівневої ієрархічної інформаційно-аналітичної системи моніторингу (ІАСМ), розробка її структури та складу підсистем - взаємопов'язаних КММ процесів функціонування елементів СОУ паливно-енергетичного комплексу (ПЕК); [2] – постановка задачі побудови трирівневої ІАСМ ОРЕ як системи автоматизації процесів організаційного управління ОРЕ, розробка структури та складу

підсистем; [3] - підготовка вихідних даних для тестування програмного комплексу, його тестування; [4] - розробка системи показників функціонування ЕЕВ для ІАСМ; [5] - побудова інформаційної моделі взаємодії суб'єктів ОРЕ, розробка моделюючих алгоритмів; [12] - постановка задачі розробки КММ енергоефективності при виробництві, передачі та споживанні ЕЕ, формулювання вимог до інформаційно-технологічного забезпечення, інформаційного ресурсу та структури бази даних; [14] - проведення аналізу даних системи кількісних і якісних показників, необхідних для формального опису суб'єктів предметної галузі з використанням об'єктно-орієнтованого методу, постановка задачі побудови концептуальної моделі; [15] - постановка задачі побудови інформаційної моделі; [16] - опис предметної області моделювання для побудови інформаційної моделі; [17] - побудова балансової математичної моделі ОРЕ; [18], [19], [20] - постановка задачі оперативного планування поставок ЕЕ на ОРЕ, обґрунтування вибору методичного та інформаційно-технологічного забезпечення для вирішення задач прогнозування ключових інформативних параметрів функціонування енергоринку, підготовка вихідних даних для тестування програмного забезпечення, розробка концептуальної та інформаційної моделей; [21] - побудова математичної моделі; [22] - постановка задачі прогнозування граничної ціни системи, дослідження моделі, тестування програмного забезпечення; [23] - формування масивів вихідних даних для аналізу динаміки цін на ЕЕ та на енергоносії, проведення аналізу взаємозв'язку даних; [24] - постановка задачі, побудова математичної моделі, дослідження моделі, тестування програмного забезпечення; [25] - постановка задачі, підготовка масивів вихідних даних для аналізу динаміки середньої оптової ціни на ЕЕ та цін на енергоносії, дослідження адекватності моделі та достовірності результатів моделювання; [26] - постановка задачі та побудова моделі, тестування програмного забезпечення; [27] - постановка задачі, дослідження моделі та оцінка якості прогнозування; [28] - обґрунтування одного з можливих підходів використання ІАСМ в інтерактивних системах підтримки прийняття рішень для автоматизації процесів організаційного управління в енергетиці.

Апробація матеріалів дисертації. Основні наукові теоретичні та прикладні результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на науково-технічних конференціях, у тому числі й міжнародних: XXII науково-технічній конференції «Моделювання» (Україна, м. Київ, 9-10 січня 2003 р.); Третій Всеросійській науково-технічній конференції з міжнародною участю «Енергетика: управління, якість, і ефективність використання енергоресурсів» (Російська Федерація, м. Благовещенськ, 14-16 травня 2003 р.); Міжнародній конференції «Інформаційні технології в управлінні енергетичними системами» (Україна, м. Київ, 18-19 жовтня 2005 р.); Науковій конференції «Моделювання-2006» (Україна, м. Київ, 16-18 травня 2006 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Функціонування та розвиток ринків електроенергії й газу» (Україна, Крим, смт. Партеніт, 31 травня-5 червня 2006 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Автоматизація: проблеми, ідеї, рішення» (Україна, м. Севастополь, 5-9 вересня 2011 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Автоматизація: проблеми, ідеї, рішення» (Україна, м. Севастополь, 9-13 вересня 2013 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Автоматизація: проблеми, ідеї, рішення» (Україна, м. Севастополь, 8-12 вересня 2014 р.); Міжнародній науковій конференції «Моделювання-2016» (Україна, м. Київ, 25-27 травня 2016 р.). Міжнародній науково-практичній конференції «Прикладні науково-технічні дослідження» (Україна, Івано-Франківськ, 5-7 квітня 2017 р.).

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 45 наукових праць, у тому числі: 28 – у наукових фахових журналах та збірниках наукових праць (з них 4 - у наукових виданнях, що індексуються міжнародними наукометричними базами даних, 7 робіт без співавторів); 9 – публікації матеріалів конференцій; 8 - в інших виданнях.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з анотації, вступу, 7 розділів основної частини роботи, списку використаних джерел з 231 бібліографічних найменувань та 5 додатків. Загальний обсяг роботи складає 342

сторінки, з них 304 сторінки основного тексту, включаючи 16 таблиць та 51 рисунок.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД І АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОБЛЕМИ МАТЕМАТИЧНОГО ТА КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ ОРГАНІЗАЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ

1.1 Огляд розвитку досліджень процесів організаційного управління

У п'ятдесятих-шістдесятих роках минулого століття в зв'язку з інтенсивним розвитком засобів обчислювальної техніки, загальносистемних програмних засобів, алгоритмічних мов програмування значно зріс інтерес до досліджень складних систем, в якості яких розглядалися технічні, соціальні, економічні, біологічні та інші об'єкти різної природи. Поряд зі становленням принципово нової наукової теорії - загальної теорії складних систем, створенням її методологічних основ і принципів системного дослідження таких об'єктів [1, 2], які отримали назву системний підхід, почали створюватися відповідні засоби системного аналізу та моделювання складних систем, теорії управління, теорії інформації, теоретичної та прикладної інформатики. Застосування вищевказаних засобів до досліджень СОУ, в свою чергу, сприяло розвитку теорії систем організаційного управління - методів формального опису процесів функціонування організаційних систем, концептуального проектування структур організаційних систем, аналізу та синтезу механізмів управління та функціонування в умовах ресурсних, соціальних, економічних, виробничо-технологічних і екологічних обмежень. Це, відповідно, сприяло розробці засобів математичного та комп'ютерного моделювання, обчислювальних методів і програмного забезпечення для вирішення досить великого кола прикладних задач забезпечення цілеспрямованої діяльності складних багаторівневих ОТС різного призначення за допомогою засобів обчислювальної техніки [3-26].

Складні ОТС, як правило, поєднують множину взаємозалежних людино-машинних об'єктів – підсистем, взаємодіючих як між собою, так і з іншими технічними системами в різних сферах життєдіяльності суспільства, які відрізняються своїм цільовим виробничим призначенням і продукцією, що випускається.

Укрупнено організаційну структуру сучасної ОТС можна представити у вигляді (рис. 1.1.).



Рис.1.1 Структура організаційно-технічної системи

Проте, серед них чимало таких, які мають спільні характерні ознаки їх органів управління – СОУ, як структурних підсистем ОТС. Основними з яких є: ієрархічний багаторівневий характер організаційної, технологічної та інформаційної взаємодії підсистем; мінливість зміни в часі власної структури та функцій; неповна відповідність структури цілям розвитку ОТС внаслідок змін у часі механізмів управління та функціонування; використання великих людино-машинних моделюючих систем, які створюються для підтримки прийняття рішень в СОУ, та які фактично самі функціонують як складні ОТС і потребують

безперервного вдосконалення математичного та всебічного інформаційно-технологічного забезпечення.

Розвитку і вдосконаленню цих методів організації процесів підготовки та використання моделюючих систем як носіїв моделей ОТС для вдосконалення їх організаційної структури і сьогодні присвячено чимало робіт в науковій літературі.

Один з напрямків зазначених наукових робіт пов'язаний з моделюванням процесів вдосконалення механізмів функціонування та розвитку СОУ як підсистем ОТС. Тут і далі під системою організаційного управління розуміється, (див., наприклад, [27]), «об'єднання людей, які спільно реалізують деяку програму або мету та діють на основі певних процедур і правил - механізмів функціонування».

Для реалізації функцій і завдань взаємопов'язаного організаційного, виробничо-технологічного та інформаційного управління в структурі ОТС створюються комп'ютерні моделюючі системи.

Основною метою їх створення є істотне підвищення продуктивності управління: організаційної ефективності, за рахунок скорочення чисельності обслуговуючого персоналу; оперативності, за рахунок скорочення часу обробки великих обсягів інформації; обґрунтованості прийнятих рішень, за рахунок можливості проведення багатоваріантного аналізу внесених змін в правила і процедури функціонування СОУ.

Як правило, ця мета досягається шляхом застосування більш досконалих математичних моделей, що адекватно описують функціонування керованого об'єкта та процеси його управління, а також комп'ютерних моделей, які розробляються на їх основі з використанням нових інформаційних технологій, що дозволяють забезпечити вирішення широкого кола розрахункових завдань змістовної переробки інформації, завдань моніторингу компонентів управління станом об'єкта, прогнозування і планування його розвитку, аналізу й синтезу механізмів функціонування СОУ [10, 27-33].

На основі аналізу літературних джерел можна зробити висновок про те, що в сучасній теорії управління в ринкових умовах для СОУ виділяють наступні основні функції управління: аналіз фінансово-господарської діяльності об'єкта управління - оцінка його стану, його системи управління та зовнішнього середовища їх існування; планування (прогнозування) розвитку - поточне, короткострокове, довгострокове; керівництво - формування основних цілей функціонування та розвитку об'єкта та організація діяльності персоналу для їх досягнення; контроль - відстеження ходу виконання планів і досягнення поставлених цілей; вдосконалення самої структури організаційної системи в умовах зміни у часі цілей і механізмів управління з метою підвищення ефективності управлінської діяльності [11-13, 17, 24, 34-36].

Моделюванню процесів реалізації перелічених функцій управління, розробці способів формування та вдосконалення механізмів функціонування та розвитку СОУ також присвячено чимало робіт. І, по суті, сьогодні сформувалися нові наукові напрямки, в межах яких проводяться дослідження особливостей процесів реалізації цих функцій в різних ОТС.

Як відомо СОУ, як і будь-яка система, - це сукупність елементів, що знаходяться у відносинах і зв'язках один з одним, яка утворює певну цілісність, єдність [37]. У той же час вона може розглядатися з метою дослідження особливостей її функціонування і як система процесів, що створюють організаційний вплив на групу людей і на організаційну систему в цілому [37, 38].

До числа процесів організаційного управління, моделюванню яких приділяється основна увага, відносять (див., наприклад, [38]):

- інформаційне забезпечення та реалізація ділового документообігу;
- інформаційне забезпечення планування та прийняття управлінських рішень;
- управління фінансовими потоками, запасами ресурсів виробництва;

- управління процесами виконання прийнятих рішень (доведення рішень до виконавців, розподіл завдань і повноважень, виділення ресурсів, контроль і оцінювання процесу виконання завдань, документування дій та ін.);

- інформаційну взаємодію багаторівневих СОУ в єдиному інформаційному середовищі, обмін даними в інтегрованих КСОУ;

- моніторинг, реєстрація дій і подій для аналізу та оцінки процесу функціонування і розвитку СОУ, аналізу та оцінки стану об'єкта управління та зовнішнього середовища його існування;

- прогнозування змін зовнішніх факторів і основних компонентів управління, що характеризують стан процесів функціонування ОТС;

- прогнозування зміни цін на взаємопов'язаних ринках ресурсів;

- вирішення розрахунково-технологічних задач реалізації механізмів функціонування СОУ;

- підтримка безпеки функціонування та коригування управління при виникненні небажаних зовнішніх або внутрішніх впливів, шляхом формування нових і вдосконалення діючих механізмів функціонування СОУ, які забезпечують підтримку стійкості об'єкта управління;

- формування баз даних, отримання знань з накопичених даних і зареєстрованої інформації, формування баз знань та їх застосування для вдосконалення механізмів функціонування СОУ.

1.1.1 Аналіз стану досліджень процесів вдосконалення механізмів функціонування систем організаційного управління

Аналіз публікацій, пов'язаних з проблемою дослідження складних ОТС, (див., наприклад, [7-10, 27, 28, 39-43]), показує, що основна увага в них приділяється питанням проектування структур багатокomпонентних ОТС, моделювання механізмів управління при вирішенні завдань планування розвитку ОТС, мотиваційного управління та розробки систем стимулювання суб'єктів. Тобто, дуже важливим дослідженням, що стосуються проблем формування

механізмів управління соціально-економічними системами, колективами підсистеми управління ОТС - багаторівневих СОУ, які розглядаються, як правило, у вигляді ієрархічних систем типу віяла, децентралізації управління та при цьому перерозподілу функцій і завдань управління.

Питання ж, які пов'язані з процесами вдосконалення механізмів функціонування та розвитку СОУ, вирішенням завдань аналізу і синтезу таких механізмів, практично не розглядаються. Очевидно, що це пов'язано з тим, що для вирішення подібного класу задач необхідна детальна інформація про процеси функціонування СОУ та ОТС в цілому.

Для її отримання необхідно вирішити проблему організації системи спостереження, моніторингу стану реального (конкретного) об'єкта, компоненти управління якого можуть бути представлені досить великою кількістю даних спостережень.

Крім того, необхідно мати можливість проведення обчислювальних експериментів, і теж на реальних об'єктах, для оцінки впливу внесених змін в механізми їх функціонування на зміну всіх компонентів управління.

При організації та проведенні такого роду експериментів часто виникають проблеми, пов'язані з необхідністю витрат великої кількості часу на підготовку обґрунтованих варіантів змін механізмів функціонування та необхідних даних, а отже, і залучення висококваліфікованих фахівців, оскільки вдосконалення певної частини механізмів функціонування СОУ може вимагати проведення нових науково-прикладних досліджень.

Вирішення тільки виділених проблем вже ставить під сумнів можливість здійснення експериментальних досліджень такого роду в умовах, коли КСОУ безпосередньо реалізує технологічні процеси змістовної переробки інформації про функціонування СОУ в режимі реального, визначеного Правилами розрахункового періоду часу.

Крім того, в цілому ряді ОТС, в силу того, що їх складові об'єкти не пов'язані ієрархічною організаційною підпорядкованістю, можуть бути відсутні механізми з повною централізацією планування розвитку ОТС. Ця обставина

також може призводити до конфліктних ситуацій між суб'єктами СОУ при реалізації цілей, стратегій в разі неспівпадаючих інтересів.

Процес формування нових і вдосконалення діючих механізмів функціонування СОУ, як і будь-який інший процес прийняття рішень включає наступні основні етапи: аналіз ситуації; формулювання проблеми, яка може бути результатом конфлікту інтересів та уподобань верхнього рівня СОУ і учасників ринку, визначення необхідності її вирішення; формулювання мети її реалізації; підготовка множини альтернативних варіантів змін до Правил; вибір з їх числа прийнятних для реалізації альтернатив, з урахуванням наявних обмежень і вимог збереження стійкості функціонування системи; реалізація обраних альтернатив і оцінка наслідків застосування варіантів змін.

При реалізації першого з виділених етапів, виникає необхідність розробки засобів математичного опису слабо формалізованих процесів визначення множин цілей, інтересів, стратегій учасників СОУ і утворених ними коаліцій, які можуть бути представлені не тільки кількісними, а й якісними характеристиками компонент управління, для формування альтернативних варіантів вирішення конфліктних ситуацій.

Визначення альтернатив вирішення конфліктних ситуацій в багаторівневих СОУ є передумовою застосування теоретико-ігрових засобів моделювання для формування оптимальних рішень ігор - моделей процесів прийняття рішень, процедур аналізу цих моделей і визначення обмежень для компонент стану управління.

Як вже зазначалося, процес прийняття рішень щодо вдосконалення механізмів функціонування СОУ включає постановку і комплексне вирішення наступних взаємопов'язаних завдань: формування обмежень у змінах компонентів стану управління для збереження його стійкості; розрахунок компонентів стану управління з урахуванням зміни цін на ринках ресурсів виробництва; прогнозування та планування (короткострокового, довгострокового) змін компонентів стану управління; контролю матеріального балансу ресурсів, обсягів виробництва та фінансового балансу отримання та

розподілу доходів від реалізації продукції між суб'єктами; стимулювання суб'єктів СОУ.

На підставі проведеного аналізу публікацій можна стверджувати, що вдосконалення механізмів функціонування та розвитку СОУ обумовлює необхідність адекватного розвитку та вдосконалення засобів математичного і комп'ютерного моделювання процесів організаційного управління. Природно припустити, вирішення подібного класу завдань можливо тільки за допомогою комп'ютерної системи моделювання, що є середовищем побудови імітаційних комп'ютерних моделей об'єктів і процесів їх функціонування, яка повинна включати:

- засоби математичного формального опису складних об'єктів і процесів взаємодії складових їх структурних елементів між собою і зовнішнім середовищем;

- єдиний інформаційний простір, що об'єднує засоби об'єктно-орієнтованого концептуального та інформаційного моделювання процесів взаємодії складових її структурних елементів між собою та зовнішнім середовищем;

- уніфіковану систему класифікаторів і довідників, структуру зберігання даних, єдину систему протоколів і інтерфейсів;

- єдині засоби програмування.

З огляду на викладене вище, в роботі було вибрано напрямок досліджень, який пов'язаний з вирішенням науково-прикладної проблеми математичного та комп'ютерного моделювання процесів вдосконалення механізмів функціонування та розвитку СОУ на прикладі складної ОТС - об'єднаної електроенергетичної системи (ОЕЕС) при реалізації основних взаємопов'язаних функцій управління з виробництва, передачі та розподілу ЕЕ в ринкових умовах, в межах діючої та перспективної моделей енергоринку. Оскільки вони призводить до зміни розрахункових величин компонент управління, що, як правило, впливає на розподіл доходів між суб'єктами ринку, учасниками спільно

виробленої, переданої по лініях електропередач і реалізованої кінцевим споживачам ЕЕ.

1.2 Аналіз стану досліджень процесів організаційного управління в енергетиці

До числа складних ОТС, дослідженням процесів функціонування та розвитку організаційного управління яких і раніше приділялася велика увага, відноситься паливно-енергетичний комплекс (ПЕК). Системні дослідження в енергетиці розвивалися, як у межах фундаментальних досліджень, метою яких було створення адекватних математичних моделей аналізу його функціонування та планування оптимального розвитку, так і цілого ряду теоретичних і прикладних досліджень. Великий внесок у вирішення проблем довгострокового планування розвитку енергетики внесли роботи М.Н. Кулика, А.О. Макарова, Л.О. Мелентьєва, С.А. Совалова та ін. [44-47].

Необхідність розробки нових математичних і комп'ютерних моделей функціонування СОУ в енергетиці на цьому етапі розвитку була викликана проведенням ринкових реформ. Раніше такі моделі створювалися фактично для однієї вертикально інтегрованої компанії з урахуванням фундаментальних вимог до складу елементів складних систем: ієрархії реальних систем - об'єктів управління; відповідній їй ієрархії органів управління, ієрархії математичних моделей підготовки та прийняття рішень у СОУ. На сьогодні можна стверджувати, що в результаті ринкових перетворень колишня ієрархічність як об'єктів управління, так і органів управління ними та моделей прийняття рішень, у багатьох країнах зазнала істотних змін. Організаційну систему в енергетиці, що сформувалася, можна охарактеризувати як складну багаторівневу територіально-розподілену систему, яка складається з множини взаємопов'язаних горизонтальними та вертикальними системоутворюючими зв'язками елементів,

що пов'язані один з одним та із зовнішнім середовищем, динамічно функціонують та розвиваються шляхом удосконалення механізмів взаємоузгодженого організаційного, оперативного-технологічного та інформаційного управління.

До досліджень проблеми математичного та комп'ютерного моделювання процесів організаційного управління лібералізованими ринками ЕЕ в енергетиці США та країнах Західної Європи звернулися значно раніше, ніж у країнах Східної Європи та СНД. Тому що в них тільки наприкінці 80-х років минулого століття почалося проведення реформ, метою яких був перехід від монопольних ринків електроенергії з державними енергетичними компаніями до повномасштабного конкурентного ринку за участю на ньому виробників і постачальників ЕЕ всіх форм власності. Результати цих досліджень знайшли відображення в численних публікаціях. Істотний внесок у розвиток теорії проектування та функціонування ринків електроенергії внесли роботи С. Стофта, Д. Ньюбери, Дж. Бушнелла, С. Вольфрама, И.П. Арриаги та ін.

У країнах СНД і Україні дослідженням проблем розвитку енергетики, створення математичних детермінованих і теоретико-ігрових компліментарних моделей її функціонування в умовах ринку присвячені роботи В.О. Барінова, О.А. Васина, Е.П. Волкова, М.І. Воропая, В.Ф. Євдокимова, О.В. Кириленко, С.Є. Сауха, Б.С. Стогнія, А.К. Шидловського та ін. [48-59].

Як показує аналіз літературних джерел, дослідження проблеми процесів організаційного управління в енергетиці в умовах ринку в напрямку вдосконалення та розвитку механізмів управління створених СОУ ринком ЕЕ на основі застосування засобів математичного та комп'ютерного моделювання, сучасних інформаційних технологій, також приділяється велика увага.

Однією з характерних властивостей складної системи є невизначеність розвитку. Для СОУ ПЕК ця властивість виявляється в тому, що ефективність її роботи в цілому істотно залежить від багатьох політичних і економічних чинників, найбільш значущими з яких є наступні:

- зовнішньополітичний - впливає на стан ринків енергоносіїв, ринків вторинної енергії, фінансових, матеріальних та інших ресурсів;
- внутрішньополітичний - що визначає якість і своєчасність прийняття законодавчих та нормативних актів, що регулюють функціонування ПЕК і його взаємодію з іншими галузями господарства;
- внутрішньогалузевий - що визначає якість і ефективність організаційного управління в ПЕК.

Стосовно ПЕК обидва політичні чинники є зовнішніми. Частково можна вважати, що СОУ ПЕК як суб'єкт господарювання, в тому числі і міжнародного, може чинити певний вплив на формування найбільш сприятливих для нього зовнішньоекономічних домовленостей і угод, брати участь у підготовці законодавчих та нормативних актів. У той же час, якщо ті чи інші міжнародні угоди та законодавчі акти підписуються та приймаються без урахування реальних потреб або можливостей ПЕК, його виробничі підприємства опиняються в скрутному економічному становищі.

Тому на сьогодні важко переоцінити значення внутрішньогалузевого фактора, бо саме від того, наскільки СОУ ПЕК підготовлена до можливих негативних впливів зовнішніх факторів і вміє вчасно знаходити оптимальні управлінські рішення, які пов'язані зі змінами механізмів функціонування, залежить стійкість, ефективність його роботи, а в кінцевому підсумку і енергетична безпека держави.

Протягом останніх 26 років в ПЕК України проводилися реформи, головною метою яких було формування ринкових відносин і конкурентного середовища на всіх етапах виробництва енергії від видобутку енергоносіїв до поставки вторинної енергії кінцевим споживачам.

До основних напрямків реформування енергетики можна віднести наступні: реформування ринків енергоресурсів, ринку ЕЕ; вдосконалення системи регулювання та формування тарифів на електричну та теплову енергію; регулювання цін і тарифів на енергоносії; стимулювання енергозбереження та енергоефективності; підвищення екологічної безпеки енергетичного

виробництва; вдосконалення СОУ енергетичним господарством і енергетичним ринком.

Як правило, при реалізації вищевказаних напрямків реформування ПЕК України, використовувався позитивний досвід зарубіжних країн з ринковою економікою [60]. Зокрема, реформування ринку ЕЕ здійснювалося з урахуванням досвіду реформування ринку ЕЕ Англії і Уельсу [60-62].

Практична реалізація зазначеної мети та напрямів реформування електроенергетики вимагає постановки та вирішення досить великого кола нових теоретичних і прикладних задач аналізу поточного виробничого стану її об'єктів, їх фінансово-господарської діяльності та економіки, прогнозу розвитку електроенергетики, вдосконалення структури його СОУ в ринкових умовах, а також процесів організаційного управління в ній.

В умовах переходу до ринкових відносин, істотно змінилися не тільки функції адміністративного та корпоративного управління об'єктами електроенергетики, які перебувають у повній або частковій власності держави. З'явилися і нові функції державного організаційного, координуючого і регулюючого управління відповідно до Закону України про електроенергетику [63] та іншими нормативними документами та міжнародними угодами, що стосуються діяльності СОУ електроенергетикою.

У зв'язку з цим, для СОУ електроенергетикою стає принципово важливим, в процесі функціонування, виробляти та приймати всебічно виважені стратегічні та оперативні рішення. Особливо в тих випадках, коли ці рішення можуть істотно вплинути на економічну взаємодію з іншими галузями господарського комплексу держави, а також на економічний стан галузей, що входять в ПЕК. Іншими словами, дуже важливою стає завдання підвищення ефективності управління процесами організації виробництва, персоналом; фінансово-економічними процесами; процесами реформування галузі шляхом удосконалення механізмів функціонування СОУ.

Процес прийняття рішень щодо вдосконалення механізмів функціонування СОУ енергоринку включає постановку та комплексне вирішення наступних

взаємопов'язаних завдань: формування обмежень у змінах компонентів стану об'єкта управління для збереження його стійкості; розрахунок компонентів стану управління з урахуванням зміни цін на ринках енергоносіїв; прогнозування та планування (короткострокового, довгострокового) змін компонентів стану управління; контролю обсягів виробництва ЕЕ та фінансового балансу отримання та розподілу доходів між суб'єктами ринку від спільно виробленої, переданої по лініях електропередач і реалізованої кінцевому споживачеві продукції; стимулювання суб'єктів СОУ, виробників та постачальників ЕЕ.

В сучасних умовах при підготовці і прийнятті управлінських рішень по управлінню такими складними ОТС, як електроенергетика, необхідно здійснити підготовку, прийом, зберігання і змістовну переробку великих обсягів різномірної кількісної та якісної інформації, а також рішення цілого ряду розрахункових завдань аналізу і прогнозу розвитку.

Тому підвищення продуктивності управлінської діяльності багато фахівців пов'язують з поліпшенням інформаційного забезпечення процесів управління, підготовки та прийняття рішень на основі застосування сучасних математичних і комп'ютерних моделей процесів функціонування організаційних систем в нових економічних умовах [48-54, 58, 59].

Протягом багатьох десятиліть органами управління електроенергетикою велика увага приділялася питанням моделювання процесів оперативно-технологічного управління режимами функціонування енергосистем, процесів виробництва, передачі та споживання ЕЕ з метою вирішення проблеми надійного та безпечного забезпечення кінцевого споживача.

Як показує досвід багатьох розвинених країн, ефективне вирішення зазначеної проблеми в ринкових умовах, а також інших проблем організаційного управління таких, як підвищення економічної та енерго-екологічної ефективності процесів виробництва, передачі та споживання енергії, забезпечення сталого функціонування енергетичних ринків і розвитку адекватної структури конкурентних ринків енергоресурсів і вторинної енергії з урахуванням основних

закономірностей розвитку світової енергетики, базується на використанні моделі трьох «І» - інновації, інвестиції, інформаційні технології [64].

Іншими словами, вирішення проблеми інформатизації системи організаційного управління в електроенергетиці - комп'ютерного моделювання процесів управління на основі застосування методів системного математичного моделювання та сучасних інформаційних технологій приділяється така ж увага, як і розробці нових ресурсозберігаючих технологій отримання енергії та залучення інвестицій в розвиток енергетичної галузі.

У сучасних умовах практично безальтернативним методом дослідження функціонування складних ОТС з урахуванням особливостей взаємодії складових його підсистем залишається системний аналіз. В цілому ряді наукових робіт, опублікованих в останні роки, показано, що і його застосування до дослідження процесів в ПЕК, вимагає створення нових підходів.

Наприклад, в роботі [54] висловлюється твердження про те, що суттєва зміна умов господарювання вимагає модифікації методів і моделей, що використовуються для прогнозування розвитку енергетики в нових економічних умовах, радикального доопрацювання математичних моделей розвитку ПЕК і галузей, що входять до нього. Якщо раніше їх метою була оптимізація розвитку виробничих потужностей і зв'язків, то зараз до цього додається необхідність оптимізувати фінансові потоки та організаційні структури паливно-енергетичних галузей і великих компаній. Тільки так можна обґрунтовано вирішувати завдання формування ефективних енергетичних ринків і правильно оцінювати варіанти реформування природних монополій, насамперед, електроенергетики і газової галузі.

У роботах [48-50] також стверджується, що складність завдань, пов'язаних з подальшим реформуванням електроенергетики та створенням конкурентного ринку, робить актуальними вдосконалення засобів моделювання енергосистем в нових умовах. В першу чергу це стосується розробки засобів моделювання електроенергетичного ринку.

Як вже зазначалося вище, необхідність розробки нових моделей СОУ функціонуванням енергетичних ринків і плануванням їх розвитку була викликана проведенням ринкових реформ. Якщо раніше вони створювалися фактично для однієї вертикально-інтегрованої компанії з урахуванням таких фундаментальних вимог до складу елементів складних систем як: ієрархія реальних систем - об'єктів управління; відповідна їй ієрархія органів управління; необхідні для їх функціонування ієрархічні системи збору та передачі інформації; відповідна ієрархія математичних моделей; ієрархія обчислювальних засобів, що здійснюють переробку інформації.

На сьогодні можна стверджувати, що в сформованих економічних умовах колишня ієрархічність, як об'єктів управління, так і органів їх управління відсутня. Зазнали змін і прояви системоутворюючих властивостей і зв'язків об'єктів енергетики. Ці зміни обумовлені тим, що в структурі СОУ електроенергетичною галуззю України разом з Міністерством енергетики та вугільної промисловості (Міненерговугілля), утворені принципово нові елементи: - Національна енергетична компанія «Укренерго» (НЕК «Укренерго»); Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики і комунальних послуг (НКРЕКП); ДП «Енергоринок». Кожен з них реалізує свої функції і завдання організаційного управління підприємствами - суб'єктами енергетичного ринку і енергосистемою в цілому, передбачені Законом України про електроенергетику [63].

НКРЕКП здійснює функції Регулятора ринків електричної та теплової енергії, енергоносіїв шляхом затвердження відповідних механізмів функціонування, що реалізуються в правилах ринків ЕЕ та енергоносіїв, і контролює їх дотримання суб'єктами ринків. ДП «Енергоринок» здійснює функції адміністратора торгової системи (АТС) - Розпорядника системи розрахунків на ОРЕ. НЕК «Укренерго» - Системний оператор (СО) ринку, виконує диспетчерські функції управління режимами об'єднаної електроенергетичної системи, забезпечує передачу ЕЕ по магістральних лініях електропередач, здійснює не тільки оперативно-технологічне, а й організаційне

управління функціонуванням ринку ЕЕ шляхом планування диспетчерського графіка активного навантаження. Більш докладно функції організаційного управління цих елементів структури СОУ можна переглянути на сайтах www.mre.kmu.gov.ua, www.nerc.gov.ua, www.er.gov.ua.

Ці структурні елементи, по суті, стали системоутворюючими елементами не тільки в СОУ енергоринком, але і у всій системі управління ПЕК. Тому без перебільшення можна сказати, що на даному етапі інформатизації ПЕК однією з ключових проблем є створення адекватної імітаційної комп'ютерної моделі енергоринку для вирішення завдань управління його функціонуванням і подальшим розвитком відповідно до Концепції функціонування та розвитку ОРЕ та Закону України «Про ринок електричної енергії» [65, 66].

1.3 Система організаційного управління енергоринком

1.3.1 Аналіз функціонування і розвитку організаційної системи енергоринку

Електроенергетична галузь ПЕК як об'єкт управління являє собою складну ОТС (рис. 1.1), що складається з множини різних взаємодіючих між собою підсистем, які, в свою чергу, утворюються з десятків, сотень об'єктів - ОТС різного призначення, і безпосередньо беруть участь у процесі спільного виробництва продукту, що не накопичується – ЕЕ, і його реалізації споживачам на ринку, що отримав назву енергоринок. Відповідно до діючої законодавчої та нормативної бази, створені необхідні структурні елементи СОУ ринком, визначені їх функції та завдання управління, розроблені механізми організаційної, виробничо-технологічної, інформаційної взаємодії суб'єктів ринку, які оформлені та затверджені у вигляді Правил [67].

Ухвалення управлінських рішень щодо зміни механізмів функціонування СОУ в таких ОТС має базуватися на системному аналізі взаємопов'язаного організаційного управління виробничими, оперативно-технологічними та

фінансово-економічними процесами в усіх складових його структурних елементах з урахуванням впливу зовнішніх чинників.

Це, по суті, означає, що СОУ повинна мати можливість безперервного відстеження та аналізу стану структурних елементів в процесі функціонування, прогнозу їх розвитку та оцінки економічних, соціальних та інших наслідків прийнятих рішень.

Створення комп'ютерних засобів для СОУ протягом багатьох років є однією з актуальних проблем моделювання процесів оперативно-технологічного та організаційного управління в енергетиці. Ще в 60-х-70-х рр. була поставлена задача створення інтегрованої галузевої АСОУ енергетики СРСР, основні науково-технічні вимоги до якої знайшли відображення в [68]. З того часу її вирішенню, розробці теоретичних та інформаційних аспектів присвячено чимало робіт, їх аналізу та узагальненню цілий ряд монографій, наприклад [47, 69-74], і це далеко не повний їх перелік.

Очевидно, що практичні роботи по створенню окремих підсистем АСОУ функціонуванням ПЕК як центрального органу управління, так і органів управління різних його елементів, підрозділів і суб'єктів ПЕК ведуться вже давно. Були розроблені та впроваджені десятки автоматизованих робочих місць для фахівців-управлінців. Накопичений і використовується унікальний інформаційний ресурс, розроблені та використовуються методичні, алгоритмічні та програмні засоби для вирішення завдань управління. Тобто, в ПЕК був створений програмно-технічний комплекс, який і сьогодні вирішує багато завдань інформаційного забезпечення прийняття управлінських рішень. Базис цього комплексу складають математичні моделі функцій, завдань і процесів управління, механізмів функціонування та алгоритмічні та програмні засоби їх комп'ютерної реалізації.

За результатами досліджень, наведеними в роботі [75], і на основі даних проведеного аналізу літературних джерел можна зробити висновок про те, що на початок 2000 років в СОУ галузей ПЕК, і тільки на рівні енергооб'єднань, були реалізовані лише поодинокі проекти створення АСОУ на основі застосування

нових інформаційних технологій, наприклад [76, 77]. Діяльність енергетичних компаній в умовах ринку стимулює їх до розвитку інформаційно-технологічної інфраструктури. Знаходять застосування такі технології і для вирішення задач моделювання процесів функціонування СОУ енергоринком.

На сьогодні практично всі відомі великі світові виробники програмних і програмно-апаратних платформ поставляють комплексні рішення для побудови СОУ в енергетиці.

Незважаючи на наявність на ринку інформаційних технологій (ІТ) досить великої кількості моделюючих систем побудови комп'ютерних СОУ для ОТС, програмно-апаратних рішень, можна стверджувати, що в найближчі роки навряд чи з'явиться універсальне інформаційно-методичне середовище, що дозволяє вирішувати завдання побудови імітаційних моделей функціонування складних СОУ, яке можна було б адаптувати та використовувати для управління будь-якої конкретної системою. Тому, зусилля багатьох колективів розробників такого класу моделей спрямовані на створення об'єктно-орієнтованих комп'ютерних систем моделювання СОУ.

В Україні при створенні ОРЕ та структури його СОУ була реалізована модель структурування суб'єктів електроенергетики, що отримала змістовну назву моделі «Єдиного покупця та продавця» [48, 65]. Головною метою її створення було вирішення комплексу задач організаційного управління: впорядкування оптової торгівлі ЕЕ; створення умов для конкуренції між виробниками і між постачальниками ЕЕ; формування цін на ЕЕ за ринковими принципами; забезпечення можливості (права) самостійного вибору споживачем постачальника ЕЕ; створення прозорої системи розрахунків за ЕЕ між виробниками і постачальниками; залучення інвестицій в галузь; збереження ОЕЕС України; забезпечення фінансової стабільності електроенергетичної галузі країни.

Але, як зазначається в [48, 60-62, 65], багато розвинених країн перейшли на більш досконалі в плані конкуренції, лібералізації та прозорості моделі ринків. Тому можна стверджувати, що ОРЕ в енергетиці України знаходиться на стадії

вдосконалення та розвитку. Очевидно, що модернізація такої складної СОУ ОРЕ є досить непростим завданням. Основні проблеми енергоринку, завдання та шляхи їх вирішення визначені в Концепції розвитку ОРЕ [65], законодавстві України [63, 66], іншій літературі та вимагають детального дослідження.

Прийнятий Закон «Про ринок електроенергії України» № 2019-VIII від 13.04.2017 [67], свідчить про необхідність продовження реформування енергоринку, а, отже, і його СОУ та істотно змінює інституційні норми поведінки суб'єктів. Його реалізація потребуватиме розробки нових математичних моделей функціонування енергоринку та його сегментів і прогнозування ключових інформативних показників динаміки ринку, інформаційно-технологічного забезпечення для практичного створення комп'ютерних моделей сегментів ринку для СОУ.

На рис. 1.2 представлена організаційна структура енергоринку, що одержала назву ринку двосторонніх договорів і балансуючого ринку (ДДБР), або змістовну назву «Модель конкуренції на всіх рівнях».

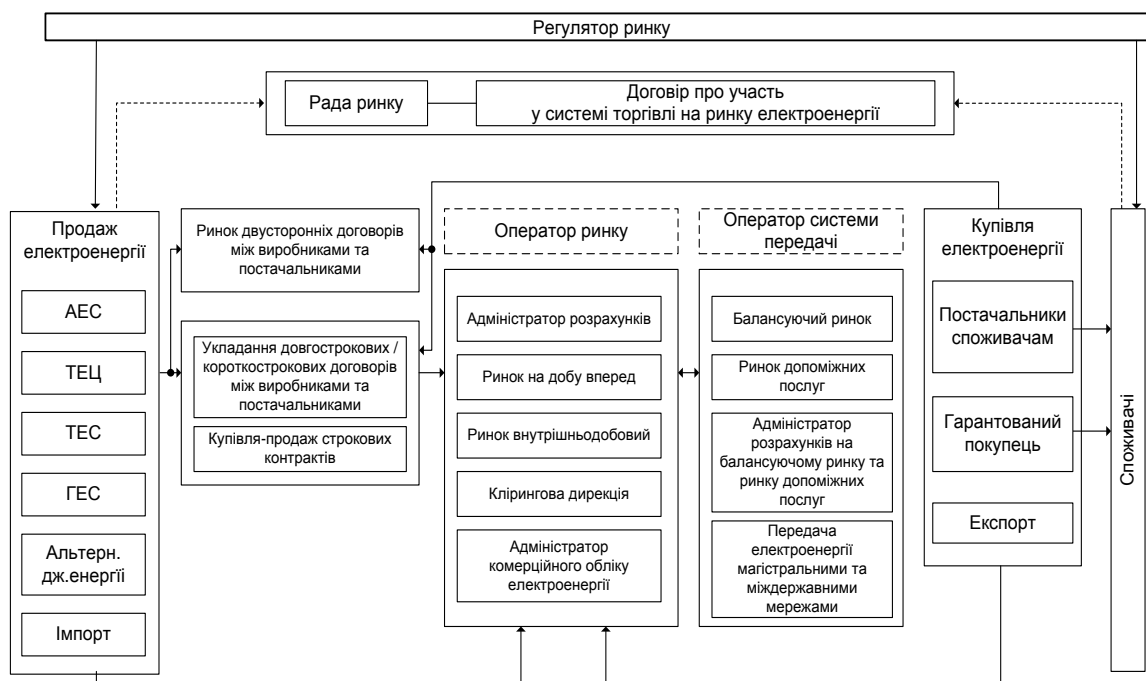


Рис. 1.2. Організаційна структура ринку електроенергії

Ця модель організації ринку в цей час використовується в ряді європейських країн, США, Австралії. В Україні, відповідно до закону «Про

ринок електроенергії», буде здійснений перехід до такої моделі від діючої зараз моделі «Єдиного покупця та продавця» шляхом реорганізації структури СОУ та створення нових її елементів для сегментів: ринку двосторонніх договорів; ринку на добу вперед; внутрішньодобового ринку; ринку, що балансує; ринку допоміжних системних послуг; роздрібного ринку. На рис. 1.2 використовуються скорочення: АЕС – атомна електростанція; ГЕС – гідроакумулююча електростанція; ТЕС – теплова електростанція; ТЕЦ – теплоелектроцентрально.

До основних проблем імплементації такої моделі разом з концептуальним проектуванням структури СОУ необхідно віднести й проблему формування Правил організаційної, інформаційної та оперативно-технологічної взаємодії учасників перелічених сегментів ринку - механізмів його функціонування - Правил ринку, а також забезпечення необхідного ступеня автоматизації процесів організаційного управління, вирішення завдань аналізу та оцінки наслідків прийнятих рішень.

Відповідно до закону «Про ринок електричної енергії» [66], основні умови діяльності учасників ринку ЕЕ та взаємовідносин між ними визначаються нормативно-правовими актами, що регулюють впровадження цього Закону, зокрема: правилами ринку, які, в тому числі, визначають правила функціонування балансуючого ринку та ринку допоміжних послуг; правилами ринку "на добу наперед" та «внутрішньодобового ринку»; правилами роздрібного ринку; іншими нормативно-правовими актами.

Правила ринку, кодекс системи передачі та кодекс комерційного обліку розробляються та адмініструються оператором системи передачі та затверджуються Регулятором. Правила ринку "на добу наперед" та внутрішньодобового ринку розробляються і адмініструються оператором ринку та затверджуються Регулятором.

Окрім того, Правила ринку визначають порядок внесення змін до правил ринку, а Правила ринку "на добу наперед" та внутрішньодобового ринку

визначають порядок внесення змін до правил ринку "на добу наперед" та внутрішньодобового ринку.

Вдосконалення механізмів функціонування СОУ та її суб'єктів, які оформляються у вигляді Правил і затверджуються Регулятором ринку, обумовлює необхідність створення комплексу математичних і комп'ютерних моделей, що дозволяють вирішувати завдання розрахунку інформативних компонентів управління, аналізу та оцінки ступеня можливого впливу змін механізмів функціонування, що вносяться до Правил ринку, на їх величину.

До числа таких, можна віднести завдання визначення: оптових цін купівлі та продажу ЕЕ; розмірів платежів суб'єктам ринку - виробникам за відпущену ЕЕ, за робочу потужність, пуски та маневреність блоків електростанцій; розмірів оплати суб'єктами ринку системних послуг за оперативно-технологічне управління ОЕЕС, за передачу ЕЕ по магістральних лініях електропередач та інших послуг, пов'язаних з резервуванням активної потужності, регулюванням частоти, регулюванням міжсистемних перетоків ЕЕ - обмінної потужності енергосистем, резервуванням реактивної потужності, а також послуг з запобігання або ліквідації аварійних режимів.

Крім того, окремий і дуже важливий комплекс завдань моделювання процесів організаційного управління пов'язаний з реалізацією функцій аналізу динаміки та прогнозування ключових інформативних компонент, що характеризують стан функціонування ОПЕ. Таких як: обсяги відпустки ЕЕ; баланси відпуску та споживання ЕЕ; прогноз електроспоживання та активного електричного навантаження, граничної ціни системи, оптової ціни купівлі ЕЕ. Очевидно, що у КСОУ, які зараз знаходяться в експлуатації, неможливо проводити натурні експерименти. Тому, для реалізації функцій формування Правил нової моделі ринку та його сегментів необхідно побудувати нову комп'ютерну систему, яка забезпечить можливість формування нових та вдосконалення діючих механізмів функціонування СОУ енергоринком.

В сучасних умовах без математичних і комп'ютерних моделей, які створюються на їх основі та адекватно описують та імітують процеси

функціонування енергоринку, неможливо проводити дослідження обґрунтованості рішень, які приймаються з формування та вдосконалення механізмів функціонування СОУ енергоринком.

Першим етапом створення моделі СОУ енергоринком є етап її опису, на якому, згідно з [27, 78], необхідно визначити: склад її елементів; структуру - сукупність інформаційних, управляючих, технологічних зв'язків між елементами; множину припустимих дій елементів СОУ, що відображають інституціональні, технологічні та інші обмеження їх спільної діяльності; цільові функції елементів СОУ, що відображають їх інтереси і та переваги; стан інформованості - обсяг тієї інформації, якою володіють елементи ОС на момент прийняття рішень про функції, стратегії та послідовності її отримання.

1.3.2 Структура і склад елементів системи організаційного управління енергоринком

Розглянемо структуру і склад елементів діючої зараз СОУ енергоринком (рис.1.3).

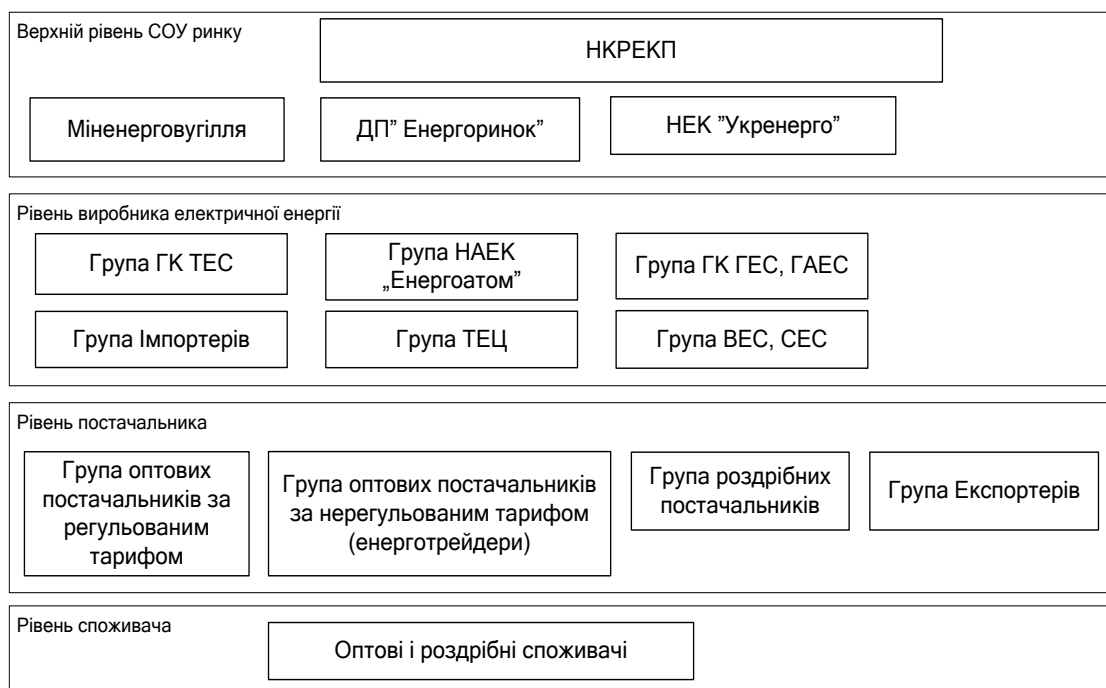


Рис. 1.3. Багаторівнева структура СОУ енергоринком

До складу верхнього рівня СОУ входять: НКРЕКП, що забезпечує формування та затвердження Правил ОРЕ та контролює їх дотримання усіма учасниками ринку, а також формування тарифів для певних груп виробників, постачальників і споживачів ЕЕ; Міненерговугілля, яке забезпечує підготовку і прийняття законодавчих та нормативних актів для створення необхідних умов функціонування і та розвитку енергоринку та контроль за діяльністю ОРЕ як власник пакетів акцій генеруючих і постачаючих енергію компаній; ДП «Енергоринок», яке реалізує функції АТС розрахунків платежів суб'єктів енергоринку та здійснює покупку всієї ЕЕ, що виробляється виробниками, та її продаж оптовим постачальникам і споживачам; НЕК «Укренерго» - СО ОРЕ, виконує функції оперативно-технологічного управління режимами ОЕЕС, передачу ЕЕ по магістральним лініям електропередач.

Три нижніх рівні СОУ утворюють суб'єкти ринку - виробники, постачальники та споживачі ЕЕ.

Технологічно взаємозв'язок суб'єктів ринку характеризується (див., наприклад, [79]): цілісністю електроенергетичної галузі як єдиної системи виробництва і споживання ЕЕ, пов'язаної електрично; безперервним і нерозривним характером виробництва та розподілу й споживання ЕЕ; територіальним характером споживання ЕЕ; продукція виробництва не накопичується, організація зберігання продукції неможлива; обмеженими можливостями з маневрування ресурсами виробництва продукції через миттєвий їх запуск або зупинку; обмеженими можливостями міжсистемних перетоків потужності в вузлах ОЕЕС; неминучими втратами при передачі ЕЕ; наявністю єдиних транспортних магістралей та об'єктивно необхідним режимом централізованого управління завантаженням всіх генеруючих об'єктів, пов'язаних паралельною роботою в ОЕЕС.

Слід також відзначити особливу роль ДП «Енергоринок» як АТС в структурі СОУ ОРЕ. Відповідно до Правил ринку на основі даних прогнозу споживання та даних заявок граничних цін вироблення ЕЕ блоками теплових станцій, АТС визначає граничну ціну системи та формує погодинно розподіл

навантаження між генеруючими блоками, враховуючи при цьому обсяги експорту-імпорту енергії, та повинен забезпечувати повне покриття навантаження, яке заявлено постачальниками. Тобто, саме АТС фактично замовляє необхідні обсяги виробництва ЕЕ, формуючи ТДГ, і, таким чином, закладає основні параметри для прийняття організаційно-технічних рішень всім суб'єктам ОРЕ, а також для формування та виконання планового диспетчерського графіка вироблення ЕЕ усіма генеруючими компаніями, станціями і блоками. І, що особливо важливо, визначає всі цінові показники енергоринку.

1.3.3 Інформаційна взаємодія суб'єктів ринку

Енергоринок також має систему інформаційного обміну даними між суб'єктами підприємницької діяльності, споживачами та регулюючими органами, що зумовлюють ту чи іншу логіку їх участі в процесах виробництва та споживання ЕЕ і, найголовніше, логіку ціноутворення (рис.1.3), яка відповідає структурі органів управління. Правилами ОРЕ визначені механізми функціонування системи інформаційної взаємодії для організації своєчасного, відповідно до прийнятого регламенту, комерційного обліку виробленої, переданої та спожитої ЕЕ. А також визначені: порядок розподілу навантаження між блоками генеруючих компаній; правила формування оптової погодинної ціни купівлі ЕЕ у генеруючих компаній; правила розрахунку погодинної оптової ціни продажу ЕЕ постачальникам; правила розрахунку платежів всім суб'єктам ОРЕ.

Правилами ОРЕ також визначена і сукупність керуючих інформаційних зв'язків. Основними вузлами інформаційної мережі, які формують потоки даних і для яких здійснюється підготовка та подання розрахункових, статистичних та аналітичних даних є: Міненерговугілля; НКРЕКП; ДП «Енергоринок»; НЕК «Укренерго»; виробники і постачальники ЕЕ; оператори зовнішніх перетоків ЕЕ - імпортери, експортери.

НКРЕКП затверджує і надає нормативні параметри, у вигляді розпорядчих документів для розрахунків.

ДП «Енергоринок» здійснює збір даних у вигляді макетів з подальшою їх первинною перевіркою, а саме: опис суб'єктів ОРЕ; опис параметрів, які відображають кількісні (фактичні) характеристики виробничих процесів суб'єктів ОРЕ (вироблення, відпуск, перетікання, споживання, отримання ЕЕ та ін.); опис даних вимірювань характеристик виробничих процесів суб'єктів ОРЕ для комерційного обліку ЕЕ; підготовку та подання вихідних даних для технологічного процесу розрахунків платежів.

Правилами ОРЕ задається також множина припустимих дій елементів СОУ, що відображають технологічні та інші обмеження їх спільної діяльності, а також обсяг тієї інформації, якою повинні володіти елементи СОУ на момент прийняття рішень.

Таким чином, можна стверджувати, що маємо відому чотирьохрівневу ієрархічну структуру СОУ енергоринком в процесі виробництва та споживання ЕЕ.

Важливим завданням функціонування СОУ енергоринком є досягнення необхідного стану рівня інформованості суб'єктів, а для СОУ - співвіднесення завдань, що вирішуються нею, і складнощів збору, попередньої обробки та актуалізації інформації, а саме проведення аналізу: складу та обсягу інформації, необхідної системі для розв'язання завдань; процедур збору інформації та їх ефективності; повноти, однорідності та достовірності даних в різних джерелах інформації; прийнятності інформації для використання в системі; вартості інформації; способів передачі та доступу до інформації.

Перелічені вище інформаційні ресурси можуть бути доповнені в разі необхідності іншими характеристиками, що відображають основні для регіону розташування види економічної діяльності та є головними в частині контролю їх стану та зміни. Для повного опису інфраструктури ринку необхідні також дані щодо: стану природних ресурсів; наявної сировини; специфічних потреб

регіонів; потреб сфери матеріального виробництва; потреб населення; фінансових і трудових ресурсів; сфери соціального забезпечення та ін.

Характеристика потреб інфраструктури енергоринку може бути отримана на основі її окремого аналізу та вимагає вироблення динамічних агрегованих описів ринку в цілому. Тобто, для опису та аналізу діяльності енергоринку необхідна інформація по всьому ринку в різних ступенях її агрегації або, навпаки, деталізації.

1.4 Висновки до розділу

1. Розглянуто сучасний стан досліджень загальної проблеми моделювання процесів організаційного управління у ОТС. Проведений аналіз публікацій показав, що досі актуальними залишаються питання розроблення методів організації та оптимізації процесів моделювання підготовки та використання моделюючих систем як носіїв моделей ОТС. Актуальною є науково-прикладна проблема розроблення засобів організації процесів моделювання, процесів підготовки й використання моделюючих систем, що забезпечують можливість підвищення продуктивності прийняття рішень з формування та вдосконалення механізмів функціонування складних багаторівневих СОУ.

2. Показано, що СОУ енергоринком, на прикладі якої розглянуто процеси функціонування та розвитку, представляє собою багаторівневу та багатоелементну територіально-розподілену систему, що складається з множини взаємозалежних за вертикальними та горизонтальними системоутворюючими зв'язками елементів і суб'єктів; динамічно розвивається з точки зору формування нових і вдосконалення діючих Правил взаємоузгодженого організаційного, оперативно-технологічного та інформаційного управління.

3. На підставі проведеного аналізу встановлено, що питання постановки та вирішення класу задач моделювання процесів прийняття рішень у напрямку вдосконалення механізмів функціонування та розвитку багаторівневих та багатоелементних складних СОУ на основі застосування комплексу взаємопов'язаних математичних і комп'ютерних імітаційних моделей процесів, в

том числі і слабо формалізованих, які побудовані з використанням нових уніфікованих засобів складання математичного теоретико-ігрового опису цих процесів, як сукупності формалізованих дій, і об'єктно-орієнтованого концептуального й інформаційного моделювання досліджуваних ОТС у науковій літературі відображення не знайшли.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИКО-ІГРОВИЙ ПІДХІД ДО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ЩОДО ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕХАНІЗМІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕНЕРГОРИНКУ

2.1 Передумови застосування теоретико-ігрового підходу

2.1.1 Теоретико-ігровий опис структури енергоринку

Розглянемо опис структури СОУ енергоринку (див. рис.1.3), що відображає коаліційний характер взаємодії його суб'єктів - гравців ринку [80]. У такому описі в якості головного гравця ринку природно прийняти орган, який регулює правила поведінки гравців на ринку, рівень цін і тарифів, правила закупівель і продажів, правила оплати за вироблену та спожиту ЕЕ за допомогою нормативних документів, погоджених з урядом. Така схема відносин має відображати зв'язок даного ринку з іншими ринками держави. Цього гравця енергоринку - Регулятора ринку, відповідно до національної структури СОУ, будемо далі ототожнювати з НКРЕКП. Поряд з ним в групу гравців ринку - верхнього рівня управління ринком будемо включати Міненерговугілля, ДП «Енергоринок» та НЕК «Укренерго». З огляду на ту обставину, що ці органи управління забезпечують реалізацію функцій підготовки та прийняття загальних для всіх учасників Правил ринку та виконання технологічних умов взаємозалежної роботи суб'єктів енергоринку.

Для реалізації цієї функції в структурі ДП «Енергоринок», в межах його повноважень в СОУ енергоринком, формується елемент СОУ - Рада ОРЕ, до складу якого обирається рівна кількість голосуючих представників компаній виробників і постачальників ЕЕ, двох найпотужніших коаліцій: 5 директорів від генеруючих компаній; 5 директорів компаній-постачальників. До складу Ради входять також 5 представників Міненерговугілля, НКРЕКП, НЕК «Укренерго», ДП «Енергоринок» та Аудитора ринку, які не голосують. Рада ринку є тим органом, на рівні якого відбувається підготовка та ініціалізація взаємоузгоджених змін до діючих Правил ОРЕ, розробка пропозицій щодо вдосконалення нормативно-правової бази договірних відносин суб'єктів ринку, механізмів його функціонування. В подальшому зміни, що пропонувануться, проходять затвердження Загальними зборами ринку і Регулятором ринку НКРЕКП.

Виробники. Наступними гравцями ринку є державні, змішані (частина акцій належить державі) або приватні компанії, що виробляють або імпортують ЕЕ в межі держави. Цю групу учасників ринку в подальшому будемо називати виробниками, незважаючи на те, що частина імпортерів може входити і в наступну групу гравців - оптові постачальники, які здійснюють оптовий продаж енергії. З огляду на те, що згідно з чинними Правилами ОРЕ реально тільки генеруючі компанії ТЕС безпосередньо беруть участь в конкурентному формуванні оптової ринкової ціни купівлі та продажу ЕЕ, їх можна віднести до однієї коаліції зі спільними інтересами та діями. Дві наступні коаліції з числа виробників ЕЕ утворюють Національна атомна енергогенеруюча компанія «Енергоатом» (НАЕК «Енергоатом») і компанії ГЕС, які продають ЕЕ на оптовому ринку за фіксованими, але різними договірними цінами. Четверту коаліцію утворюють компанії-імпортери. У п'яту коаліцію включимо компанії ТЕЦ. І в окрему, шосту коаліцію увійдуть компанії вітроелектростанції (ВЕС) і сонячні електростанції (СЕС) та інші, які зацікавлені в спеціальному режимі роботи на ОРЕ за «зеленим» тарифом.

Тут опущена група роздрібних виробників енергії, до яких можуть бути віднесені міні-електростанції та ТЕЦ невеликої потужності. В Україні такі виробники не підключені до ОЕЕС і не продають ЕЕ на ОРЕ.

Оптові постачальники. До наступної групи гравців будемо відносити оптові компанії, які постачають енергію великим споживачам і роздрібним постачальникам. Ці компанії також можуть входити в одну коаліцію, оскільки їх інтереси та дії багато в чому співпадають. Але серед них виділяють компанії, що працюють на ринку за регульованим і нерегульованим тарифом. Крім того, частина з них знаходиться в державній власності, інша приватизована. Тому і серед оптових постачальників будемо виділяти три коаліції. Четверту можуть утворити компанії-експортери.

Роздрібні постачальники. Велику групу гравців - роздрібних постачальників енергії об'єднаємо в окрему коаліцію, оскільки від ефективності роботи цих підприємств багато в чому залежить своєчасне надходження платежів за спожиту енергію. Хоча на даному етапі розвитку ринку їх інтереси, як правило, враховуються організаціями - оптовими постачальниками, яким вони підпорядковані.

Споживачі. Природно, в коаліцію з загальними інтересами можна включити споживачів ЕЕ. На сьогодні їх інтереси представляє НКРЕКП і, частково, Антимонопольний комітет, шляхом встановлення економічно обґрунтованих тарифів на ЕЕ. Як показує досвід багатьох європейських країн, де ринок ЕЕ в значній мірі лібералізований, інтереси цієї групи учасників ринку представляють різні громадські організації захисту прав споживачів, охорони навколишнього середовища та ін.

Наведений вище опис гравців ринку та їх коаліцій необхідно доповнити даними, що характеризують виробничу діяльність гравців: фізичні обсяги виробництва енергії та їх динаміка; фізичні обсяги споживання по групах і класах споживачів; загальна порівняльна характеристика сегментів ринку, їх розміри та роль в життєдіяльності ринку, інших секторів ринку та країни в цілому; характеристика оптових виробників і постачальників - обсяги

виробництва та пропозиції, потенціал виробництва, оцінки ресурсів учасників, в тому числі, і на майбутнє.

2.1.2 Стратегії та інтереси гравців ринку

Опис енергоринку, що наведено вище, характеризує швидше його «статичку», а не діяльність учасників. Перейдемо до опису динаміки ринку.

Енергоринки за своєю структурою утворюють високо динамічну систему, що має ієрархічну структуру, яка допускає об'єднання функцій учасників виділених вище груп гравців в коаліції, перш за все, виробників і оптових постачальників.

Кожен з гравців ринку, виходячи зі своїх інтересів або цілей, які він переслідує, може вплинути на систему в цілому шляхом реалізації наявних у нього стратегій поведінки.

Розглянемо можливі стратегії поведінки гравців ринку та їх інтереси для виділених вище їх груп.

Споживачі. Споживачі природно зацікавлені в стабільному отриманні необхідних їм обсягів ЕЕ при мінімальних цінах на неї. До інтересів споживача також будемо відносити прагнення до економії споживання енергії, оскільки вона становить одну з основних статей витрат при будь-якому вигляді матеріального виробництва та впливає на собівартість продукції. Остання є одним з найголовніших факторів у конкурентній боротьбі.

Кожен з дрібних споживачів, що складають основу будь-якого енергоринку, окремо не може вплинути на роздрібних і, тим більше, оптових постачальників і НКРЕКП. Єдиний спосіб - утворення коаліцій, які протидіють стратегіям цих учасників ринку. Ця протидія може виражатися неплатежами за отриману ЕЕ та іншими способами громадянської непокори. Ці конфлікти вирішуються постачальниками за допомогою НКРЕКП, яка регламентує можливі стратегії у вигляді санкцій, в тому числі, видаючи нормативні акти, щодо встановлення тарифів для споживачів. Причому, вони далеко не завжди задовольняють їхні інтереси.

Єдиний спосіб боротьби споживачів з високими цінами, запропонованими постачальниками, - організація більш вигідних індивідуальних систем енергопостачання, в тому числі, шляхом створення асоціацій індивідуальних виробників енергії. Такі асоціації можуть припускати вихід з єдиної енергосистеми. Це не забороняється, але і не підтримується НКРЕКУ, яка має достатні можливості для запобігання таким діям.

Роздрібні постачальники. Їх основний інтерес - підвищення доходів, що одержуються від продажів ЕЕ як за рахунок обсягів проданої енергії, так і за рахунок її ціни. Для них характерна велика залежність від неплатежів споживачів. Вона обґрунтовується меншим обсягом оборотних коштів і необхідністю поставки енергії в авансовому порядку. Це при великих обсягах неплатежів вимагає залучення кредитних ресурсів для забезпечення поточної господарської діяльності.

Очевидна суперечливість інтересів споживачів і роздрібних постачальників, що підвищують ціни на енергію, як в залежності, так і незалежно від оптових постачальників і виробників, з метою збільшення (збереження) своїх доходів або для забезпечення процесу господарювання. Вирішення цієї суперечності або регулювання ситуації на сегменті роздрібних постачальників і споживачів може здійснюватися шляхом застосування штрафних санкцій (пені). Припинення поставок ЕЕ також не завжди припустиме. Використання санкцій може призводити до тривалих судових розглядів, відволікаючим від безпосередньої діяльності споживачів і постачальників.

Виділимо інші інтереси роздрібних постачальників:

- отримання та максимізація доходів від обсягів поставок ЕЕ (чим більше, тим вигідніше), підвищення цін, роздрібних надбавок на ЕЕ, включаючи комісійні або відрахування у вигляді дотацій в оптових цінах;

- гарантоване постачання запланованих обсягів ЕЕ (квот) оптовими постачальниками;

- гарантований сплачений її збут, наявність достатніх обсягів оборотних та інших коштів для забезпечення поточної господарської діяльності та розвитку;

- зниження ризиків несплати поставок ЕЕ;
- мінімізація конкурентної боротьби за поставки неминуче призводить до зниження цін або захоплення територій;
- страхування поставок та їх обсягів, включаючи кредитування;
- зниження власних витрат на поставку;
- безаварійність роботи системи поставок в цілому.

Оптові постачальники. Їх інтереси в цілому збігаються з інтересами роздрібних постачальників. Основна відмінність ситуації «оптові постачальники - споживачі» від ситуації з «роздрібні постачальники - роздрібні споживачі» полягає в обсягах ЕЕ, грошових коштів, відповідних їх стратегіям поведінки. Наприклад, обсяги неплатежів на цьому рівні характеризуються сумою за всіма роздрібними постачальниками, що пропонують ЕЕ деякого оптового постачальника. Ці та інші ситуації призводять до протиріччя між оптовими та роздрібними постачальниками. Вони виражаються необхідністю контролю поведінки роздрібною рівня зі сторони оптового постачальника, регламентації обсягів поставок, їх кредитування. В той же час це, це може привести й до ліквідації роздрібною постачальника. Необхідність існування на ринку роздрібних постачальників обґрунтовується як обсягами поставок, так і тим, що роздрібні постачальники виконують всю роботу зі споживачами - контроль оплати, перш за все.

Основне протиріччя між оптовими постачальниками і споживачами полягає в вартості та обсягах ЕЕ, яка надається. Споживачі не мають юридичних підстав для протидії оптовим постачальникам, оскільки договірні зобов'язання перебувають на нижньому рівні. Іншими словами, оптовий постачальник є монополістом в регіоні, контрольованому через його роздрібних агентів.

Виробники. Основний інтерес цієї групи учасників ринку - виробництво та продаж ЕЕ, збігається з інтересами постачальників, які також зацікавлені в збільшенні її виробництва, що забезпечує, при наявності збуту, додаткові доходи. Реалізація інтересу до максимізації вироблення, подальшого продажу ЕЕ та отримання відповідних доходів, контролюється НКРЕКУ.

Описана раніше суперечлива ситуація між інтересами системи «споживачі - поставщики», що характеризується, насамперед, цінами та витратами-доходами від виробництва ЕЕ, може бути доповнена наступними факторами:

- виробництво ЕЕ завдає шкоди навколишньому середовищу, в якому знаходяться споживачі;

- підвищення обсягів виробництва ЕЕ, в тому числі, її експорт, завдають шкоду суспільству та іншим видам матеріального виробництва, оскільки виробництво надлишків ЕЕ призводить до додаткових збитків навколишнього середовища, до створення додаткових очисних установок, тобто до підвищення непродуктивних витрат суспільства, зусилля якого можуть бути спрямовані на більш вигідні види виробництва;

- необґрунтоване підвищення цін на ЕЕ реалізує фінансові інтереси виробників і постачальників, але завдає шкоди економіці всієї держави або регіону, де виробляється та реалізується ЕЕ за такими цінами.

Підсумовуючи викладене, можна зробити висновок про те, що СОУ ОРЕ повинна мати повноцінну, можливо, загальну модель опису, аналізу та прогнозування процесів на внутрішньому і зовнішньому ринках, що дозволить створити певну стратегію з енергопостачання країни на оптимальному рівні з урахуванням стратегій та інтересів всіх гравців ринку.

Така модель повинна враховувати детерміновані та недетерміновані фактори розвитку ринку, а також, частково порушені вище, суперечливі та, навіть, конфліктні аспекти його вдосконалення й розвитку. Для українського енергоринку, враховуючи стадію його формування та відповідну цьому нестабільність, більш притаманні саме недетерміновані, суперечливі (конфліктні) фактори, ніж детермінована поведінка історично сформованих ринків. Ці обставини підкреслюють необхідність використання для моделювання процесів організаційного управління енергоринком теоретико-ігрових засобів, незважаючи на їх відому складність та неоднозначність.

На сьогодні, як показує аналіз літературних джерел, широке застосування для моделювання та аналізу досить широкого спектра галузевих ринків знаходять відомі і добре розроблені теоретико-ігрові моделі: Курно А. - економічна модель ринкової конкуренції, призначеної для ринку олігополії, на якому присутнє фіксоване число $N > 1$ фірм, які виробляють однорідний товар, при цьому конкурують, одночасно самостійно вибираючи обсяги вироблених товарів, максимізують свій прибуток і діють без кооперації; Бертрана Ж. - економічна модель конкурентного ринку, на якому присутні, щонайменше, дві фірми, що виробляють однорідний продукт. Фірми ведуть себе не кооперативно, при цьому, встановлюючи ціну на свою продукцію відповідно до граничних витрат, визначають її незалежно і одночасно; модель Г. фон Штакельберга, де поведінка фірм описується динамічною грою з повною інформацією, а головною особливістю гри є наявність лідируючої фірми, яка першою встановлює обсяг випуску продукції, а решта фірм орієнтуються в своїх розрахунках на неї.

Грунтуючись на викладеному описі ринку ЕЕ України, можна зробити висновок про те, що зазначені засоби теоретико-ігрового моделювання не підходять для моделювання, дослідження та аналізу функціонування ринку ЕЕ України. Відмінною рисою його функціонування є неможливість виробників продукції самостійно визначати обсяги виробництва та встановлювати ціни на свою продукцію. Це пов'язано з тим, що обсяги виробництва та споживання задаються виробникам відповідно до планового диспетчерського графіка розподілу активного навантаження між блоками електростанцій з урахуванням забезпечення стійкості режимів ОЕЕС, і жорстко контролюються (Правилами ринку передбачені штрафи за відхилення від графіка з вини виробника ЕЕ) відповідними службами оперативно-диспетчерського управління.

Питання ціноутворення на ринку регулюються Правилами ОРЕ і контролюються НКРЕКП. А зазначені Правила є нічим іншим, ніж результатом компромісних домовленостей всіх гравців ринку, та максимально можливо враховують їх суперечливі інтереси, стратегії ситуацію на енергоринку, що складається в певний проміжок часу і на суміжних ринках енергоресурсів.

2.2 Підходи та задачі побудови теоретико-ігрової моделі енергоринку

Опису та моделювання ринкових СОУ, що забезпечують функціонування і життєдіяльність практично будь-якого ринку, присвячено значну кількість робіт. Коротко зупинимося на огляді та аналізі методів моделювання СОУ, які використовуються в деяких з них, і на цій основі сформулюємо підходи та задачі побудови теоретико-ігрової моделі енергоринку [81].

Серед сучасних методів моделювання слід виділити детерміноване, імітаційне, ймовірно-статистичне моделювання економіки, які ґрунтуються на роботах Л.В. Канторовича, Дж. Форрестера, В.В. Леонтьєва, та багатьох інших авторів. В останні десятиліття все більш широко застосовуються ймовірно-статистичні методи. Їх основний прикладний результат - прогнозування ринків і планування діяльності підприємств. В енергетиці, особливо електроенергетиці, через її специфічні технологічні та виробничо-комерційні процеси виробництва та розподілу ЕЕ подібні дослідження не набули такого широкого поширення.

Аналіз і прогнозування ринків, їх окремих об'єктів і процесів об'єднується зараз словом «маркетинг» [82]. Більшість розділів економічної теорії маркетингу може бути описано на основі застосування математичної теорії ігор, перш за все, кооперативної теорії, яка активно розвивається в останні десятиліття. Сьогодні в дослідженнях з теорії ігор порушені практично всі аспекти моделювання та аналізу ринків, економіки та ін. Серед авторів слід виділити Дж. Неша, Дж. Фон Неймана, О. Моргенштерна, В. Парето, Л. Шеплі та їх послідовників. Результати останніх трьох авторів з формулювання та доведення існування рівноваги в різноманітних іграх багатьох осіб та їх застосуваннях якраз і склали основу для кооперативної теорії. Серед радянських авторів слід виділити роботи Воробйова М.М. [83, 84] та Гермейера Ю.Б. [85].

У роботах [86-88] розглядаються загальні багаторівневі моделі еколого-економічних систем, побудовані на базі кооперативних коаліційних ігор, що

дозволяють адекватно описувати різномірних учасників ринку, його структуру, припустимі стратегії, що включають детерміновану і (в межах роботи [87]) недетерміновану поведінку. Але в цих та інших роботах не розглядається досить повна загальна модель енергоринку, як однієї з підсистем еколого-економічної системи, що враховує взаємодію його внутрішніх і зовнішніх учасників.

У той же час, розроблені, не завжди строго математичні моделі та процедури, які, ґрунтуючись на практиці енергетики, успішно застосовуються в загальних і, особливо, в приватних задачах управління. Зупинимося на деяких таких методах докладніше з метою використання їх підходів і результатів для побудови загальної теоретико-ігрової моделі енергоринку.

У роботах [48, 49] досліджуються питання формування структур управління ринком ЕЕ. Виділяються відомі «змістовні» моделі управління:

- монополія на всіх рівнях;
- єдиний покупець;
- конкуренція на оптовому ринку;
- конкуренція на роздрібному ринку.

Відзначається успішне застосування двох останніх моделей за кордоном, обговорюються питання управління в процесі узгодження обсягів виробництва і поставок ЕЕ, зокрема, координації діяльності енергоринку. Узгодженню підлягають наступні дії його учасників:

- оптимізація капіталовкладень;
- планування розвитку та ремонту генеруючих потужностей і транспортних систем;
- оптимізація функціонування електроенергетичних об'єктів;
- забезпечення надійності роботи енергосистем і подальшого енергопостачання споживачів.

У роботах [48, 49] також стверджується, що для оптимального розвитку ринку необхідно досягнення домовленості між новими власниками енергетичних об'єктів, формулювання ними спільної мети, критеріїв надійності, правил

спільної роботи, в тому числі, обміну даними. Також відзначається і складність такого процесу.

Слід зауважити, що такий процес є не тільки складним, але таким, що важко реалізується, що обґрунтовується особливою гостротою конкуренції на етапі формування ринку, розподілу його сегментів, що включають різні стратегії економічної боротьби - варіанти протекціонізму, лобіювання, політичні чинники та ін.

В роботі [48] розглянуто більш детальний аналіз цих «змістовних» моделей, схем платежів між учасниками ринку на основі досвіду різних країн світу. У той же час, слабо відображені принципи взаємодії та підходи до координації діяльності різних рівнів ієрархії учасників енергоринку.

Використовуючи відому термінологію, назвемо учасників енергоринку - гравцями, способи їх поведінки - стратегіями, різні об'єднання гравців - коаліціями. Множину всіляких коаліцій, їх стратегій та відповідних ним функцій (виграшу), що вказують виграш коаліцій в кожній з ситуацій - наборів коаліційних стратегій, утворюють коаліційну гру [83-85, 89].

Оптимальна для всіх коаліцій ситуація в цій грі досягається якраз шляхом переговорів між ними, нехай навіть віртуальних. На рівні моделі аналізується множина припустимих коаліційних стратегій і знаходиться відповідна оптимальна ситуація.

Визначивши учасників цієї коаліційної гри залежними від стратегій гравця більш високого або керівного рівня, отримаємо ієрархічну гру [86], яка буде показувати, наприклад, взаємодію одного оптового та декількох об'єднаних спільними інтересами роздрібних постачальників ЕЕ. Функції виграшу цієї гри можуть визначати доходи кожного з її учасників. За аналогією може бути сформована багаторівнева гра, яка описує інтереси виробників ЕЕ та керівництва енергоринком. Енергоринку, однак, притаманні більш складні взаємозв'язки між його керівництвом, виробниками та постачальниками, які в цій термінології можуть бути названі коаліціями гравців одного і різних рівнів.

Тим самим, необхідно виходити з того, що опис реального енергоринку не може бути представлено засобами простої кооперативної ієрархічної гри. Більш адекватний опис може бути побудовано в термінах багаторівневої коаліційної гри, близькою до [87]. На основі цієї гри в подальшому й буде побудована загальна модель енергоринку та інших взаємодіючих з ним ринків.

З іншої сторони, і в цій, і в більш простій кооперативній ієрархічній грі одним з складних завдань є формування функцій виграшу, які повинні відображати не тільки схеми платежів між гравцями та коаліціями різних рівнів, їх доходи, а й оцінки реалізації їх інших інтересів, що лежать в основі формування стратегій. Не менш складною є змістовна інтерпретація отриманих результатів після розіграшу гри або оптимізації побудованої на її основі моделі. Іншими словами, в термінах функцій виграшу, стратегій гравців і коаліцій повинні бути проінтерпретовані передумови, умови та схеми формування коаліцій та ситуацій або Правила гри. Природно, сюди повинні бути включені виробничо-комерційні та інші процеси енергоринку.

Продовжимо огляд способів опису таких процесів для подальшого змістовного представлення функцій виграшу теоретико-ігрової моделі енергоринку.

У роботах [50, 90-92], що примикають до [48, 49], розглядаються близькі проблеми в російських умовах, а саме, переходу до конкурентного ринку та формування раціональної структури енергетичних об'єктів і систем. Для аналізу структури використовується «балансова» модель СОЮЗ, яка застосовується, перш за все, для сибірських енергосистем. У роботах вказується на необхідність врахування впливу енергетики та енергетичного ринку на економіку та зворотного впливу. Опис такої взаємодії, що реалізується на основі балансової моделі, погано враховує інтереси окремих учасників ринку, оскільки, так чи інакше, призводить до агрегованих характеристик, які відображають попит, споживання, плани поставок та ін. Крім цих характеристик, в конкурентному ринку повинні досліджуватися й інші, здебільшого суперечливі вихідні інтереси його учасників і відповідні ним стратегії. Для ілюстрації достатньо згадати

протиріччя уряду Росії з найбільшими енергетичними компаніями, боротьбу цих компаній за ринки збуту, які мають відображення та самостійну природу і в Україні. Іншими словами, баланс системи енергоринку повинен виражатися не тільки в балансі фінансових, а й інших інтересів її учасників, що, в сукупності, призводять до необхідності пошуку оптимальних ситуацій ігрового характеру.

В роботі [93] досліджується задача моделювання економіки на основі вихідного припущення про збереження станів рівноваги системи в процесі її динаміки. Використовується багатопродуктова динамічна модель міжгалузевого балансу економіки, яка розвивається на базі рівноважних або раціональних впливів на неї. Досвід подій, що відбулися в Росії і, особливо, в Україні, говорить про те, що при всій привабливості та доцільності такого розвитку їх економіки, реалії диктують інші умови - наявність великої кількості хаотичних, стрибкоподібних процесів в середовищі суб'єктів управління та в СОУ.

У значній кількості публікацій і в Концепції розвитку електроенергетики в Україні [65], йдеться про необхідність структурних змін в енергетиці, які не можуть відбутися шляхом рівноважних впливів, тим більше, описуватися безперервними змінами, які використовуються в диференціальній моделі [93]. Одночасно підкреслюється, що при моделюванні будь-якого виділеного ринку необхідно враховувати різні види виробництв і інші фактори, що на нього впливають. Іншими словами, модель одного з ринків необхідно розглядати як підмодель більш загальної моделі, що включає всю сукупність ринків регіону або країни. Такі підмоделі, які в нашому випадку є «зовнішніми» до енергетичного ринку, можуть задаватися й спрощеними інтегральними характеристиками.

В роботі [94] розглядається комплекс завдань моделювання оптового конкурентного ринку ЕЕ. Модель ґрунтується на системі розподілених аукціонів продажу-купівлі ЕЕ. Наведено моделі та процедури формування обсягів виробництва, цін на основі заявок споживачів, як на поточному перехідному, так і на майбутньому конкурентному ринку. Слід зауважити, що в Україні зараз ринок ЕЕ, в тій його частині, яка стосується ціноутворення, залишається фактично монопольним. Процеси виробництва, продажу та купівлі ЕЕ,

утворення цін і тарифів на ЕЕ регулюються й контролюються державними органами організаційного та оперативно-технологічного управління. Але наявна схема управління не усуває суперечливі та конфліктні ситуації, що вимагають знаходження оптимальних рішень. Модель конкурентного ринку ЕЕ, зокрема, і модель українського ринку ЕЕ, повинна відображати не тільки характеристики і вплив інших ринків, а й інтереси населення, стан навколишнього середовища, яке може бути віднесено до інтересів регіонів, що виробляють і споживають ЕЕ, інтереси й цілі держави [94]. Інтереси держави в цій схемі – узгодження, регулювання та координація обсягів виробництва ЕЕ та інтересів всієї іншої його інфраструктури та знаходження оптимальних стратегій розвитку.

Найбільш повно теоретико-ігрові методи моделювання саме енергетичного ринку представлені в роботах [55-57, 95, 96] на прикладі одного з завдань формування стійкого конкурентного ринку, яке розглядалося й в [93]. У роботах [95, 96] рівновага на ринку визначається як рівновага за Нешем або за Парето. Робиться досить спірний висновок, що «рівновага Неша є індивідуально-оптимальною та стійкою, а рівновага за Парето дає більший загальносистемний ефект, але може бути не оптимальною для кожного учасника окремо і тому не є стійкою».

Згідно з визначенням рівноваги Неша, кожен з гравців в рівноважній ситуації отримує мінімаксний або гарантований виграш, що є не тільки індивідуальною, а й загальною рівновагою, тому що залишає всю систему в стані рівноваги. Рівновага за Парето, в разі, коли стратегії гравців неоднорідні за ступенем впливу та суттєво відрізняються за своєю «потужністю», можуть і не призводити до більшого загальносистемного ефекту, а, скоріше, порушувати рівновагу системи.

Крім перелічених вище робіт відзначимо й ряд робіт, присвячених як загальним питанням побудови теоретико-ігрових моделей зарубіжних енергетичних ринків, так і моделюванню функціонування окремих його підсистем [97-102]. Найбільш активний розвиток отримали роботи зі створення теоретико-ігрових моделей аукціонного та форвардного ринків ЕЕ [103-108].

Більш детальний огляд робіт з застосування теоретико-ігрових засобів моделювання систем організаційного управління різними галузевими ринками на основі кооперативної теорії ігор наведено в роботах [109, 110].

Перейдемо до формулювання основних задач моделювання і аналізу енергоринку на основі застосування теоретико-ігрових засобів [81].

1. Побудова загальної концептуальної або дескриптивної моделі ринку, що відображає характеристику різноманітних учасників ринку або ж гравців його теоретико-ігрової моделі - види учасників, їх важливість, інтереси або цілі поведінки на ринку, переваги або функції виграшу для кожного з учасників ринку, якими оцінюються результати гри. На основі різних об'єднань окремих гравців в групи утворюються коаліції учасників ринку за їх інтересами та стратегіями. Стратегії реалізують ті чи інші інтереси будь-якого учасника ринку. Різниця цих інтересів і стратегій передбачає об'єднання гравців в різні коаліції інтересів і дії, що мають певну множину загальних коаліційних стратегій. Природним припущенням, що включається в утворену теоретико-ігрову модель, є входження одного гравця одночасно в різні коаліції. Це припущення не властиво для кооперативних ігор [89], але розглядається в коаліційних стратегічних іграх [83].

2. Виділення сегментів енергоринку та їх рівнів, інших ринків і систем, що знаходяться у взаємодії з ним (перш за все, населення, виробництво і обслуговування, навколишнє середовище) та формування загальної багаторівневої моделі виробництва та споживання ЕЕ в державі. Це завдання передбачає опис та формалізацію інтересів і стратегій окремих гравців, коаліцій, визначення загальної схеми формалізації стратегій, а також ситуацій багаторівневої гри, які утворюються в результаті їх виконання. Наступним етапом є визначення функцій виграшу коаліцій та гравців, якими оцінюється результати розвитку організаційної системи в цілому.

Рішення перелічених задач дозволить сформулювати загальну теоретико-ігрову дескриптивну модель СОУ енергоринком та інших організаційних систем країни, що взаємодіють з ним.

2.3 Побудова загальної багаторівневої теоретико-ігрової моделі енергоринку

Серед моделей організаційного управління електроенергетичними ринками, що використовуються зараз, виділяють чотири основні [48, 49, 60]. У моделі «Монополія на всіх рівнях» виробники ЕЕ, також як і постачальники не конкурують між собою, оскільки одна компанія має монополію на виробництво та доставку ЕЕ споживачам по лініях електропередач. У моделі «Єдиний покупець і продавець» є один покупець всієї виробленої ЕЕ, який планує виробництво заявленої постачальниками ЕЕ, вибирає виробників з ряду генеруючих компаній та створює конкуренцію між ними. У моделі «Конкуренція на оптовому ринку» розподільні компанії-постачальники купують ЕЕ безпосередньо у виробників і доставляють її через передавальну мережу кінцевим споживачам. У цій моделі компанії-постачальники стають монополістами на територіях, де розташовані їхні розподільні мережі. Однак залишається відкритим доступ до передавальних мереж виробників і магістральних високовольтних ліній (ВВЛ) електропередач. У моделі «Конкуренція на роздрібному ринку» всі споживачі мають право вибору свого постачальника ЕЕ [48].

СОУ електроенергетичним ринком України реалізує модель «Єдиний покупець і продавець» з цілою низкою відмінних рис, які забезпечують, хоча і не в повній мірі, конкурентні відносини в процесі купівлі та продажу ЕЕ між учасниками ринку як серед виробників, так і серед постачальників ЕЕ.

Грунтуючись на наведеній в [80] інформації, можна зробити висновок про те, що українському ринку ЕЕ, з огляду на його стадію формування та розвитку відповідає невизначеність при виборі найбільш раціональних цілеспрямованих оптимальних рішень з управління ринком, більш притаманні недетерміновані фактори, які визначально впливають на його функціонування, ніж детерміновані. Ці обставини підкреслюють необхідність розробки математичних моделей ринку

на основі використання ймовірно-статистичних, а також теоретико-ігрових засобів моделювання.

Створення теоретико-ігрових засобів моделювання взаємодії елементів і суб'єктів СОУ енергоринком на різних рівнях і сегментах, передбачає реалізацію наступних основних задач: побудова теоретико-ігрової моделі; аналіз моделі - дослідження поведінки учасників при різних механізмах управління; дослідження стійкості рішення - формування оптимальних рішень (правил раціональної поведінки гравців), вивчення їх залежності від параметрів моделі; дослідження адекватності моделі реальної СОУ; імітаційне моделювання та аналіз ефективності практичного використання моделі [81, 109].

Виходячи з загальноприйнятої класифікації теоретико-ігрових моделей, модель що розглядається можна віднести до класу кінцевих кооперативних ігор з нульовою сумою [111, 112].

2.3.1 Розробка ігрових засобів опису енергоринку та побудова однорівневої базової моделі

Для побудови базової теоретико-ігрової моделі ринку виділимо серед описаних в п. 1.3.2, такі основні рівні взаємодії гравців ринку в процесі виробництва та розподілу ЕЕ (рис.1.3), які назвемо: рівень споживачів; рівень постачальників; рівень виробників; верхній рівень управління організаційною системою.

Незважаючи на те, що в [80] розглянуто можливі коаліції з гравців одного рівня, будемо далі припускати, що в коаліції зі спільними інтересами можуть входити гравці з різних рівнів - споживачів, виробників і постачальників енергії, державних органів. Це пов'язано з тим, що серед гравців ринку є енергетичні компанії, наприклад, «Київенерго», які є одночасно виробником, оптовим і роздрібним постачальником ЕЕ. Присутні й компанії, які є оптовими споживачами, роздрібними й оптовими постачальниками. Таке припущення частково суперечить вихідній розглянутій ієрархічній структурі енергоринку, що

відображає підпорядкованість гравців і коаліцій нижнього рівня гравцям більш високих рівнів. Наприклад, роздрібні постачальники ЕЕ при реалізації своїх інтересів з підвищення вартості поставок ЕЕ, зобов'язані керуватися державними обмеженнями, вартістю поставки енергії оптовими постачальниками. Виходячи з цього, при побудові моделі, будемо виділяти рівні (підпорядкованості) гравців і коаліцій та розглядати їх інтереси і стратегії в межах одного заданого рівня. Загальні для більш високого та низького рівня інтереси гравців будемо розглядати, як інтереси гравця верхнього рівня, що представляє інтереси гравців нижчого рівня. Така схема, властива сучасному енергетичному ринку, дозволяє оцінити й більш серйозний вплив гравців верхнього рівня на реалізацію інтересів гравців нижнього рівня.

Для побудови базової однорівневої моделі енергоринку застосуємо підхід і теоретико-ігрові засоби формального математичного опису взаємодії гравців ринку, наведені в роботі [113].

Нехай I множина індивідуальних учасників - гравців енергоринку, $I = \{i\}$, $i = 1, 2, \dots, I$. Серед загальних інтересів гравців, що утворюють коаліційні інтереси, можуть бути виділені, наприклад, такі: поставка необхідної кількості ЕЕ; регулярність поставок незалежно від умов виробництва та оптових поставок ЕЕ; зниження вартості ЕЕ (для споживачів); підвищення вартості ЕЕ (для виробників і постачальників).

Множину інтересів гравців будемо позначати через U_i . Множину інтересів всіх гравців природно є об'єднанням множин інтересів індивідуальних гравців $U = \cup U_i$, $U_i = \{u_i^r\}$, u_i^k - елементарні інтереси гравця i в ході конфлікту k , $k = 1, 2, \dots, K_i$, $K_i \in K = \{K_i\}$, $i \in I$. Сукупності гравців зі спільними інтересами будемо називати коаліціями інтересів і позначати через CU . Кількість коаліцій інтересів позначимо через L . Множину загальних елементарних інтересів m коаліції l позначимо через CU_l . $CU_l = \{cu_l^m\}$, $m = 1, 2, \dots, M_l$, $M_l \in M = \{M_l\}$, $l = 1, 2, \dots, L$.

Стратегії кожного з гравців спрямовані на реалізацію його інтересів. Позначимо через S_i - множину чистих стратегій гравця $i \in I$. Тоді $S = \cup S_i$ - множина стратегій гравців ринку, а $S_i = \{s_i^j\}$, s_i^j - чисті стратегії гравця i , $j=1,2,\dots,J_i$, J_i - кількість стратегій гравця, i , $J_i \in J = \{J_i\}$.

За аналогією з коаліціями інтересів, будемо виділяти коаліції дій - сукупності гравців, що мають спільні стратегії та діють спільно в конфліктній ситуації. Будемо позначати їх множину через CA , а їх кількість - N . Тоді $CA = \cup CA_n$, $CA_n = \{ca_n^p\}$, ca_n^p - елементарна дія p коаліції n в ході конфлікту, $p = 1,2,\dots,P_n$, P_n - кількість елементарних дій коаліції n , $P_n \in P = \{P_n\}$, $n = 1,2,\dots,N$, $N = \{n\}$.

В результаті виконання гравцями своїх стратегій утворюються конфліктні ситуації (обстановки) - результат реалізації коаліційних дій гравців, які будемо позначати через st_r , а множину ситуацій - через $ST = \{st_r\}$, $r=1,2,\dots,R$. Як і в [83,84], розмір одержуваного доходу-виграшу гравця i будемо оцінювати за допомогою функцій виграшу, заданих на множині ситуацій ST , який позначимо через $H_i(st_r)$, а для коаліції гравців n - $H_{ni}(st_r)$, $n=1,2,\dots,N$. Виграш гравця в межах однієї коаліції дорівнює значенню функції виграшу коаліції, яке розподіляються між ними на основі попередніх угод, прийнятих цією коаліцією.

Беручи умову суттєвості гри [83], що визначає доцільність створення коаліції в ситуації st_r , покладемо, що $H_{ni}(st_r) \geq \sum_i H_i(st_r)$, $n \in N$. Нерівність вказує на те, що виграш коаліції в загальному випадку є більшим за суму індивідуальних виграшів гравців, що входять до коаліції.

В результаті маємо сукупність множин гравців, їх інтересів, стратегій, а також множин коаліцій інтересів, стратегій в конфліктних ситуаціях.

$$\tilde{A} = \langle I, U, CU, S, CA, ST, \{H_i\}, \{H_{ni}\}, I = \{i\}, N = \{n\} \rangle \quad (2.1)$$

яку, відповідно до [83], будемо називати коаліційною (стратегічною) грою.

Слідуючи [87, 88], будемо розглядати стратегії гравців як вектори елементарних дій (передстратегій, кроків стратегій) $PS = \{ ps_i \}$, $i \in I$, відповідаючих реалізації їх різних інтересів, перш за все, в різних коаліціях.

Також введемо відрізок часу $[t_0, T]$, на якому гравці виконують свої стратегії, отримують виграші, та оцінюють результати гри. Для цієї оцінки можна ввести та порівняти логічні функції оцінки реалізації інтересів гравців, LF_i , $i \in I$, які утворюються, наприклад, як суми предикатів, що вказують на реалізацію кожного з інтересів гравців.

Для виконання своїх стратегій гравці потребують певний капітал або інші матеріальні та трудові ресурси, які позначаються далі через $Res = \{ Res_i \}$, $i \in I$. В результаті з (2.1) отримуємо розширену сукупність множин, названу в [87] коаліційною динамічною грою в загальній формі:

$$\tilde{A}(t) = \langle I(t), U(t), CU(t), PS(t), S(t), CA(t), ST(t), Res(t) \quad (2.2) \\ \{ H_i(t) \}, \{ H_{ni}(t) \}, \{ LF_i(t) \}, I = \{ i \}, N = \{ n \}, t \in [t_0, T] \rangle$$

Ця гра припускає зміну множин гравців, інтересів та дій, інших утворених на їх основі елементів гри в дискретні моменти часу розбиття відрізка часу, $t_k \in [t_0, T]$, $k = 1, 2, \dots, K_i$, $K_i \in K = \{ K_i \}$, $i \in I$.

Результатом проведеної побудови є однорівнева дескриптивна теоретико-ігрова модель, що описує однотипних учасників ринку, які відносяться до того самого рівня ієрархії енергоринку чи інших систем, що впливають на енергоринок. Наприклад, одному рівню такої моделі відповідають всі кінцеві споживачі ЕЕ, її роздрібні продавці. Гру (2.2) будемо називати однорівневою моделлю ринку, маючи на увазі виділені вище рівні виробників, постачальників, споживачів оптового та роздрібною ринку.

2.3.2 Модель рівня споживачів

Розглянемо нижній рівень моделі ринку - роздрібних споживачів або гравців рівня 1. В якості елементарних індивідуальних інтересів гравців будемо брати отримання необхідного обсягу ЕЕ та задоволення тарифами. Для реалізації цих інтересів гравці використовують стратегії s_i^j , до яких віднесемо використання або невикористання ЕЕ, обсяг її споживання, її оплату, реалізовані в певні моменти часу. Наприклад, різними затримками оплати аж до повної відмови від оплати відповідно до необхідних термінів, і відмови від самої ЕЕ або її поточного постачальника.

На цьому рівні можна виділити два підрівні - роздрібних та оптових споживачів. Конфлікт в грі характеризується обмеженим обсягом ЕЕ та можливістю її отримання одними гравцями за рахунок інших гравців.

З огляду на досить низьку можливість індивідуальних роздрібних споживачів в реалізації своїх інтересів і близькість їх поведінки, не будемо виділяти для них коаліції інтересів і дій, а розглядати агрегованих гравців - відповідних груп споживачів з сумарним обсягом споживання та оплати ЕЕ. Наприклад, цьому відповідає розподіл споживачів на бюджетні організації - гравець 1, комунальні споживачі - гравець 2, комерційні та виробничі підприємства - гравець 3 та ін. До групи комунальних споживачів будемо відносити також населення. Процедура агрегування гравців виконується далі при переході до підрівня 2 моделі - оптові споживачі.

В якості виграшу роздрібних споживачів приймемо обсяг отриманої ЕЕ в момент часу t , а значенням логічної функції будемо зіставляти рівень задоволеності замовника обсягом і часом її поставки (тут можна розглядати можливі відключення, коливання напруги тощо). Витрати на поставку ЕЕ будемо ототожнювати з величинами необхідних ресурсів Res , до яких можна віднести прокладку мережі, установку лічильників, експлуатаційні та транспортні витрати.

Будемо позначати рівні моделі символом p перед відповідним позначенням. Відповідно маємо множини ${}^p I$, ${}^p U$, ${}^p CU$, ${}^p PS$, ${}^p S$, ${}^p CA$, ${}^p ST$, ${}^p Res$, $\{ {}^p H_i \}$, $\{ {}^p H_{ni} \}$, $\{ {}^p LF_i \}$.

Взаємодію споживачів роздрібного ринку ЕЕ будемо описувати за допомогою моделі, одержаної на основі (2.2), у вигляді сукупності множин:

$${}^1\tilde{A}(t) = \tilde{A}_{\delta i \alpha . \bar{n} i \alpha .}(t) = \langle {}^1I(t), {}^1U(t), {}^1S(t), {}^1ST(t), {}^1Res(t), \{{}^1H_i(t)\}, \{{}^1D_i(t)\}, i \in {}^1I, t \in [t_0, T] \rangle. \quad (2.3)$$

Сукупність множин (2.3) будемо називати дескриптивною (однорівневою) моделлю роздрібних споживачів. За побудовою одержуємо, що (2.3) є безкоаліційною грою, розширеною в (2.2) функціями $\{LF_i\}$, $i \in {}^1I(t)$, що відображають задоволення гравців результатом її завершення. Факт оплати отриманої ЕЕ в даному випадку можна вважати задоволенням роздрібних споживачів результатами завершення гри. Тому замість функцій $\{LF_i\}$, $i \in {}^1I(t)$ в (2.3) вводяться функції $\{{}^1D_i(t)\}$, що вказують величину оплати отриманої ЕЕ.

Серед учасників енергоринку є чимало компаній споживачів, які купують ЕЕ безпосередньо на оптовому ринку та є одночасно її постачальниками. Їх і будемо відносити до оптових споживачів. Розглянемо побудову моделі для цього підрівня споживачів. За аналогією з (2.3) утворюємо наступну сукупність множин:

$${}^2\tilde{A}(t) = \tilde{A}_{\delta i \alpha . \bar{n} i \alpha .}(t) = \langle {}^2I(t), {}^2U(t), {}^2CU(t), {}^2PS(t), {}^2S(t), {}^2CA(t), {}^2ST(t), {}^2Res(t), \{{}^2H_i(t)\}, \{{}^2H_{ni}(t)\}, \{{}^2LF_i(t)\}, i \in {}^2I(t), n \in {}^2N(t), t \in [t_0, T] \rangle \quad (2.4)$$

де ${}^2I(t)$ - множина гравців другого підрівня моделі оптових споживачів. І, далі, відповідно, множини їх інтересів, стратегій, та ситуацій, а також ресурсів, необхідних для виконання стратегій, ${}^2LF_i(t)$ - множина функцій, що характеризують задоволення їхніх інтересів.

Зупинимося на функціях виграшу ${}^2H_i(t)$. Як і в першому випадку, вони вказують обсяг доходів оптового споживача від отриманої ЕЕ. Але тут -

одночасно і його виграш - дохід від продажу ЕЕ його роздрібним споживачам.

Цей дохід будемо позначати через ${}^2D_{ca}(t)$, де

$${}^2D_{ca}(t) = \sum_{i \in I} {}^2D_i(t) \quad (2.5)$$

- оплата ЕЕ усіма роздрібними споживачами $i \in {}^1I(t)$ гравців першого підрівня моделі, які купують ЕЕ оптового споживача. Причому, якщо ${}^2H_i(t)$ є вартість отриманої покупцем ЕЕ за оптовою ціною, то

$${}^2HD_i(t) = {}^2D_{ca}(t) - {}^2H_i(t), \quad i \in {}^2I(t) \quad (2.6)$$

- різниця між вартістю одержаної оптовим споживачем ЕЕ та її фактичною вартістю при 100% оплаті його роздрібних споживачів за встановленими тарифами. Додавши до ${}^2HD_i(t)$ величину доходу ${}^2DD_i(t)$ оптового споживача від споживання ЕЕ на власні потреби, отримуємо величину його доходу в момент часу t :

$${}^2G_i(t) = {}^2HD_i(t) + {}^2DD_i(t), \quad i \in {}^2I(t). \quad (2.7)$$

Функції ${}^2G_i(t)$ будемо розглядати замість функцій ${}^2LF_i(t)$ для всіх гравців підрівня 2 - оптових споживачів енергії, тобто задоволення інтересів гравців $i \in {}^2I(t)$ будемо ототожнювати з максимізацією функцій ${}^2G_i(t)$.

Отже, теоретико-ігрова модель споживання ЕЕ описується сукупністю об'єктів:

підрівень 1 –

$${}^1\tilde{A}(t) = \tilde{A}_{\text{дi c i . m i a .}}(t) = \langle {}^1I(t), {}^1U(t), {}^1S(t), {}^1ST(t),$$

$${}^1Res(t), \{ {}^1H_i(t) \}, \{ {}^1D_i(t) \}, i \in {}^1I, t \in [t_0, T] \rangle.$$

підрівень 2 –

(2.8)

$$\begin{aligned}
{}^2\tilde{A}(t) &= \tilde{A}_{i \in {}^2I(t)} = \langle {}^2I(t), {}^2U(t), {}^2CU(t), {}^2PS(t), {}^2S(t), \\
&{}^1CA(t), {}^2ST(t), {}^2Res(t), \{ {}^2H_i(t) \}, \{ {}^2H_{ni}(t) \}, \{ {}^2G_i(t) \}, \\
&i \in {}^2I(t), n \in {}^2N(t), t \in [t_0, T] \rangle, \\
{}^2F(t) &= ({}^1\tilde{A}(t), i \in {}^2I(t)),
\end{aligned}$$

де ${}^1CA(t)$ - коаліція дії індивідуальних агрегованих гравців першого рівня, які отримують ЕЕ від оптового споживача 2i , CA - множина всіх непересічних коаліцій дій гравців рівня 1, які куруються гравцями з ${}^2I(t)$. Через ${}^2F(t)$ позначимо набір ігор, утворений з відповідних кожному з гравців $i \in {}^2I(t)$ - оптових споживачів і контролюючих певну множину роздрібних споживачів.

Сукупність (2.8) разом з співвідношеннями (2.5) - (2.7), будемо називати дворівневою моделлю споживання ЕЕ.

Замість (2.8) також може бути утворена однорівнева гра з побічними платежами, що відображають виплату вигравів між оптовими та роздрібними споживачами. Виходячи з міркувань спільності і наочності, тут і далі будемо розглядати дворівневий варіант моделі.

2.3.3 Модель рівня постачальників

Сьогодні в Україні поставка ЕЕ здійснюється в основному через систему роздрібних постачальників, які в свою чергу отримують її через оптових постачальників. До числа оптових постачальників віднесемо й експортерів ЕЕ. Як і у випадку споживання енергії, гравці-постачальники «роздрібного рівня» не мають реальних можливостей протидіяти гравцям постачальникам оптового рівня, їх діяльність регулюється нормативними документами. Вони можуть претендувати тільки на збільшення своєї частки в доході оптового гравця, контрольованому на більш високому рівні. Причому, таке збільшення можна досягти тільки при нормативно встановлених стратегіях. Тому на цьому підрівні утворення коаліцій навряд чи можливо, оскільки в більшості випадків оптовий постачальник розподіляє ЕЕ між роздрібними постачальниками, які реалізують

ЕЕ за нормативно встановленими тарифами. На підрівні оптових постачальників можливе утворення, щонайменше, трьох коаліцій: компаній-постачальників з регульованим тарифом (ПРТ); з нерегульованим тарифом (ПНТ); компанії-експортери. Конфлікт інтересів між ними виникає при розподілі та плануванні поставок ЕЕ в умовах її надлишку на ринку, регулювання та встановлення тарифів на відпуск ЕЕ кінцевим споживачам.

Характер взаємин між гравцями підрівнів рівня споживання та підрівнів рівня постачальників ЕЕ можна вважати досить схожим. Тому для рівня постачальників побудуємо модель, аналогічну (2.8):

підрівень 3 -

$$\begin{aligned} {}^3\tilde{A}(t) = \tilde{A}_{\text{отг. итн.}}(t) = & \langle {}^3I(t), {}^3U(t), {}^3PS(t), {}^3S(t), \\ & {}^3ST(t), {}^3Res(t), \{ {}^3H_i(t) \}, \{ {}^3H_{ni}(t) \}, \{ {}^3LF_i(t) \}, \\ & {}^3F(t), i \in {}^3I(t), n \in {}^3N(t), t \in [t_0, T] \rangle \\ & {}^3F(t) = ({}^2\tilde{A}(t), i \in {}^3I(t)), \end{aligned}$$

підрівень 4 -

$$\begin{aligned} {}^4\tilde{A}(t) = \tilde{A}_{\text{отг. итн.}}(t) = & \langle {}^4I(t), {}^4U(t), {}^4PS(t), {}^4S(t), {}^3CA(t), \\ & {}^4ST(t), {}^4Res(t), \{ {}^4H_i(t) \}, \{ {}^4H_{ni}(t) \}, \{ {}^4LF_i(t) \}, \\ & {}^4F(t), i \in {}^4I(t), n \in {}^4N(t), t \in [t_0, T] \rangle \\ & {}^4F(t) = ({}^3\tilde{A}(t), i \in {}^4I(t)) \end{aligned} \tag{2.9}$$

де підрівень 1 замінений на 3, а підрівень 2 - на 4. Крім того, передбачається, що коаліції індивідуальних гравців - роздрібних постачальників ${}^3CA(t)$, які отримують ЕЕ від гравця $i \in {}^4I(t)$ не перетинаються з іншими коаліціями. Тобто, будь-який роздрібний постачальник не може отримувати ЕЕ у кількох оптових постачальників. Зроблене припущення не обмежує спільності розгляду процесів взаємодії гравців - роздрібних постачальників, оскільки на рівні постачальників дійсно має місце ієрархічна підпорядкованість роздрібних постачальників ЕЕ оптовим.

Розглянемо функції виграшу гравців цієї моделі. Для гравця підрівня 3 можливі два способи їх визначення: перший з них полягає у встановленні тільки маржі за поставку ЕЕ, яку роздрібний постачальник отримує від оптового постачальника; другий - ця маржа залежить від оплати ЕЕ оптовим споживачем. У першому випадку роздрібний постачальник буде байдужий до оплати ЕЕ споживачами та зацікавлений в отриманні лише маржі від того чи іншого оптового постачальника за виконану ним роботу. У другому випадку виникає пряма залежність доходу роздрібного постачальника від оплати за ЕЕ оптовими та роздрібними споживачами. Зупинимось на останньому варіанті.

Тоді, визначимо, що:

$${}^3H_i(t) = {}^3H_i({}^2H_i(t), {}^2D_i(t), i \in {}^2I(t)) \quad i \in {}^3I(t);$$

$${}^4H_i(t) = {}^4H_i({}^3H_i(t), i \in {}^3I(t)), \quad i \in {}^4I(t).$$

Ці вирази і показують, що оптовий постачальник отримує свій виграш в залежності від роздрібного постачальника, а роздрібний - в залежності від оплати оптовими і, відповідно, роздрібними споживачами. Тим самим, функції виграшу визначаються як функції з побічними платежами.

Логічним функцій LF_i , як і в (2.4), на обох рівнях моделі будемо зіставляти оцінку задоволення гравцями ситуаціями в поставках ЕЕ. Наприклад, 1 - гравець задоволений ситуацією, 0 - ні. Сума таких оцінок по різних гравцях, крім функцій виграшу, дозволяє гравцеві більш високого рівня ієрархії гри оцінити ситуацію на більш низькому рівні ринку.

2.3.4 Модель рівня виробників

На сьогодні виробництво ЕЕ в Україні, хоча і не є державною монополією, можна вважати, що повноцінного конкурентного ринку ЕЕ не існує. За винятком теплової генерації, компанії якої беруть безпосередню участь у формуванні оптової ринкової ціни купівлі ЕЕ на ОРЕ шляхом маржинального відбору

цінових заявок блоків компаній ТЕС. Але і ТЕС, так само, як і всі інші суб'єкти ринку ЕЕ, знаходяться під управлінням і регулюванням державним органом - Регулятором ринку, який директивно встановлює в поточному місяці на наступний місяць прогнозу оптову ціну покупки ЕЕ у виробників-компаній ТЕС. І в цьому сенсі вони не можуть вважатися повністю самостійними при визначенні цінових заявок а, отже, і оптової ціни продажу ЕЕ на ОПЕ. І тому не можуть розглядатися як індивідуальні гравці. Однак конфліктні ігрові ситуації можуть виникати і при реалізації інтересів певних груп, що стоять за системами виробництва та поставки ЕЕ. Наприклад, при: розподілі обсягів виробництва ЕЕ; встановленні правил розподілу доходів від продажу ЕЕ між компаніями-виробниками або групами компаній; встановленні розмірів платежів за надання ними системних послуг з метою забезпечення стійкості режимів роботи ОЕЕС.

З огляду на цю обставину, генеруючі компанії ТЕС, які безпосередньо беруть участь у формуванні оптової ринкової ціни купівлі та продажу ЕЕ, можна віднести в одну групу зі спільними інтересами та діями. Дві інші групи утворюють НАЕК «Енергоатом» і компанії ГЕС, які продають ЕЕ на оптовому ринку за фіксованими договірними цінами. Четверту групу утворюють компанії-імпортери. У п'яту групу включимо компанії ТЕЦ. І в окрему, шосту групу увійдуть компанії ВЕС і СЕС.

З огляду на можливий коаліційний характер взаємодії зазначених виробників, рівню 5 - виробників ЕЕ, також будемо зіставляти модель виду (2.2):

$$\begin{aligned}
 {}^5\tilde{A}(t) = & \langle {}^5I(t), {}^5U(t), {}^5CU(t), {}^5PS(t), {}^5S(t), {}^5CA(t), \\
 & {}^5ST(t), {}^5Res(t), \{ {}^5H_i(t) \}, \{ {}^5H_{ni}(t) \}, \{ {}^5D_i(t) \}, \{ {}^5LF_i(t) \}, \\
 & {}^5F(t), i \in {}^5I(t), n \in {}^5N(t), t \in [t_0, T] \rangle, \\
 & {}^5F(t) = ({}^4\tilde{A}(t), i \in {}^5I(t)),
 \end{aligned} \tag{2.10}$$

де в якості гравців - елементів множини ${}^5I(t)$ будемо розглядати виробників ЕЕ. Причому в межах стратегій, що відносяться до виробництва ЕЕ, гравці не

утворюють коаліції, які регламентуються антимонопольним законодавством держави. Але формування та реалізація інтересів ${}^5U(t)$ виробників якраз передбачають створення коаліцій інтересів ${}^5CU(t)$, що відповідають різним групам і спілкам виробників. Відповідно до їх стратегій ці коаліції, на відміну від попередніх моделей, видозмінюються на коаліції дій ${}^5CA(t)$. Як ресурси ${}^5Res(t)$ можна розглядати паливо, обладнання необхідні для виробництва ЕЕ. Нарешті, функції виграшу $\{{}^5H_i(t)\}$, $\{{}^5H_{mi}(t)\}$ в (2.10) виражають дохід від виробництва та подальшого продажу ЕЕ, а функції ${}^5D_i(t)$ і ${}^5LF_i(t)$ - відповідно отримані доходи та задоволення результатами гри. Як і вище, визначимо вид функції виграшу і-го гравця – ${}^5H_i(t) = {}^5H_i({}^4H_i(t), i \in {}^4I(t)), i \in {}^5I(t)$.

2.3.5 Модель рівня системи організаційного управління

Використовуючи підхід, наведений вище, побудуємо теоретико-ігрову модель енергоринку за участю в ній, в якості гравця верхнього рівня СОУ, - Регулятора ринку. Крім нього, в цій моделі представлені коаліції компаній-виробників, постачальників і компанія, що здійснює диспетчерське управління всім технологічним ланцюгом виробництва та передачі ЕЕ по ВВЛ електропередач. Конфлікт інтересів між вказаними ключовими гравцями та коаліціями гравців виникає при розподілі доходів від спільно виробленої, переданої по електричних мережах і поставленої (реалізованої) кінцевому споживачу ЕЕ. Регулятор ринку, реалізуючи стратегію надійного енергозабезпечення всіх споживачів ЕЕ, регулює порядок розподілу доходів від продажу ЕЕ, між ними, шляхом встановлення Правил ОРЕ. Для побудови моделі розглянутого рівня також використовуємо вираз (2.2) і отримаємо:

$${}^6\tilde{A}(t) = \langle {}^6I(t), {}^6U(t), {}^6CU(t), {}^6PS(t), {}^6S(t), {}^6CA(t), \\ {}^6ST(t), {}^6Res(t), \{{}^6H_i(t)\}, \{{}^6H_{mi}(t)\}, \{{}^6D_i(t)\}, \{{}^pLF_i(t)\} \rangle,$$

$${}^6F(t), i \in {}^6I(t), n \in {}^6N(t), t \in [t_0, T], \quad (2.11)$$

$${}^6H_{ni}(st_r) = \sum {}^5H_{ni}(st_r), st_r \in {}^6ST(t), r \in R,$$

$${}^6F(t) = ({}^5\tilde{A}(t), i \in {}^5I(t), {}^4\tilde{A}(t), i \in {}^4I(t)).$$

Тут через ${}^6F(t)$ позначен набір ігор, утворений з ігор ${}^5\tilde{A}(t)$, ${}^4\tilde{A}(t)$, що відповідають кожному з гравців $i \in {}^5I(t)$, $i \in {}^4I(t)$. Попереднім погодженням інтересів коаліцій і гравців будемо зіставляти кооперативну складову ${}^6\tilde{A}(t)$ - гру, що розігрується на логічних функціях ${}^pLF_i(t)$, $p = 4,5,6$. Стратегічна складова цієї моделі, що розігрується як коаліційна гра, відображає виконання коаліціями їх стратегій ${}^6S(t)$, $i \in {}^6I(t)$. В результаті ними проводиться певний обсяг ЕЕ, розподіл якої відповідає значенню функцій виграшу ${}^6H_i(t)$, в різних ситуаціях $st_r \in {}^6ST(t)$, $i \in {}^6I(t)$. З огляду на можливі об'єктивні та суб'єктивні відхилення від попередньо узгоджених інтересів за підсумками розіграшу за функціями $\{{}^pLF_i(t)\}$, $p = 4,5,6$, виконується остаточна оцінка реалізації інтересів гравців і коаліцій рівнів 4,5 і 6, тобто повернення до вихідної кооперативної складової гри. У підсумку маємо три етапи розіграшу гри ${}^6\tilde{A}(t)$.

Співвідношення ${}^6H_{ni}(st_r) = \sum {}^5H_{ni}(st_r)$, $st_r \in {}^6ST(t)$, $r \in R$, що

використовується в (2.11), природно носить характер припущення і на практиці може бути іншим. Його досягнення й є однією з стратегічних цілей СОУ енергоринком.

2.3.6 Загальна багаторівнева модель

За аналогією з побудованою чотирирівневою моделлю енергоринку можуть бути побудовані моделі інших ринків, з якими він пов'язаний - практично всі національні ринки. Енергоринок, перш за все, забезпечує життєдіяльність

населення та економіки державі, їх потреби в ЕЕ. Його стан і діяльність, більш, ніж інші ринки, впливають на економіку країни: конкурентоспроможність національного продукту; шкода навколишньому середовищу тощо.

Тим самим, мінімізація ціни на ЕЕ Pr , шкоди навколишньому середовищу Dn , ресурсів Ren , необхідних для виробництва ЕЕ в обсягах, відповідних потенційному національному попиту Spr , включаючи зниження або стабілізацію виробництва ЕЕ при зростанні валового внутрішнього продукту, що вже відбувається в багатьох державах світу в межах реалізації концепції сталого розвитку - основна стратегія держави щодо енергоринку.

Виходячи з цього, замість моделей інших ринків будемо розглядати введені зараз величини як параметри моделі (2.3) - (2.11). Для цього необхідно

визначити залежності - $DN(t) = f\left(\sum H_i(t)\right)$, $Spr(t) = \sum H_i(t)$,

$D_i(t) = f((H_i, Pr, Pen, Spr, DN, D_i)(t))$, де сума береться по всіх $i \in {}^5I(t)$.

Сукупність моделей (2.3) - (2.11), доповнена набором параметрів

$Pm(t) = \langle Pr(t), Ren(t), Spr(t), D_i(t) = f((H_i, Pr, Pen, Spr, DN, D_i)(t)) \rangle$

й утворює загальну багаторівневу теоретико-ігрову дескриптивну модель енергоринку.

2.4 Висновки до розділу

1. На основі проведеного аналізу відомих підходів застосування засобів теоретико-ігрового моделювання запропоновано і обґрунтовано новий підхід до побудови багаторівневої дескриптивної моделі енергоринку, заснований на застосуванні теорії коаліційних (кооперативних) ігор.

1. Визначені рівні системи організаційного управління енергоринку, сформульовані цілі, співпадаючі та суперечливі інтереси, стратегії як окремих гравців одного рівня, так і різних рівнів, що є передумовами створення коаліцій гравців у конфліктних ситуаціях при виконанні умов істотності гри;

2. Розроблений єдиний спосіб математичного опису процесів ігрової взаємодії суб'єктів енергоринку, в тому числі й слабо формалізованих, з використанням якого побудовано:

- однорівнева базова теоретико-ігрова модель енергоринку, на основі застосування якої отримані моделі для всіх виділених рівнів коаліційної взаємодії гравців: споживачів, постачальників, виробників, СОУ ринка;

- дескриптивна багаторівнева модель енергоринку, що описує коаліційний характер рівневих та міжрівневих взаємовідносин гравців у конфліктних ситуаціях, а також загальну багаторівневу модель, що враховує взаємозв'язок енергоринку з іншими ринками та еколого-економічною системою.

3. Визначено функції виграшу гравців і коаліцій, утворених у виділених рівнях ринку, якими оцінюються результати вирішення конфліктних ігрових ситуацій.

РОЗДІЛ 3

ФОРМУВАННЯ РІШЕНЬ КОАЛІЦІЙНИХ ІГОР - МОДЕЛЕЙ СЕГМЕНТІВ ЕНЕРГОРИНКУ

3.1 Формування оптимального рішення коаліційної гри - моделі сегменту оптового ринку на добу наперед

3.1.1 Побудова теоретико-ігрової моделі

Основні припущення. Діяльність гравців і коаліцій гравців неминуче призводять до зіткнення їх інтересів на ОРЕ [80, 114]. Причому визначальним при вирішенні конфліктних ситуацій є поведінка груп виробників і постачальників ЕЕ, системних послуг як найбільш сильних гравців і коаліцій різних рівнів.

1. Наявність суперечливих ситуацій між окремими роздрібними постачальниками, оптовими та роздрібними споживачами, як зазначалося в розділі 2, можлива. В цьому розділі роботи дослідження цих суперечностей виключається з розгляду тому, що їх вплив на поведінку основних учасників цього сегменту оптового ринку передбачається незначним.

2. Будемо вважати, що стратегії та інтереси роздрібних постачальників на ринку представляють оптові постачальники, а споживачів - НКРЕКП, шляхом встановлення тарифів на ЕЕ.

Ці припущення, по суті, є першим етапом спрощення загальної багаторівневої теоретико-ігрової дескриптивної моделі, побудованої в розділі 2. Вони і призводять до можливості побудови трирівневої ігрової моделі оптового ринку. На прикладі її дослідження розглянемо питання формування оптимального рішення та розробки процедур аналізу моделі [114].

Дійсно, модель, побудована в розділі 2, утворена на основі багаторівневої коаліційної динамічної гри [83, 87] і включає в себе кілька ігор, що розігруються на різних її етапах. Для реалізації процедури пошуку рішення гри вихідна модель

представлялася у вигляді дворівневих ігор, які розв'язуються послідовно. В межах кожної з них, у відповідності з [83], спочатку на більш високому рівні моделі формуються множини припустимих стратегій гравців і коаліцій нижчого рівня моделі. Далі вони виконують стратегії з множин більш високого рівня, після чого слідує розподіл вигащів, в тому числі й між рівнями моделі, та оцінювання реалізації інтересів гравців і коаліцій в межах дворівневої гри. Потім виконується перехід до наступного рівня моделі та ін.

Ігрова модель, яка буде розглядатися в цьому розділі, повинна описувати процес функціонування оптового ринку. Тому для визначеності приймемо наступну схему виробництва та продажу ЕЕ на ньому. Верхній рівень СОУ ринком, виконуючи свої стратегії ${}^3S(t)$, створює Правила ринку ЕЕ, які визначають порядок і механізми його функціонування, в тому числі правила розрахунку оптової ціни купівлі та продажу ЕЕ, правила розрахунку платежів всім суб'єктам ринку - розподіл вигащів.

У відповідності до цих Правил, уповноважений орган управління ринком, прогнозує на основі даних заявок оптових постачальників, потенційний попит $Spr(t)$ на ЕЕ на деякий період часу t , формує замовлення на виробництво та подальшу поставку ЕЕ. Це виражається в завданні множини ситуацій ${}^2ST(t)$, що включає припустимі стратегії виробників ${}^2S_i(t)$, $i \in {}^2I(t)$, при виробництві необхідних обсягів ЕЕ. Тим самим, система управління визначає обсяги виробництва ЕЕ та формує диспетчерський графік оптимального розподілу навантаження між блоками електричних станцій, що забезпечують мінімізацію витрат на виробництво ЕЕ усіма виробниками, включаючи загальносистемні витрати, з урахуванням кінцевої заявленої ціни блоків ТЕС на одиницю продукції. Також вона регламентує їх точну величину для всіх гравців з множини ${}^2I(t)$ на кожен розрахунковий період часу (розрахунковий період часу, прийнятий рівним одній годині). З огляду на технологічні особливості виробництва ЕЕ, гравці-виробники мають можливості, як за власною ініціативою (покарання у вигляді штрафу), так і на вимогу диспетчерських служб

(заохочується відповідним додатковим платежем) змінювати в певному діапазоні обмеження обсяги виробництва, орієнтуючись на поточну виробничу або загальносистемну ситуацію.

Будемо також вважати, що до стратегій ${}^3S_i(t)$ верхнього рівня СОУ ОРЕ, відноситься: встановлення тарифів Pr на енергоресурси та ЕЕ; оцінка збитку навколишньому середовищу Dn ; виділення ресурсів Res на виробництво та поставку ЕЕ, що може відноситися й до стратегій виробників; розподіл фінансових ресурсів між постачальниками ЕЕ у вигляді дотацій та ін. До інтересів ${}^3U(t)$, верхнього рівня управління, що продукують стратегії ${}^3S_i(t)$, слід віднести: забезпечення попиту на ЕЕ; стабілізацію або мінімізацію цін на ЕЕ при загальному зростанні виробництва товарів і послуг; забезпечення максимально повного комерційного обліку витрат на загальносистемні послуги та розподілу платежів за них між учасниками ринку; збалансованість інтересів виробників, постачальників і споживачів, інтересів окремих гравців і груп гравців, контролюючих певні сегменти оптового ринку. Рівень реалізації інтересів або досягнення необхідних системі управління значень показників, що характеризують стан ринку, і становить його вигреш, який може бути утворений у вигляді деякої інтегральної оцінки. Ці параметри можуть бути встановлені вищестоящими організаціями та відображають тактичні та стратегічні національні цілі. Вони мають кількісний вираз і реалізуються як результат узгодження інтересів $u_i \in {}^3U(t)$, $i \in {}^3I(t)$, гравців, які перебувають на верхньому рівні СОУ ринком. Одним з таких може бути показник витрат енергоресурсів на одиницю об'єму ЕЕ, виробленої протягом планованого періоду часу.

Редукція загальної багаторівневої моделі. Розглянемо побудову теоретико-ігрової моделі ринку на добу вперед з урахуванням прийнятих припущень, за участю в ній в якості гравців виробників, постачальників ЕЕ та верхнього рівня СОУ. Використовуючи підхід [113] і необхідні для формалізації поведінки гравців на ринку засоби опису конфліктних ситуацій та систему математичного

опису багаторівневої взаємодії суб'єктів [113], отримаємо наступну сукупність взаємопов'язаних однорівневих моделей:

$$\begin{aligned}
 {}^3\tilde{A}(t) = & \langle {}^3I(t), {}^3U(t), {}^3CU(t), {}^3PS(t), {}^3S(t), {}^3CA(t), \\
 & {}^3ST(t), {}^6Res(t), \{{}^3H_i(t)\}, \{{}^3H_{ni}(t)\}, \{{}^3D_i(t)\}, \{{}^3LF_i(t)\}, \\
 & {}^3F(t), i \in {}^3I(t), n \in {}^3N(t), t \in [t_0, T] \rangle, \quad (3.1) \\
 {}^3F(t) = & ({}^2\tilde{A}(t), i \in {}^2I(t), {}^1\tilde{A}(t), i \in {}^1I(t)), \\
 {}^3H_i(t) = & {}^3H_i({}^2H_i(t), {}^2D_i(t), i \in {}^2I(t)) \quad i \in {}^3I(t); \\
 Pm(t) = & \langle Pr(t), Ren(t), Spr(t), DN(t), D(t) \rangle;
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 {}^2\tilde{A}(t) = & \langle {}^2I(t), {}^2U(t), {}^2CU(t), {}^2PS(t), {}^2S(t), {}^2CA(t), \\
 & {}^2ST(t), {}^2Res(t), \{{}^2H_i(t)\}, \{{}^2H_{ni}(t)\}, \{{}^2D_i(t)\}, \{{}^2LF_i(t)\}, \\
 & {}^2F(t), i \in {}^2I(t), n \in {}^2N(t), t \in [t_0, T] \rangle, \quad (3.2) \\
 & {}^2H_i(t) = {}^2H_i({}^1H_i(t), i \in {}^1I(t)), \quad i \in {}^2I(t) \\
 & {}^2F(t) = ({}^1\tilde{A}(t), i \in {}^1I(t)), \quad i \in {}^2I(t);
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 {}^1\tilde{A}(t) = & \langle {}^1I(t), {}^1U(t), {}^1PS(t), {}^1S(t), {}^1CA(t), {}^1ST(t), {}^1Res(t), \\
 & \{{}^1H_i(t)\}, \{{}^1H_{ni}(t)\}, \{{}^1LF_i(t)\}, i \in {}^1I(t), n \in {}^1N(t), t \in [t_0, T] \rangle \\
 & {}^1H_i(t) = {}^2H_i({}^1H_i(t), i \in {}^1I(t)), \quad i \in {}^2I(t).
 \end{aligned} \quad (3.3)$$

В (3.1) через ${}^3F(t)$ позначений набір ігор, утворений з ігор ${}^2\tilde{A}(t)$, що відповідають кожному з гравців $i \in {}^3I(t)$. П'яте співвідношення в (3.1), відображає взаємозв'язок оптового ринку ЕЕ з іншими взаємодіючими системами та ринками, оскільки $Pr(t)$ включає ціни на ЕЕ та ресурси, $Ren(t)$ - витрати на використанні ресурси, $Spr(t)$ - виражений в грошах попит на ЕЕ, $DN(t)$ - витрати на компенсацію шкоди навколишньому середовищу та $D(t)$ - обсяг оплати ЕЕ споживачами.

Попередньому погодженню інтересів коаліцій та гравців будемо зіставляти кооперативну складову ${}^3\tilde{A}(t)$ - гру, що розігрується по логічних функціях $\{{}^pLF_i(t)\}$, $p = 1,2,3$. Оптимальним рішенням гри є вектор Шеплі [89], згідно з яким виграш кожного гравця дорівнює його середньому вкладу в доход коаліції. Стратегічна складова цієї моделі, що розігрується як коаліційна гра [83], відображає виконання коаліціями їх стратегій ${}^3S(t)$. В результаті ними виробляється певний обсяг ЕЕ, розподіл якого відповідає значенню функцій виграшу $\{{}^2H_i(t)\}$. З огляду на можливі об'єктивні та суб'єктивні відхилення від попередньо узгоджених інтересів за підсумками розіграшу за функціями $\{{}^pLF_i(t)\}$, $p = 1,2,3$, виконується остаточна оцінка реалізації інтересів гравців і коаліцій рівнів 1 і 2. Тобто, повернення її до вихідної кооперативної складової гри. У підсумку маємо три етапу розіграшу гри - ${}^3\tilde{A}(t)$.

3.1.2 Основні етапи розіграшу гри

На першому етапі - розіграші кооперативної гри на верхньому рівні СОУ, результатом є узгоджена система поведінки гравців, оформлена у вигляді суворо регламентованих правил або змін до чинних правил поведінки гравців та їх коаліцій і враховують стратегічні інтереси двох коаліцій - виробників і постачальників ЕЕ. А також індивідуального гравця - СО, який забезпечує виконання диспетчерських функцій виробництва та розподілу ЕЕ та її передачу по ВВЛ, функції оператора ринку системних послуг і балансує ринку.

На цьому етапі формується також множина стратегій коаліцій як результат кооперативної гри [87]. Ця гра в певному сенсі відповідає класу ігор двох гравців, де одним (умовним) гравцем є деяка коаліція, а другим - все інші коаліції, які грають проти неї. Рішення гри - вектор Шеплі, вказує оптимальне значення виграшу, що отримується коаліціями виходячи з перебору множини їх коаліційних стратегій [89].

Наступний етап розіграшу - розширена коаліційна стратегічна гра [83], принципом оптимальності якої є досягнення ϕ -стійких ситуацій, що реалізуються на комплексах коаліцій гравців і множині їх стратегій, та є узагальненням рівноваги за Нешем на випадок коаліційних стратегічних ігор.

Під ϕ -стійкою ситуацією, слідуючи [83], розуміється ситуація, прийнятна для будь-якої коаліції. Змістовно, ϕ -стійкість ситуації означає, що коаліції не вигідно відступати від своєї чистої стратегії в процесі гри, прийнятої в ситуації, $st_r \in ST(t)$, $r = 1, 2, \dots, R$, навіть в тому випадку, якщо окремих гравець коаліції порушить свої зобов'язання.

Нарешті, знову розігрується кооперативна гра, яка відповідає остаточній оцінці реалізації вихідних інтересів та переваг гравців і коаліцій після розіграшу коаліційної складової гри та отримання її рішення - ϕ -стійкої ситуації, яка визначається вектором значень компонент управління системи, що забезпечує ϕ -стійкий баланс системи. Ця ситуація може виводити гру за межі вихідних домовленостей, досягнутих на першому етапі. В роботі [87] доведено існування оптимальних ситуацій подібної гри.

Виробники, виконуючи свої стратегії, виробляють ЕЕ та продають її через оптовий ринок оптовим постачальникам. На другому і першому рівнях, розіграш гри відбувається між коаліціями гравців, утворених на цих рівнях в межах угод і Правил ОРЕ, погоджених на верхньому рівні з метою реалізації інтересів коаліцій шляхом здійснення прийнятих стратегій коаліціями дій.

Можна було б припустити, що на другому та першому рівнях розіграш гри повинен проходити за правилами, близьким до рівня 1. Однак в разі оптового ринку маємо іншу картину. Для нього характерна висока динаміка, що не дозволяє віднести до наступних інтервалів часу оцінки поставки ЕЕ (розіграшу гри - розрахунку платежів) при вирішенні можливих конфліктних ситуацій, оскільки необхідно мати певний час для узгодження стратегій та інтересів гравців і внесення зміни до Правил ОРЕ.

Вони, зокрема, виникають в межах зазначених рівнів моделі при взаємодії постачальників і оптових споживачів, що знаходяться в залежності від гравців як

верхніх, так і нижніх рівнів та погодження їх інтересів. Верхні рівні регламентують стратегії цих гравців і, при цьому, переслідують свої інтереси. З іншої сторони, виконуючи ці стратегії при поставках ЕЕ, гравці другого рівня залежать від гравців нижніх рівнів роздрібних постачальників і споживачів, які оплачують її в тому чи іншому обсязі. Тим самим, реальні випадки, коли узгодження всієї множини інтересів і стратегій на поточному інтервалі часу розіграшу гри неможливо. А віднесення його на наступні інтервали часу не відображає високу динаміку енергоринку. Інший спосіб узгодження інтересів - попередні домовленості гравців і коаліцій та контроль їх виконання на всіх рівнях моделі.

Крім того, для цього рівня ринку істотний обсяг взаємних, як авансових поставок ЕЕ, так і наступних її оплат, які можуть надходити зі значними затримками і в неповному обсязі. Також важливим є дотримання запланованих обсягів поставок ЕЕ, дотримання обумовлених і узгоджених стратегій коаліцій та гравців. Це швидше вимагає жорсткого контролю їх виконання, ніж надання більш незалежної поведінки учасників гри. Іншими словами, реалізацію інтересів та і стратегій необхідно розглядати як оцінку відхилень від вихідних узгоджених розмірів обсягів виробництва, постачання і споживання ЕЕ та пов'язаних з ними наступних можливих порушень стану розглянутого сегмента ОРЕ.

Природно виникає необхідність визначення оптимального стану системи та побудови моделі оцінки відхилень від цього стану та визначення стратегій її підтримки в майбутньому.

У моделі (3.1) - (3.3) не враховувався вплив роздрібних і оптових споживачів ЕЕ, для яких характерний випадковий обсяг споживання ЕЕ та розмір її оплати. Як наближену оцінку їх впливу можна розглянути інтерпретацію ситуації змішаної рівноваги, відповідну рішенням змішаної стратегічної складової моделі.

Змішані (ймовірнісні) стратегії допускають природну інтерпретацію в описі поведінки, перш за все, роздрібних і, частково, оптових споживачів ЕЕ, тому, що фактори випадковості поведінки інших гравців менш істотні. Оскільки

вони регулюються гравцями більш високого рівня, що визначають, зокрема, оптові ціни та тарифи на ЕЕ, обсяги її виробництва та поставок. Останні, наприклад, встановлюються і на державному рівні, і переговорним шляхом, що відповідає кооперативній складовій побудованої ігрової моделі.

Змішані ситуації рівноваги в моделі ринку можуть вказувати, наприклад, наступну стратегію. При заданому ймовірнісному розподілі обсягів споживання ЕЕ роздрібний постачальник в 30% випадків має заявляти обсяг ЕЕ, менший, ніж необхідний на 10%, а в 70% - заявляти обсяг поставки ЕЕ, рівний споживанню. Така змішана стратегія роздрібного постачальника гарантує йому мінімізацію збитків від нереалізованої або несплаченої споживачами ЕЕ. Але, з побудови моделі, вона повинна бути узгоджена з оптовим постачальником, який курує поставки на роздрібний рівень. Ця стратегія не може задовольняти оптового постачальника. Тому що, на множині всіх роздрібних постачальників виникає можливість сильних коливань споживання, що є неприпустимим. Тому оптовий постачальник, за аналогією з роздрібними постачальниками, для зменшення своїх ризиків повинен поставляти ЕЕ в обсягах менших, ніж максимальне споживання. Тим самим, використання стандартного поняття змішаної рівноваги, що застосовувалось в [87], неадекватно опису поведінки гравців на ринку.

Цей приклад ілюструє необхідність вказування змістовного опису стратегій - впливу гравців на ОРЕ та всю пов'язану з ним СОУ. Це частково відходить від класичного визначення стратегій в ігрових моделях, де гравці ведуть взаємну боротьбу без урахування загального фону гри.

3.1.3 Принцип оптимальності гри

Розглянемо принцип оптимальності гри, відповідній побудованій моделі сегмента ОРЕ (3.1) - (3.3). Для визначення стану оптового ринку введемо вектор кількісних і якісних ознак - компонентів управління $c(t) = c(c_1, c_2, c_3 \dots c_{ML})(t)$.

Компоненти вектора $c_{ml}(t)$, $ml = 1, 2, 3, \dots, ML$ - параметри, кількісно та якісно відображають характеристики показників його функціонування в момент часу t [113, 114]. До кількісних ознак природно віднести обсяг виробленої ЕЕ, її вартість для різних учасників ринку, обсяги оплати ЕЕ, витрат і доходів учасників ринку, суму наявного капіталу, капіталу, що використовується, та інших ресурсів. До якісних ознак можемо віднести реалізацію інтересів СОУ, інших гравців і коаліцій - рівень задоволення результатами діяльності оптового ринку, як його учасників, так і взаємодіючих з ним систем, в тому числі природного середовища.

Будемо вважати, що довжина вектора компонент управління $c(t)$, що описують стан ринку, співпадає з довжиною вектора ситуацій $st \in {}^2ST$. Ситуація st виникає в результаті виконання гравцями певних дій, спрямованих на реалізацію певних етапів (кроків) стратегій, які будемо називати передстратегіями (частковими стратегіями). Передстратегії $ps_{i,ml}(t_k)$ вказують наслідки для компоненти m (її відновлення або руйнування) в результаті дій гравця в момент часу t_k . Тоді передстратегія $ps_{i,ml}(t_k)$ коаліції ca , яка стосується тільки компоненті ml , є узгоджена між гравцями $i \in ca$ передстратегія, яка утворена виходячи з припустимих передстратегій $PS_{i,ml}(t_k)$ для всіх $i \in ca$.

Далі припустимо, що на інтервалі $[t_l, t_{l+1}]$ розбиття відрізка часу $t \in [t_0, T]$ задана черговість виконання коаліційних кроків або, в термінах [115, 116], коаліційний ланцюжок $ck(t)$. Тим самим, передстратегія кожного наступного елемента ланцюжка $ck(t_k)$ залежить від реалізації передстратегії попереднього елемента, в тому числі і на компоненті c_{ml} . В результаті в певний момент часу t_k після реалізації ситуації $st(t_k)$ величина компоненти ml вектора стану ринку (в разі адитивності значень), може бути представлена виразом:

$$c_{ml}(t_k) = c_{ml}(t_{k-1}) + \sum ps_{ca,ml}(t_k), \quad c_{ml}(t_0) = const., \quad (3.4)$$

де сума береться по всіх коаліціях ca , які входять в ланцюжок $ck(t_k)$.

Якщо прийняти, дуже близьке до реальності, припущення про незалежність передстратегій і про наявність одного коаліційного ланцюжка на інтервалі $[t_l, t_{l+1}]$, то гру (3.1) - (3.3) можна спроектувати на компоненти ринку $c_{ml}(t)$, $ml = 1, 2, 3, \dots, ML$. Тим самим, приходимо до того, що гра може розглядатися по кожній з компонент окремо.

Таким чином, з урахуванням відновлення або руйнування компоненти $c_{ml}(t)$ в результаті виконання стратегій коаліцій, виграш коаліції по цій компоненті можна проінтерпретувати як її частку, що задається деякими функціями $h_{ml,ca}(st(t_k), c_{ml}(t_k))$. Тоді підсумковий виграш коаліції представимо сумою

$$H_{ca}(st(t_k)) = \sum_{ml=1}^{ML} h_{ml,ca}(st(t_k), c_{ml}(t_k)), \quad (3.5)$$

У ϕ^* -стійкій ситуації, відповідній рішенням коаліційної складової гри (3.1-3.3), функції $h_{ml,ca}(st(t_k), c_{ml}(t_k))$ мають вигляд:

$$h_{ml,ca}(\mu(ST(t_k)), c_{ml}(t_k)) = \sum h_{ml,ca}(st(t_k), c_{ml}(t_k)) \mu(ST(t_k)) \quad (3.6)$$

де ймовірнісна міра μ визначає ϕ^* -стійкі змішані ситуації [83, 87] і сума береться на множині чистих ситуацій.

В роботі [87] вектор компонент $c^*(t_k)$, відповідний ϕ^* -стійкої ситуації з мірою $\mu(st(t_k))$ названий ϕ^* -стійким балансом системи (в нашому випадку, оптового ринку), а ситуацію $st(t_k)$ - ситуацією ϕ^* -стійкого балансу в момент часу t_k .

На практиці, при вирішенні завдань організаційного управління, виникає задача визначення оптимального балансу системи. Нехай C_{ml} - деякі задані підмножини значень $c_{ml}(t_k)$, що відображають, наприклад, прийнятний для системи управління ринку та його учасників стан з змістовної точки зору.

Вектор компонент $c^\#(t)$, в якому для всіх $ml = 1, 2, 3, \dots, ML$, виконується $c(t_k) \in C_{ml}$, називається оптимальним балансом або станом системи в момент

часу t_k , а ситуація $st^\#(t_k)$, яка відповідає $c^\#(t_k)$ - ситуацією оптимального балансу [87]. Там же показано, що при відповідних стратегіях управління гравця більш високого рівня, а в нашому випадку це – верхній рівень СОУ оптовим ринком, що полягають, зокрема, в «утриманні» гравців і коаліцій від руйнівних для системи стратегій, ситуації оптимального та ϕ^* -стійкого балансу збігаються. Критерієм оптимальності рішення гри є прийнятність її результатів в сенсі розподілу виграшу між коаліціями в певний момент часу.

Таким чином, за таких же умов, коаліційна гра ${}^2\tilde{A}(t)$ в (3.2) може бути розкладена на матричні гри за компонентами управління і отримана, порівняно проста, процедура формування її вирішення. Зауважимо, що алгоритм знаходження ϕ^* -стійкого балансу за допомогою виразу (3.6) без його розкладання на простіші гри як це показано в роботі [87], не може бути побудовано.

3.2 Формування оптимального рішення коаліційної гри - моделі оптово-роздрібного ринку

Розробку алгоритму формування оптимального рішення гри - моделі енергоринку, яка описує взаємодію гравців і їх коаліцій в процесі реалізації певних дій та стратегій, спрямованих на досягнення бажаних інтересів [80], і процедури її аналізу розглянемо для коаліційної тривірневої ігрової моделі оптово-роздрібного ринку ЕЕ [117].

3.2.1 Побудова теоретико-ігрової моделі оптово-роздрібного ринку

Побудова тривірневої моделі теоретико-ігрової конфліктної взаємодії основних гравців цього сегменту енергоринку - виробників, постачальників і роздрібних споживачів ЕЕ за участю в ньому в якості гравця верхнього рівня СОУ здійснюється з використанням засобів математичного опису, наведених в п. 2.3. В результаті отримаємо такі сукупності взаємопов'язаних ігор:

$$\begin{aligned}
& {}^3\tilde{A}(t) = \langle {}^3I(t), {}^3U(t), {}^3PS(t), {}^3S(t), {}^3CA(t), \\
& {}^2ST(t), {}^3Res(t), \{ {}^3H_i(t) \}, \{ {}^3H_{ni}(t) \}, \{ {}^3D_i(t) \}, \{ {}^3LF_i(t) \}, \\
& {}^3F(t), i \in {}^3I(t), n \in {}^3N(t), t \in [t_0, T] \rangle, \quad (3.7) \\
& {}^3F(t) = ({}^2\tilde{A}(t), i \in {}^2I(t), {}^1\tilde{A}(t), i \in {}^1I(t)), \\
& {}^3H_i(t) = {}^3H_i({}^2H_i(t), {}^2D_i(t), i \in {}^2I(t)) \quad i \in {}^3I(t); \\
& Pm(t) = \langle Pr(t), Ren(t), Spr(t), DN(t), D(t) \rangle,
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& {}^2\tilde{A}(t) = \langle {}^2I(t), {}^2U(t), {}^2CU(t), {}^2PS(t), {}^2S(t), {}^2CA(t), {}^2ST(t), {}^2Res(t), \\
& \{ {}^2H_i(t) \}, \{ {}^2H_{ni}(t) \}, \{ {}^2G_i(t) \}, i \in {}^2I(t), n \in {}^2N(t), t \in [t_0, T] \rangle \quad (3.8) \\
& {}^2H_i(t) = {}^2H_i({}^1H_i(t), {}^1D_i(t), i \in {}^1I(t)), i \in {}^2I(t);
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& {}^1\tilde{A}(t) = \langle {}^1I(t), {}^1S(t), \{ {}^1D_i(t) \}, i \in {}^1I(t), t \in [t_0, T] \rangle. \quad (3.9) \\
& {}^1H_i(t) = {}^1H_i({}^2H_i(t), i \in {}^1I(t))
\end{aligned}$$

Тут ${}^3I(t)$ - множина гравців верхнього рівня СОУ та їх інтереси ${}^3U(t)$ - забезпечення життєдіяльності та розвитку енергоринку відповідно до національних потреб. Стратегії $s \in {}^3S_i(t)$ - визначення обсягів споживання ЕЕ, контроль за ходом розвитку можливих ситуацій з множини для рівня моделі 2, що виникають при виконанні стратегій коаліціями дій гравців з виробництва та постачання ЕЕ. Ресурси 3Res - сукупність контрольованих системою управління потужностей з виробництва та постачання ЕЕ. Реалізацію інтересів органу управління оцінюватимемо логічною функцією ${}^3LF_i(t)$, а функціями ${}^3H_i(t), {}^3H_{ni}(t)$ - відповідно вигреш гравця i та вигреш коаліції n .

Далі через ${}^3F(t) = ({}^2\tilde{A}(t), i \in {}^2I(t), {}^1\tilde{A}(t), i \in {}^1I(t))$ позначимо набір ігор, утворений з ігор ${}^2\tilde{A}(t), i \in {}^2I(t)$, відповідних кожному з гравців $i \in {}^3I(t)$. Гру (3.7) доповнює четверте співвідношення, яке відображає, як і в (3.1), взаємозв'язок енергоринку з іншими взаємодіючими системами і ринками.

Модель другого рівня - ${}^2\tilde{A}(t)$, $i \in {}^2I(t)$ відповідає опису взаємодії всіх учасників енергоринку гравців і коаліцій рівня 2, до яких будемо відносити виробників і постачальників ЕЕ.

Модель першого рівня - ${}^1\tilde{A}(t)$, $i \in {}^1I(t)$. До гравців рівня 1 віднесемо роздрібних споживачів ЕЕ. Але розглядати їх будемо в рамках однієї й тієї ж ігрової структури.

Таким чином, тільки на другому рівні виділяються коаліції інтересів $cu \in {}^2CU(t)$ та дії $ca \in {}^2CA(t)$ і проводиться оцінка реалізації їх інтересів в результаті виконання стратегій $s \in {}^2S_i(t)$, $i \in {}^2I(t)$, утворених на основі векторів передстратегій $ps \in {}^2PS_i(t)$, $i \in {}^2I(t)$, по гравцях і коаліціях рівня 2. Також не розглядаються роздрібні споживачі ЕЕ і замість них, як зазначалось раніше, використовуються агреговані стратегії $s \in {}^1S_i(t)$ оптових споживачів $i \in {}^1I(t)$, які полягають в попиті на ЕЕ, отриманні певного обсягу ЕЕ та в її подальшій оплаті. Передбачається, що виграш роздрібних споживачів (обсяг отриманої ЕЕ та її ціна) вказується гравцями рівня 2 і залежить від стратегій гравців рівня 2. Як і раніше, цей виграш оцінюється обсягом спожитої ЕЕ та розміром оплати – функціями ${}^1H_i(t) = {}^1H_i({}^2H_i(t))$, $i \in {}^1I(t)$.

Як функції виграшу коаліцій і гравців рівня 2, як і раніше, будемо розглядати: функції $\{{}^2G_i(t)\}$, $i \in {}^2I(t)$, відповідні попередньому узгодженню коаліцій щодо ситуації на ринку, що досягається в рамках кооперативної складової гри; функції $\{{}^2H_i(t)\}$, $i \in {}^2I(t)$ відображають реальний розподіл ЕЕ в момент часу, реалізований в межах стратегічної складової гри; (логічні) функції, що відображають реалізацію вихідних інтересів $\{{}^2LF_i(t)\}$, $i \in {}^2I(t)$.

Верхній рівень СОУ ринком, виконуючи свої стратегії ${}^3S(t)$, як і раніше, створює Правила ОРЕ, які визначають порядок і механізми його функціонування та управління обсягами виробництва ЕЕ і ціноутворенням.

З огляду на вищевикладене, приймемо наступне припущення, що на верхньому третьому рівні розіграш гри завершено в певний момент часу t . Прийнято оптимальне рішення, прийнятне для всіх учасників ринку на певний період часу і закріплене Правилами ОРЕ. Будемо також вважати, що реалізуючи свої стратегії, верхній рівень СОУ ОРЕ: встановив: тариф - Pr на енергоресурси та ЕЕ; визначив порядок оцінки шкоди навколишньому середовищу - DN ; порядок виділення ресурсів Res на виробництво і поставку ЕЕ. Це припущення дозволяє спростити процедуру аналізу запропонованої моделі.

3.2.2. Процедура аналізу моделі

Проведення процедури аналізу побудованої кооперативної ігрової моделі, призначеної для подальшого формування оптимального рішення, передбачає реалізацію наступних основних етапів.

1. Визначення компонент вектора $c(t) = c(c_1, c_2, c_3 \dots c_{ML})(t)$,
 $ml = 1, 2, 3, \dots, ML$.

Розглянемо питання, пов'язані з виділенням компоненти цього вектора $c_{ml}(t)$, яка характеризує стан СОУ енергоринком і одного з показників його функціонування. В роботі [118] була приведена загальна структура показників, що вимагає розширення при описі енергоринку засобами теоретико-ігрової моделі.

У цій структурі були виділені наступні групи показників: виробничі; фінансово-економічні; виробничих процесів; зовнішніх відносин; ефективності управління. Виходячи з теоретико-ігрової моделі, ці групи представимо в такий спосіб.

А) Управління:

- попит (фактичний і прогнозний) на ЕЕ, гравці, які його формують та їх структура, прогнозні величини попиту відображаються як їх припустимі стратегії, фактичний попит, що співпадає з фактичним споживанням, можна проінтерпретувати як реалізацію однієї з стратегій;

- перспективне короткострокове прогнозування споживання ЕЕ відображається як одна з можливих стратегій, яка приймається як припустима;
- тарифи на ЕЕ, їх встановлення - одна з припустимих передстратегій органу, керуючого енергоринком;
- баланс виробництва, попиту та споживання ЕЕ, обсяги експорту-імпорту - реалізується як одна з ситуацій теоретико-ігрової моделі, в тому числі оптимального балансу, що враховує інтереси та стратегії всіх учасників енергоринку, їх оптимальні виграші;
- прогнозні параметри темпів зростання економіки за галузями як передумови формування перспективних цілей (інтересів) і стратегій управління енергоринком.

Параметри та оцінки, які стосуються енергоефективності, енерго- і ресурсозбереження, відносяться до функцій виграшу та будуть розглянуті нижче.

Ресурси (входять до групи «управління»):

- обладнання, паливні, трудові, фінансові, земельні та інші ресурси, необхідні для виробництва ЕЕ, прогнозні ціни на них реалізуються як результат оцінки органом управління енергоринку стратегій та інтересів постачальників енергоносіїв, інших зовнішніх і внутрішніх ринків;
- виходячи з прогнозу цін, формуються стратегії розвитку енергоринку, що дозволяють знизити собівартість енергетичного забезпечення, врахувати інтереси енергетичного та інших національних ринків, гравців і коаліцій на цих ринках;
- структура виробництва ЕЕ - виробники та постачальники, їх групи, власники енергетичних комплексів і об'єктів - гравці і коаліції з виробництва та постачання ЕЕ;
- характеристики (потужності) гравців і коаліцій - вартість належних їм об'єктів, встановлені та максимальні потужності об'єктів, наявні у гравців і коаліцій ресурси за всіма їх видами;
- обсяги виробництва та поставок ЕЕ, експорту-імпорту ЕЕ як характеристика стратегій з виробництва та постачання ЕЕ, баланс попиту -

споживання ЕЕ, платежів по кожному з гравців як характеристика їх потенційних стратегій;

- поточні та перспективні цілі та інтереси кожного з гравців і коаліцій, наприклад, захоплення сегмента ринку, придбання або продаж потужностей з виробництва та постачання ЕЕ, капітальне будівництво, порівняльна оцінка інтересів, їх можливості бути реалізованими;

- зміни в структурі гравців і коаліцій - створення або реконструкція енергетичних об'єктів - обсяги інвестицій в капітальне будівництво, обсяги капітальних ремонтних робіт, їх замовники, терміни виконання робіт, потенційні стратегії після створення об'єктів та ін.

Б). Виробництво та постачання ЕЕ (по кожному з виробництв): обсяг виробництва ЕЕ; витрати на виробництво ЕЕ; корисний відпуск ЕЕ; втрати ЕЕ в мережах передачі; обсяг поставки ЕЕ споживачам; собівартість ЕЕ;

- обсяг фактичних оплат за відпущену ЕЕ; обсяги шкідливих викидів в навколишнє середовище за видами; ціна, дохід і прибуток від виробництва та поставки ЕЕ.

Перелічені показники становлять основу для формування стратегій гравців і коаліцій рівня 2 цього сегменту моделі енергоринку (3.7 - 3.9) - виробників і постачальників енергії. З них виключена (в порівнянні з [118]) група показників, що відносяться до характеристик фінансово-економічної діяльності, оскільки вони є комерційною таємницею відповідних підприємств і не доступні органам статистики - єдиного зовнішнього джерела інформації. За побудовою моделі енергоринку ці показники також відносяться до індивідуальних характеристик гравців і коаліцій. Зовнішніми показниками, крім цін і доходів від виробництва і поставки ЕЕ (які також є комерційною таємницею), є цілі або інтереси гравців і коаліцій, функції виграшу, які можуть бути віднесені як до отриманого чистого доходу, так і до прибутку підприємств.

Іншими словами, реалізація системи управління енергоринком, заснованої на теоретико-ігровій моделі, втім, як і інших подібних систем, потребують вирішення певних організаційних питань з надання та пошуку даних з

господарської діяльності його учасників. Показники, що характеризують оцінки задоволення інтересів гравців і коаліцій, також як і їх функції виграшу, на відміну від вихідних даних є параметрами, що задаються та аналізуються безпосередньо засобами моделі.

В). Споживання ЕЕ: індивідуальні споживачі ЕЕ, їх класифікація; обсяги фактичного споживання ЕЕ; агреговані оптові споживачі ЕЕ, що представляють всю множину індивідуальних споживачів; обсяг оплати отриманої ЕЕ.

Як зазначалося вище, споживачі ЕЕ виступають пасивними гравцями енергоринку, внаслідок чого не виділяється множина їх інтересів і стратегій, крім стратегій, де вказуються певні обсяги фактичного споживання ЕЕ.

Для кожного з виділених базових показників, що характеризують функціонування енергоринку, зіставляється множина його припустимих значень, в тому числі підмножина, де показник має оптимальне значення. Оптимальність значень може бути задана як емпірично, так і в процесі аналізу теоретико-ігрової моделі, включаючи ітеративні процедури вирішення.

Вектор показників $c(t)$, вектор поточного стану енергоринку, що включає набір множин гравців і коаліцій, їх стратегій, ситуацій, значень функцій виграшу та оцінок реалізації інтересів гравців і коаліцій може, наприклад, мати наступний вигляд:

$$c(t) = ((I(t), U(t), CU(t), PS(t), S(t), CA(t), ST(t), Res(t), \{H_i(t)\}, \{H_{mi}(t)\}, \{LF_i(t)\}, I = \{i\}, N = \{n\}, t \in [t_0, T]), \dot{Y}_\delta^{\hat{O}i}, \dot{Y}_\delta^{\hat{A}2}, \dot{Y}_\delta^{\hat{I}\hat{O}}, \ddot{A}_\delta^{\hat{N}\hat{N}}, \ddot{A}_\delta^{\hat{A}2}, \ddot{A}_\delta^{\hat{2}\hat{N}}, \ddot{A}_\delta^{\hat{E}\hat{O}}, \ddot{A}_\delta^{\hat{Y}i}, \ddot{O}_\delta^{\hat{O}i\hat{N}}, \ddot{A}_\delta^{\hat{E}i}, \ddot{A}_\delta^{\hat{l}i}, \ddot{A}_\delta^{\hat{i}}, \ddot{O}_{i\hat{e}}, \ddot{O}_{i\hat{e}}^{\hat{r}\hat{d}\hat{a}}),$$

де: $\dot{Y}_\delta^{\hat{O}i}$ - обсяг виробництва ЕЕ за розрахунковий період усіма генеруючими суб'єктами; $\dot{Y}_\delta^{\hat{A}2}$ - обсяг експорту-імпорту ЕЕ за розрахунковий період усіма мережевими суб'єктами (експортерами - імпортерами); $\dot{Y}_\delta^{\hat{I}\hat{O}}$ - обсяг втрат ЕЕ при виробництві та передачі в ВВЛ за розрахунковий період; $\dot{Y}_\delta^{\hat{I}\hat{E}}$ - обсяг споживання ЕЕ за розрахунковий період усіма постачальниками і споживачами; $\ddot{A}_\delta^{\hat{N}\hat{N}}$ - сумарний платіж за виробництво ЕЕ всім генеруючим

суб'єктам; $\ddot{A}_\delta^{\hat{A}^2}$ - платіж за поставлену ЕЕ мережевими суб'єктами (імпортери - експортери) через перетоки по зовнішньому перетину ОЕЕС; $\ddot{A}_\delta^{2\tilde{N}}$ - витрати інфраструктури на диспетчерське управління мережевими суб'єктами, передачу ЕЕ по ВВЛ; $\ddot{A}_\delta^{D\hat{O}}$ - витрати на покриття втрат при виробництві й передачі ЕЕ; $\ddot{A}_\delta^{\hat{Y}\hat{I}}$ - сумарний платіж за придбану в ОРЕ ЕЕ усіма постачальниками та споживачами; $\ddot{O}_\delta^{i\tilde{N}}$ - гранична ціна системи; $\ddot{A}_\delta^{D\hat{I}}$ - платіж за забезпечення робочої потужності блоків ТЕС; $\ddot{A}_\delta^{i\hat{I}}$ - платіж за маневреність блоків ТЕС; $\ddot{A}_\delta^{\hat{I}}$ - платіж за пуск блоків ТЕС; $\ddot{O}_{i\hat{e}}$ - середня оптова ціна купівлі ЕЕ у виробників; $\ddot{O}_{i\hat{e}}^{i\hat{\delta}\hat{a}}$ - прогнозна оптова ціна купівлі ЕЕ у виробників; індекс δ - розрахунковий період часу.

Іншими словами, вектор $\mathbf{c}(t)$ описує стан всіх об'єктів і процесів, в тому числі і слабо формалізованих, що відбуваються на енергоринку. На цьому векторі може бути передбачена певна система пріоритетів, що вказують ступінь важливості його компонент. Цей вектор є вихідним і припускає структурування за різними рівнями моделі, може бути доповнений й іншими якісними та кількісними показниками.

Таким чином, на першому етапі процедури аналізу моделі виконується завдання всіх базових показників моделі ринку. Тут же описуються регламент і порядок проведення процесів узгодженої технологічної інформаційної взаємодії гравців при виробництві та поставці ЕЕ, виконання яких контролюється гравцями верхнього рівня СОУ. Можливе розкладання цього вектора на групи параметрів, які підлягають контролю на різних рівнях моделі.

Наступний етап аналізу моделі пов'язаний з визначенням пріоритетів на компонентах вектора $\mathbf{c}(t)$, що відображають важливість компонент, оцінці інформативності компонент $\tilde{n}_{ml}(t)$ при вирішенні завдань управління функціонуванням енергоринку.

2. Визначення ключових інформативних компонент у векторі $\mathbf{c}(t)$.

Цей етап вводиться на додаток до процедури формування рішення гри - моделі ринку. Це пов'язано зі складною структурою вирішення прикладних завдань і відповідною необхідністю скорочення обсягу інформації, що має оброблятися. Таке визначення виконується, по-перше, розподілом інформації за рівнями моделі, по-друге, шляхом виділення інформативних компонент по кожному з рівнів моделі. Для цього може бути використана, наприклад, процедура структуризації даних, описана в [87], або евристичні процедури аналізу інформативності ознак. Одним з варіантів такої процедури є завдання важливості компонент, виходячи як з реального досвіду вирішення завдань управління енергоринком, так і за результатами вирішення завдань аналізу його моделі. Це передбачає класифікацію даних за завданнями аналізу і навпаки.

З огляду на ту обставину, що розрахунковий період часу дорівнює одній годині, то для погодинного аналізу функціонування енергоринку за допомогою виділених показників необхідно побудувати спеціальні процедури обробки даних, засновані на технології сховищ даних і отримання знань. Далі буде розглядатися основна група етапів процедури аналізу моделі, безпосередньо пов'язана кооперативним характером формуванням рішення коаліційної гри.

3.2.3 Процедура формування рішення коаліційної гри

Зупинимося детальніше на способах визначення ігрових складових аналізу побудованої моделі, процедури формування рішення коаліційної гри.

1. Виділення множин гравців різних рівнів. При формуванні моделі множини гравців і коаліцій можуть бути задані як прямим переліченням, так і як результат моделювання тих чи інших множин учасників енергоринку. Перш за все, це відноситься до споживачів, які агрегуються в залежності від територіальної приналежності постачальника енергії. Агрегація гравців може виконуватися детермінованими або ймовірнісними методами. Зауважимо, що використання детермінованих, ймовірнісних або змішаних методів визначення елементів моделі веде до відмінностей в побудові загальної ігрової моделі,

вимагає зміни умов знаходження оптимальних ситуацій та додаткових досліджень.

2. Виділення множин інтересів, дій та припустимих стратегій. Стратегії також можуть визначатися в різний спосіб. Основним є детерміноване завдання всіх можливих дій гравців і коаліцій при реалізації стратегій. При відомій або відновленій функції розподілу, заданій на їх множині, модель може розглядатися при змішаних стратегіях. Незалежно від способу визначення стратегій, інтереси гравців і коаліцій, а також функції оцінки їх можливості бути реалізованими визначаються як детерміновані. Такий спосіб дозволяє однозначно оцінити стан гравців і коаліцій, всього енергоринку, і, як наслідок, - можливу подальшу поведінку гравців і коаліцій.

Виділення перелічених множин для цієї моделі енергоринку докладно описано в роботі [80] і в розділі 2.

3. Визначення впливів на компоненти системи в результаті виконання стратегій гравців і коаліцій. Будемо вважати, що компоненти системи в виділеному векторі $c(t)$ розділені на підвектори адитивних $c_{sum}(t)$ та не адитивних (якісних) $c_{ns}(t)$ величин (ознак). Тоді, вплив стратегії на підвектор $c_{sum}(t)$ може бути задано дійсною функцією, а на підвектор $c_{ns}(t)$, зокрема, наступними способами: простим переліченням можливих значень, які приймає компонента в результаті виконання стратегії виходячи з її поточного значення; ймовірнісним розподілом можливих значень в результаті виконання стратегії, виходячи з її поточного значення; логічними схемами переходу станів компонент в результаті виконання стратегій гравців і коаліцій.

Для кожної з компонент вводяться обмеження на прийняті нею значення або множина припустимих значень. Якщо в результаті виконання послідовності стратегій гравців по якій-небудь одній компоненті її значення виходять за межі цієї множини, то процедура вирішення гри зупиняється.

В такому випадку використовується інша послідовність виконання стратегій коаліцій та гравців - коаліційний ланцюжок [116], на цій і, отже, на

інших компонентах. Якщо такої послідовності стратегій не існує, то процедура аналізу моделі приходиться до початкового етапу - завданню множини стратегій.

З урахуванням кінцевості множин, процедура пошуку коаліційних ланцюжків, які не руйнують систему має завершення. Зведення її до поліноміально складної задачі може бути виконано за допомогою різних відомих процедур. Наприклад, можливість виходу значень будь-якої компоненти за межі множини припустимих значень або руйнування компоненти може бути визначена підсумовуванням мінімальних і максимальних впливів стратегій, що виконуються.

Таким чином, на цьому етапі уточнюються та «стискаються» множини стратегій гравців і коаліцій, що дозволяє скоротити їх перебір надалі.

Зауважимо, що, якщо на цьому етапі не вдалося виділити множини стратегій, що не приводять до руйнування компонент, то енергоринок знаходиться в кризовому стані та вимагає введення інших цілей, інтересів і стратегій зі сторони гравців верхнього рівня СОУ.

4. Завдання стану оптимального балансу - множин значень параметрів, до яких повинні належати компоненти $c(t)$.

5. Завдання множини станів, прийнятних для учасників ринку за рівнями моделі. Видалення стратегій, які порушують оптимальність балансу.

На відміну від попереднього етапу 3, де стратегії аналізувалися з точки зору руйнування компоненти системи, тут аналізуються інтереси та виграші гравців і коаліцій в умовах дотримання балансу компоненти. Множина прийнятних ситуацій визначається виходячи з двох критеріїв.

1. Прийнятність виграшів і реалізація вихідних інтересів гравців і коаліцій.
2. Прийнятність стану енергоринку за оцінкою верхнього рівня СОУ.

Тобто, приналежність компонент $c(t)$ наперед заданим множинам значень, що відображає оптимальність стану енергоринку. Наприклад, показники $\ddot{O}_{i\hat{e}}$ і $\ddot{O}_{i\hat{e}}^{i\hat{d}\hat{a}}$ не відхиляються від встановлених верхнім рівнем СОУ значень на величину більшу, ніж узгоджена регламентом.

Іншими словами, гравці і коаліції своїми стратегіями не повинні виводити кожен з компонент $c(t)$ за межі оптимального стану. Існування такої ситуації можливо при відповідних стратегіях гравців більш високого рівня по відношенню до гравців нижнього рівня.

Згідно з класичним визначенням поняття прийнятності ситуації в коаліційних іграх [83], що є узагальненням поняття рівноваги за Нешем, в ній коаліція отримує мінімально гарантований виграш незалежно від стратегій інших коаліцій. У нашому випадку, виходячи з цього визначення, а також з умови, що гравець більш високого рівня регламентує всю множину ситуацій (множину векторів припустимих стратегій) для більш низького рівня та контролює дотримання оптимального стану енергоринку, завдання множини прийнятних ситуацій також може бути віднесено до його стратегій. Гравцям нижнього рівня пропонується знайти в цій множині одну або декілька ситуацій, прийнятних для коаліцій та гравців. Для них це еквівалентно, з одного боку, звуженню множини стратегій, перш за все за рахунок тих, що порушують оптимальність балансу системи. З іншої сторони, визначенням не єдиної стійкою або оптимальної ситуації, що передбачається класичним підходом до їх пошуку, а множини таких ситуацій, які задовольняють, перш за все, верхній, та, надалі - нижній рівень гравців моделі.

На практиці можливі випадки, коли поточні інтереси гравців і коаліцій превалюють над перспективним балансом всієї системи. У зв'язку з цим визначимо множину прийнятних ситуацій як сукупність множин, що відповідають моментам розбиття інтервалу часу проходження гри, та будемо розглядати оцінку виграшів гравців і коаліцій в поточний та наступні моменти часу. Тим самим, результати гри - стан системи, виграші гравців оцінюються в цілому за інтервал проходження гри. Тобто, отримуємо більшу «свободу» в досягненні ситуацій оптимального балансу, відносячи задоволення інтересів окремих гравців на майбутнє (при відповідних додатках до Правил гри).

Множина прийнятних ситуацій визначається як сукупність множин, до яких повинні належати:

а) значення компонент $c(t)$;

б) значення функцій виграшу та логічних функцій оцінки задоволення інтересів гравців і коаліцій.

Якщо такі множини можуть бути виділені, то може бути опущено наступний етап - побудова та вирішення матричної гри, яка тут зведена до аналізу чисельних значень впливів гравців і коаліцій на компоненти і обчислення значень логічних функцій, заданих на множинах інтересів.

6. Визначення функцій виграшу. Функції виграшу можуть бути задані різними способами. В разі оцінки доходу від продажу або поставки ЕЕ - як детерміновані дійсні функції, а в разі оцінки інтересів гравців і коаліцій - як детерміновані логічні функції $LF(t)$.

7. Формування та вирішення матричної гри за компонентами ml вектора $c(t)$. Необхідність побудови гри слідує також з ситуації, коли гравець вищого рівня не може визначити чи узгодити стратегії підлеглих йому гравців і коаліцій, але при цьому має можливість оцінки впливу цих стратегій на компоненту ml .

Маємо двох фіктивних гравців - руйнівника або творця компоненти ml , чії стратегії $s_{pl} \in S_{pl}$, $Pl=I, II$, є об'єднання (сума) стратегій гравців і коаліцій, відповідно тих, що руйнують або відтворюють деякий стан (значення) компоненти системи. Виграшем є величина $H_m(s_{pl})$, одержана в результаті впливу на компоненту, причому $H_m(s_I) = -H_m(s_{II})$, тобто гра є антагоністичною. У ситуації рівноваги, що досягається в загальному випадку в змішаному розширенні гри, гравці отримують мінімаксний виграш. При цьому отримане значення компоненти $c_{ml}(t)$ також може бути названо рівноважним. Відповідність рівноважності цього значення і оптимального стану системи обговорювалося вище і досягається за рахунок видалення суто руйнівних стратегій, які встановлюються цією процедурою або правилами гри.

8. Визначення виграшів гравців і коаліцій. Виграші гравців і коаліцій утворюються як суми значень функцій $H_{ml}(t)$ по компонентах ml . Виграші, одержані в рамках матричних ігор, побудованих на компонентах, формуються як

відповідна частка гравця або коаліції в значенні $H_{mi}(s_i)$, яка визначається при об'єднанні стратегій.

9. Оцінка задоволення вихідних інтересів в результаті формування рішення гри і перехід до наступного моменту часу її розіграшу виконується за аналогією з формуванням підсумкових вигравів гравців і коаліцій з урахуванням порівняння вихідних очікуваних або узгоджених з гравцем верхнього рівня та отриманих значень відповідних логічних функцій.

3.2.4 Приклад реалізації процедури аналізу ігрової моделі в умовах балануючого ринку

Розглянемо приклад застосування процедури аналізу гри (3.7) - (3.9) - моделі розглянутого сегмента енергоринку та формування її рішення.

1. У цьому прикладі буде розглянута спрощена схема виробництва та споживання ЕЕ, в якій беруть участь виробник, постачальник і споживачі.

2. Для проведення процедури аналізу моделі виділимо наступні показники, що відображають інтереси та стратегії гравців: обсяг очікуваного споживання ЕЕ - $v_{0,\bar{m}i\alpha}$; обсяг виробленої ЕЕ - $v_{\hat{a}\hat{e}\hat{d}}$; обсяг фактичного споживання ЕЕ - $v_{\bar{m}i\alpha}$; обсяг ресурсів, використаних для виробництва ЕЕ - $v_{\delta\hat{d}\bar{n}}$; дохід виробника від виробництва ЕЕ - $d_{\hat{a}\hat{e}\hat{d}}$; фактичний дохід від споживання ЕЕ - $d_{\bar{m}i\alpha}$; обсяг оплати спожитої ЕЕ споживачами - $vf_{\bar{m}i\alpha p}$; оцінки гравця верхнього рівня поточного, перспективного (досягнутого в результаті попереднього узгодження, в тому числі на основі аналізу стратегій гравців) і фактичного стану енергоринку або задоволення інтересів його учасників (в прикладі - виробника та споживача) - $lf_{0,\bar{m}i\alpha}$, $lf_{\bar{m}i\alpha}$, $lf_{0,\hat{a}\hat{e}\hat{d}}$, $lf_{\hat{a}\hat{e}\hat{d}}$, $vlf_{\hat{a}\hat{e}\hat{d}}$, $vlf_{\bar{m}i\alpha}$, зіставляються кожному з введених зараз показників.

Перелічені показники відносяться відповідно до вихідного (попереднього) та поточного моменту часу.

2. При визначенні інформативності виділених тут показників легко зробити наступні оцінки. Рівень оплати ЕЕ (роздрібним) споживачем, який виражається навіть у найпростішому процентному виразі, може бути зіставлений оцінці задоволення його інтересів. Тим самим, можуть бути опущені величини $lf_{0,\bar{m}i\alpha}$, $lf_{\bar{m}i\alpha}$, $vlf_{\bar{m}i\alpha}$, які замінюються на відповідні величини обсягу оплати енергії - $v_{0,\bar{m}i\alpha}$; $v_{\bar{m}i\alpha}$; $vf_{\bar{m}i\alpha}$. На додаток до $vf_{\bar{m}i\alpha}$ в поточний момент часу може розглядатися і величина оплати ЕЕ в попередній момент t_{k-1} , $vf_{0,\bar{m}i\alpha} = vf_{k-1,\bar{m}i\alpha}$ за всіма k . Тобто можуть розглядатися тренди зміни значень компонент ml .

3. Визначимо стратегії гравців та їх вплив на виділені показники. Споживач формує значення показники - $v_{0,\bar{m}i\alpha}$; $v_{\bar{m}i\alpha}$; $vf_{\bar{m}i\alpha}$. Виходячи з $vf_{\bar{m}i\alpha}$, за задалегідь заданими гравцем верхнього рівня тарифами ним же визначається дохід $d_{\bar{m}i\alpha}$. На основі аналізу обсягу споживання в момент t_{k-1} , інших характеристик гравець верхнього рівня визначає обсяг виробництва ЕЕ $v_{\hat{\alpha}\hat{\delta}}$, тобто формує свою стратегію по виробництву на момент t_k . Нехай це величина дорівнює - $v_{0,\hat{\alpha}\hat{\delta}}$. Виробник, виконуючи цю стратегію повинен зробити цей обсяг ЕЕ, але в силу різних причин, перш за все, коливання споживання, виробляє відмінний від $v_{0,\hat{\alpha}\hat{\delta}}$ обсяг ЕЕ, рівний $v_{\hat{\alpha}\hat{\delta}}$. Тим самим, він змінює (для прикладу - зменшуючи) значення цього показника. З іншого боку, споживач, навпаки, збільшує очікуване споживання $v_{0,\bar{m}i\alpha}$, $vf_{\bar{m}i\alpha} > v_{0,\bar{m}i\alpha}$. В результаті маємо ігрову ситуацію на показниках, що характеризують обсяги виробництва та споживання ЕЕ. При цьому виробник недоотримує дохід від виробленої, але затребуваної ЕЕ, а споживач має незадоволений попит, який виражається різницею - $vf_{\bar{m}i\alpha} - v_{0,\bar{m}i\alpha}$. Якщо цій різниці зіставити деяку шкалу, то отримуємо логічну функцію задоволення інтересів споживача і, відповідно, виробника. У той же час гравець верхнього рівня змушений перекрити різницю - $vf_{\bar{m}i\alpha} - v_{0,\bar{m}i\alpha}$ за рахунок поставки ЕЕ з інших джерел, що також знижує рівень реалізації його інтересів. Також він зазнає збитків за рахунок неповноцінного використання виділених ресурсів $v_{\hat{\delta}\hat{m}}$ і необхідності залучення додаткових коштів. Описана ситуація вирішується також

шляхом купівлі постачальниками ЕЕ якої бракує, на балансуєчому ринку, але, як правило, за вищою ціною. Це також призводить до зниження доходу постачальника, оскільки поставка ЕЕ споживачеві здійснюється за затвердженим тарифом.

4. Для задання стану оптимального балансу розглянемо наступну ситуацію. Будемо вважати, що вигреш виробника визначається як дохід, що отримується від продажу ЕЕ за мінусом використаних для її виробництва ресурсів при обліку обсягу (відсотка) оплати її споживачами - $d_{\bar{m}i\epsilon} = (d_{\bar{a}\bar{e}\bar{d}} - v_{\bar{d}\bar{a}\bar{n}}) v f_{\bar{m}i\epsilon}$. Споживач, не отримуючи реального доходу, оцінює ситуацію за обсягом одержаної ЕЕ, тобто різницею - $v_{0,\bar{m}i\epsilon} - v f_{\bar{m}i\epsilon}$, прагнучи до досягнення її нульового значення. Гравець верхнього рівня також прагне до цього значення, але одночасно повинен задовольняти інтереси виробника в максимізації - $d_{\bar{m}i\epsilon}$. З огляду на обмеженість часу для проведення необхідних узгоджень з гравцями він повинен визначити таку ціну купівлі її на балансуєчому ринку, за якої значення обох величин, що відображають інтереси виробника, постачальника і споживача будуть перебувати в оптимальному стані або ситуації оптимального балансу. Це завдання вирішується: з виробником переговорами; наданням йому ресурсів; гарантій та інших вигод. З постачальником і споживачем - визначенням вигідних тарифів, графіків та обсягів поставки ЕЕ, при яких споживач не втрачає інтерес до подальшої оплати ЕЕ.

5. Одним з можливих варіантів визначення такої, прийнятної для учасників ринку, оптимальною ситуації є її формалізація та завдання поточної ситуації на енергоринку як бази для подальшого вибору стратегій управління нею та оцінки можливих дій виробника, постачальника і споживача. Результатом буде визначення множини прийнятних для гравців ситуацій, що відрізняються від заданої вихідної ситуації, але знаходяться в припустимих для гравця верхнього рівня межах.

Розглянемо два можливих випадки виходу за межі цих ситуацій. По-перше, це введення нових тарифів, коли при дотриманні встановлених обсягів поставок ЕЕ споживач зменшує обсяг оплати поставленої ЕЕ за межі критичних величин,

оскільки не отримує ніяких додаткових стимулів до оплати ЕЕ. А виробництво або отримання ЕЕ, наприклад, самостійно, стає більш вигідним. По-друге, через зростання цін на ресурси виробник змушений підвищити ціни, що призводить до критичних рівнів собівартості продукції, що випускається споживачем за допомогою цього виду енергоносія. Тим самим, він повинен або змінити структуру цього виробництва, або ліквідувати його, що в обох випадках призводить до дисбалансу всієї системи, в яку входить і енергоринок.

6. Визначення вигащів гравців. Обидва випадки описуються матричною грою визначення ціни на ЕЕ, в якій виробник пропонує різні варіанти її підвищення, а споживач визначає прийняти або не прийняти для себе це підвищення. Виграш, як і раніше, описується доходом виробника і обсягом оплати (а також купівлі або споживання) ЕЕ споживачем. Ситуація рівноваги в цій грі - прийнятні для обох сторін ціни на ЕЕ.

7. На останньому етапі проводиться оцінка задоволення вихідних інтересів, шляхом порівняння одержаних гравцями вигащів з апріорно певними значеннями обсягів споживання, доходів, реалізації інтересів. Як зазначалося вище, для оцінки задоволення інтересів гравців, включаючи їх критичні значення, можуть бути використані різні шкали логічних значень функцій. Наприклад, за оцінкою різниці між очікуваними та отриманими доходами, обсягом оплати ЕЕ, обсягом її виробництва. Отримані результати, крім оцінки ситуації на енергоринку, можуть служити передумовами для вибору та інтересів і стратегій гравця верхнього рівня СОУ енергоринком, а також вихідними даними для прогнозування інтересів і стратегій різних його гравців.

Викладений схематичний приклад опису та оцінки ситуацій на енергоринку, навіть при використанні тільки основних його характеристик споживання та доходів гравців, вже ілюструє різноманіття й складність завдань моделювання та аналізу енергоринку з використанням теоретико-ігрових засобів і необхідність створення відповідних комп'ютерних моделей.

3.3. Висновки до розділу

1. Побудовані трирівневі дескриптивні моделі сегментів ринку: сегменту оптового ринку ЕЕ на добу вперед за участю основних гравців виробників, оптових постачальників ЕЕ та верхнього рівня СОУ ринком; оптово-роздрібного ринку, гравцями якого є оптові, роздрібні постачальники та верхній рівень СОУ ринком. Визначені функції виграшу гравців і коаліцій, створених у виділених рівнях, якими оцінюються результати вирішення кооперативної гри.

2. Розроблені процедури формування оптимального рішення багаторівневих кооперативних ігор - моделей сегментів ринку, аналізу моделей визначення формування діапазонів обмежень у змінах компонентів стану управління для збереження його стійкості, взаємоузгоджених, прийнятних для учасників ринку варіантів змін до механізмів функціонування ринку.

РОЗДІЛ 4

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ПРОЦЕСІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ ОРГАНІЗАЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ

Характерною особливістю процесів прийняття рішень в підсистемах організаційного управління складними ОТС, є те, що їх механізми функціонування безпосередньо відображають технологічні особливості виробництва продукції, яка випускається, і не можуть розглядатися у відриві від них. У цьому розділі роботи розглядаються питання побудови математичних моделей та розробки алгоритмів їх реалізації, які призначені для формування

нових і вдосконалення діючих механізмів функціонування СОУ сегментом енергоринку, який отримав назву ринку на добу наперед. Відмінні риси організаційної, оперативно-технологічної інформаційної взаємодії суб'єктів ОРЕ були описані в розділі 1 п. 1.3.1. Зазначені особливості визначають порядок застосування механізмів функціонування СОУ ОРЕ в плані реалізації своєчасного, відповідно до прийнятого регламенту, комерційного обліку виробленої, переданої та спожитої ЕЕ, розрахунку платежів суб'єктів ОРЕ.

Розпорядник системи розрахунків ОРЕ відповідає за реалізацію наступних завдань організаційного управління шляхом застосування розроблених і затверджених Регулятором ринку механізмів функціонування (Правил ринку). До їх числа відносяться:

- погодинне планування режиму роботи ОЕЕС України з активної потужності та ЕЕ, планування поставок ЕЕ;
- визначення погодинних прогнозних цін на ЕЕ та цін за робочу потужність на наступну добу на основі оптимізації режимів роботи електростанцій, зовнішніх перетоків ЕЕ, поданих цінових заявок генкомпаній (юридична особа - об'єднання електростанцій) АЕС, ТЕС, ГЕС і прогнозного обсягу споживання ЕЕ на наступну добу ;
- розрахунок платежів за куплену та продану ЕЕ;
- розрахунок фізичного та фінансового балансів обсягів купівлі-продажу ЕЕ.

Вирішення зазначених завдань організаційного управління, закріплених в якості функцій управління за різними структурними підрозділами ДП «Енергоринок», нагально потребує розробки засобів математичного та комп'ютерного моделювання для проведення відповідних розрахунково-технологічних процедур.

Правилами ОРЕ визначені і такі механізми його функціонування як: розрахунок розподілу навантаження між блоками генеруючих компаній; розрахунок оптової погодинної ціни купівлі ЕЕ у генеруючих компаній;

розрахунок погодинної оптової ціни продажу ЕЕ постачальникам, які купують ЕЕ на ОРЕ; розрахунок платежів всім суб'єктам ОРЕ та ін.

Цей розділ роботи якраз й присвячений побудові математичних моделей розрахунково-технологічних процесів для подальшого їх використання в комп'ютерних моделях процесів вдосконалення та розвитку механізмів функціонування СОУ ОРЕ.

4.1 Модель оптимального добового розподілу обсягів виробництва електроенергії між блоками електростанцій

4.1.1. Формулювання задачі математичного моделювання

Розглянемо формулювання задачі моделювання оптимального добового розподілу обсягів виробництва ЕЕ між блоками електростанцій [119]. Як вже зазначалося вище, однією з функцій організаційного управління в діяльності підприємства ДП «Енергоринок» як Розпорядника системи розрахунків ОРЕ України є функція планування поставок ЕЕ на добу вперед (добового планування). До складу завдань, що вирішуються при реалізації цієї функції управління, входять: визначення планових погодинних обсягів і балансів виробництва та споживання ЕЕ на основі використання даних цінових заявок генкомпаній ТЕС і заявлених обсягів споживання ЕЕ постачальниками на наступну добу; визначення планових погодинних обсягів зовнішніх перетоків потужності і ЕЕ; планування оптимальних в економічному сенсі режимів роботи електростанцій; погодинне планування режиму роботи ОЕЕС України з активної потужності та ЕЕ; визначення планових погодинних оптових цін купівлі та продажу ЕЕ, цін за робочу потужність, маневреність, пуск блоку та інших системних витрат.

Результати вирішення перелічених завдань використовуються для формування планового ТДГ постачань ЕЕ на добу вперед, який є основою, разом

з даними прогнозу електроспоживання для розрахунку попереднього, а потім і планового диспетчерського графіка активного навантаження в ОЕЕС.

Як відомо, при вирішенні цих же завдань для прогнозування та планування поставок ЕЕ на ОРЕ на наступний розрахунковий місяць, використовується порядок складання прогнозних фізичного та фінансового балансів купівлі-продажу ЕЕ та взаємодії суб'єктів ОРЕ, визначений у [120]. У прийнятті рішень щодо управління функціонуванням ОЕЕС в частині середньострокового прогнозування та планування постачань ЕЕ на ОРЕ беруть участь: виробники ЕЕ; постачальники ЕЕ; НЕК «Укренерго»; ДП «Енергоринок»; НКРЕКП; Міненерговугілля.

Кожен з перелічених суб'єктів при реалізації функцій управління вирішує свої специфічні завдання, рішення яких в сукупності має забезпечити надійність, безпеку, економічність функціонування ОЕЕС, виконання планів постачань необхідних обсягів ЕЕ з максимально можливим комерційним ефектом.

Прикладами таких завдань управління є: для виробників ЕЕ - забезпечення максимального завантаження генеруючих потужностей з метою отримання максимального прибутку; для постачальників ЕЕ - максимально можливе покриття заявок кінцевих споживачів; для Розпорядника системи розрахунків платежів - оптимальне планування розподілу навантаження серед генеруючих блоків електростанцій з урахуванням можливостей маневрування потужністю блоків і кінцевої заявленої ціни блоку, яке забезпечує мінімально можливу оптову ціну купівлі та продажу ЕЕ та мінімально можливі системні витрати, пов'язані з резервуванням робочої потужності, пусками та відключеннями блоків; для НЕК «Укренерго» - це формування попереднього та планового диспетчерських графіків активного навантаження з урахуванням технологічних можливостей передачі ЕЕ по ВВЛ з мінімальними втратами.

Цей етап складання плану постачань і споживання ЕЕ здійснюється з урахуванням територіальної та тимчасової ієрархічної послідовності прийняття рішень відповідними суб'єктами ОРЕ та СОУ з метою розробки збалансованого за можливостями в ОЕЕС плану виробництва ЕЕ електростанціями. Він

призначений в цілому для визначення прогностичних показників роботи ОЕЕС таких, як: обсяг вироблення ЕЕ та передача її по магістральних ВВЛ; обсяг обміну потужності та ЕЕ в міждержавних вузлах перетоків; обсяг електроспоживання; повна та питома витрата палива, а також інші техніко-економічні показники роботи суб'єктів ОРЕ. Одержані в результаті застосування методів прогнозування значення вище зазначених параметрів - компонентів управління, після певної корекції фахівцями-експертами та формального затвердження відповідними органами СОУ ОРЕ стають плановими для роботи ОЕЕС на наступний місяць.

Можна припустити, що плановий графік активного навантаження на наступну добу та режим роботи ОЕЕС в цей період часу можуть істотно відрізнитися від планового графіка навантаження для доби що розглядається, в плановому місячному графіку. Оскільки облік реально очікуваного навантаження споживання, складу й стану працюючого устаткування, виду палива, що надходить на станцію та інших, в тому числі й важко прогнозованих випадкових факторів, як правило, вимагає його коригування.

Крім того, відповідно до Правил ОРЕ, виробники ЕЕ, зокрема ТЕС, мають можливість коригування на добу вперед цінових заявок (кінцевої заявленої ціни блоку). Ці дані також враховуються при виконанні функції формування планового ТДГ електричного навантаження, а потім і попереднього диспетчерського графіка при виборі складу теплових енергоблоків з урахуванням станційних і мережевих обмежень та розподілу навантажень між виробниками - електростанціями та їх блоками.

Іншими словами, рішення задачі оперативного планування постачань ЕЕ на наступну добу може й не спиратися на результат розподілу навантажень для цієї доби, отриманий при місячному періоді планування.

При плануванні активного навантаження генеруючих блоків електростанцій на наступну добу необхідно забезпечити мінімум витрат на виробництво ЕЕ та системних витрат в ОЕЕС шляхом вибору складу включеного

генеруючого устаткування (ВСВГУ) на основі одержаних відповідно до Правил ОРЕ даних про кінцеві заявлені ціни та робочі потужності блоків.

Слід також зазначити, що зараз, згідно з Правилами ОРЕ, щодня у визначений регламентом час постачальник ЕЕ зобов'язаний надати Розпоряднику системи розрахунків прогноз електроспоживання - P_{np}^{en} , (МВт) на кожний розрахунковий період, а також заявку (прогноз) добового споживання - $\mathcal{E}_{en,n}$.

У свою чергу Розпорядник системи розрахунків зобов'язаний на основі цих даних підготувати прогноз електроспоживання на кожен розрахунковий період майбутньої доби з урахуванням прогнозу метеорологічних умов, прогнозу зовнішніх перетоків потужності, а також інших факторів, які можуть істотно вплинути на фактичне споживання ЕЕ.

Вищесказане дозволяє зробити висновок про те, що задачу планування постачань ЕЕ на оптовому ринку на добу вперед і формування ТДГ необхідно виділити та розглядати як самостійну при вирішенні задач моделювання процесів організаційного управління функціонуванням ОРЕ.

Її вирішення обумовлює необхідність розробки математичних моделей для реалізації розрахунково-технологічних процесів оперативного (погодинного) планування постачань ЕЕ. До їх складу, входить і модель, яка повинна забезпечувати оптимальний ВСВГУ за критерієм мінімуму витрат на виробництво ЕЕ на кожен розрахунковий період часу оперативного планування.

Стосовно до умов ринку двосторонніх договорів і балансуючого ринку (ДДБР) ЕЕ, перехід до моделі якого, від діючої зараз моделі «Єдиного покупця та продавця», передбачений нормативними документами [66], являє собою досить складну задачу. Необхідність врахування особливостей процесів вдосконалення механізмів функціонування та розвитку енергоринку вимагає створення математичних моделей як для його нових сегментів (див., наприклад [121,122]), так і для оперативного планування постачань ЕЕ. Ці моделі повинні забезпечувати вирішення задач планування розподілу ресурсів виробників ЕЕ та безперервного поточного відстеження змін як прогнозних, так і фактичних фізичних і фінансових балансів виробництва та споживання ЕЕ.

Дані цінових заявок формуються виробниками з урахуванням всіх витрат на виробництво ЕЕ кожним блоком, по електростанції та по генкомпанії в цілому. Тут і далі генкомпанія – генеруюча компанія, до складу якої входить декілька електростанцій. Тому природно припустити, що критерій оптимальності для вирішення завдання ВСВГУ повинен бути пов'язаний з оптовою ціною купівлі ЕЕ в ОРЕ. Тобто плановий графік розподілу навантаження між генеруючими блоками електростанцій виробників можна вважати оптимальним, якщо вартість виробництва ЕЕ в цілому по ОЕЕС та оптова ціна її купівлі в ОРЕ будуть мінімальними.

Таким чином, можна зробити висновок про те, що вирішення задачі формування оперативного добового планового ТДГ розподілу ресурсів виробників ЕЕ, оптимального за критерієм мінімізації витрат в ОЕЕС на виробництво та передачу ЕЕ, є важливим етапом планування її постачань на ОРЕ.

4.1.2. Постановка задачі математичного моделювання

Для розробки математичної моделі розрахунку оптимального добового розподілу обсягів виробництва ЕЕ між блоками електростанцій на ОРЕ як критерій оптимізації обраний критерій мінімуму витрат в ОЕЕС на виробництво та передачу ЕЕ на заданому інтервалі добового графіка активного навантаження. Як показує аналіз літературних джерел, саме цей критерій використовується АТС на багатьох оптових ринках ЕЕ, які застосовують модель ринку ДДБР.

Як відомо, на ОРЕ України дотепер ця задача вирішується шляхом застосування програми розрахунку оптимального режиму ОЕЕС України по активній потужності, яка реалізує метод оптимізації розподілу активної потужності між електростанціями, за допомогою якого забезпечуються мінімальні витрати палива на виробництво ЕЕ в ОЕЕС. Методичною базою для її розробки послуговують математичні моделі АТС, алгоритмічні засоби їх реалізації, викладені в роботах [47,123]. Свого часу, коли ОЕЕС і система її

управління представляли собою єдину вертикально-інтегровану структуру, використання такого методу оптимізації було ефективним інструментом для вирішення завдань планування постачань ЕЕ, аналізу її функціонування і розвитку.

Його використання при вирішенні задачі планування поставок ЕЕ в певній мірі було виправданим і в умовах застосування на ОРЕ України моделі ринку «Єдиного покупця та продавця». Однак, перехід на більш досконалі моделі ринків ЕЕ - ринку ДДБР на ОРЕ, ускладнює побудову технологічного процесу розрахунків добового планування графіка активного навантаження.

У ряді наукових робіт розглянуто подібні завдання та запропоновано математичні моделі, що враховують особливості функціонування ринку ЕЕ, різні його модифікації (див., наприклад, [124-127] та ін.). Однак в цих роботах не виділяється етап формування ТДГ як самостійний етап економічної диспетчеризації, і не використовується такий критерій оптимізації як мінімальні сумарні витрати на виробництво ЕЕ всіма блоками електростанцій. Такий розподіл навантаження між блоками електростанцій з мінімальними витратами на виробництво ЕЕ дозволить вийти й на мінімальну середню оптову ціну купівлі ЕЕ на ОРЕ на плановому інтервалі часу.

Розглянемо математичну постановку задачі формування ТДГ на добу наперед - планування оптимального добового ТДГ на ОРЕ [128].

Як вже зазначалося вище, оптимальним планом постачань будемо вважати такий, реалізація якого забезпечує мінімум витрат на виробництво ЕЕ в ОЕЕС на заданому інтервалі часу. Цілями оптимізації є:

а) мінімальна оптова ціна купівлі ЕЕ в ОРЕ у нерегульованих виробників суб'єктів ринку з урахуванням поданих цінових заявок;

б) мінімальні договірні ціни відпуску за вироблену ЕЕ регульованими виробниками-суб'єктами ринку;

в) мінімальна ціна купівлі ЕЕ за умови продажу її частини на аукціоні на ринку двосторонніх договорів;

г) мінімальна сумарна вартість купівлі ЕЕ, яка купується в ОРЕ у нерегульованих виробників та за двосторонніми договорами.

При цьому досягнення зазначених цілей повинно здійснюватися в межах певних балансових та оперативно-технологічних обмежень, пов'язаних з особливостями функціонування ОРЕ, особливостями технічних можливостей блоків електростанцій, а також особливостями системних режимних обмежень, що складаються в поточному періоді планування. Серед них:

- а) фізичний баланс - баланс потужності;
- б) фінансовий баланс - баланс купівлі, продажу ЕЕ;
- в) діапазон маневреності генеруючих блоків;
- г) швидкість набору / зниження навантаження генеруючими блоками;
- д) пропускна спроможність ліній електропередач у вузлах обміну потужністю та контрольованих перетинах;
- е) мінімальне та максимальне сальдо в міждержавних вузлах перетоків потужності.
- ж) сумарний можливий обсяг вироблення ЕЕ в інтервалі планування.

Формальна постановка задачі оптимізації утворюється з трьох основних складових елементів:

- 1) шуканих невідомих - об'єктів оптимізації;
- 2) цільової функції критерію оцінювання значень невідомих - цілі оптимізації;
- 3) системи обмежень на область припустимих значень невідомих - обмежень оптимізації.

При постановці задачі були прийняті наступні припущення:

- електрична схема мережі залишається актуальною на наступну добу;
- втрати в магістральних ВВЛ дорівнюють втратам за попередню добу (робочу, неробочу);
- системні витрати на виробництво ЕЕ дорівнюють витратам за попередню добу (робочу, неробочу);
- не враховуються особливі умови роботи блоків Бурштинської ТЕС;

- не враховується робота ГЕС в моторному режимі.

Вихідними даними завдання є:

- встановлені потужності блоків електростанцій;
- діапазони маневреності блоків електростанцій;
- прогнозні погодинні дані активного навантаження;
- прогнозні погодинні дані мінімальної та максимальної заявленої потужності блоку;
- заявлені характеристики відносного приросту ціни за відпущену ЕЕ, які відповідають встановленим опорним потужностям енергоблоку;
- ціна холостого ходу блоку;
- ціна пуску блоку;
- ціна зупинки блоку.

Об'єкти оптимізації. В якості шуканих невідомих задачі слід розглядати плановий ТДГ завантаження енергоблоків $\{D_{a\delta}^A / a \in A, \delta = 1, \dot{O}^{\tilde{A}}\}$ в розрахункові інтервали функціонування енергосистеми. Таким розрахунковим інтервалом є період \dot{O}^{D^i} , впродовж якого вироблення енергоблоком ЕЕ вважається постійним. В якості \dot{O}^{D^i} можуть розглядатися значення - 15, 30 хвилин, 1 година. Зараз в ОРЕ прийнято, що $\dot{O}^{D^i} = 1$ годині. В результаті ТДГ формується як команди енергоблоку на встановлення певного рівня $D_{a\delta}^A$ потужності протягом (в кінці) розрахункового періоду, де індекс a - визначає приналежність до енергоблоку, p - порядковий номер розрахункового періоду в добовому графіку.

Мета оптимізації. Критерій оцінювання необхідний для вибору серед множини можливих (припустимих щодо системи обмежень) варіантів завдання в ОРЕ певних рівнів потужності енергоблоків, найбільш прийняттого ТДГ, який би забезпечував мінімум витрат на виробництво ЕЕ енергоблоками генеруючих компаній, що призвело б до зменшення платежів постачальників, а, отже, й тарифів для споживачів ЕЕ.

4.1.3. Побудова моделі

На сьогодні в умовах ОРЕ оптимізація добових режимів розподілу навантаження активної потужності за критерієм мінімуму витрат палива може бути замінена на оптимізацію цінових заявок виробників ЕЕ, що працюють на ринку ДДБР. Тому, всі виробники ЕЕ в ОРЕ розділені на дві основні групи: такі, що працюють за нерегульованим тарифом - АЕС, ГЕС, ГАЕС (гідроакumuлююча електростанція), ВЕС, СЕС, та ті, що працюють за ціновими заявками - ТЕС. Для перших НКРЕКП встановлює директивні значення цін купівлі ЕЕ, які вважаються постійними (незмінними при роботі в ОРЕ на тривалий період) та економічно обгрунтованими. Найчастіше вважається, що вони менші, ніж витрати на виробництво ЕЕ у виробників, що працюють за ціновими заявками. Отже, частина виробників ЕЕ може виступати як об'єкти, що оптимізуються, а частина - як об'єкти із заданою генерацією.

Показниками рівня витрат виробників ЕЕ, які працюють в ОРЕ за ціновими заявками є:

- заявлені характеристики відносного приросту ціни $\ddot{O}_{\dot{a}\ddot{o}}^{\zeta}$ (грн / МВт * год) за відпущену в ОРЕ ЕЕ, відповідають встановленим опорним потужностям $D_{\dot{a}\ddot{o}}$ (МВт) енергоблоку,

- ціни за холостий хід $\ddot{O}_{\dot{a}}^{\ddot{o}\ddot{o}}$ (грн / год) роботи енергоблоку,

- вартість пуску $\ddot{O}_{\dot{a}}^{\dot{i}}$ (грн) енергоблоку з резерву.

Заявлені характеристики відносного приросту ціни за відпущену ЕЕ визначаються як опорні монотонно зростаючі значення в залежності від встановленої потужності роботи енергоблоку. Тобто, чим більше потужність вироблення блоку, тим більше заявлена ціна і, отже, витрати на виробництво ЕЕ. Опорні точки x встановлюють характер залежності розрахункової прирощеної ціни вироблення ЕЕ від потужності роботи енергоблоку, яка може визначатися лінійною інтерполяцією між двома заявленими опорними точками

$\ddot{O}_{\dot{a}\ddot{o}}^{\dot{\zeta}} = \frac{\ddot{O}_{\dot{a}2}^{\zeta} - \ddot{O}_{\dot{a}1}^{\zeta}}{D_{\dot{a}2} - D_{\dot{a}1}} \times D_{\dot{a}\ddot{o}}^{\dot{A}}$ або поліноміальною залежністю між 4 заявленими

опорними точками. Для спрощення поліноміальна залежність може бути представлена у вигляді кусочно-лінійної функції, тобто залежністю виду $\ddot{O}_{a\delta}^{\dot{\epsilon}\zeta} = a \times \mathcal{D}_{a\delta}^{\bar{A}}$, де $\ddot{O}_{a\delta}^{\dot{\epsilon}\zeta}$ - розрахункове збільшення ціни вироблення ЕЕ енергоблоком, $a = f(\ddot{O}_{a\delta}^{\zeta} | x=1,4)$ - коефіцієнт залежності (тангенс кута нахилу характеристики приросту ціни), значення якого розраховується на базі лінійної інтерполяції між опорними точками $\ddot{O}_{a\delta}^{\dot{\epsilon}\zeta}$.

Розрахункова заявлена ціна блоку $C_{a\delta}$ (грн / МВт * год), на основі якої оцінюється вартість роботи енергоблоку, крім $\ddot{O}_{a\delta}^{\dot{\epsilon}\zeta}$ повинна враховувати також витрати на роботу блоку на холостому ході $\ddot{O}_a^{\ddot{o}\bar{o}}$, тобто

$$C_{a\delta} = \ddot{O}_{a\delta}^{\dot{\epsilon}\zeta} + \frac{\sum_{p=1}^{\mathcal{O}_a^{\bar{N}\bar{A}}} \ddot{O}_a^{\ddot{o}\bar{o}}}{\sum_{\delta=Start}^{End} \dot{Y}_{a\delta}^{\bar{A}} \times \mathcal{D}_a^{\dot{f}}}, \quad (4.1)$$

де $\dot{Y}_{a\delta}^{\bar{A}}$ - обсяг виробництва електроенергії блоком за номером - a у розрахунковий період часу - p , $\mathcal{O}_a^{\bar{N}\bar{A}}$ - тривалість добового графіка блоку, як частина загальної тривалості добового диспетчерського графіку, $\mathcal{D}_a^{\dot{f}}$ - коефіцієнт корисного вироблення блоку.

Вважається, що зміна навантаження енергоблоку здійснюється за лінійним законом. Тому обсяг вироблення блоку пов'язаний з встановленою потужністю $\mathcal{D}_{a\delta}^{\bar{A}}$ наступною залежністю

$$\dot{Y}_{a\delta}^{\bar{A}} = \frac{\mathcal{D}_{a(\delta-1)}^{\bar{A}} + \mathcal{D}_{a\delta}^{\bar{A}}}{2} \times \mathcal{O}^{\bar{D}\bar{f}}. \quad (4.2)$$

В результаті одержуємо, що вартість роботи енергоблоку слід оцінити таким виразом:

$$\begin{aligned}
C_{a\delta} \times \dot{Y}_{a\delta}^{\tilde{A}} &= \left(\ddot{O}_{a\delta}^{\tilde{e}\zeta} + \frac{\sum_{p=1}^{\delta_{\tilde{N}A}} \ddot{O}_a^{\tilde{o}\bar{o}}}{\sum_{\delta=Start}^{End} \dot{Y}_{a\delta}^{\tilde{A}} \times \dot{D}_a^{\tilde{I}}} \right) \times \dot{Y}_{a\delta}^{\tilde{A}} = \\
& \left(a \times \dot{D}_{a\delta}^{\tilde{A}} + \frac{\sum_{p=1}^{\delta_{\tilde{N}A}} \ddot{O}_a^{\tilde{o}\bar{o}}}{\sum_{\delta=Start}^{End} \frac{\dot{D}_{a(\delta-1)}^{\tilde{A}} + \dot{D}_{a\delta}^{\tilde{A}}}{2} \times \dot{O}^{\tilde{D}I} \times \dot{D}_a^{\tilde{I}}} \right) \times \frac{\dot{D}_{a(\delta-1)}^{\tilde{A}} + \dot{D}_{a\delta}^{\tilde{A}}}{2} \times \dot{O}^{\tilde{D}I}
\end{aligned} \tag{4.3}$$

Таким чином, критерієм оцінювання ТДГ з точки зору витрат на вироблення ЕЕ усіма блоками може виступити наступна цільова функція:

$$\begin{aligned}
\min \left\{ \sum_{\delta=1}^{\delta_{\tilde{N}A}} \sum_a C_{a\delta} \times \dot{Y}_{a\delta}^{\tilde{A}} \right\} = \\
\min \left\{ \sum_{\delta=1}^{\delta_{\tilde{N}A}} \sum_a \left(a \times \dot{D}_{a\delta}^{\tilde{A}} + \frac{\sum_{p=1}^{\delta_{\tilde{N}A}} \ddot{O}_a^{\tilde{o}\bar{o}}}{\sum_{\delta=Start}^{End} \frac{\dot{D}_{a(\delta-1)}^{\tilde{A}} + \dot{D}_{a\delta}^{\tilde{A}}}{2} \times \dot{O}^{\tilde{D}I} \times \dot{D}_a^{\tilde{I}}} \right) \times \frac{\dot{D}_{a(\delta-1)}^{\tilde{A}} + \dot{D}_{a\delta}^{\tilde{A}}}{2} \times \dot{O}^{\tilde{D}I} \right\}
\end{aligned}$$

У наведеній цільовій функції не враховується вартість пуску енергоблоків, в результаті чого в ТДГ у розрахункові періоди мінімального покриття навантаження можуть бути виключені блоки з найбільшими витратами на їх пуск, що в розрахункові періоди максимального покриття призведе до додаткових витрат на вироблення ЕЕ, які обумовлені необхідністю пуску додаткових енергоблоків, тобто до неоптимального графіку роботи енергосистеми. Тому, доцільно в якості стратегії оптимізації застосувати процедуру, що забезпечує в період максимального покриття вибір складу енергоблоків за принципом мінімуму витрат на вироблення ЕЕ, а в період мінімального покриття виключення з цього складу блоків з найменшими витратами на пуск або з найбільшою питомою економією витрат на пуск.

Питома економія витрат енергоблоку $C_{a\delta}^{\tilde{a}}$ (грн / МВт) визначається на основі врахування різниці між вартістю роботи блоку на рівні заявленого

мінімального навантаження $D_{a\delta}^{\delta \min}$ протягом періоду Start-End (особливий розрахунковий період з 6:00 до 23:00, який встановлюється в ОРЕ) і вартістю пуску блоку:

$$C_{a\delta}^a = \frac{\sum_{\delta=Start}^{End} (\ddot{O}_a^{\ddot{o}\ddot{o}} + \ddot{O}_{a\delta}^{\ddot{e}\ddot{c}} \times D_{a\delta}^{\delta \min}) - \ddot{O}_a^{\ddot{i}}}{D_{a\delta}^{\delta \min}},$$

де $D_{a\delta}^{\delta \min}$ - заявлена мінімальна робоча потужність енергоблоку.

Таким чином, критерієм оцінювання ТДГ з точки зору питомої економії витрат енергоблоку може виступити наступна цільова функція:

$$\max \left\{ \sum_{\delta=1}^{\delta \bar{N}A} \sum_a C_{a\delta}^e \times D_{a\delta}^{\bar{A}} \right\} = \max \left\{ \sum_{\delta=1}^{\delta \bar{N}A} \sum_a \frac{\sum_{\delta=Start}^{End} (\ddot{O}_a^{\ddot{o}\ddot{o}} + \ddot{O}_{a\delta}^{\ddot{e}\ddot{c}} \times D_{a\delta}^{\delta \min}) - \ddot{O}_a^{\ddot{i}}}{D_{a\delta}^{\delta \min}} \times D_{a\delta}^{\bar{A}} \right\} =$$

$$\min \left\{ \sum_{\delta=1}^{\delta \bar{N}A} \sum_a \frac{\ddot{O}_a^{\ddot{i}} - \sum_{\delta=Start}^{End} (\ddot{O}_a^{\ddot{o}\ddot{o}} + \ddot{O}_{a\delta}^{\ddot{e}\ddot{c}} \times D_{a\delta}^{\delta \min})}{D_{a\delta}^{\delta \min}} \times D_{a\delta}^{\bar{A}} \right\}.$$

В результаті врахування всіх факторів витрат, що впливають на формування оптимального ТДГ, виразом цільової функції може слугувати наступний функціонал:

$$\min \left\{ \sum_{\delta=1}^{\delta \bar{N}A} \sum_a \left(\left(a \times D_{a\delta}^{\bar{A}} + \frac{\sum_{p=1}^{\delta \bar{N}A} \ddot{O}_a^{\ddot{o}\ddot{o}}}{\sum_{\delta=Start}^{End} \frac{D_{a(\delta-1)}^{\bar{A}} + D_{a\delta}^{\bar{A}}}{2}} \times \ddot{O}^{\ddot{e}\ddot{c}} \times D_{a\delta}^{\bar{A}} \right) \times \frac{D_{a(\delta-1)}^{\bar{A}} + D_{a\delta}^{\bar{A}}}{2} \times \ddot{O}^{\ddot{e}\ddot{c}} + \frac{\ddot{O}_a^{\ddot{i}} - \sum_{\delta=Start}^{End} (\ddot{O}_a^{\ddot{o}\ddot{o}} + \ddot{O}_{a\delta}^{\ddot{e}\ddot{c}} \times D_{a\delta}^{\delta \min})}{D_{a\delta}^{\delta \min}} \times D_{a\delta}^{\bar{A}} \right) \right\} \quad (4.4)$$

Аналіз виразу цільової функції вказує на нелінійний характер одержаної залежності. Тому, для досягнення певного рівня лінеаризації функціоналу введемо для спрощення наступні припущення.

1) Оптимальний склад генеруючого устаткування буде визначатися вибором енергоблоків для розрахункового періоду максимального покриття (споживання ЕЕ) за умови роботи блоків протягом періоду *Start-End* на заявленій максимальній робочій потужності $D_{a\delta}^{\delta \max}$. Для всіх інших розрахункових періодів вибір складу енергоблоків визначається встановленим складом для періоду максимального покриття з відключенням тих блоків, які забезпечують найбільші витрати на вироблення ЕЕ (вартість їх роботи).

2) Розрахункова заявлена ціна блоку $C_{a\delta}$, на основі якої оцінюється вартість роботи енергоблоку, для всіх розрахункових періодів оцінюється величиною, розрахованою для періоду максимального покриття p_{\max} за умови роботи блоку протягом періоду *Start-End* на заявленій максимальній робочій потужності P_{bp}^{\max} :

$$C_{a\delta} = \ddot{O}_{a\delta}^{i \ \delta \zeta} + \frac{\sum_{p=1}^{\delta \bar{N}A} \ddot{O}_a^{\delta \bar{O}}}{\sum_{\delta=Start}^{End} \dot{Y}_{a\delta}^{\max} \times \hat{D}_a^{\delta}} = a \times D_{a\delta}^{\delta \max} + \frac{\sum_{p=1}^{\delta \bar{N}A} \ddot{O}_a^{\delta \bar{O}}}{\sum_{\delta=Start}^{End} \frac{D_{a(\delta-1)}^{\delta \max} + D_{a\delta}^{\delta \max}}{2} \times \dot{O}^{\delta i} \times \hat{D}_a^{\delta}},$$

де $\ddot{O}_{a\delta}^{i \ \delta \zeta}$ - розрахункове прирощення ціни блоку, яка визначається для періоду максимального покриття за умови роботи блоку на заявленій максимальній робочій потужності,

$$\dot{Y}_{a\delta}^{\max} = \frac{D_{a(\delta-1)}^{\delta \max} + D_{a\delta}^{\delta \max}}{2} \times \dot{O}^{\delta i} \quad - \text{заявлений максимальний обсяг вироблення}$$

блоку в розрахунковий період,

$$a = \frac{\ddot{O}_{a(x+1)}^{\zeta} - \ddot{O}_{ax}^{\zeta}}{D_{a(x+1)} - D_{ax}} \quad - \text{коефіцієнт лінійної інтерполяції між опорними точками,}$$

для яких виконується умова $D_{ax} \leq D_{a\delta}^{\delta \max} \leq D_{a(x+1)}$.

3) Питома економія витрат енергоблоку на пуск $C_{a\delta}^a$ для всіх періодів оцінюється величиною, розрахованою для періоду мінімального покриття p_{\min} за умови роботи блоку протягом періоду *Start-End* на заявленій максимальній робочій потужності $D_{a\delta}^{\delta \min}$:

$$C_{a\delta}^{\dot{a}} = \frac{\sum_{\delta=Start}^{End} (\ddot{O}_{\dot{a}}^{\ddot{o}\ddot{o}} + \ddot{O}_{\dot{a}\delta}^{\dot{e}\zeta} \times D_{\dot{a}\delta}^{\delta \min}) - \ddot{O}_{\dot{a}}^i}{D_{\dot{a}\delta_{\min}}^{\delta \min}}.$$

4) Розрахунковий інтервал $\dot{O}^{\dot{D}i} = 1$ година та значення встановленої потужності енергоблоку для останнього періоду попередньої доби еквівалентний значенням потужності для останнього періоду поточної доби $P_{\dot{\sigma}(0)}^{\Gamma} = P_{\dot{\sigma}(24)}^{\Gamma}$.

В результаті врахування цих спрощень вираз цільової функції прийме наступний лінійний вигляд:

$$\min \left\{ \sum_{\delta=1}^{\dot{O}^{\dot{N}\dot{A}}} \sum_{\dot{a}} \left(\left(a \times D_{\dot{a}\delta_{\max}}^{\delta \max} + \frac{\sum_{p=1}^{\dot{O}_{\dot{a}}^{\dot{N}\dot{A}}} \ddot{O}_{\dot{a}}^{\ddot{o}\ddot{o}}}{\sum_{\delta=Start}^{End} \frac{D_{\dot{a}(\delta-1)}^{\delta \max} + D_{\dot{a}\delta}^{\delta \max}}{2}} \times \dot{O}^{\dot{D}i} \times \dot{D}_{\dot{a}}^{\dot{a}} \right) \times \frac{D_{\dot{a}(\delta-1)}^{\dot{A}} + D_{\dot{a}\delta}^{\dot{A}}}{2} \times \dot{O}^{\dot{D}i} + \frac{\ddot{O}_{\dot{a}}^i - \sum_{\delta=Start}^{End} (\ddot{O}_{\dot{a}}^{\ddot{o}\ddot{o}} + \ddot{O}_{\dot{a}\delta}^{\dot{e}\zeta} \times D_{\dot{a}\delta}^{\delta \min})}{D_{\dot{a}\delta_{\min}}^{\delta \min}} \times D_{\dot{a}\delta}^{\dot{A}} \right) \right\} =$$

$$\min \left\{ \sum_{\delta=1}^{\dot{O}^{\dot{N}\dot{A}}} \sum_{\dot{a}} \left((K_{\dot{a}}^1 + K_{\dot{a}}^2) \times \frac{D_{\dot{a}(\delta-1)}^{\dot{A}} + D_{\dot{a}\delta}^{\dot{A}}}{2} + K_{\dot{a}}^3 \times D_{\dot{a}\delta}^{\dot{A}} \right) \right\} =$$

$$\min \left\{ \sum_{\delta=1}^{\dot{O}^{\dot{N}\dot{A}}} \sum_{\dot{a}} \left((K_{\dot{a}}^1 + K_{\dot{a}}^2 + K_{\dot{a}}^3) \times D_{\dot{a}\delta}^{\dot{A}} \right) \right\},$$

$$\text{де } K_{\dot{a}}^1 = a \times D_{\dot{a}\delta_{\max}}^{\delta \max}, \quad K_{\dot{a}}^2 = \frac{\sum_{p=1}^{\dot{O}_{\dot{a}}^{\dot{N}\dot{A}}} \ddot{O}_{\dot{a}}^{\ddot{o}\ddot{o}}}{\sum_{\delta=Start}^{End} \frac{D_{\dot{a}(\delta-1)}^{\delta \max} + D_{\dot{a}\delta}^{\delta \max}}{2}} \times \dot{O}^{\dot{D}i} \times \dot{D}_{\dot{a}}^{\dot{a}},$$

$$K_{\dot{\sigma}}^3 = \frac{U_{\dot{\sigma}}^n - \sum_{p=Start}^{End} (U_{\dot{\sigma}}^{xx} + U_{\dot{\sigma}p}^{uz} \times P_{\dot{\sigma}p}^{p \min})}{P_{\dot{\sigma}p_{\min}}^{p \min}}.$$

Обмеження оптимізації. В якості обмежень цільової функції задачі оптимізації, слід, перш за все, вважати такі.

1) Умова балансу потужності енергосистеми в кожному розрахунковому періоді між генерацією та споживанням з урахуванням втрат (втрати входять в прогнозоване електроспоживання як усереднена величина та зміни їх не враховуються при зміні генерації). При цьому обсяг вироблення ЕЕ блоками АЕС і ГЕС, платіж яким здійснюється за фіксованою договірною ціною, можна вважати величиною встановленою (постійною) –

$$\sum_{b \in TЕС} P_{bp}^Г - \mathcal{E}_p^{ПC} = P_p^{ПГ} + \sum_i P_{ip}^{IE} - \sum_{b \in АЕС, ГЕС} P_{bp}^Г,$$

де $\mathcal{E}_p^{ПC}$ - втрати потужності в магістральних і міждержавних електричних мережах, $D_{a\delta}^{i\delta}$ - прогноз електроспоживання ОЕС, що враховує прогноз постачальників на купівлю електроенергії в ОПЕ, прогноз метеоумов та інші чинники, що впливають на рівень споживання електроенергії, P_{ip}^{IE} - прогноз (графік) поставок по імпорту та експорту ЕЕ через зовнішній перетин.

2) Обмеження за діапазоном зміни потужності від мінімальної до максимальної заявленої робочої потужності об'єктів, які оптимізуються, -

$$D_{a\delta}^{\delta \min} \leq D_{a\delta}^{\bar{A}} \leq D_{a\delta}^{\delta \max}.$$

3) Обмеження за швидкістю набору (зменшення) навантаження від одного розрахункового періоду до іншого - $\Delta D_{a\delta}^{\delta \min} \leq |D_{a(\delta+1)}^{\bar{A}} - D_{a\delta}^{\bar{A}}| \leq \Delta D_{a\delta}^{\delta \max}.$

4) Обмеження за мінімальним часом перебування у включеному стані.

5) Обмеження за мінімальним часом перебування в відключеному стані.

6) Обмеження на величину оптової ціни покупки ЕЕ у виробників, яку встановлює Регулятор ринку у вигляді прогнозованої оптової ціни покупки ЕЕ - $C_{прог}^{ок}.$

Алгоритм вирішення задачі оптимізації. Вибір методу розв'язання цієї оптимізаційної задачі залежить від ступеня лінеаризації як цільової функції, так і рівнянь системи обмежень. Це в кінцевому підсумку впливає на похибку рішення щодо вибору оптимального складу генеруючого устаткування - блоків електростанцій, і розподілу навантаження між ними.

У разі лінійного характеру залежностей для вирішення поставленого завдання можуть бути застосовані методи лінійного, цілочисельного лінійного програмування та алгоритми, розроблені на їх основі. Крім них, може бути розглянутий більш простий інженерний алгоритм, заснований на послідовному завантаженні енергоблоків від розрахункових періодів з максимальним навантаженням до періодів з мінімальним навантаженням за умови виконання обмежень і переваг у використанні енергоблоків, які встановлені в енергосистемі.

Загальна схема алгоритму включає наступні основні етапи:

- 1) визначення максимально допустимого складу генеруючого устаткування;
- 2) визначення періодів відключення блоків;
- 3) розрахунок навантаження устаткування, яке залишилось.

Комп'ютерна модель, у разі її побудови на основі розглянутої математичної моделі, може бути використана в якості базової підмоделі загальної моделі системи ОРЕ для вирішення завдань формування та вдосконалення механізмів функціонування його сегмента на добу вперед в процесі переходу на нову модель ринку відповідно до Закону України «Про ринок електричної енергії» [66].

4.2 Модель оптового ринку електроенергії для вирішення задач вдосконалення механізмів функціонування

4.2.1. Формулювання задачі моделювання

Наступними важливими функціями управління СОУ ОРЕ є: розрахунок платежів за куплену та продану ЕЕ; розрахунок фізичного та фінансового балансів обсягів купівлі-продажу ЕЕ.

Математична модель повинна забезпечити функціонування ОРЕ в частині розрахунку платежів суб'єктів ринку - генкомпаній, регіональних компаній постачальників, НЕК «Укренерго», що здійснює диспетчерські функції та передачу ЕЕ по ВВЛ, експортерів-імпортерів ЕЕ, великих споживачів, елементів

інфраструктури та інших платежів відповідно до його Правил. Також мають бути вирішені задачі аналізу динаміки зміни основних цінових показників функціонування ОРЕ з метою подальшого вдосконалення Правил ОРЕ в частині уточнення розмірів і встановлення нових платежів суб'єктам ОРЕ. До них відносяться, наприклад, платежі за надання додаткових системних послуг, платежі за послуги, використання яких не передбачено діючими Правилами ринку. Серед таких можна назвати послуги, пов'язані з: резервуванням активної потужності; регулюванням частоти; регулюванням міжсистемних перетоків - обмінної потужності енергосистем; реактивної потужності та ін.

4.2.2 Постановка задачі математичного моделювання

Відповідно до закону «Про ринок електричної енергії» [66], основні умови діяльності учасників ринку ЕЕ та взаємини між ними визначаються нормативно-правовими актами, що регулюють впровадження цього Закону. Цим законом передбачається перехід від моделі «Єдиного покупця та продавця» до моделі ринку ДДБР і визначається порядок утворення нових сегментів ринку - «на добу наперед», «внутрішньодобового», «балансуючого», «допоміжних послуг», для управління якими створюються нові адміністративні структури організаційного управління - оператори ринків.

Новоутворені сегменти енергоринку, маючи свого оператора, фактично в його особі мають єдиного покупця та продавця ЕЕ, послуг в цьому сегменті ринку. Цим же законом визначено і порядок його імплементації, яким на операторів сегментів ринку покладається реалізація формування Правил їх функціонування. Крім того, Правила сегментів ринку повинні включати й порядок внесення змін до них.

Вдосконалення механізмів функціонування СОУ енергоринку та його суб'єктів обумовлює необхідність створення комплексу математичних та комп'ютерних моделей, що дозволяють вирішувати завдання розрахунку інформативних компонентів управління, аналізу та оцінки ступеня можливого

впливу змін механізмів функціонування, що вносяться до Правил ринку, на величину їх компонентів.

З огляду на викладене вище, можна стверджувати, що в якості базової математичної моделі для побудови комп'ютерних моделей функціонування перелічених сегментів ринку можна використовувати математичну модель нині діючої моделі ринку «Єдиного покупця та продавця».

Розглянемо постановку задачі побудови математичної моделі оптового ринку, призначеної для вирішення завдань організаційного управління [129], щодо вдосконалення його Правил, стосовно сегменту OPE - ринку на добу наперед.

При побудові математичної моделі обов'язковим є врахування:

- 1) наявності стану фізичного балансу між виробництвом, передачею та споживанням ЕЕ;
- 2) наявності стану фінансового балансу між виробництвом, передачею та споживанням ЕЕ.

Все це призводить до необхідності побудови математичної моделі функціонування OPE у вигляді балансових співвідношень між генеруючими суб'єктами OPE - виробниками продукції, мережевими суб'єктами OPE, які передають ЕЕ, імпортерами, експортерами (операторами перетоків із зовнішнього перетину ОЕЕС) з одного боку та постачальниками продукції - з іншого.

Перший баланс утворюється з таких обсягів виробленої та спожитої ЕЕ: $\mathcal{E}_p^{\text{FO}}$ - обсяг виробництва ЕЕ за розрахунковий період усіма генеруючими суб'єктами; $\mathcal{Y}_p^{\text{A}^2}$ - обсяг експорту-імпорту ЕЕ за розрахунковий період усіма мережевими суб'єктами (експортерами - імпортерами); $\mathcal{E}_p^{\text{ПФ}}$ - обсяг втрат ЕЕ при виробництві та передачі через ВВЛ за розрахунковий період; $\mathcal{E}_p^{\text{ПК}}$ - обсяг споживання ЕЕ за розрахунковий період усіма постачальниками та споживачами.

Другий баланс утворюється з наступних платежів суб'єктів OPE: $\mathcal{D}_p^{\text{CC}}$ - сумарний платіж за виробництво ЕЕ усіма генеруючими суб'єктами; $\mathcal{A}_\delta^{\text{A}^2}$ -

платіж за поставлену ЕЕ мережевими суб'єктами (імпортерами - експортерами) через перетоки по зовнішньому перетину ОЕЕС; \dot{A}_δ^{2N} - витрати інфраструктури на диспетчерське управління та передачу ЕЕ по ВВЛ; D_p^{BT} - додаткові відрахування на розвиток нетрадиційних джерел енергії та інші інвестиційні проекти; D_p^{PB} - сумарний обсяг дотаційних сертифікатів, наданих окремим регіональним компаніям-постачальникам ЕЕ; D_p^{PF} - витрати на покриття втрат при виробництві й передачі ЕЕ; D_p^{EP} - сумарний платіж за придбану в ОРЕ ЕЕ всіма постачальниками та споживачами.

Всі перелічені величини є функціями часу. Розрахунковий період - p для обчислення обсягів виробництва, передачі та постачання ЕЕ та відповідних платежів за них.

Вихідними погодинними даними для розрахунку платежів поставленої задачі є: дані диспетчерського журналу про планове та фактичне навантаження, обсяги виробництва, передачі та споживання енергії; фактична гранична ціна системи; ціна за робочу потужність; плановий графік навантаження; початкова, кінцева заявлена максимальна та мінімальна потужність; розрахункова заявлена ціна блоку; заявлена прирощена ціна блоку; ціна за маневреність блоку; заявлений діапазон маневреності; ознака обов'язкової роботи; ознака маневреності блоку. Також використовуються дані у вигляді нормативних параметрів проведення розрахунків, які затверджує та надає у вигляді розпорядчих документів НКРЕКП: тарифні зони; тарифи для суб'єктів; обсяги дотаційних сертифікатів; витрати інфраструктури; тариф на передачу ЕЕ через ВВЛ; період максимального навантаження; коефіцієнт штрафу; коефіцієнт корисного вироблення блоку; припустиме відхилення від планованого вироблення блоку.

4.2.3 Побудова моделі

Розглянемо питання побудови моделі [129]. У загальному вигляді ця модель повинна складатися з балансових співвідношень:

- обсягів виробництва, передачі та постачання ЕЕ;
- платежів за генерацію та передачу ЕЕ інфраструктурі та постачальникам.

Таку систему балансових співвідношень запишемо в наступному вигляді

$$\begin{aligned} \dot{Y}_{\delta}^{\hat{O}i} + \dot{Y}_{\delta}^{\hat{A}^2} - \dot{Y}_{\delta}^{\hat{I}\hat{O}} &= \dot{Y}_{\delta}^{\hat{I}\hat{E}} \\ \ddot{A}_{\delta}^{\hat{N}\hat{N}} + \ddot{A}_{\delta}^{\hat{A}^2} + \ddot{A}_{\delta}^{\hat{N}} + \ddot{A}_{\delta}^{\hat{A}\hat{O}} + \ddot{A}_{\delta}^{\hat{I}\hat{A}} - \ddot{A}_{\delta}^{\hat{I}\hat{O}} &= \ddot{A}_{\delta}^{\hat{I}\hat{I}} \end{aligned} \quad (4.5)$$

Тут перше співвідношення визначає баланс обсягів, а друге - баланс платежів за розрахунковий період часу - p .

Розглянемо складові балансового співвідношення для обсягів виробництва, передачі та споживання, використовуючи затверджені Правилами ОРЕ додаткові співвідношення, що зв'язують величини в (4.5).

1. Обсяг виробництва ЕЕ усіма генеруючими суб'єктами за розрахунковий період фактично складається з обсягів виробництва суб'єктів, які відпускають ЕЕ за регульованим (за ціновими заявками) і нерегульованим тарифом (за договорами з фіксованою договірною ціною):

$$\dot{Y}_{\delta}^{\hat{O}i} = \dot{Y}_{\delta\hat{A}\hat{A}\hat{N}}^{\hat{O}i} + \dot{Y}_{\delta\hat{A}\hat{A}\hat{N},\hat{O}\hat{O},\hat{A}\hat{A}\hat{N},\hat{N}\hat{A}\hat{N}}^{\hat{O}i} + \dot{Y}_{\delta\hat{A}\hat{E}\hat{O}\hat{A}\hat{N}}^{\hat{O}i} \quad (4.6)$$

де

$\dot{Y}_{\delta\hat{A}\hat{A}\hat{N}}^{\hat{O}i}$ - обсяг виробництва ЕЕ АЕС (фактичний відпуск в ОРЕ),

$\dot{Y}_{\delta\hat{A}\hat{A}\hat{N},\hat{O}\hat{O},\hat{A}\hat{A}\hat{N},\hat{N}\hat{A}\hat{N}}^{\hat{O}i}$ - обсяг виробництва ЕЕ генеруючими суб'єктами ГЕС, ТЕЦ, ВЕС, СЕС - працюють за договорами з фіксованою договірною ціною;

$\dot{Y}_{\delta\hat{A}\hat{E}\hat{O}\hat{A}\hat{N}}^{\hat{O}i}$ - обсяг виробництва ЕЕ генеруючими компаніями ТЕС, які працюють за ціновими заявками в ОРЕ. Такий поділ пов'язано з структурою вироблених обсягів ЕЕ цими суб'єктами.

2. Обсяг експорту або імпорту ЕЕ в ОРЕ за розрахунковий період усіма мережевими суб'єктами визначається як сальдо перетоків у зовнішньому

перетині ОЕЕС, яке утворюється за рахунок різниці обсягів імпорту \dot{Y}_δ^2 та експорту \dot{Y}_δ^A ЕЕ:

$$\dot{Y}_p^{\Delta^2} = \dot{Y}_\delta^2 - \dot{Y}_\delta^A \quad (4.7)$$

3. Обсяг втрат ЕЕ за розрахунковий період утворюється внаслідок фізичних особливостей технологічних процесів виробництва, транспорту та перерозподілу ЕЕ як продукції, та визначається як втрати: пов'язані з роботою ГЕС в режимі синхронних компенсаторів - $\dot{Y}_\delta^{\tilde{N}\tilde{E}}$ при передачі електроенергії у ВВЛ енергосистеми - $\dot{Y}_\delta^{i\tilde{N}}$ в мережах перетоків (передавальних лініях 110кВт) у зовнішньому перетині ОЕЕС - $\dot{Y}_\delta^{i\tilde{N}i}$ в шунтуючих реакторах блоків АЕС - $\dot{Y}_\delta^{\phi D}$ при вимушеному споживанні продукції на власні потреби для підтримки спеціального режиму виробництва (споживання ЕЕ на закачування у ГАЕС) - \dot{Y}_δ^{ζ}

Обсяг втрат ЕЕ розраховується за формулою (4.8)

$$\mathfrak{E}_p^{\text{ПФ}} = \mathfrak{E}_p^{\text{СК}} + \mathfrak{E}_p^{\text{ПК}} + \mathfrak{E}_p^{\text{ПСП}} + \mathfrak{E}_p^{\text{ШР}} + \mathfrak{E}_p^3 \quad (4.8)$$

В цілому всі складові втрат можна розділити на втрати при виробництві ($\dot{Y}_\delta^{\tilde{N}\tilde{E}}, \dot{Y}_\delta^{\phi D}, \dot{Y}_\delta^{\zeta}$) та при передачі ($\dot{Y}_\delta^{i\tilde{N}}, \dot{Y}_\delta^{i\tilde{N}i}$) ЕЕ.

Слід зазначити, що обсяг виробництва ЕЕ в ОЕЕС кожним генеруючим суб'єктом визначається як різниця між виробництвом (фактичним відпуском) ЕЕ та втратами цього суб'єкта, наприклад:

- обсяг виробництва АЕС в ОРЕ $\dot{Y}_{\delta\tilde{A}\tilde{A}\tilde{N}}^{i\tilde{I}} = \dot{Y}_{\delta\tilde{A}\tilde{A}\tilde{N}}^{\tilde{O}\tilde{I}} - \dot{Y}_{\delta\tilde{A}\tilde{A}\tilde{N}}^{\phi D}$;

- обсяг виробництва ГЕС в ОРЕ $\dot{Y}_{\delta\tilde{A}\tilde{A}\tilde{N}}^{i\tilde{I}} = \dot{Y}_{\delta\tilde{A}\tilde{A}\tilde{N}}^{\tilde{O}\tilde{I}} - \dot{Y}_{\delta\tilde{A}\tilde{A}\tilde{N}}^{\tilde{N}\tilde{E}} - \dot{Y}_{\delta\tilde{A}\tilde{A}\tilde{N}}^{\zeta}$.

4. Обсяг спожитої ЕЕ за розрахунковий період усіма постачальниками складається з обсягів споживання суб'єктами, які купують ЕЕ в ОРЕ за нерегульованим тарифом - $\dot{Y}_\delta^{i\tilde{I}\tilde{O}}$ та суб'єктами, які працюють за регульованим тарифом - $\dot{Y}_\delta^{i\tilde{D}\tilde{O}}$

$$\mathfrak{E}_p^{\text{ПК}} = \mathfrak{E}_p^{\text{ПНТ}} + \mathfrak{E}_p^{\text{ПРТ}} \quad (4.9)$$

Такий поділ суб'єктів ринку – постачальників ЕЕ, пов'язаний з регулюючою політикою субсидування діяльності регіональних компаній постачальників через схеми дотаційних сертифікатів. Платіж постачальника за регульованим тарифом змінюється в залежності від встановленої НКРЕКП величини дотації на місяць. В результаті постачальники за нерегульованим тарифом купують ЕЕ в ОРЕ за оптовою ринковою ціною, а дотаційні - за регульованим тарифом. Механізм компенсації (повернення коштів) дотаційних сертифікатів визначається постановами НКРЕКП та відображається в балансі платежів.

Розглянемо тепер детально складові балансового рівняння платежів.

1. Сумарний платіж за вироблену генеруючими суб'єктами ЕЕ залежить від особливостей роботи суб'єкта з ОРЕ. Тобто, або він працює за ціновими заявками на вироблену ЕЕ – за регульованим ринком тарифом або за договорами з фіксованою ціною – за нерегульованим ринком тарифом. До суб'єктів першого типу віднесено генкомпанії ТЕС, а до суб'єктів другого типу - АЕС, ГЕС, ВЕС, ТЕЦ, СЕС:

$$\ddot{A}_{\partial}^{\tilde{N}\tilde{N}} = \ddot{A}_{\partial\tilde{A}\tilde{N}}^{\tilde{N}\tilde{N}} + \ddot{A}_{\partial\tilde{A}\tilde{N},\partial\tilde{A}\tilde{N},\partial\tilde{A}\tilde{N}}^{\tilde{N}\tilde{N}} + \ddot{A}_{\partial\tilde{A}\tilde{E}\partial\tilde{A}\tilde{N}}^{\tilde{N}\tilde{N}}$$

Генкомпанії ТЕС, що подають цінові заявки на вироблену ЕЕ кожним блоком станцій, формують цінові пропозиції, на підставі яких визначається гранична ціна ЕЕ ОРЕС. Ця ціна використовується при розрахунках за поставлену ЕЕ з генеруючими компаніями, тобто фактично є ціною, за якою ТЕС продають в ОРЕ вироблену ЕЕ. Крім платежів за вироблену ЕЕ, ТЕС одержують додаткові платежі, пов'язані із забезпеченням необхідних параметрів і режимів функціонування єдиної енергосистеми. Це - платежі за маневреність, робочу потужність, за пуск та зупинку блоків. Ці платежі стимулюють генеруючі

компанії заявляти свої блоки станцій для використання в режимах компенсації піків навантаження та інших коливань, які виникають у процесі споживання ЕЕ. Це дає можливість оперативно-технічним службам забезпечувати необхідні вимоги до стійкості системи та надійності управління режимами ОЕЕС.

Таким чином, генкомпанії ТЕС отримують від ОРЕ наступний сумарний платіж за роботу в системі:

$$\ddot{A}_{\delta}^{\tilde{N}\tilde{N}} = \ddot{O}_{\delta}^{\hat{O}\tilde{N}} \times \dot{Y}_{\delta}^{\hat{O}\tilde{I}} + \ddot{A}_{\delta}^{D\hat{A}E} + \ddot{A}_{\delta}^{\hat{A}} + \ddot{A}_{\delta}^{D\tilde{I}} + \ddot{A}_{\delta}^{\hat{I}\tilde{I}} + \ddot{A}_{\delta}^{\tilde{I}} - \ddot{A}_{\delta}^{\emptyset}, \quad (4.10)$$

де $\ddot{O}_{\delta}^{\hat{O}\tilde{N}}$ - гранична ціна системи; $\ddot{A}_{\delta}^{D\hat{A}E}$ - збільшення платежу за вироблену ЕЕ, якщо блоки ТЕС, які не були заявлені, знаходилися в роботі на вимогу диспетчерських служб; $\ddot{A}_{\delta}^{\hat{A}}$ - платіж за недовироблення або перевиробництво ЕЕ, в разі, якщо заявлені блоки ТЕС були розвантажені для забезпечення резерву або навантажені додатково на вимогу системи; D_p^{PM} - платіж за забезпечення робочої потужності блоків ТЕС; $\ddot{A}_{\delta}^{\hat{I}\tilde{I}}$ - платіж за маневреність блоків ТЕС; $\ddot{A}_{\delta}^{\tilde{I}}$ - платіж за пуск блоків ТЕС; $\ddot{A}_{\delta}^{\emptyset}$ - штраф за порушення режиму роботи (відхилення від графіка навантаження).

Всі додаткові складові платежу за вироблену ЕЕ розраховуються з урахуванням технічного параметра роботи блоків ТЕС - коефіцієнта корисного вироблення D^f .

2. Платіж $\ddot{A}_{\delta}^{\hat{A}^2}$ за поставлену на ОРЕ ЕЕ мережевими суб'єктами через перетоки у зовнішньому перетині ОЕЕС визначається на підставі договорів з ОРЕ, згідно з якими встановлюються тарифи, диференційовані як за зонами доби, так і за робочими та вихідними днями.

3. Витрати інфраструктури $\ddot{A}_{\delta}^{2\tilde{N}}$ поділяються на платежі: НЕК «Укренерго» за використання магістральних і міждержавних електромереж, за виконання диспетчерських функцій та Розпоряднику системи розрахунків платежів ДП

«Енергоринок». Розміри зазначених платежів встановлюються постановами НКРЕКУ.

4. Додаткові відрахування постачальників $\ddot{A}_{\delta}^{\hat{A}\hat{\Delta}}$ на розвиток нетрадиційних джерел енергії та інші інвестиційні проекти також встановлюються постановами НКРЕКП у відсотках від $\ddot{A}_{\delta}^{\hat{N}\hat{N}}$.

5. Сумарний обсяг дотаційних сертифікатів $\ddot{A}_{\delta}^{\hat{I}\hat{A}}$, наданих окремим регіональним компаніям-постачальникам, враховується в націнці до оптової ринкової ціни продажу ЕЕ на ОРЕ та фактично є формою підтримки одних компаній за рахунок інших та частковою компенсацією комерційних втрат.

6. Витрати на покриття втрат $\ddot{A}_{\delta}^{\hat{I}\hat{\Delta}} = (\ddot{A}_{\delta\hat{A}\hat{A}\hat{N}}^{\hat{\Delta}\hat{\Delta}} + \ddot{A}_{\delta\hat{A}\hat{A}\hat{N}}^{\hat{N}\hat{E}} + \ddot{A}_{\delta\hat{A}\hat{A}\hat{N}}^{\hat{C}}) + (\ddot{A}_{\delta}^{\hat{I}\hat{N}} + \ddot{A}_{\delta}^{\hat{I}\hat{N}\hat{I}})$ при виробництві та передачі ЕЕ відносяться або на підсумкові платежі генеруючих суб'єктів для покриття $\hat{Y}_{\delta}^{\hat{N}\hat{E}}$, $\hat{Y}_{\delta}^{\hat{\Delta}\hat{\Delta}}$, $\hat{Y}_{\delta}^{\hat{C}}$, або враховуються як

коефіцієнт втрат $\hat{E}_{\delta}^{\hat{I}\hat{N}} = \frac{\hat{Y}_{\delta}^{\hat{\Delta}\hat{\Delta}} + \hat{Y}_{\delta}^{\hat{A}\hat{A}} - \hat{Y}_{\delta}^{\hat{I}\hat{E}}}{\hat{Y}_{\delta}^{\hat{\Delta}\hat{\Delta}} + \hat{Y}_{\delta}^{\hat{A}\hat{A}}} = 1 - \frac{\hat{Y}_{\delta}^{\hat{I}\hat{E}}}{\hat{Y}_{\delta}^{\hat{\Delta}\hat{\Delta}} + \hat{Y}_{\delta}^{\hat{A}\hat{A}}}$ в націнці до оптової

ринкової ціни продажу ЕЕ на ОРЕ для покриття $\mathcal{E}_p^{\text{пс}}$, $\mathcal{E}_p^{\text{псп}}$ у магістральних ВВЛ.

Підсумковий платіж для АЕС визначається формулою

$$\ddot{A}_{\delta\hat{A}\hat{A}\hat{N}}^{\hat{I}\hat{I}} = \ddot{A}_{\delta\hat{A}\hat{A}\hat{N}}^{\hat{N}\hat{N}} - \ddot{A}_{\delta\hat{A}\hat{A}\hat{N}}^{\hat{\Delta}\hat{\Delta}} = \hat{Y}_{\delta\hat{A}\hat{A}\hat{N}}^{\hat{\Delta}\hat{\Delta}} \times \hat{\Delta}_{\hat{A}\hat{A}\hat{N}} - \ddot{A}_{\delta\hat{A}\hat{A}\hat{N}}^{\hat{\Delta}\hat{\Delta}},$$

а для ГЭС - $\ddot{A}_{\delta\hat{A}\hat{A}\hat{N}}^{\hat{I}\hat{I}} = \ddot{A}_{\delta\hat{A}\hat{A}\hat{N}}^{\hat{N}\hat{N}} - \ddot{A}_{\delta\hat{A}\hat{A}\hat{N}}^{\hat{N}\hat{E}} - \ddot{A}_{\delta\hat{A}\hat{A}\hat{N}}^{\hat{C}} = \hat{Y}_{\delta\hat{A}\hat{A}\hat{N}}^{\hat{\Delta}\hat{\Delta}} \times \hat{\Delta}_{\hat{A}\hat{A}\hat{N}} - \ddot{A}_{\delta\hat{A}\hat{A}\hat{N}}^{\hat{N}\hat{E}} - \ddot{A}_{\delta\hat{A}\hat{A}\hat{N}}^{\hat{C}}$

де, $\hat{\Delta}_{\hat{A}\hat{A}\hat{N}}$, $\hat{\Delta}_{\hat{A}\hat{A}\hat{N}}$ - фіксовані тарифи продажу ЕЕ на ОРЕ відповідно генеруючими компаніями АЕС і ГЕС.

7. Сумарний платіж в ОРЕ за ЕЕ усіма постачальниками за розрахунковий період складається з платежів $\ddot{A}_{\delta\hat{I}\hat{E}\hat{\Delta}}^{\hat{I}\hat{I}} = \hat{Y}_{\delta\hat{I}\hat{E}\hat{\Delta}}^{\hat{I}\hat{E}\hat{\Delta}} \times \hat{\Delta}_{\delta}^{\hat{I}\hat{E}\hat{\Delta}} - \ddot{A}_{\delta\hat{I}\hat{E}\hat{\Delta}}^{\hat{I}\hat{A}}$ суб'єктів, які купують ЕЕ на ОРЕ за регульованим тарифом з урахуванням оптової ринкової ціни продажу ЕЕ на ОРЕ та наданого дотаційного сертифіката та платежів $\ddot{A}_{\delta\hat{I}\hat{I}\hat{\Delta}}^{\hat{I}\hat{I}} = \hat{Y}_{\delta\hat{I}\hat{I}\hat{\Delta}}^{\hat{I}\hat{I}\hat{\Delta}} \times \hat{\Delta}_{\delta}^{\hat{I}\hat{I}\hat{\Delta}}$ суб'єктів, що працюють за нерегульованим тарифом -

оптовою ринковою ціною $\ddot{A}_{\delta}^{\hat{I}\hat{I}} = \ddot{A}_{\delta\hat{I}\hat{E}\hat{\Delta}}^{\hat{I}\hat{I}} + \ddot{A}_{\delta\hat{I}\hat{I}\hat{\Delta}}^{\hat{I}\hat{I}}$, де $\hat{\Delta}_{\delta}^{\hat{I}\hat{E}\hat{\Delta}} = \frac{\hat{\Delta}_{\delta}^{\hat{I}\hat{E}} + \hat{\Delta}_{\delta}^{\hat{I}\hat{\Delta}}}{1 - \hat{E}_{\delta}^{\hat{I}\hat{N}}}$ - оптова

ринкова ціна продажу ЕЕ постачальникам в ОРЕ, \ddot{O}_δ^i - націнка до оптової ціни $\ddot{O}_\delta^{\hat{E}}$ купівлі ринком ЕЕ у виробників, яка фактично коригує її в сторону зниження на величину $\ddot{A}_\delta^{\hat{Q}} = \phi(\ddot{A}_{\delta\hat{A}\hat{N}}^{\hat{I}\hat{I}}, \ddot{A}_{\delta\hat{A}\hat{N}}^{\hat{I}\hat{I}}, \ddot{A}_{\delta\hat{O},\hat{A}\hat{N},\hat{N}\hat{A}\hat{N}}^{\hat{I}\hat{I}})$ за рахунок низьких тарифів генеруючих суб'єктів, що працюють за фіксованим тарифом. Розрахункові величини $\ddot{O}_\delta^{\hat{E}}$ та \ddot{O}_δ^i визначаються з виразів:

$$\ddot{O}_\delta^{\hat{E}} = \frac{\ddot{O}_\delta^{\hat{O}\hat{N}} \times \hat{Y}_{\delta\hat{A}\hat{E}\hat{O}\hat{A}\hat{N}}^{\hat{O}\hat{I}} + \ddot{A}_\delta^{\hat{D}\hat{A}\hat{E}} + \ddot{A}_\delta^{\hat{D}\hat{I}} + \ddot{A}_\delta^{\hat{I}\hat{I}}}{\hat{Y}_{\delta\hat{A}\hat{E}\hat{O}\hat{A}\hat{N}}^{\hat{O}\hat{I}}} \quad (4.11)$$

$$\ddot{O}_\delta^i = \frac{\ddot{A}_\delta^{\hat{A}} + \ddot{A}_\delta^{\hat{I}} + \ddot{A}_\delta^{\hat{O}} + \ddot{A}_\delta^{\hat{A}^2} + \ddot{A}_\delta^{2\hat{N}} + \ddot{A}_\delta^{2\hat{I}} + \ddot{A}_\delta^{\hat{D}\hat{A}} + \ddot{A}_\delta^{\hat{Q}}}{\hat{Y}_\delta^{\hat{O}\hat{I}} + \hat{Y}_\delta^{\hat{A}^2}}. \quad (4.12)$$

Після закінчення кожного розрахункового періоду автоматизованою системою комерційного обліку проводиться вимірювання та збір даних про вироблену, спожиту та передану по електричних мережах ЕЕ всіма суб'єктами ОРЕ. У той же час, періодом часу для проведення фінансових взаєморозрахунків при розрахунках платежів суб'єктів енергоринку відповідно до Правил ринку встановлено добу. Тому баланс платежів будується спочатку на основі розрахунку балансу за кожний розрахунковий період δ , а потім формується баланс підсумкових платежів за добу:

$$\begin{aligned} \ddot{A}_\delta^{\hat{N}\hat{N}} + \ddot{A}_\delta^{\hat{A}^2} + \ddot{A}_\delta^{\hat{A}\hat{O}} + \ddot{A}_\delta^{2\hat{N}} + \ddot{A}_\delta^{\hat{I}\hat{A}} - \ddot{A}_\delta^{\hat{I}\hat{O}} &= \ddot{A}_\delta^{\hat{Y}\hat{I}}, \delta = 1, 2, 3, \dots, 24 \\ \ddot{A}^{\hat{N}\hat{N}} + \ddot{A}^{\hat{A}^2} + \sum_{\delta=1}^{24} \ddot{A}_\delta^{2\hat{N}} + \sum_{\delta=1}^{24} \ddot{A}_\delta^{\hat{A}\hat{O}} + \sum_{\delta=1}^{24} \ddot{A}_\delta^{\hat{I}\hat{A}} - \sum_{\delta=1}^{24} \ddot{A}_\delta^{\hat{I}\hat{O}} &= \ddot{A}^{\hat{Y}\hat{I}} \end{aligned} \quad (4.13)$$

де $\ddot{A}^{\hat{N}\hat{N}}$, $\ddot{A}^{\hat{A}^2}$, $\ddot{A}^{\hat{Y}\hat{I}}$ - підсумкові платежі за добу, які проведені за аналогічними правилами обчислення відповідних платежів за розрахунковий період δ . При цьому внаслідок округлення проміжних результатів, як правило, виникає небаланс між сумарним платежем за всі розрахункові години доби та

підсумковим платежем за добу для кожного суб'єкта розрахунку, проведеного за аналогічними правилами обчислення платежу розрахункового періоду:

$$H\ddot{A}^{\tilde{N}\tilde{N}} = \ddot{A}^{\tilde{N}\tilde{N}} - \sum_{\delta=1}^{24} \ddot{A}_{\delta}^{\tilde{N}\tilde{N}}, H\ddot{A}^{\tilde{A}^2} = \ddot{A}^{\tilde{A}^2} - \sum_{\delta=1}^{24} \ddot{A}_{\delta}^{\tilde{A}^2}, H\ddot{A}^{\tilde{Y}\tilde{I}} = \ddot{A}^{\tilde{Y}\tilde{I}} - \sum_{\delta=1}^{24} \ddot{A}_{\delta}^{\tilde{Y}\tilde{I}} \quad (4.14)$$

де $H\ddot{A}^{\tilde{N}\tilde{N}}$, $H\ddot{A}^{\tilde{A}^2}$, $H\ddot{A}^{\tilde{Y}\tilde{I}}$ - небаланси відповідних платежів $\ddot{A}^{\tilde{N}\tilde{N}}$, $\ddot{A}^{\tilde{A}^2}$, $\ddot{A}^{\tilde{Y}\tilde{I}}$.

Крім того, платежі генеруючих суб'єктів ринку - генкомпаній утворюються з платежів об'єктів генерації (станцій, блоків), що входять до їх складу. Це також може привести до виникнення небалансу між сумарним платежем за всіма структуроутворюючими об'єктами та підсумковим платежем генеруючого суб'єкта, проведеного за аналогічними правилами обчислення платежу за розрахунковий період δ :

$$H\ddot{A}_{\tilde{A}\delta}^{\tilde{N}\tilde{N}} = \ddot{A}_{\tilde{A}\delta}^{\tilde{N}\tilde{N}} - \sum_{\tilde{N} \in \tilde{A}} \sum_{\tilde{a} \in \tilde{N}} \ddot{A}_{\tilde{a}\delta}^{\tilde{N}\tilde{N}} \quad (4.15)$$

Таким чином, для встановлення балансу платежів необхідно збалансувати кожен складову в балансовому рівнянні. При цьому, на початку необхідно виконати баланс добових і часових значень платежів для об'єкта розрахунку, а потім збалансувати значення платежів генеруючого суб'єкта та його структуроутворюючих об'єктів генерації – блоків, електростанцій генкомпаній.

З метою уточнення значень платежів суб'єктів ОРЕ за розрахунковий період для цієї моделі розроблено алгоритм балансування, який передбачає встановлення величини небалансу і віднесення її для першого виду небалансу на останню годину P_{max} з ненульовим значенням платежу, а для другого виду небалансу на структурний об'єкт генерації з максимальним значенням платежу \tilde{a}_{max} :

$$\ddot{A}_{P_{max}}^{CC} = \ddot{A}_{P_{max}}^{CC} + H\ddot{A}^{\tilde{N}\tilde{N}}, \ddot{A}_{\tilde{a}_{max}\delta}^{CC} = \ddot{A}_{\tilde{a}_{max}\delta}^{CC} + H\ddot{A}_{\tilde{A}\delta}^{\tilde{N}\tilde{N}},$$

$$\ddot{A}_{P_{max}}^{\hat{A}^2} = \ddot{A}_{P_{max}}^{\hat{A}^2} + H\ddot{A}^{\hat{A}^2}, \ddot{A}_{P_{max}}^{\hat{Y}^i} = \ddot{A}_{P_{max}}^{\hat{Y}^i} + H\ddot{A}^{\hat{Y}^i}.$$

У сукупності співвідношення (4.5) - (4.15) й утворюють балансову математичну модель ОРЕ. Схеми розрахунків визначення платежів суб'єктів ОРЕ наведено в Додатку В.

4.2.4 Застосування моделі

Побудована математична модель призначена для реалізації процесів розрахунку платежів суб'єктів ОРЕ. Крім цього призначення, вона може бути використана для вирішення аналітичних задач кількісної та якісної оцінки наслідків внесення змін до Правил ОРЕ.

В якості вихідних для математичної моделі можна використовувати вже наявні планові або фактичні розрахункові погодинні дані про обсяги виробництва, передачі та споживання ЕЕ. Оскільки зміни в Правилах ОРЕ призводять в основному до перерозподілу платежів між усіма суб'єктами енергоринку із незначним перерозподілом навантаження між генеруючими суб'єктами, то для порівняльних розрахунків буде досить їх проведення для заздалегідь обраних діб за попередній період. Всі інші необхідні дані вважаємо фіксованими та незмінними. З огляду на сезонний та календарний характер зміни навантаження в ОЕЕС необхідно вибрати в кожному сезоні по чотири доби, щоб мати можливість провести аналіз впливу запропонованих змін у Правилах розрахунків платежів в ОРЕ в звичайні робочі дні, вихідні та святкові дні, дні з максимальним та мінімальним навантаженням в кожному сезоні.

Розглянута математична модель функціонування оптового ринку передбачає вирішення завдань порівняльного аналізу розрахунку платежів для планових обсягів виробництва та експорту-імпорту ЕЕ $\hat{Y}_{\delta}^{\hat{O}^i}$, $\hat{Y}_{\delta}^{\hat{A}^2}$ при прогнозованих (заданих) значеннях обсягів втрат та споживання, $\hat{Y}_{\delta}^{\hat{I}^E}$ граничної ціни системи, ціни пропозиції ринку та фактичних обсягів виробництва й

споживання ЕЕ за даними реалізованого диспетчерського графіка навантаження. Такий аналіз дозволяє визначати витрати системи на резервування потужності або на зупинку блоків, викликані неточністю прогнозування навантаження.

У подальшому, в залежності від задачі аналізу в вираз (4.11) вводиться додатковий платіж і визначаються величина націнки \ddot{O}_{δ}^I , оптова ціна ринку \ddot{O}_{δ}^{ID} та платежі суб'єктів енергоринку. Таким чином одержуємо можливість порівняльного аналізу оптової ціни енергоринку та платежів його суб'єктів до та після внесення змін до Правил при проведенні розрахунків платежів для планових і фактичних обсягів виробництва та споживання ЕЕ. І, далі, якщо задані обмеження на величину оптової ціни продажу ринку - $\ddot{O}_{\delta min}^{OP} \leq \ddot{O}_{\delta}^{ID} \leq \ddot{O}_{\delta max}^{OP}$ вирішується завдання оптимізації розміру нового виду платежу.

У представленій математичній моделі враховані основні правила функціонування та ціноутворення на ОРЕ, що дозволяє визначити вплив на оптову ціну ринку тих чи інших запропонованих змін у схемах і правилах розрахунків платежів суб'єктів ОРЕ - механізмах функціонування, а також при введенні нових видів платежів. Модель може бути використана для проведення багатоваріантного експертного аналізу можливого перерозподілу фінансових коштів, що надходять від кінцевих споживачів, між суб'єктами ОРЕ.

4.3 Висновки до розділу

1. Побудовано математичні моделі процесів вдосконалення механізмів функціонування та розвитку СОУ, а саме планування компонентів стану управління; контролю матеріального балансу ресурсів, обсягів виробництва та фінансового балансу отримання й розподілу доходів від реалізації продукції між суб'єктами, у тому числі:

- модель для планування оптимального ТДГ електричного навантаження для сегмента ринку на добу вперед для визначення компоненти управління -

оптової ціни купівлі ЕЕ, що відрізняється від відомих моделей використанням у якості критерію оптимальності мінімуму витрат на виробництво ЕЕ генеруючими компаніями енергосистеми;

- модель ОРЕ для вирішення задач аналізу та оцінки впливу впровадження нових або вдосконалення існуючих механізмів функціонування ОРЕ на розподіл платежів його суб'єктів, яка зв'язує балансовими співвідношеннями фізичні процеси виробництва, передачі та споживання ЕЕ та фінансові процеси формування цінових показників і обчислення платежів суб'єктів ринку на основі даних комерційного обліку та адекватного відтворення всіх розрахунково-технологічних процесів відповідно до діючих Правил ринку.

РОЗДІЛ 5

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ВДОСКОНАЛЕННЯ РЕГУЛЯТОРНИХ МЕХАНІЗМІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ ОРГАНІЗАЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ

Однією з ключових функцій СОУ, що визначають існування та розвиток більшості складних ОТС, при регулюванні процесів виробництва продукції, в яких спільно бере участь множина об'єктів, є формування регуляторних механізмів функціонування суб'єктів організаційної системи в умовах часом досить різких змін цін на ресурси виробництва. Особливо в тих випадках, коли в ОТС для виробництва тієї ж самої продукції використовуються різні технології, а, отже, і види сировинних ресурсів з різною динамікою зміни цін на ринках

сировини. За таких умов ускладнюється процес підготовки та прийняття рішення верхнім рівнем СОУ з формування адекватних регуляторних механізмів функціонування з отримання та розподілу доходів від продажу продукції. Очевидно, що для прийняття рішень необхідно використовувати математичні моделі, що дозволяють враховувати якомога більшу кількість зовнішніх факторів, що мають істотний вплив на виробничу діяльність ОТС, в тому числі й на коливання цін на основні види ресурсів виробництва.

5.1. Модель динаміки прибутку суб'єктів організаційної системи

5.1.1 Формулювання задачі математичного моделювання

До завдань організаційного управління складними ОТС відноситься й задача планування і аналізу динаміки прибутку підконтрольних суб'єктів та управління процесом отримання консолідованого прибутку. Вирішення цих завдань ускладнюється у зв'язку з необхідністю своєчасного та адекватного обліку коливань цін на сировинні, фінансові, трудові ресурси, транспортні послуги та ін. Метою керуючих впливів СОУ є забезпечення рівних можливостей в отриманні прибутку компаніям - суб'єктами СОУ, оскільки вони знаходяться в організаційній взаємодії при забезпеченні ресурсами, виробництві продукції та постачання її кінцевим споживачам. Досягнення такої мети управління обумовлює необхідність розробки та застосування методичних засобів аналізу динаміки прибутку підприємств у залежності від зміни цін на основні ресурси та послуги, що застосовуються для виробництва та реалізації продукції.

Можливість реалізації планів одержання прибутку окремими компаніями, залежить не тільки від дій їх СОУ. Великий вплив на формування прибутку надають і регуляторні дії органів управління ринками, на яких представлена їхня продукція. Наприклад, на ринку ЄЕ таким органом є Регулятор ринку. А, в

залежності від моделі ринку, яка застосовується, в його склад можуть входити й адміністратори його сегментів. Вибір задачі дослідження викликаний також тим, що зараз на ринках багатьох видів продукції або їх сегментів така модель регульованої взаємодії виробників і кінцевих споживачів з єдиним покупцем і продавцем продукції, отримала досить широке поширення. Крім того, представлено чимало компаній які мають власні збутові підприємства та є єдиними покупцями і продавцями продукції, що випускається ними.

В роботі розглянуті питання розробки математичної моделі динаміки прибутку суб'єктів організаційної системи, на прикладі компаній-виробників ЕЕ, що працюють на оптовому ринку ЕЕ з єдиним покупцем і продавцем та використовують різні види сировинних ресурсів для виробництва одного продукту з різною динамікою зміни цін на енергоносії [130].

5.1.2 Постановка задачі математичного моделювання

Термін «прибуток» використовується в загальноприйнятому сенсі, як різниця між виручкою від реалізації одиниці обсягу відпущеної ЕЕ $\hat{A}_\delta(t)$ (без урахування податку на додану вартість) і загальними умовно-змінними та умовно-постійними витратами на її виробництво та реалізацію - $\zeta(t)$, що включаються в собівартість продукції [131]. Тобто, $D_\delta(t) = \hat{A}_\delta(t) - \zeta(t), t \in [1, T]$.

Введемо наступні позначення: $P_{CT}(t)$ - прибуток компаній-виробників ЕЕ, де $\tilde{N}O \in \{\tilde{O}E\tilde{N}, \tilde{O}E\tilde{O}, \tilde{A}E\tilde{N}, \tilde{A}E\tilde{N}, \hat{A}E\tilde{N}, \tilde{N}E\tilde{N}\}$ - множина скорочених назв електростанцій виробників ЕЕ. Тоді їх загальний прибуток - $P_p(t) = \sum_{CT} P_{CT}(t)$.

Аналіз відпускних цін підприємств АЕС, ВЕС, СЕС, які встановлюються Регулятором ринку, показує, що протягом досить тривалих проміжків часу вони залишаються незмінними [132]. Обсяги відпуску ЕЕ зазнають незначних змін через обмежені технологічні можливості. Коливання обсягів відпуску ЕЕ ГЕС та цін на неї більш істотні та мають сезонний характер. Але також, як і компанії

АЕС, ВЕС, СЕС, компанії ГЕС відпускають ЕЕ за контрактними договірними цінами. Можна припустити, що частка їх прибутку в загальному балансі прибутку залишається незмінною та не залежить безпосередньо від змін цін на енергоносії. Тобто, сумарний прибуток можна представити у вигляді $P_p(t) = P_{ТЕС}(t) + P_{ТЕЦ}(t) + P_A$, де $P_A = P_{АЕС} + P_{ГЕС} + P_{ВЕС} + P_{СЕС}$.

Тому, далі будуть розглядатися питання, що стосуються тільки динаміки прибутку компаній ТЕС і ТЕЦ, що працюють в умовах моделі ринку ЕЕ «Єдиного покупця і продавця». Відмінною особливістю цієї моделі є наявність одного посередника (покупця і продавця) між виробниками та оптовими постачальниками ЕЕ - АТС.

5.1.3 Побудова математичної моделі

Розглянемо питання побудови моделі динаміки прибутку генеруючих компаній в умовах зміни цін на енергоносії. В цьому випадку організаційна система буде складатися з виробників ЕЕ компаній ТЕС і ТЕЦ та єдиного покупця - АТС.

Очевидно, що очікуваний (плановий) прибуток учасників ринку залежить від обсягу планового відпуску ЕЕ генеруючими компаніями та прогнозованої оптової ціни її купівлі $\ddot{O}_{i\hat{e}}^{i\delta i \bar{a}}(t) - P_j(t) = (\ddot{O}_{i\hat{e}}^{i\delta i \bar{a}}(t) - \ddot{O}_j(t)) \dot{Y}_j(t)$, де $P_j(t) > 0$ – прибуток j -ої генеруючої компанії, $C_j(t)$ - ціна відпуску одиниці обсягу ЕЕ, $\dot{Y}_j(t)$ - обсяг відпуску.

Введені нижче позначення будемо вважати пов'язаними з одиницею обсягу відпущеної ЕЕ.

Далі позначимо через:

P_j - максимально досяжний прибуток компанії;

$a_j(t) > 0$ - питома швидкість зростання прибутку j -ої генеруючої компанії

ТЕС і ТЕЦ на заданому проміжку часу;

$b_j(t) > 0$ - відносний приріст витрат на одиницю прибутку, що відображає конкуренцію між виробниками, викликану обмеженими запасами енергоносіїв та зростанням цін на них;

$Y_j(t)$ - прибуток єдиного покупця;

$c_j(t) = \sum_{j=1}^n \alpha_j a_j > 0$ - питома швидкість зростання прибутку єдиного покупця;

α_j - безрозмірні регулюючі коефіцієнти, що встановлюються АТС для досягнення рівних умов отримання прибутку;

$e_j(t) > 0$ - частка питомої швидкості зростання прибутку, що відбирається у j -ої генеруючої компанії в залежності від її частки в загальному балансі відпущеної ЕЕ.

Для одержання рівнянь динаміки прибутку компаній ТЕС і ТЕЦ застосуємо підхід, аналогічний тому, що описаний в роботі [133], та будемо використовувати для розробки моделі конкурентних процесів в економічній системі «виробники-єдиний покупець» систему звичайних диференціальних рівнянь, що зв'язують логістичне рівняння Ферхюльста для виробника продукції [134], і друге рівняння з системи рівнянь Вольтерра моделі «хижак-жертва» для покупця продукції [135].

Очевидно, що зростання прибутку, яке пов'язано зі зростанням обсягів виробництва ЕЕ викликає зростання змінних витрат на енергоносії. Внаслідок чого питома швидкість зростання прибутку сповільнюється на величину $b_j(t) \cdot P_j(t)$. Таким чином, для $P_j(t)$ в умовах припущення про те, що питома швидкість зростання прибутку лінійно залежить від величини прибутку [134], одержуємо

$$\frac{dP_j(t)}{dt} = P_j(t)(a_j(t) - b_j(t) P_j(t))$$

- логістичне рівняння Ферхюльста.

Як рівняння, що зв'язує $P_j(t)$ з прибутком єдиного покупця, використовуємо друге рівняння системи Вольтера («хижак-жертва») :

$$\frac{dY}{dt} = \left(-c(t) + \sum_{j=1}^n (e_j(t) \cdot P_j(t)) \right) \cdot Y(t)$$

Таким чином, приходимо до системи звичайних диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{dP_j(t)}{dt} = P_j(t) (a_j(t) - b_j(t)P_j(t)), j = \overline{1, n} \\ \frac{dY(t)}{dt} = Y(t) \left(-c(t) + \sum_{j=1}^n e_j(t)P_j(t) \right) \end{cases} \quad (5.1)$$

- динамічної моделі аналізу динаміки прибутку компаній ТЕС і ТЕЦ в економічній системі з єдиним покупцем.

Якщо задані початкові умови $P_j(0) = P_j^0$, $Y(0) = Y^0$ і відомі залежності $a_1(t)$, $a_2(t)$, $b_1(t)$, $b_2(t)$, $c(t)$, $e_1(t)$, $e_2(t)$, рішення такої системи може бути знайдено відомими чисельними методами.

Для визначення залежностей $a_1(t)$, $a_2(t)$, $b_1(t)$, $b_2(t)$, $c(t)$, $e_1(t)$, $e_2(t)$, необхідні ретроспективні дані щодо їх змін. З огляду на відсутність таких даних, будемо обмежуватися розрахунково-експериментальними дослідженнями часткової моделі, одержаній з (5.1) за допомогою припущень, які спрощують модель: $a_j(t) = a_j = \text{const}$; $b_j(t) = b_j = \text{const}$; $P_j(t) \leq P_j = \text{const}$; $e_j(t) = e_j = \text{const}$;

$$c_j(t) = c_j = \text{const}, c_j = \sum_{j=1}^n \alpha_j a_j.$$

Нехай задані початкові умови $P_j(0) = P_j^0$, $Y(0) = Y^0$ - базові значення прибутку, які досягнуті виробниками і покупцем ЕЕ в попередній розрахунковий проміжок часу (квартал). Перше рівняння з (5.1) дозволяє одержати загальне

аналітичне рішення щодо $P_j(t)$ шляхом поділу змінних. Рішення цього рівняння, для заданих початкових умов, має вигляд:

$$P_j(t) = \frac{K_j P_j^0 e^{a_j t}}{K_j + P_j^0 (e^{a_j t} - 1)}, \quad K_j = \frac{a_j}{b_j} \quad (5.2)$$

Підставляючи (5.2) в друге рівняння системи (5.1), отримаємо:

$$\frac{dY(t)}{dt} = \varphi(t) \cdot Y(t), \quad (5.3)$$

$$\text{де } \varphi(t) = \sum_{j=1}^n \left(-\alpha_j a_j + \frac{e_j K_j P_j^0 e^{a_j t}}{K_j + P_j^0 (e^{a_j t} - 1)} \right).$$

Змінні рівняння (5.3) також легко розділяються, і для початкових умов $Y(0) = Y^0$, його рішення має вигляд:

$$Y(t) = \frac{Y^0}{\prod_{j=1}^n K_j \frac{e_j}{b_j}} \cdot e^{-\sum_{j=1}^n \alpha_j a_j t} \cdot \prod_{j=1}^n \left[\left(K_j + P_j^0 (e^{a_j t} - 1) \right)^{\frac{e_j}{b_j}} \right] \quad (5.4)$$

Безпосередньою підстановкою неважко перекопатися в тому, що функції (5.2), (5.4) задовольняють системі рівнянь (5.1) і початковим умовам.

5.2 Моделювання динаміки ринку електроенергії в умовах зміни цін на енергоносії

Одна з особливостей сучасного етапу розвитку ЕЕВ полягає в тім, що його виробнича діяльність здійснюється в умовах зміни цін з різною динамікою на ринках енергоносіїв, які виходять для виробництва ЕЕ.

У зв'язку з цим, перед верхнім рівнем СОУ ОРЕ виникає ряд завдань організаційного управління, пов'язаних з підготовкою та застосуванням ринкових регуляторних механізмів управління ціно- та тарифоутворенням, які максимально враховують інтереси всіх взаємодіючих в процесі виробництва та споживання ЕЕ підприємств, і забезпечують рівні умови їх існування та розвитку.

Опубліковано чимало робіт, пов'язаних з розробкою засобів математичного і комп'ютерного моделювання для системного дослідження та аналізу взаємодії електроенергетики та галузей економіки в ринкових умовах. Більшість з них присвячена вирішенню завдань стратегічного управління її розвитком і функціонуванням з метою забезпечення енергетичної безпеки держави, реформування структур управління ринками ЕЕ та енергоресурсів в довгостроковій перспективі.

Слід також зазначити, що планування діяльності енергокомпаній в умовах ринку вимагає інформаційно-технологічної підтримки вирішення функціональних завдань організаційного управління, пов'язаних з вибором найбільш раціональної стратегії поведінки теплових генеруючих компаній на ринках енергетичного вугілля, природного газу, топкового мазуту. Таких, наприклад, як: прогноз динаміки цін на енергоносії; планування поставок енергоносіїв, управління їх запасами; облік і аналіз паливного балансу енергокомпаній, енергоринку; оптимізація, регулювання та контроль ефективності використання енергоресурсів; оцінка впливу зміни цін на енергоносії на формування конкурентної заявленої ціни блоків електростанцій; планування оптимальних обсягів виробництва ЕЕ з використанням різних енергоносіїв; прогноз оптової ціни купівлі ЕЕ на ОРЕ.

Пошук узгодженого та прийнятного рішення таких задач для всіх компаній ЕЕВ неможливо здійснити без проведення аналізу динаміки енергоринку в залежності від зміни цін на енергоносії. Очевидно, що кількість чинників, які впливають на стан ЕЕВ достатньо велика. До них відносять: ціни на вироблені та

спожиті матеріальні ресурси; ціни на трудові, фінансові та інформаційні ресурси та ін. Основним серед них можна вважати фактор цін на ринках енергоносіїв.

Тому, в роботі обмежимося дослідженням динаміки цін ОРЕ в умовах зміни цін на ринках енергоносіїв. З огляду на ту обставину, що цінам на енергоносії властива помітна динаміка, природно припустити наявність залежності динаміки енергоринку від зміни цін на пов'язаних ринках енергоносіїв.

Відповідно до Правил ОРЕ України, витрати ТЕС є визначальними при формуванні конкурентної оптової ціни купівлі ЕЕ у генеруючих компаній на ОРЕ. Як відомо, частка паливної складової в собівартості ЕЕ ТЕС і ТЕЦ досягає 80%. Тому, вважаємо за доцільне виділити та об'єднати в окрему підсистему в ПЕК - теплову електроенергетику та галузі, що забезпечують видобуток і постачання основних органічних енергоносіїв для її функціонування - енергетичного вугілля, природного газу, топкового мазуту, для моделювання динаміки впливу зміни цін на зазначені енергоносії на формування оптових цін купівлі ЕЕ на ОРЕ.

Одним з керуючих впливів, який має суттєвий вплив на формування цінових показників ОРЕ, є затвердження Регулятором ринку прогнозної оптової ціни продажу ЕЕ на ОРЕ в поточному місяці на наступний місяць. Тому і ставиться задача визначення залежності величини цього показника та динаміки зміни цін на енергоносії.

Підготовка та прийняття рішень з управління взаємодією енергоринку з зазначеними галузями в умовах зміни цін на енергоносії обумовлює необхідність побудови комплексу засобів математичного і комп'ютерного моделювання процесів аналізу динаміки цінових коливань на ринках ЕЕ та енергоносіїв, розрахунку прогнозних величин ключових інформативних параметрів функціонування ОРЕ.

5.2.1 Аналіз даних динаміки цін на електричну

енергію та енергоносії

Аналіз даних динаміки цін на ЕЕ. У структурі підприємств основних виробників ЕЕ на ОРЕ представлені генеруючі компанії - АЕС, ТЕС, ТЕЦ, ГЕС, ГАЕС, ВЕС, СЕС. Кожна з генеруючих компаній має свої особливості взаємодії з ОРЕ, які закріплені в Правилах ОРЕ в частині формування конкурентної оптової ціни купівлі ЕЕ. У таблицях 5.1-5.3 наведені дані щодо динаміки відпускних середньозважених цін купівлі ЕЕ у генеруючих компаній на ОРЕ в 2011-2013 роках, які сформовані на основі даних представлених на сайті ДП «Енергоринок» [136]. Розглянемо результати проведеного в [132] аналізу динаміки цін на ЕЕ.

Таблиця 5.1 Динаміка зміни цін на ЕЕ у 2011 році

Місяць 2011 р.	АЕС	ГК ТЕС	ГК ГЕС	ТЕЦ	Зелений тариф	ВЕС	Середня ціна
Січень	159,85	440,81	117,32	754,70	4890,69	1227,70	317,01
Лютий	180,64	464,31	113,15	745,21	4969,14	1227,70	345,96
Березень	184,81	494,47	119,81	754,92	5001,77	1231,90	358,26
Квітень	185,21	538,90	138,04	839,50	4691,61	1271,10	365,73
Травень	185,25	690,73	109,65	831,19	4295,07	1313,80	387,39
Червень	184,92	633,90	133,98	854,58	4228,05	1284,60	389,19
Липень	185,14	636,36	144,79	956,53	1285,74	1298,20	400,62
Серпень	185,64	587,24	141,85	918,54	1367,91	1280,80	392,47
Вересень	184,36	646,34	192,97	927,55	1379,78	1296,90	393,41
Жовтень	184,73	557,21	157,38	990,14	996,43	1227,70	394,83
Листопад	225,05	557,78	164,43	995,23	958,80	1245,40	422,57
Грудень	225,01	511,61	176,40	988,78	933,40	1227,70	409,17
Середня ціна за рік	189,21	563,305	142,45	879,74	2916,53	1367,12	381,37

Таблиця 5.2 Динаміка зміни цін на ЕЕ у 2012 році

Місяць 2012 р.	АЕС	ГК ТЕС	ГК ГЕС	ТЕЦ	Зелений тариф	ВЕС	Середня ціна
Січень	227,86	575,34	215,26	973,11	1072,19	1227,70	401,40
Лютий	227,79	484,00	220,93	970,14	1151,35	1227,70	413,90
Березень	212,59	567,39	169,23	982,36	1205,09	1227,70	417,19
Квітень	212,82	671,21	178,51	957,60	1289,15	1227,70	425,63
Травень	212,92	671,29	147,01	933,65	1530,85	1227,70	408,08
Червень	212,55	686,85	177,37	932,85	1630,49	1227,70	438,30
Липень	212,94	611,24	290,50	943,78	1938,79	1227,70	450,98
Серпень	212,64	612,98	307,06	1129,20	3454,37	1227,70	451,63
Вересень	212,53	620,77	327,22	1072,98	3608,37	1227,70	442,62
Жовтень	212,68	584,24	229,85	1064,14	2796,14	1227,70	429,74
Листопад	212,44	634,14	184,59	1057,35	2171,66	1227,70	433,63
Грудень	212,44	550,32	195,12	1040,20	1802,11	1227,70	424,82
Середня ціна за рік	215,18	605,81	220,22	1001,78	1970,88	1227,70	428,16

Таблиця 5.3 Динаміка зміни цін на ЕЕ у 2013 році

Місяць 2013 р.	АЕС	ГК ТЕС	ГК ГЕС	ТЕЦ	Зелений тариф	ВЕС	Середня ціна
Січень	206,93	583,52	168,64	1080,29	1680,66	1227,70	433,35
Лютий	217,72	503,72	216,91	1069,00	1816,49	1227,70	417,61
Березень	217,86	590,57	185,09	1070,54	2025,49	1227,70	451,16
Квітень	217,72	736,46	149,15	1069,01	2440,41	1227,70	457,47
Травень	217,70	827,28	154,76	1072,14	3085,78	1227,70	468,87
Червень	218,35	684,73	168,01	1065,21	3028,48	1227,70	465,28
Липень	219,38	587,51	286,03	1064,30	3063,84	1227,70	457,93
Серпень	223,43	645,03	332,06	1080,80	3151,11	1227,70	475,03
Вересень	224,76	660,01	312,80	1100,42	2459,36	1227,70	480,98
Жовтень	223,75	638,87	218,63	1052,08	2586,99	1227,70	481,40

Листопад	223,87	605,12	211,92	1059,77	2301,85	1227,70	464,90
Грудень	223,76	623,50	224,05	1054,62	1940,51	1227,70	470,74
Середня ціна за рік	219,60	640,53	219,00	1069,85	2465,08	1227,70	460,39

Аналіз динаміки середньої ціни. Аналіз даних показує, що діапазон коливань середньозваженої (надалі скорочено - середньої) ціни продажу ЕЕ знаходиться в межах 317,01 - 422,57 грн. за МВт.год у 2011 році, 401,40 - 451,63 грн. за МВт.год у 2012 році, та 417, 61 - 480,98 грн. за МВт.год у 2013 році. Середня ціна 2012 року в порівнянні з 2011 роком зросла на 12,27%. а середня ціна 2013 року зросла в порівнянні з 2012 роком на 7,54%.

Порівняльний аналіз поквартальної динаміки середніх цін за ті ж роки показує, що в різні періоди зростання цін відбувалось нерівномірно. Наприклад, в першому кварталі 2013 року, в порівнянні з аналогічним кварталом 2012 року, ціни зросли на 5,59%, у другому кварталі - на 9,4%, в третьому кварталі - на 5,1%, в четвертому кварталі - на 10,1%. Характер поквартальної зміни відпускних цін тільки ГК ТЕС збігається з наведеними даними. У першому кварталі 2013 року порівняно з першим кварталом 2012 ціни виросли на 3,2%, у другому кварталі - на 10,79%, в третьому кварталі - на 2,5%, в четвертому - на 5,58 %.

Наявність коливань середніх цін від місяця до місяця, згідно з даними аналізу [136], пояснюється, як правило, зміною структури виробників і складу включеного генеруючого устаткування, а, отже, й обсягів виробленої ними ЕЕ, що мають різну відпускну ціну. Наприклад, зменшення частки виробництва НАЕК «Енергоатом» і збільшення частки генкомпаній ТЕС призводить до зростання середньої місячної оптової ціни продажу ЕЕ в ОПЕ. Однак, як показує аналіз чинників, що впливають на зміни цін, до них відносяться й заходи, які приймаються Регулятором ринку щодо зменшення або збільшення регулюючих коефіцієнтів при визначенні цін за робочу потужність та маневреність блоків ТЕС. У певні періоди часу зменшення регулюючих коефіцієнтів призводило до зменшення оптової ціни продажу навіть в умовах збільшення частки блоків ТЕС

в структурі виробництва ЕЕ. Певний вплив на ціноутворення надає й обсяг виробництва ЕЕ генкомпаніями ГЕС.

В цілому дані динаміки відпускних цін показують і загальну тенденцію зростання середньої ціни по роках. Причому зміни середніх цін на ЕЕ відбуваються при практично незмінних відпускних цінах на ЕЕ для АЕС, ГЕС, СЕС, ВЕС, які директивно встановлюються для них на відносно тривалі періоди.

З огляду на цю обставину, а також на те, що в собівартості ЕЕ ТЕС і ТЕЦ значна частина належить паливній складовій, а АЕС, ГЕС, ВЕС та інші нетрадиційні джерела енергії відпускають на ОРЕ ЕЕ за фіксованими цінами на певні періоди часу, можна припустити, що саме зміна цін на енергоносії, є визначальним фактором, що впливає на динаміку цін на ЕЕ.

Аналіз динаміки зміни балансу обсягів відпуску ЕЕ АЕС, ТЕС, ТЕЦ (рис. 5.1).

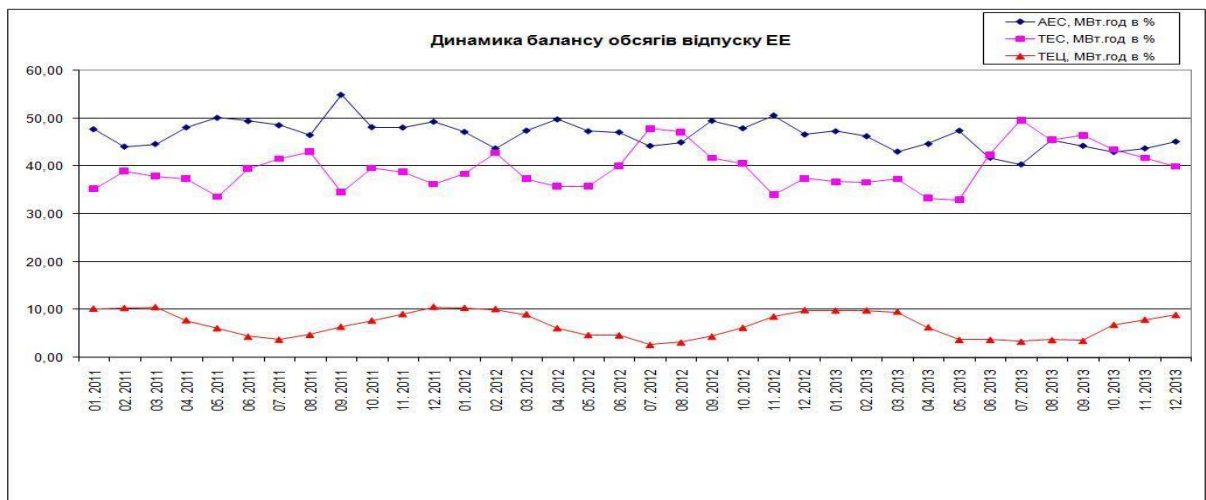


Рис. 5.1. Динаміка балансу обсягів відпуску ЕЕ

Частка відпуску ЕЕ ТЕЦ в загальному балансі становить 2-11% за період спостереження 2011-2013 рр. Причому простежується чітка закономірність зниження / збільшення обсягу відпуску ЕЕ в залежності від закінчення / початку опалювального сезону. Максимум припадає на 3 місяці зими та березень, а мінімум на липень місяць. Характеристику закономірності можна класифікувати як таку що коливається, періодичну, але без значних стрибків тренда.

Частка відпуску ЕЕ компаній ТЕС в загальному балансі становить 33-50% за період спостереження 2011-2013 рр. Причому, протягом одного календарного року спостерігається 2 максимуми цієї частки в балансі відпуску ЕЕ. Найбільший припадає на літні місяці (липень-серпень), а другий, більш рівномірний, - на зимові місяці. Мінімум частки припадає на травень. Таку закономірність можна пояснити використанням у весняні місяці ГЕС для цілей регулювання коливань потужності в енергосистемі та зменшенням використання для цього маневрених блоків ТЕС. При цьому влітку та взимку зростає роль потужностей блоків ТЕС як маневрених. Влітку - для стабільного забезпечення ЕЕ промислових об'єктів, а взимку - для громадської (комунальної) інфраструктури. Слід зазначити, що з року в рік максимум частки ТЕС зростає. Тобто, в 2011 році він становив 43%, в 2012 році - 47%, в 2013 році - 50%, при збереженні мінімуму частки в 33-35%. Крім того, з 2012 року стала спостерігатися тенденція перевищення частки ТЕС над АЕС в загальному балансі відпуску ЕЕ, що явно проявилось в 2013 році в період з червня по жовтень. Характеристику закономірності можна класифікувати як періодичну немонотонну, тобто з великими перепадами у підйомі і зниженні тренда частки ТЕС.

Частка відпуску ЕЕ АЕС в загальному балансі становить 40-55% за період спостереження 2011-2013 рр. Причому, максимум в 55%, спостерігався тільки у вересні 2011 року, а мінімум - у 40%, - в липні 2013 року. В цілому частка АЕС знаходиться в межах 43-50%. Але, починаючи з 2013 року, спостерігається тенденція до загального зниження частки АЕС в загальному балансі відпуску ЕЕ. Характеристики зміни часток АЕС і компаній ТЕС пов'язані між собою. Тобто зниження відпуску ЕЕ АЕС призводить до збільшення частки відпуску ТЕС. Однак, саму характеристику закономірності змін частки АЕС можна класифікувати як періодичну, але більш монотонну, ніж у компаній ТЕС. Це пояснюється тим, що блоки АЕС експлуатуються виключно в базовому режимі енергосистеми.

Аналіз динаміки цін на енергоносії. Для визначення структури споживання енергоресурсів необхідно провести аналіз їх використання в технологічному процесі генерації компаніями ТЕС і ТЕЦ. Очевидно, що не всі встановлені потужності генеруючого устаткування були задіяні в повному обсязі у виробленні ЕЕ в розглянутий період часу 2011-2013 рр. Про це свідчать дані коефіцієнтів використання встановленої потужності, наведені в [137-139]. З огляду на ту обставину, що реально відстежити склад включеного генеруючого устаткування протягом цього періоду не представляється можливим, для проведення дослідження були використані тільки сумарні місячні дані щодо обсягів споживання основних енергоносіїв - енергетичного вугілля, природного газу, топкового мазуту та середніх місячних цін на них. Необхідні дані отримані з відкритих джерел [137-144]. Очевидно, що вони можуть нести в собі як методичну похибку, так і похибку випадкового характеру. Однак, в цілому вони відображають динаміку використання та зміни цін на енергоносії. Розглянемо динаміку зміни цін на енергоносії протягом 2011-2013 рр.

Динаміка цін на енергетичне вугілля. На ТЕС і ТЕЦ як енергоносії використовуються практично всі марки енергетичного вугілля, що видобувається на вугільних підприємствах України - А, АШ, Б, Г, Д, ДГ, Ж, Т. Питання ціноутворення на ринку регулювалися державним органом шляхом встановлення дотацій для вугільних шахт, а також надбавок до базової ціни в залежності від зольності, вологості та теплотворної здатності [145]. Коливання відпускних цін відбувалися практично по кожній марці вугілля протягом місяця, кварталу та календарного року. Тому, як і у випадку з середніми цінами на ЕЕ, були визначені середньозважені місячні ціни та їх динаміка в перебігу 2011-2013 років за даними, наведеними в [140,141,144], які представлені в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 Динаміка цін на вугілля енергетичне в 2011-2013 роках

Місяць	Ціна вугілля енергетичного (оптова ціна, грн / т)		
	2011 р.	2012 р.	2013 р.
Січень	566,72	718,52	640,60

Лютий	566,72	718,52	640,60
Березень	566,72	718,52	640,60
Квітень	637,56	640,60	640,60
Травень	637,56	640,60	640,60
Червень	637,56	640,60	640,60
Липень	637,56	640,60	640,60
Серпень	637,56	640,60	640,60
Вересень	637,56	640,60	640,60
Жовтень	637,56	640,60	640,60
Листопад	637,56	640,60	640,60
Грудень	637,56	640,60	640,60

Динаміка цін на природний газ. Зміни цін на ринку природного газу відбувалися відповідно до Постанов Регулятора ринку. Для проведення досліджень дані про ці зміни були сформовані на підставі Постанов НКРЕКП, опублікованих в [140], та наведені в таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 Динаміка цін на природний газ в 2011-2013 роках

Місяць	Ціна природного газу (грн. за 1000 м ³)		
	2011 р.	2012 р.	2013 р.
Січень	2309,59	3551,11	3551,11
Лютий	2309,59	3551,11	3551,11
Березень	2309,59	3551,11	3551,11
Квітень	2583,84	3551,11	3551,11
Травень	2583,84	3551,11	3551,11
Червень	2583,84	3551,11	3551,11
Липень	3059,78	3551,11	3500,51
Серпень	3059,78	3551,11	3500,51
Вересень	3059,78	3551,11	3500,51

Жовтень	3059,78	3551,11	3500,51
Листопад	3422,58	3551,11	3500,51
Грудень	3422,58	3551,11	3500,51

Динаміка цін на топковий мазут. Як показав аналіз різних джерел, найбільш динамічним виявився ринок топкового мазуту. Значна його частина, яка використовується для потреб теплової енергетики в технологічному виробництві ЕЕ, в основному імпортується. Реально відстежити ціни на всі закупівлі мазуту з необхідною місячною дискретністю протягом 2011 - 2013 рр. дуже важко. Тому для формування вихідних даних про динаміку середньозважених місячних цін на топковий мазут для проведення дослідження були використані дані, наведені на сайті [143]. У таблиці 5.6 представлені розрахункові дані, одержані шляхом обчислення середніх місячних цін з використанням 5-6 значень цін протягом розрахункового місяця. Незважаючи на можливі відхилення наведених кількісних даних від реальних, їх використання дозволяє врахувати характерні особливості динаміки цін на ринку топкового мазуту.

Таблиця 5.6 Динаміка цін на топковий мазут в 2011-2013 роках

Місяць	Ціна мазуту топкового (\$ за тонну)		
	2011 р.	2012 р.	2013 р.
Січень	1353,29	845,81	1014,97
Лютий	1225,67	765,68	991,22
Березень	1231,61	703,35	1101,04
Квітень	1296,90	620,25	1198,97
Травень	1285,03	697,42	1213,80
Червень	1368,13	706,33	1154,45
Липень	1285,03	833,94	1095,10
Серпень	1175,23	842,83	1026,64

Вересень	1145,54	833,94	899,22
Жовтень	1068,39	976,39	1068,39
Листопад	1068,39	1062,45	1092,13
Грудень	970,45	1014,97	1237,54

Динаміка обсягів споживання енергоресурсів. Вихідні дані про використані для виробництва ЕЕ в 2011-2013 рр. енергоресурси, що представлені нижче в таблицях 5.7-5.9, сформовані за місячними даними основних показників роботи ПЕК України, наведеними в [142]. Для подальшого їх застосування для розрахунково-експериментальних досліджень реальні кількісні дані про обсяги вугілля, природного газу, мазуту перетворені в безрозмірні одиниці умовного палива.

Таблиця 5.7 Динаміка обсягів споживання енергоресурсів за 2011 рік

Місяць	Вугілля (тис.т.)	Вугілля (ум.пал. тис. т.)	Мазут (тис.т.)	Мазут (ум.пал. тис. т.)	Газ (млн.м3)	Газ (ум.пал. тис. т.)
Січень	3224,4	2824,6	4,2	5,75	740,3	843,9
Лютий	3300,2	2891,0	2,9	3,97	730,0	832,2
Березень	3358,4	2942,0	4,7	6,44	672,4	711,8
Квітень	2792,0	2445,8	2,7	3,70	373,5	425,8
Травень	3651,7	3198,9	4,0	5,48	774,2	882,6
Червень	2745,7	2405,2	3,2	4,38	171,3	195,3
Липень	2392,5	2095,8	0,4	0,55	156,6	178,5
Серпень	2662,9	2327,2	2,7	3,70	209,2	238,5
Вересень	2495,2	2185,8	4,5	6,17	345,9	394,3
Жовтень	2749,4	2408,5	1,7	2,33	216,6	246,9
Листопад	3943,7	3454,7	5,1	6,89	212,4	242,1
Січень	3261,5	2857,1	4,7	6,44	674,8	709,3

Таблиця 5.8 Динаміка обсягів споживання енергоресурсів за 2012 рік

Місяць	Вугілля (тис.т.)	Вугілля (ум.пал. тис. т.)	Мазут (тис.т.)	Мазут (ум.пал. тис. т.)	Газ (млн.м3)	Газ (ум.пал. тис. т.)
Січень	3465,3	3035,6	4,4	6,03	748,5	853,3
Лютий	3914,2	3428,8	5,8	7,95	837,4	954,4
Березень	3322,5	2910,5	4,9	6,71	622,2	871,1
Квітень	2687,5	2354,3	4,3	5,89	311,0	354,5
Травень	2598,8	2276,6	2,3	3,15	195,9	223,3
Червень	2863,	2508,7	3,0	4,11	196,8	224,4
Липень	3600,7	3154,2	2,3	3,15	145,1	165,4
Серпень	3468,2	3038,1	2,3	3,15	154,1	175,7
Вересень	3036,8	2660,2	4,1	5,62	188,3	214,7
Жовтень	3000,0	2628,0	4,7	6,44	293,5	334,6
Листопад	2818,9	2469,4	3,8	5,21	530,9	605,2
Січень	3473,6	3042,9	3,8	5,21	748,2	852,9

Таблиця 5.9 Динаміка обсягів споживання енергоресурсів за 2013 рік

Місяць	Вугілля (тис.т.)	Вугілля (ум.пал. тис. т.)	Мазут (тис.т.)	Мазут (ум.пал. тис. т.)	Газ (млн. м3)	Газ (ум.пал. тис. т.)
Січень	3288,4	2880,6	3,4	4,66	735,8	838,8
Лютий	2936,6	2572,5	2,2	3,01	599,4	683,3
Березень	3247,0	2844,4	4,3	5,89	679,9	775,1
Квітень	2520,6	2208,1	5,3	7,26	334,7	381,6
Травень	2326,9	2038,4	4,9	6,71	144,9	165,2
Червень	2953,1	2586,9	5,9	8,08	139,3	158,8
Липень	3573,6	3130,1	0,7	0,96	136,6	155,7
Серпень	3216,1	2817,3	5,5	7,53	163,6	186,5
Вересень	3244,6	2842,3	7,0	9,59	147,3	167,9
Жовтень	3472,4	3041,8	3,5	4,80	385,7	439,7

Листопад	3295,8	2887,1	5,2	7,12	433,2	493,8
Січень	3566,8	3124,4	4,9	6,71	584,8	666,7

Аналіз динаміки зміни балансу обсягів споживання умовного палива Частка мазуту в загальному балансі обсягів споживання умовного палива складає не більше 0,3% за період спостереження 2011-2013 рр. Однак, динаміка відносної зміни значення частки мазуту нестационарна, тобто спостерігаються значні стрибки власної відносної зміни частки мазуту за період спостереження. Причому, в 2011 році помісячні підйоми та падіння, в 2012 році - перші 4 місяці монотонне слабке падіння, потім різкий спад і утримання рівня протягом 3 місяців з подальшим підйомом. А в 2013 році продовження підйому до середини року, а в подальшому коливання з періодом в 2 місяці. Тобто, характеристика закономірності нестабільна, а її зв'язок з технологічним процесом виробництва ЕЕ практично не виражений протягом періоду спостереження. Це пояснюється тим, що для більшості блоків ТЕС і ТЕЦ мазут є допоміжним паливом або використовується для підсвічування.

Частка вугілля в загальному балансі обсягів споживання умовного палива складає 76-95% за період спостереження 2011-2013 рр. Динаміка ж відносної зміни частки - циклічна, коливається з напівперіодом в 6 місяців. Причому найбільше зростання спостерігається з квітня по жовтень, а потім спад. Характеристика закономірності – періодична, коливається без значних стрибків тренда та частково корелює з характеристикою зміни частки відпуску ЕЕ ТЕС.

Частка газу в загальному балансі обсягів споживання умовного палива протягом періоду спостереження складає 5-23%. Динаміка відносної зміни частки газу пов'язана з характеристикою зміни частки вугілля в загальному балансі з тим же напівперіодом в 6 місяців обернено пропорційною залежністю (рис 5.2).



Рис. 5.2. Динаміка балансу обсягів споживання енергоносіїв

Тобто, зниження споживання газу призводить до збільшення частки споживання вугілля і навпаки.

5.2.2 Динамічна модель для розрахунку прогнозованої оптової ціни купівлі електроенергії

Аналіз динаміки цін на основні види палива - вугілля, природний газ показує, що ці ціни протягом періоду спостереження встановлювалися НКРЕКП директивно, і для визначення закономірностей необхідно переходити до аналізу динаміки обсягів умовного палива $\hat{I}_{\text{об'єкту}}, \hat{I}_{\text{аіс}}, \hat{I}_{\text{і асод}}$ або вартісних витрат умовного палива як інтегрального показника, що зв'язує ціни та обсяги виробленої ЕЕ.

В результаті, якщо будуть встановлені залежності динаміки зміни обсягів відпуску ЕЕ $\hat{Y}_{\text{ААН}}, \hat{Y}_{\text{ОАН}}, \hat{Y}_{\text{ОАО}}$ від динаміки зміни їх частки в балансі відпуску ЕЕ

та від обсягів умовного палива $\mathcal{E}_{\text{АЕС}} = f_{\text{АЕС}}(K_{\text{АЕС}})$,

$\mathcal{E}_{\text{ТЕС}} = f_{\text{ТЕС}}(K_{\text{ТЕС}}, O_{\text{вугілля}}, O_{\text{газ}}, O_{\text{мазут}})$, $\mathcal{E}_{\text{ТЕЦ}} = f_{\text{ТЕЦ}}(K_{\text{ТЕЦ}}, O_{\text{вугілля}}, O_{\text{газ}}, O_{\text{мазут}})$, а також

залежності динаміки зміни цін відпуску ТЕС, ТЕЦ
 $\ddot{O}_{\Delta\tilde{N}} = h_{\Delta\tilde{N}}(\hat{I}_{\Delta\tilde{N}}, \hat{I}_{\tilde{N}}, \hat{I}_{\Delta\tilde{N}})$, $\ddot{O}_{\Delta\tilde{N}} = h_{\Delta\tilde{N}}(\hat{I}_{\Delta\tilde{N}}, \hat{I}_{\tilde{N}}, \hat{I}_{\Delta\tilde{N}})$, то можна буде
отримати й залежність для показника середньої ціни покупки ЕЕ, що шукається:

$$\ddot{O}_{\Delta\tilde{N}} = f_{\Delta\tilde{N}}(K_{\text{ТЕС}}, K_{\text{ТЕЦ}}, K_{\text{ТЕЦ}}, \hat{I}_{\Delta\tilde{N}}, \hat{I}_{\tilde{N}}, \hat{I}_{\Delta\tilde{N}}).$$

Таким чином, задача побудови моделі для визначення прогнозованої оптової ціни купівлі ЕЕ зводиться до формування п'яти прогностичних моделей для показників динаміки зміни обсягів відпуску ЕЕ та цін відпуску в залежності від зміни частки основних виробників ЕЕ в балансі відпуску ЕЕ та обсягів споживання умовного палива.

Розглянемо побудову математичних моделей для вирішення задачі визначення прогнозованої оптової ціни купівлі ЕЕ [146,147].

Введемо позначення: $\ddot{O}_{i\tilde{e}}(t)$ - оптова ціна купівлі ЕЕ у виробників, $\ddot{O}_j(t)$ з відповідним індексом $j \in \tilde{N} = \{\text{ТЕС}, \text{ТЕЦ}, \text{ТЕС}, \text{ТЕЦ}, \text{ТЕС}, \text{ТЕЦ}\}$ - відпускна ціна виробника j , $\dot{Y}_j(t)$ - обсяг відпущеної ЕЕ в ОПЕ виробником. Тоді

$$\ddot{O}_{i\tilde{e}}(t) = \frac{\ddot{O}_{\Delta\tilde{N}}(t)\dot{Y}_{\Delta\tilde{N}}(t) + \ddot{O}_{\Delta\tilde{O}}(t)\dot{Y}_{\Delta\tilde{O}}(t) + \ddot{O}_{\tilde{N}\tilde{N}}(t)\dot{Y}_{\tilde{N}\tilde{N}}(t) + \ddot{O}_{\tilde{N}\tilde{N}}(t)\dot{Y}_{\tilde{N}\tilde{N}}(t) + \ddot{O}_{\tilde{N}\tilde{N}}(t)\dot{Y}_{\tilde{N}\tilde{N}}(t)}{\dot{Y}_{\Delta\tilde{N}}(t) + \dot{Y}_{\Delta\tilde{O}}(t) + \dot{Y}_{\tilde{N}\tilde{N}}(t) + \dot{Y}_{\tilde{N}\tilde{N}}(t) + \dot{Y}_{\tilde{N}\tilde{N}}(t)}, \quad (5.5)$$

де $\dot{Y}_{\Delta\tilde{N}}(t) = \dot{Y}_{\Delta\tilde{N}}(t) + \dot{Y}_{\Delta\tilde{O}}(t) + \dot{Y}_{\tilde{N}\tilde{N}}(t) + \dot{Y}_{\tilde{N}\tilde{N}}(t) + \dot{Y}_{\tilde{N}\tilde{N}}(t) + \dot{Y}_{\tilde{N}\tilde{N}}(t)$.

Відомо [67], що для блоків ТЕС ціна купівлі в ОПЕ формується з двох складових - платежу за відпущену ЕЕ, який визначається граничною (маржинальною) ціною системи та платежем за робочу потужність блоку, який встановлюється АТС. Розглянуті в роботі дані динаміки $\ddot{O}_{\Delta\tilde{N}}(t)$ включають обидві складові.

На основі проведеного в роботі [132] аналізу даних встановлено, що $\ddot{O}_{\tilde{N}\tilde{N}}(t)$, $\ddot{O}_{\tilde{N}\tilde{N}}(t)$, $\ddot{O}_{\tilde{N}\tilde{N}}(t)$, $\ddot{O}_{\tilde{N}\tilde{N}}(t)$ - це контрактні договірні відпускні ціни, що

встановлюються Регулятором ОРЕ на достатньо тривалі проміжки часу. А $\ddot{O}_{\dot{O}\ddot{O}}(t)$ - хоча й регульовані ціни, але їм властива достатньо помітна динаміка.

З огляду на цю обставину, розділимо виробників ЕЕ на дві групи. В першу включені компанії ТЕС і ТЕЦ. Для них в моделі буде враховуватися реальна динаміка середньозважених місячних цін у часі. Для групи інших компаній вважатимемо, що ціна купівлі, яка не залежить від цін на енергоносії і є постійною величиною, дорівнює $\dot{A}(t)$ та розраховується за формулою

$$\dot{A}(t) = \frac{(\ddot{O}_{\dot{A}\dot{A}\dot{N}}(t)\dot{Y}_{\dot{A}\dot{A}\dot{N}}(t) + \ddot{O}_{\dot{A}\dot{A}\dot{N}}(t)\dot{Y}_{\dot{A}\dot{A}\dot{N}}(t) + \dot{Y}_{\dot{A}\dot{A}\dot{N}}(t))}{\ddot{O}_{\dot{A}\dot{A}\dot{N}}(t)\dot{Y}_{\dot{A}\dot{A}\dot{N}}(t) + \ddot{O}_{\dot{N}\dot{A}\dot{N}}(t)\dot{Y}_{\dot{N}\dot{A}\dot{N}}(t)} \cdot \dot{Y}_{\dot{A}\dot{A}\dot{N}}(t). \quad (5.6)$$

Оскільки $\ddot{O}_{\dot{e}}(t)$ в загальному випадку залежить і від частки відпущеної ЕЕ кожним виробником в загальному балансі, то визначимо їх, як такі величини $\hat{E}_j^{\dot{Y}}(t) = \dot{Y}_j(t) / \dot{Y}_{\dot{A}\dot{A}\dot{N}}(t)$, $j \in CT = \{\dot{O}\dot{A}\dot{N}, \dot{O}\dot{A}\ddot{O}, \dot{A}\dot{A}\dot{N}, \dot{A}\dot{A}\dot{N}, \dot{A}\dot{A}\dot{N}, \dot{N}\dot{A}\dot{N}\}$.

В результаті одержимо, що

$$\begin{aligned} \ddot{O}_{\dot{e}}(t) &= \ddot{O}_{\dot{O}\dot{A}\dot{N}}(t)\hat{E}_{\dot{O}\dot{A}\dot{N}}^{\dot{Y}}(t) + \ddot{O}_{\dot{O}\dot{A}\ddot{O}}(t)\hat{E}_{\dot{O}\dot{A}\ddot{O}}^{\dot{Y}}(t) + \dot{A}(t), \\ \dot{A}(t) &= \ddot{O}_{\dot{A}\dot{A}\dot{N}}(t)\hat{E}_{\dot{A}\dot{A}\dot{N}}^{\dot{Y}}(t) + \ddot{O}_{\dot{A}\dot{A}\dot{N}}(t)\hat{E}_{\dot{A}\dot{A}\dot{N}}^{\dot{Y}}(t) + \\ &\ddot{O}_{\dot{A}\dot{A}\dot{N}}(t)\hat{E}_{\dot{A}\dot{A}\dot{N}}^{\dot{Y}}(t) + \ddot{O}_{\dot{N}\dot{A}\dot{N}}(t)\hat{E}_{\dot{N}\dot{A}\dot{N}}^{\dot{Y}}(t) \end{aligned} \quad (5.7)$$

Як відомо, $\ddot{O}_{\dot{O}\dot{A}\dot{N}}(t)$, $\ddot{O}_{\dot{O}\dot{A}\ddot{O}}(t)$ залежать не тільки від витрат на енергоносії, які є визначальною частиною загальних витрат енергокомпаній, які вони понесли під час виробництва ЕЕ. Крім них, при формуванні заявки (заявленої ціни блоку) на ОРЕ, компаніями враховуються й змінні витрати на складування палива, необхідну обробку та підготовку палива для спалювання. Крім того, враховуються й умовно-постійні витрати, які несе станція незалежно від того, продасть вона ЕЕ та потужність чи ні. Тобто, реально $\ddot{O}_{\dot{O}\dot{E}\dot{N}}(t)$ включає в себе, крім паливної $\ddot{O}_{\dot{O}\dot{A}\dot{N}}^{\dot{Y}\dot{N}}(t)$, ще дві складові - змінні витрати $\ddot{O}_{\dot{O}\dot{A}\dot{N}}^{\dot{c}\dot{A}}(t)$ та умовно-постійні витрати $\ddot{O}_{\dot{O}\dot{A}\dot{N}}^{\dot{c}\dot{c}}(t)$:

$$\ddot{O}_{\dot{O}\dot{A}\dot{N}}(t) = \ddot{O}_{\dot{O}\dot{A}\dot{N}}^{\dot{i}\dot{n}}(t) + \frac{\ddot{O}_{\dot{O}\dot{A}\dot{N}}^{\dot{s}\dot{a}}(t) + \ddot{O}_{\dot{O}\dot{A}\dot{N}}^{\dot{o}\dot{i}\dot{a}}(t)}{\dot{Y}_{\dot{O}\dot{A}\dot{N}}(t)}, \quad (5.8)$$

де $\ddot{O}_{\dot{O}\dot{A}\dot{N}}^{\dot{i}\dot{n}}(t) = \ddot{O}_{\dot{O}\dot{A}\dot{N}}^{\dot{o}\dot{i}}(t) \Delta B_{\dot{O}\dot{A}\dot{N}}$, $\ddot{O}_{\dot{O}\dot{A}\dot{N}}^{\dot{o}\dot{i}}(t) = \sum_k \frac{\ddot{O}_k^{\dot{i}\dot{o}}(t)}{K_k^Q} r_k^{\dot{O}\dot{E}\dot{N}}(t)$ - ціна умовного палива на виробництво ЕЕ ТЕС, $\ddot{O}_k^{\dot{i}\dot{o}}(t)$ - ціна на натуральний енергоносіє $k \in \{\text{газ, мазут, вугілля}\}$ для виробництва ЕЕ, K_k^Q - калорійний еквівалент переведення натурального енергоносія k в умовне паливо, $r_k^{\dot{O}\dot{E}\dot{N}}(t)$ - частка натурального енергоносія k у виробництві ЕЕ ТЕС, $\sum_k r_k^{\dot{O}\dot{E}\dot{N}}(t) = 1$, $\Delta B_{\dot{O}\dot{A}\dot{N}}$ - характеристика відносного приросту витрат умовного палива на вироблення ЕЕ на ТЕС.

Аналогічний вигляд матиме вираз і для визначення $\ddot{O}_{\dot{O}\dot{E}\dot{O}}(t)$. Оскільки вказані додаткові витрати не залежать від цін на енергоносії, то при проведенні розрахунково-експериментальних досліджень будемо вважати $\ddot{O}_{\dot{O}\dot{E}\dot{N}}^{\dot{s}\dot{a}}(t)$, $\ddot{O}_{\dot{O}\dot{A}\dot{N}}^{\dot{o}\dot{i}\dot{a}}(t)$, $\ddot{O}_{\dot{O}\dot{A}\dot{O}}^{\dot{s}\dot{a}}(t)$, $\ddot{O}_{\dot{O}\dot{A}\dot{O}}^{\dot{o}\dot{i}\dot{a}}(t)$ - постійними. Облік їх величин буде проводитися з використанням даних статистичної звітності енергокомпаній [137-139, 148-151]. Вочевидь, в загальному випадку, коли компанії-виробники ЕЕ здобувають енергоносії на конкурентних ринках, то не тільки величини $\ddot{O}_{\dot{O}\dot{E}\dot{N}}^{\dot{i}\dot{n}}(t)$, $\ddot{O}_{\dot{O}\dot{E}\dot{O}}^{\dot{i}\dot{n}}(t)$, але й $\hat{E}_{\dot{O}\dot{A}\dot{N}}^{\dot{Y}}(t)$, $\hat{E}_{\dot{O}\dot{A}\dot{O}}^{\dot{Y}}(t)$ залежать від цін на натуральні енергоносії – вугілля $\ddot{O}_a^{\dot{i}\dot{i}}(t)$, газ - $\ddot{O}_a^{\dot{i}\dot{i}}(t)$, мазут - $\ddot{O}_i^{\dot{i}\dot{i}}(t)$, тому що обсяг відпуску ЕЕ блоком електростанції залежить від його заявленої ціни. Тому вираз (5.7) повинен мати вигляд:

$$\begin{aligned} \ddot{O}_{\dot{i}\dot{e}}(t) = & \ddot{O}_{\dot{O}\dot{A}\dot{N}}(\ddot{O}_a^{\dot{i}\dot{i}}(t), \ddot{O}_a^{\dot{i}\dot{i}}(t), \ddot{O}_i^{\dot{i}\dot{i}}(t)) \hat{E}_{\dot{O}\dot{A}\dot{N}}^{\dot{Y}}(\ddot{O}_a^{\dot{i}\dot{i}}(t), \ddot{O}_a^{\dot{i}\dot{i}}(t), \ddot{O}_i^{\dot{i}\dot{i}}(t)) + \\ & + \ddot{O}_{\dot{O}\dot{A}\dot{O}}(\ddot{O}_o^{\dot{i}\dot{i}}(t), \ddot{O}_a^{\dot{i}\dot{i}}(t), \ddot{O}_i^{\dot{i}\dot{i}}(t)) \hat{E}_{\dot{O}\dot{A}\dot{O}}^{\dot{Y}}(\ddot{O}_a^{\dot{i}\dot{i}}(t), \ddot{O}_a^{\dot{i}\dot{i}}(t), \ddot{O}_i^{\dot{i}\dot{i}}(t)) + \dot{A}(t) \end{aligned} \quad (5.9)$$

У цьому виразі можна приймати, що $\hat{E}_{\hat{O}\hat{A}\hat{N}}^{\hat{Y}}(t)$, $\hat{E}_{\hat{O}\hat{A}\hat{O}}^{\hat{Y}}(t)$ не залежать від $\hat{O}_{\hat{a}}^{\hat{I}\hat{I}}(t)$, $\hat{O}_{\hat{a}}^{\hat{I}\hat{I}}(t)$, $\hat{O}_{\hat{i}}^{\hat{I}\hat{I}}(t)$, тому що всі компанії-виробники ЕЕ протягом періоду спостереження та дотепер мали можливість купувати основні енергоносії по цінах, що директивно встановлювалися НКРЕКУ, а частка мазуту, який використовувався як резервне або допоміжне паливо, була незначною [132]. В результаті, для визначення в поточному місяці t_i прогнозованої ціни купівлі ЕЕ у виробників на наступний місяць t_{i+1} , одержимо

$$\begin{aligned} \hat{O}_{\hat{i}\hat{e}}(t_{i+1}) = & \hat{O}_{\hat{O}\hat{A}\hat{N}}(\hat{O}_{\hat{a}}^{\hat{I}\hat{I}}(t_{i+1}), \hat{O}_{\hat{a}}^{\hat{I}\hat{I}}(t_{i+1}), \hat{O}_{\hat{i}}^{\hat{I}\hat{I}}(t_{i+1}))\hat{E}_{\hat{O}\hat{A}\hat{N}}^{\hat{Y}}(t_{i+1}) + \\ & \hat{O}_{\hat{O}\hat{A}\hat{O}}(\hat{O}_{\hat{a}}^{\hat{I}\hat{I}}(t_{i+1}), \hat{O}_{\hat{a}}^{\hat{I}\hat{I}}(t_{i+1}), \hat{O}_{\hat{i}}^{\hat{I}\hat{I}}(t_{i+1}))\hat{E}_{\hat{O}\hat{A}\hat{O}}^{\hat{Y}}(t_{i+1}) + \hat{A}(t_{i+1}) \end{aligned} \quad (5.10)$$

- динамічну модель регулювання прогнозованої оптової ціни купівлі ЕЕ на ОРЕ в загальному вигляді, в якій $\hat{O}_{\hat{O}\hat{E}\hat{C}}(t)$, $\hat{E}_{\hat{O}\hat{A}\hat{N}}^{\hat{Y}}(t)$, $\hat{O}_{\hat{O}\hat{E}\hat{O}}(t)$, $\hat{E}_{\hat{O}\hat{A}\hat{O}}^{\hat{Y}}(t)$, \hat{A} - прогнозовані величини, що визначаються за допомогою відповідних прогностичних моделей з використанням ретроспективних фактичних даних про їх зміни за \hat{O} попередніх періодів часу.

5.3 Висновки до розділу

1. Побудовано модель динаміки прибутку компаній для вирішення задач управління формуванням прибутку компаніями, що використовують різні види ресурсів з урахуванням зміни цін на них для вдосконалення регуляторного механізму стимулювання суб'єктів СОУ.

2. Виконано збір, обробка й подання даних про зміну цін на ЕЕ й основні енергоносії - енергетичне вугілля, природний газ, топковий мазут за період 2011-2013 гг. у вигляді таблиць, графічних залежностей. Розроблено інформаційно-методичне середовище, в вигляді таблиць даних в Microsoft Excel, бази моделей і моделюючих алгоритмів для побудови комп'ютерної моделі аналізу динаміки оптової ціни покупки ЕЕ на ОРЕ.

3. Проведено аналіз динаміки цін на ЕЕ, динаміки балансів відпуску виробниками ЕЕ, цін на енергоносії, балансів споживання енергоносіїв, аналіз взаємозв'язку даних динаміки цін на ЕЕ й енергоносії. Встановлено залежність оптової ціни купівлі ЕЕ, не тільки від змін цін на енергоносії, а й від структури виробництва ЕЕ.

4. Побудовано модель для вдосконалення регуляторного механізму компоненти стану управління - прогнозної оптової ціни купівлі ЕЕ на ОРЕ, що забезпечує, на відміну від відомих, можливість аналізу впливу динаміки структури виробництва ЕЕ та змін цін на основні енергоносії на її величину. Результати розрахунково-експериментальних досліджень моделі, з використанням даних динаміки цін на ЕЕ і цін на енергоносії за період 2011-2013 рр., показують, що вплив змін цін на енергоносії на оптову ціну купівлі ЕЕ складає 5-10%, а змін структури виробництва – 5-7%.

РОЗДІЛ 6

КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ОРГАНІЗАЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ

6.1 Інформаційно-аналітичні системи моніторингу стану процесів функціонування систем організаційного управління

Комп'ютерні системи моделювання складних багаторівневих СОУ є комплексом засобів математичного моделювання механізмів функціонування та процесів інформаційної взаємодії елементів - суб'єктів організаційної системи, моделюючих алгоритмів і прикладних програм їх комп'ютерної реалізації, загальносистемних програм і систем управління базами даних (СУБД) і баз знань, а також включають необхідні засоби обчислювальної та

телекомунікаційної техніки. Зазначені засоби призначені для вирішення задач моделювання процесів інформаційно-аналітичного забезпечення прийняття управлінських рішень за допомогою обраної ІТ.

У свою чергу ІТ також об'єднує в собі: інформаційні ресурси - дані про об'єкт і системи його управління, інші дані, необхідні для прийняття рішень, що забезпечують інформаційну взаємодію структурних елементів СОУ; автоматизовану інформаційну систему (АІС), за допомогою якої здійснюється збір, змістовна переробка, інтерпретація результатів моделювання та подання інформації особам, які приймають рішення (ОПР) в необхідній формі. Очевидно, що основною функціональною складовою ІТ, яка застосовується для автоматизації процесів організаційного управління, є АІС. Оскільки саме можливості АІС визначають те коло задач інформаційного забезпечення, які можуть бути вирішені за її допомогою.

Залежно від складності задач інформаційної підтримки прийняття рішень, в якості АІС можуть застосовуватися інформаційні системи різного функціонального призначення. Частина задач аналізу, вирішення яких забезпечує відображення ситуації, що склалася на керованому об'єкті в черговому режимі, може бути реалізована шляхом застосування інформаційно-довідкових систем з досить розвиненими засобами подання та візуалізації даних у вигляді таблиць, графіків, діаграм та в іншій зручній для кінцевого користувача формі. Рішення ж таких задач, як аналіз і комплексна оцінка стану об'єкта управління, прогноз зміни компонентів управління, оцінка наслідків прийнятих рішень і інтелектуальна підтримка користувачів вимагає створення АІС, орієнтованих на аналіз великих обсягів даних за допомогою спеціальних імітаційних моделей та засобів розв'язання оптимізаційних задач.

Такі системи, що отримали назву OLAP-систем (On Line Analytical Processing), повинні забезпечувати осіб, які приймають рішення (ОПР) або експертів автоматизованими засобами: математичного моделювання процесів вдосконалення механізмів функціонування СОУ; формування баз даних (БД) і баз знань; моделювання сховищ даних; синтезу нових механізмів розвитку СОУ.

Система OLAP як ІТ для вирішення задач моделювання та автоматизації процесів організаційного управління отримала досить широке поширення. При створенні АІС такого призначення необхідно використовувати комп'ютерну систему моделювання - єдине інформаційно-методичне середовище проектування та побудови АІС і складових її підсистем - комп'ютерних моделей процесів організаційного управління. Таке середовище включає засоби математичного опису СОУ, об'єктів і процесів їх організаційної, інформаційної та технологічної взаємодії, методичні та програмні засоби, що забезпечують реалізацію основних вимог, які пред'являються до інформаційних систем такого класу [58, 59, 71, 72, 153-162].

Однією з основних властивостей, які характеризують складну систему, є принципова невизначеність розвитку, внаслідок чого навіть при наявності досить обґрунтованих короткострокових і довгострокових планів та прогнозів розвитку не може бути повної впевненості в об'єктивності та оптимальності прийнятих стратегічних і оперативних управлінських рішень. Крім того, продовжує зростати обсяг політичної, економічної, науково-технічної інформації, яку необхідно враховувати при прийнятті рішень. Тому, в цих умовах, вважається за необхідне створення такої АІС, застосування якої дозволить забезпечити безперервний поточний аналіз показників стану об'єкта управління, його системи управління, відстежувати зміни можливо більшого числа внутрішніх і зовнішніх факторів, які в сукупності визначають його стійке функціонування і розвиток.

В підсумку своєчасне отримання всієї необхідної для прийняття рішень інформації дозволить ОПР адекватно реагувати на негативні зміни як у зовнішньому середовищі, так і в процесах функціонування самої організаційної системи і вносити, в разі необхідності, коригування до раніше ухвалених механізмів її функціонування або готувати та приймати принципово нові рішення щодо розвитку в залежності від ситуації, що склалася.

Моніторинг, як метод організаційного управління, набуває все більшого поширення при створенні АСОУ складними ОТС [163, 164]. Тому, в якості АІС, що є базовою складовою комп'ютерної системи моделювання, пропонується

використовувати ІАСМ - систему спеціально організованого автоматизованого відстеження поведінки об'єкта - ОТС, його СОУ за заздалегідь узгодженими показниками з метою визначення відповідності їх значень необхідним прогнозними і плановим значенням компонентів управління, що характеризують стан об'єкта та процесів функціонування його організаційної системи [160-162]. Зазначені показники можуть бути використані як вихідні дані в більш складних імітаційних моделях аналізу та комплексної оцінки стану об'єкта управління, вирішення завдань підвищення продуктивності функціонування його СОУ за допомогою ІАСМ.

6.2 Основні вимоги до інформаційно-методичного середовища побудови комп'ютерних моделей

Сумісність. Істотно важливими для розробки інформаційно-методичного середовища проектування та побудови ІАСМ та її підсистем є вимоги сумісності всіх її складових [160-162]:

- інформаційної, заснованої на єдності форм подання інформації про об'єкт і механізми його функціонування, уніфікованої системи опису об'єкта, його елементів і інформаційних зв'язків між ними;

- методичної, що ґрунтується на єдності методик складання планів, звітів, довідкових матеріалів, вирішення різних розрахунково-технологічних задач реалізації механізмів функціонування СОУ;

- технічної, під якою розуміється сумісність технічних засобів за обсягами інформації, що обробляється та передається, надійність використання;

- організаційної, що розуміється як чітке узгодження в часі функціонування всіх підсистем програмно-технічного комплексу ІАСМ, включаючи обмін інформацією та прийняття рішень;

- математичної, що ґрунтується на застосуванні єдиного підходу при розробці всієї сукупності моделюючих алгоритмів, сумісності точності розрахунків.

Функціональність. Поставлені цілі моделювання процесів вдосконалення механізмів функціонування та розвитку СОУ, визначають і вимоги до функціональності засобів інформаційно-технологічного та програмного забезпечення [156, 159]: підтримка розподіленої в просторі архітектури (інфраструктури) системи; підтримка корпоративної нормативно-довідкової інформації; наявність механізмів обміну інформацією, що зберігається на різних рівнях управління; модульний принцип побудови, що допускає ізольоване використання окремих компонент системи, а також їх комбінацій; можливість агрегування, консолідації та інтеграції даних за рівнями управління багаторівневої СОУ; забезпечення інтерфейсів взаємодії із зовнішніми комп'ютерними системами; відкритість структури системи, можливість нарощування функціонального складу системи; гнучкість інтерфейсу для включення нових об'єктів і алгоритмів реалізації математичних моделей, прийому, обробки, зберігання інформації про стан суб'єктів, що змінюється в часі; адаптивність до змін в структурі СОУ та її суб'єктів, а також в механізмах її функціонування.

Виходячи з розвитку інформаційно-технологічної інфраструктури об'єкта управління, що передбачається, розвитку математичних моделей та моделюючих алгоритмів, які застосовуються для реалізації механізмів функціонування його СОУ, важливе значення в сучасних умовах набуває вибір підходу до побудови ІАСМ з максимально адаптованою структурою подання даних предметної області та незалежної від програмного забезпечення самої системи.

У зв'язку з цим, найбільш перспективним напрямком у створенні АІС є підхід, заснований на застосуванні інформаційно-методичного середовища побудови ІАСМ, що дозволяє безперервно вдосконалювати технологічний процес створення ІАСМ, підтримувати актуальність інструментальних засобів і стандартів, а також розвивати й удосконалювати саму вихідну систему.

При реалізації такого підходу на етапі побудови концептуальної моделі необхідно враховувати, що складовою частиною математичного опису об'єкта в ІАСМ стають не тільки структури даних функціональних завдань змістовної

переробки інформації, але й безпосередньо процедури реалізації цих завдань. Тобто логіка та процедура реалізації функціональних завдань стають також елементами даних, які подаються у вигляді власної внутрішньої моделі, яка зберігається в БД. А основною функцією інформаційно-технологічного забезпечення стає інтерпретація та відтворення в інтерфейсі системи взаємопов'язаних даних з внутрішнього представлення функціональних завдань і концептуального уявлення предметної області моделювання.

Тому інформаційна складова такого середовища при створенні ІАСМ повинна забезпечувати: формування чітко визначеної структури даних, в межах якої створюються інформаційні моделі об'єктів предметної області, реалізованих задач переробки інформації та інтерпретації їх результатів. Також вона має враховувати реальні особливості технологічних процесів проведення оперативних, планових, аналітичних та прогнозних розрахунків, щодо вдосконалення механізмів функціонування СОУ, операцій з обробки даних.

Її методична складова повинна забезпечувати розробку, функціонування і вдосконалення всієї сукупності моделюючих алгоритмів розв'язання розрахунково-технологічних та аналітичних задач, логічно та інформаційно взаємозалежних між собою за цільовим призначенням, розрахунковими вхідними та вихідними даними. А, саме, вирішення задач моделювання: складних ОТС і складових її системно пов'язаних структурних об'єктів; відповідної багаторівневої СОУ; багаторівневих коаліційних ігор, де гравці та утворені ними коаліції мають суперечливі інтереси та різні стратегії їх досягнення в конфліктних ситуаціях; моніторингу стану процесів функціонування СОУ, контролю стану інформативних компонентів управління; аналізу і прогнозу розвитку обстановки. Саме перелічений комплекс взаємопов'язаних математичних моделей, моделюючих алгоритмів їх реалізації утворює методичну основу для побудови комп'ютерних моделей для ІАСМ, призначеної для вирішення задач моделювання процесів прийняття рішень, щодо вдосконалення механізмів функціонування та розвитку СОУ в напрямку

підвищення продуктивності - ефективності, оперативності, обґрунтованості прийняття рішень.

Отже, основною метою розробки комп'ютерної системи моделювання є розробка єдиного інформаційно-методичного середовища побудови ІАСМ і комп'ютерних моделей її складових, призначених для вирішення задач комп'ютерного моделювання процесів вдосконалення механізмів функціонування та розвитку СОУ. Системною основою створення такого єдиного інформаційно-методичного середовища, повинні стати:

- єдина система класифікаторів і довідників;
- уніфіковані структури зберігання даних;
- уніфіковані системи даних реального часу і комерційного обліку виробництва та споживання продукції;
- єдина система протоколів та інтерфейсів.

ІАСМ, які реалізовані шляхом застосування такого інформаційно-методичного середовища, дають можливість вирішення наступних класів задач:

- аналітичні - обчислення необхідних показників стану компонентів управління та статистичних характеристик функціонування складних СОУ на основі актуальної та ретроспективної інформації з БД;

- візуалізації даних - наочне графічне і табличне представлення наявної інформації;

- отримання знань - визначення взаємозв'язків і взаємозалежностей процесів вдосконалення механізмів функціонування та розвитку складних багаторівневих СОУ на основі існуючої інформації;

- імітаційні - проведення на ЕОМ експериментів з математичними моделями, що описують стан компонентів управління складних багаторівневих СОУ протягом заданого інтервалу часу для аналізу необхідності внесення змін до Правил функціонування СОУ, оцінки наслідків прийняття того чи іншого рішення.

Процес створення ІАСМ і комп'ютерних моделей, орієнтованих на вирішення перелічених вище задач передбачає виконання дуже важливих для

реалізації їх основного призначення вимог сучасної технології сховищ даних, основними з яких є [156,159]: поділ даних на показники (змінні) і вимірювання, що визначають, відповідно, стан і простір; логічне подання значень показників у вигляді багатовимірної куба, упорядкованого за рівноправним виміром; необмежена кількість рівнів ієрархічних зв'язків між значеннями вимірювань;

- гнучке маніпулювання даними, можливість побудови підмножини значень показника за будь-яким правилом, визначеним на множині значень його вимірювань; необмежені можливості агрегування заданої множини значень показників; розвинені засоби табличного та графічного подання даних кінцевому користувачеві.

Основна мета таких сховищ - створення єдиного логічного представлення даних, що містяться в БД.

Процес створення систем моніторингу, в свою чергу, також передбачає дотримання певних вимог [165, 166], серед яких виділяють: безперервність моніторингу; орієнтація на конкретну предметну область; об'єктивність даних моніторингу; керованість системи моніторингу; повнота та достовірність інформації; своєчасність надання інформації відповідно до прийнятого регламенту; надійність функціонування; конфіденційність; можливість вдосконалення системи показників моніторингу; можливість розвитку та вдосконалення комп'ютерних моделей моніторингу; мінімізація кількості показників і витрат на моніторинг.

Сукупність наведених вище трьох груп вимог до інформаційно-методичного середовища й утворюють систему вимог до побудови ІАСМ.

Очевидно, що реалізація названих вище вимог при створенні ІАСМ такого класу в енергетиці вимагає збору, зберігання та змістовної аналітичної обробки великих обсягів різномірної інформації про динаміку змін компонент управління, що характеризують стан процесів функціонування об'єкта управління (див. п. 3.2.2).

Сучасні системи аналітичної обробки даних, побудовані на основі використання обчислювальних і програмних засобів обробки великих обсягів

даних, дозволяють вирішувати задачі моделювання процесів організаційного управління ОТС в різних галузях економіки, в тому числі, в енергетиці [167].

Наприклад, такі технології застосовуються для вирішення задач автоматизації процесів моніторингу стану електричних мереж і створення на їх основі систем інтелектуального управління (Smart Grid) режимами їх роботи [168, 169]. На думку експертів найбільш перспективним є підхід, при побудові ІАСМ, заснований на технології, що отримала назву Big Data Technology & Big Data Analysis. Докладніший аналіз застосування технологій великих даних для побудови АІС в енергетиці наведено в роботах [170-173].

Вибір конкретних інструментальних засобів побудови ІАСМ визначається на основі аналізу даних і потоків даних, необхідних для реалізації перелічених вище вимог до її функціональності та призначення, кола завдань інформаційно-аналітичного забезпечення процесів організаційного управління, що вирішуються.

Практично всі відомі великі світові виробники програмних і програмно-апаратних платформ (SAP, ORACLE, IBM, SIEMENS та ін.) поставляють комплексні рішення для побудови СОУ в енергетиці.

Крім цих платформ, на сьогодні в світі налічується кілька комп'ютерних систем моделювання, що забезпечують моделювання процесів функціонування енергоринку. Найбільш відомі з них: NEMS, GEMS, GEMINI (США); PRIMES, PLEXOS (ЄС); NEMSIM (Австралія).

Незважаючи на наявність на ринку достатньо великої кількості комп'ютерних систем моделювання, можна стверджувати, що в найближчі роки навряд чи з'явиться універсальне програмне забезпечення, що реалізує імітаційні моделі процесів функціонування складних багаторівневих СОУ, яке можна було б адаптувати та використовувати для управління будь-якої ОТС.

Тому зусилля багатьох колективів розробників ІАСМ та систем такого класу спрямовані на створення об'єктно-орієнтованих засобів комп'ютерного моделювання процесів в СОУ для ОТС різного призначення [174-176], що забезпечують адекватний та ефективний математичний опис об'єктів і структури

конкретних ОТС, а також взаємопов'язаних процесів організаційної, виробничої та інформаційної взаємодії суб'єктів її СОУ.

6.3 Об'єктно-орієнтоване моделювання процесів організаційного управління

6.3.1 Математичний об'єктно-орієнтований опис суб'єктів організаційної системи

Як вже зазначалося вище, практична побудова ІАСМ та КММ, призначених для вирішення, перелічених в п. 6.2 класів задач моделювання процесів вдосконалення механізмів функціонування та розвитку СОУ, можливо тільки на основі застосування сучасних методів моделювання складних динамічних систем. Одним з таких методів, який безперервно розвивається, є метод об'єктно-орієнтованого моделювання [174-176].

Застосування цього методу розглянемо на прикладі розробки інформаційно-методичного середовища для побудови КММ енергоефективності ЕЕВ [177-179]. Вибір прикладу такої складності для реалізації сформульованої задачі обумовлений тим, що інформаційна складова середовища, яке розробляється, може бути використана при побудові комп'ютерних моделей процесів функціонування СОУ технічних систем різного призначення.

Реалізація методу об'єктно-орієнтованого моделювання передбачає виконання таких робіт:

- формування концептуального представлення організаційної структури об'єктно-орієнтованої КММ;
- об'єктне моделювання даних предметної області з метою формування структури БД суб'єктів СОУ;
- функціональне моделювання розрахунково-технологічних процесів обробки даних з метою уніфікації програмного інтерфейсу системи через

типізацію (класифікацію) операцій взаємодії користувача з об'єктами предметної області в програмному забезпеченні (ПЗ) системи.

В результаті їх проведення утворюються інформаційна та технологічна частини ІТЗ, яке буде включати дві складові: інваріантну, що містить уніфіковані засоби опису суб'єктів СОУ та процесів їх інформаційної взаємодії; функціональну, яка відображатиме особливості процесів інформаційного забезпечення прийняття рішень.

В основу системи опису об'єктів предметної області моделювання процесів організаційного управління повинні бути покладені типові риси, які відрізняють обраний об'єкт від іншого. Доцільність відмітного виділення об'єктів предметної області при розробці концептуальної моделі БД обумовлена тим, що для різних функціональних задач часто використовуються однакові операції перетворення та візуалізації над інформаційними масивами даних. Крім того, функції та процеси обробки даних при поетапному впровадженні АІС часто піддаються модифікації, відображаючи змінні вимоги користувачів і зміни, що відбуваються в предметній області.

Зазначені обставини обумовлюють необхідність застосування такого способу моделювання БД та розробки її структури, за допомогою яких об'єкти предметної області та взаємозв'язки між ними були б представлені окремо та не залежали б від інформаційних даних, що використовуються при реалізації конкретних функціональних завдань обробки даних в процедурах і інтерфейсах прикладних програм. І, що особливо важливо, представляли єдину організаційну структуру, яка адекватно описує предметну область. Тому, забезпечення умовної незалежності даних про об'єкти від даних ПЗ є однією з основних і важливих вимог при моделюванні БД і розробці програмних засобів.

Об'єктом опису при побудові концептуальної моделі повинні виступати не тільки структури даних функціональних завдань предметної області, а й самі процедури реалізації та візуалізації цих завдань.

6.3.2 Побудова концептуальної моделі

Діяльність суб'єкта СОУ 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 СОУ в межах певних Правил - 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 СОУ.

Таким чином, специфікація предметної області КММ суб'єктів організаційного управління може бути представлена у вигляді семантичних мереж інформаційної (декларативної) та функціональної (процедурної) частини концептуальної моделі. Інформаційна частина моделі (рис. 6.1) визначає склад, зв'язки та атрибути об'єктів предметної області моделювання, а функціональна частина (рис. 6.2) - структуру і взаємозв'язок розрахунково-технологічних процесів функціонування зазначених об'єктів.

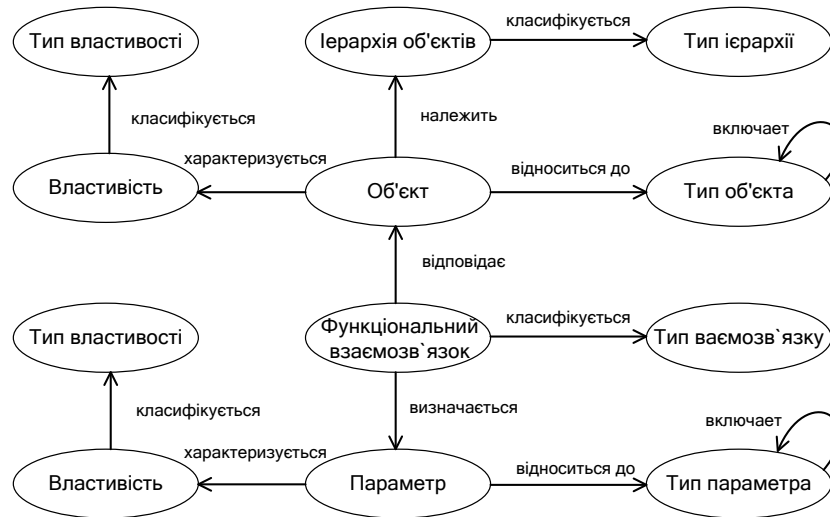


Рис.6.1. Інформаційна частина концептуальної моделі

До об'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 об'єкт в описі має значення типу об'єкта, перелік власних властивостей і перелік структурних елементів, з яких він складається або входить відповідно до визначеної підпорядкованості. Наприклад, енергетичне підприємство-генеруюча компанія відображається в моделі відповідним типом "генкомпаній" з переліками властивостей відповідного типу - код ОКПО, юридична адреса, керівник, і переліком інших об'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 об'єктів.

Функціональний стан кожного об'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 об'єктів, поведінка яких характеризується цим параметром. В результаті для параметра обов'язково встановлюється приналежність до певного основного (первинного) об'єкту, а при необхідності уточнюється його приналежність до додаткових інших об'єктів, які

відображають особливості спільного функціонування. Таким чином, до складу базових елементів-сутностей концептуальної моделі входять: об'єкти; типи об'єктів; типи властивостей об'єктів; типи підпорядкованості (зв'язку) об'єктів; параметри; типи параметрів; типи властивостей параметрів; типи приналежності (функціонального взаємозв'язку) параметрів до об'єктів.

Зміна функціональних станів об'єктів відбувається в результаті виконання розрахунків згідно встановлених схем алгоритмів і відображається в кількісних значеннях їх параметрів.



Рис.6.2. Функціональна частина концептуальної моделі

В цілому, концептуальна модель функціонування суб'єктів організаційного управління може бути представлена як сукупність наступних компонент: моделі об'єктів, що беруть участь в структуроутворюючих зв'язках суб'єктів предметної області; моделі параметрів, що визначають результати функціонування суб'єктів предметної області; моделюючих алгоритмів, що встановлюють правила утворення та зміни значень параметрів функціонування об'єктів. Розглянута модель є динамічною та відображає не тільки поточний стан об'єктів, але зміни їх стану з часом. Тому, в цілому вона реалізується на тривимірному поданні даних у вигляді куба, вимірами в якому є - час, об'єкти, параметри, а вузлами - значення параметрів, що характеризують стан функціонування об'єктів на встановлений інтервал (дискретність) часу.

6.3.3 Алгоритмічна організація комп'ютерних моделей

Моделюючі алгоритми розрахунково-технологічних процесів реалізації механізмів функціонування організаційної системи застосовуються для встановлення взаємозв'язків різних параметрів суб'єктів предметної області на підставі правил їх продукційного подання [180]. Алгоритми реалізуються за допомогою схем розрахунку, показників обчислення значень параметрів для встановленого інтервалу часу, тверджень продукційних правил обчислення значень параметрів, формул і операндів.

Схема розрахунку - це послідовність розрахункових операцій з обчислення набору взаємопов'язаних і взаємозалежних параметрів об'єктів для встановленого інтервалу часу – показників обчислення (ДОДАТОК В).

Правило - це набір (система) продукцій, що складається з тверджень, які послідовно обробляються з метою обчислення значення показника та присвоювання результату для заданого параметра.

Твердження є виразом продукції, яка утворюється з умови і формул обчислення результату. Тобто, продукційне правило означає, що, якщо виконана умова правила, то застосовується результат. Фактично в інформаційній моделі поняття «Правило» ототожнюється з алгоритмом обчислення параметра, який визначений в схемі розрахунку.

Твердження - це вираз продукції такого вигляду:

$$(N; S; U; B \Rightarrow C; P),$$

де N - найменування (номер) твердження, S - характеристика застосування твердження (параметр обчислення), U - умова застосування (встановлений інтервал часу), $B \Rightarrow C$ - конструкція "ЯКЩО B , ТО C ", P - результат продукції. Це означає, що, якщо виконана умова U і антецедент B вірний, то виконується оператор C і для S встановлюється результат P .

Таким чином, твердження описується порядковим номером його входження в правило та оператором обчислення результату.

Операторами твердження є: логічний оператор; оператор присвоювання результату; оператор переходу на наступне твердження.

У твердженнях правила можуть бути використані наступні види логічних операторів:

ЯКЩО «Умова» ТО «Результат»,

ЯКЩО «Умова» ТО «Результат_1» ІНАКШЕ «Результат_2»,

де під *Результатом* розуміється або оператор присвоювання, або оператор переходу.

Оператор присвоювання виду *ПРИСВОЇТИ «Результат»* означає директиву призначення параметру об'єкта розрахунку значення результату. Як результат можуть бути застосовані показники обчислення, параметри *є* об'єктів об'єктів, формули та константи.

Оператор переходу виду *ПЕРЕХІД ДО «Номер твердження»* означає директиву безумовного виконання переходу на задане за номером наступне твердження для обчислення результату.

Умова логічного оператора твердження утворюється з простого оператора порівняння вигляду *«А ПОРІВНЯТИ В»* та порівнюваних операндів.

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

Операндами А в умові можуть бути показники обчислень, параметри об'єктів і формули обчислення проміжних значень в умові перевірки. *А* операндами *В* в умові, крім перелічених, можуть бути ще й константи.

Для забезпечення повноти формування будь-яких умов, які перевіряються, в інформаційній моделі реалізуються такі варіанти операції порівняння:

$$A = B, A > B, A > = B, A < B, A < = B,$$

$$B1 < = A < = B2, B1 < A < = B2, B1 < = A < B2, B1 < A < B2.$$

Однією з сутностей, яка визначає значення результату твердження є *формула*.

Формула - це пов'язана математичними операціями послідовність операндів, до яких віднесено константи, показники обчислень і параметри об'єктів, інші формули, результати обчислення яких присвоюються параметру об'єкта розрахунку.

Об'єкт, параметр якого обчислюється за формулою, визначається з опису схеми розрахунку цього правила, в якому є посилання на формулу. У формулі реалізуються всі основні арифметичні операції, а також операції агрегування значень операндів. Для розширення можливостей при визначенні складних формул в інформаційній моделі реалізується механізм групового вираження за допомогою дужок, рівень вкладеності яких необмежений.

Операнд формули - це сутність, яка однозначно визначається сукупністю атрибутів, що складається з типу параметра об'єкта, типу одиниці дискретності часу, типу приналежності параметра до основного об'єкта розрахунку. Тому, параметр об'єкта як операнд формули повинен бути обов'язково доповнений описом одиниці дискретності часу.

Операндами формули мають бути параметри обчислення, параметри об'єкта, інші формули, константи. Операнд вважається однозначно визначеним, якщо в описі його сутності присутні ознаки «Тип параметра об'єкта», «Тип одиниці дискретності часу», «Тип зв'язку, що визначає приналежність параметра до первинного об'єкта» та «Тип зв'язку, що визначає відповідність параметра до іншого об'єкта». Цій вимозі відповідають описи параметрів обчислень, формули. Проте констант ця вимога не стосується. Таким чином, параметр об'єкта як операнд формули має бути обов'язково доповнений описом одиниці дискретності часу, а параметр обчислення, якщо його опис вимагає наявності зв'язку з іншим об'єктом, повинен мати значення цього об'єкта.

Крім цього, в описі операнда формули може бути присутнє агрегативне визначення значення операнда. Припустимим агрегуванням може бути:

- арифметичне підсумовування величин за спільною ознакою;

- знаходження мінімального або максимального значення величин;
- встановлення абсолютного значення поточної величини;
- виконання виклику функції обробки за встановленими функціональними параметрами.

Підсумовування (частково знаходження мінімуму та максимуму) може бути виконане за наступними ознаками:

- одиниця дискретності часу (година, зона, доба);
- підпорядкованість об'єктів операнда до розрахункового об'єкта;
- приналежність операнда до розрахункового об'єкта.

При підсумовуванні за часом виконується обробка всіх значень параметрів поточної дати розрахунку з визначеними одиницями дискретності, а якщо ознакою є доба, то - від першої доби до поточної доби дати розрахунку.

При підсумовуванні за підпорядкованістю в опис операнду необхідно додати ознаки типу об'єктів та типу підпорядкованості об'єктів один до одного.

Виділення такої сукупності інформаційних об'єктів, які мають перелічені характеристики та відносини між ними, дає можливість побудувати об'єктну інформаційну модель певної предметної області. І на основі цієї моделі розробити моделюючі алгоритми прикладних розрахунково-технологічних процесів і комп'ютерні моделі взаємопов'язаного функціонування суб'єктів предметної області моделювання.

6.3.4 Побудова інформаційної моделі

Однією з головних умов створення адаптивних КММ для застосування в різних ОТС, в тому числі в енергетиці, є уніфікація даних. Розробка єдиної системи уніфікації являє собою складну і трудомістку задачу, для вирішення якої доцільно використовувати міжнародний досвід.

В енергетиці завдання уніфікації протягом останніх років вирішують робочі групи в межах 57 Технічного комітету (ТК57) Міжнародної Електротехнічної Комісії (МЕК). Пропозиції МЕК ні в якій мірі не стосуються питань щодо архітектури, структури або складу системи, ні методів виконання

програмних додатків, а визначають тільки необхідний базовий склад інформації та методи побудови інтерфейсів, які знайшли своє відображення в стандартах узагальненої інформаційної моделі CIM (Common Information Model) та узагальненої специфікації інтерфейсу додатків (Common Interface Specification) - CIS [181].

Основою побудови єдиної системи класифікації та побудови єдиного інформаційного простору даних є узагальнена інформаційна модель CIM, яка однакою способом описує всю можину типових фізичних суб'єктів електроенергетичної системи [181]. Основними поняттями CIM є класи, об'єкти, властивості, події та методи. Дотримуючись принципів об'єктно-орієнтованого методу, CIM підтримує опис фізичних суб'єктів на всіх рівнях управління, що дозволяє однакою чином описати елементи системи, їх властивості та зв'язки. І тим самим забезпечує можливість створення єдиної системи класифікаторів, довідників і систем доступу.

Процес побудови об'єктно-орієнтованої КММ неможливий без проведення етапу аналізу даних про предметну область моделювання. На цьому етапі проводиться виділення типових компонентів і функцій елементів об'єкта, які однозначно визначають їх у великій кількості елементів, і створення на їх основі бази даних (БД) системи.

Застосування об'єктно-орієнтованого методу для створення КММ припускає проведення об'єктного аналізу предметної області, а потім, на його основі - об'єктно-орієнтованого проектування. Суть такого аналізу полягає в ототожненні сутностей (предметів, суб'єктів, процесів) предметної області у вигляді сукупності інформаційних об'єктів, що взаємодіють один з одним [174-176].

Об'єктний аналіз предметної області функціонування суб'єктів організаційної системи слід почати з виділення та побудови компонентів словника цієї предметної області.

Предметна область (ПрО) - це сукупність інформаційних елементів - сутностей, які характеризують об'єкти, їх состав та структуру системи, діяльність

об'єктів предметної області та дозволяють описувати необхідні функціональні задачі, які вирішуються в СОУ для досягнення мети управління.

ПрО визначається складом об'єктів в області та сценаріїв їх функціонування: $B = (O, N, S)$, де B - предметна область, O - об'єкти, N - логічна мережа об'єктів, S - сценарії функціонування об'єктів ПрО.

Об'єкт - це сутність - суб'єкт або сукупність (група) суб'єктів, які мають важливе функціональне призначення в цій ПрО. До суб'єктів відносять організаційні структури, які здійснюють діяльність в межах ПрО. У загальному випадку суб'єкт може представлятися ієрархічною структурою управління (вертикально-інтегровані структури) в складі функціонально підлеглих суб'єктів або розділеною (горизонтально інтегровані структури) в залежності від функцій управління суб'єктів.

Об'єкт в цілому характеризується індивідуальністю, станом і певною поведінкою. Під *індивідуальністю* розуміють властивість об'єкта, яка дозволяє відрізнити його від інших об'єктів. В результаті індивідуальність відносять до певного переліку значень якісних властивостей - статичних (технічних, фізичних) характеристик об'єкта. Крім того, об'єкти можуть перебувати в певних відносинах один з одним, які відображаються в структурі управління суб'єкта.

Стан об'єкта визначається поточними значеннями кількісних характеристик - параметрів (показників) функціонування СОУ.

Поведінка об'єкта описується змінами в часі його стану за встановлений інтервал (розрахунковий період) діяльності.

Таким чином, кожен об'єкт як організаційна структура, однозначно характеризується сукупністю статичних властивостей і динамічних параметрів функціонування об'єкта, які змінюються за часом: $O = (C, P)$, де C - статичне властивість, $P(t)$ - параметр, який відноситься до одного з встановлених типів.

Об'єкт, для забезпечення своєї діяльності в межах ПрО, пов'язаний різного роду зв'язками з іншими об'єктами, в результаті яких формується логічна мережа об'єктів цієї ПрО: $N: O \times O \rightarrow L$, де L - множина типів зв'язків, що встановлюються між об'єктами в ПрО.

Зв'язок - відображає властивість, яка встановлюється між об'єктами відносин. Властивостями можуть бути структурні, функціональні, територіальні та інші типи зв'язків. В результаті логічна мережа об'єктів в Про утворюється з сукупності підмереж об'єктів, виділених за певними та встановленим в Про властивостями відносин цих об'єктів. Наприклад: група генеруючих компаній буде утворена з функціональних зв'язків між суб'єктами групи - генкомпаніями, сама генкомпанія буде пов'язана структурними зв'язками з власними електростанціями та їх блоками; компанія - постачальник ЕЕ пов'язана територіальними зв'язками з оптовими і роздрібними споживачами.

Таким чином, до складу функціональних елементів - сутностей інформаційної моделі входять: схеми розрахунків; правила, алгоритми, формули обчислення результатів розрахунків; варіанти розрахунків; результати виконання і контролю розрахунків; форми підготовки звітних документів.

В результаті всі вхідні та вихідні дані в інформаційній моделі представляються у вигляді інформаційних блоків і підрозділяються на блоки даних про: об'єкти; параметри об'єктів; алгоритми розрахунків; результати розрахунків; форми звітних документів.

Блок даних про об'єкти призначений для опису станів суб'єктів технологічного процесу при проведенні розрахунків. Цими суб'єктами технологічного процесу є суб'єкти предметної області, джерела інформації, нормативні документи, устаткування та ін.

Структурно блок має в своєму складі наступні інформаційні об'єкти (табл. 6.1):

Таблиця 6.1 Блок даних про об'єкти

№ п/п	Позначення	Призначення
1	OBJ_TYPES	Класифікатор типів об'єктів
2	OBJ_PROP_TYPES	Класифікатор типів властивостей об'єктів
3	OBJ_LINK_TYPES	Класифікатор типів зв'язків в ієрархії об'єктів
4	OBJS	Класифікатор об'єктів

5	OBJ_PROPS	Класифікатор властивостей об'єктів
6	OBJ_LINKS	Класифікатор зв'язків в ієрархії об'єктів

Блок даних про параметри об'єктів призначений для опису показників, що відтворюють стани процесів у об'єктах і мають числове значення. До цих показників віднесені: вхідні параметри; нормативні параметри; технологічні параметри; розрахункові параметри та ін.

Структурно блок має в своєму складі наступні інформаційні об'єкти (табл. 6.2):

Таблиця 6.2 Блок даних про параметри об'єктів

№ п/п	Позначення	Призначення
1	PAR_TYPES	Класифікатор типів параметрів
2	PAR_PROP_TYPES	Класифікатор типів властивостей параметрів
3	PAR_LINK_TYPES	Класифікатор типів зв'язків параметрів з об'єктами
4	PARS	Класифікатор параметрів
5	PAR_PROPS	Класифікатор властивостей параметрів
6	PAR_LINKS	Класифікатор зв'язків параметрів з об'єктами
7	DATA_TYPE	Класифікатор інформаційних типів даних
8	UNIT	Класифікатор одиниць виміру параметрів
9	D_LIST	Класифікатор одиниць дискретності часу

Блок даних про алгоритми розрахунків призначений для опису розрахункових правил, за якими формуються значення розрахункових параметрів. Процес опису правил має наступну ієрархію інформаційних об'єктів: схеми розрахунків; параметри обчислень у схемах; правила розрахунку параметрів обчислень; твердження правил (побудовані на реалізації умовного оператора); формули обчислень у твердженнях; складові (операнди) формул.

Структурно блок має в своєму складі наступні інформаційні об'єкти (табл. 6.3):

Таблиця 6.3 Блок даних про алгоритми розрахунків

№ п/п	Позначення	Призначення
1	SXEMA	Класифікатор схем розрахунків
2	SXEMA_OBJ	Класифікатор об'єктів схеми розрахунку
3	SXEMA_RULE	Класифікатор правил обчислення схеми розрахунку
4	CALC_PAR	Класифікатор параметрів обчислень схем
5	RULE	Класифікатор правил розрахунків
6	RULE_MODEL	Класифікатор тверджень правил
7	CHECK_TYPE	Класифікатор типів умовних операторів у твердженнях
8	CALC	Класифікатор формул обчислень
9	CALC_MODEL	Класифікатор операндів формули
10	CALC_ELEM	Класифікатор вхідних параметрів функцій-операндів
11	FUN_TYPE	Класифікатор типів функцій-операндів обробки даних

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

Структурно блок має в своєму складі наступні інформаційні об'єкти (табл. 6.4):

Таблиця 6.4 Блок даних про завдання та результати розрахунків

№ п/п	Позначення	Призначення
----------	------------	-------------

№ п/п	Позначення	Призначення
1	TASK	Опис завдань на виконання розрахунків
2	TASK_TYPE	Опис типів станів виконання завдань
3	TASK_LOG	Опис журналу виконання завдань про проведення розрахунків
4	TASK_SXEMA	Опис схем розрахунків завдання
5	NORM	Опис значень нормативних параметрів
6	NORM_VERSION	Опис версій нормативних параметрів
7	RESULT	Опис значень параметрів розрахунків
7	RESULT_VERSION	Опис версій результатів розрахунків
9	RESULT_CHANGE	Опис змін первинних даних значень параметрів розрахунків

Представлена базова інформаційна модель - структура та склад її елементів, призначенням якої є використання в КММ енергоефективності та в інших КММ, які пов'язані з ОТС ЕЕВ, що застосовується при розробці структури БД та її формуванні, розробці моделюючих алгоритмів реалізації методик розрахунку показників енергоефективності ЕЕВ та механізмів функціонування СОУ енергоринком.

6.3.5. Структурна організація програмного забезпечення комп'ютерної моделі

В цілому базовий програмний комплекс об'єктно-орієнтованої комп'ютерної моделі побудований на принципах декомпозиції [174-176], і структурований з підсистем, які реалізують завдання, що відображають стадії функціонування (настройка, формування та застосування) інформаційної моделі предметної області.

В організаційній структурі такої КММ програмне забезпечення утворюється з функціональних підсистем та програмного інтерпретатора інтерфейсів функціональних завдань. А інформаційне забезпечення представляється у вигляді моделей концептуального подання суб'єктів предметної області та метаданих інтерфейсу взаємодії користувача з функціональними завданнями. При цьому елементи логічного рівня представлення функціональних завдань кінцевому користувачеві реалізуються у вигляді інструментального програмного комплексу інтерпретації внутрішньої моделі, яка пов'язує функціональну частину об'єктно-орієнтованої КММ та її предметну область (рис. 6.3).

Організація технологічного процесу, що забезпечує виконання функцій підготовки, проведення та обробки даних результатів розрахунків, складається з послідовного здійснення завдань функціональних підсистем КММ, призначення яких відповідає основним типовим операціям взаємодії кінцевого користувача з КММ.

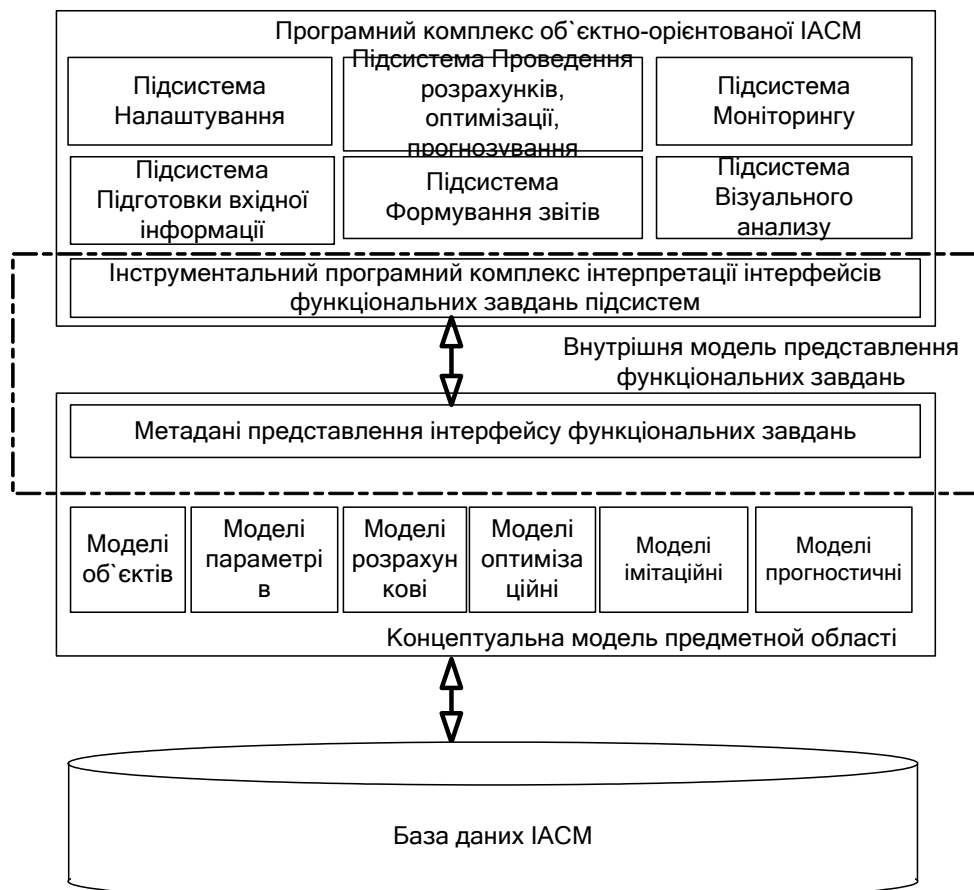


Рис. 6.3 Структурна організація комп'ютерної моделі

Такими типовими операціями є: внесення змін до алгоритмів розрахунків; збір та підготовка вхідних даних; проведення обчислень показників функціонування організаційної системи; формування звітних даних з результатами розрахунків їх подання у наочній формі; візуального аналізу даних і моніторингу результатів розрахунку.

6.3.6 Функціональна організація програмного забезпечення комп'ютерної моделі

Розглянемо функціональну організацію об'єктно-орієнтованої КММ (рис.6.4). Функціональна організація - це структуроване подання функцій комп'ютерної моделі, потоків даних і сутностей інформаційної моделі, які пов'язують ці функції. Вона будується методом декомпозиції від складних функцій до більш простих.

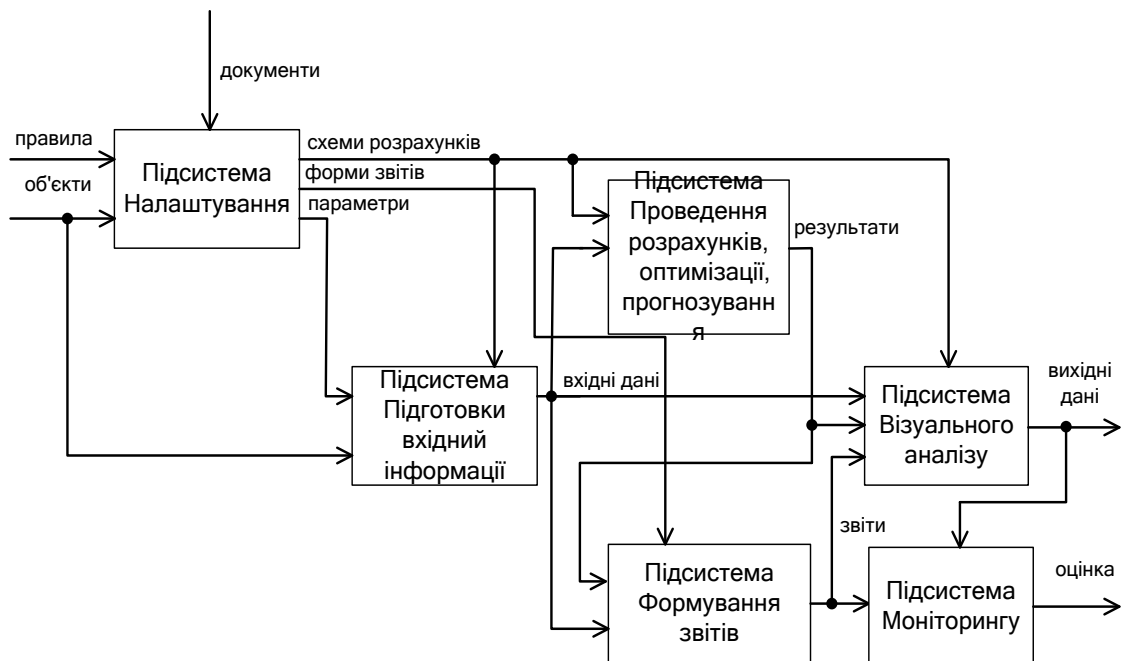


Рис. 6.4 Функціональна організація комп'ютерної моделі

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.

Таким чином, на верхньому рівні декомпозиції функцій КММ 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 КММ.

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 КММ.

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, 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 звітнього документа; створення шаблону форми звітнього 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»*.

6.4 Методична складова середовища побудови комп'ютерної моделі моніторингу енергоефективності

У науковій літературі дотепер йде обговорення застосування поняття «енергоефективність» [182]. У словнику [183] енергоефективність визначається як «комплекс організаційних, економічних і технологічних заходів, спрямованих на підвищення значення раціонального використання енергетичних ресурсів у виробничій, побутовій та науково-технічній сферах».

У цій роботі під енергоефективністю розуміється здатність енергетичної галузі в цілому, її енергопідприємств, енергоустановок та інших окремих елементів виконувати свої функції при мінімальних витратах енергетичних та інших видів ресурсів.

При генеруванні, передачі та споживанні ЕЕ енергоефективність, як міра її корисного використання, є найважливішим показником функціонування ЕЕС. Показники енергоефективності (абсолютні, питомі або відносні величини споживання або втрат енергетичних ресурсів) в Україні при генеруванні, передачі та споживанні ЕЕ значно поступаються тим, які досягнуті в розвинених країнах світу [184]. Тому підвищення енергоефективності виробництва, передачі та споживання ЕЕ є актуальною техніко-економічною задачею, від успішного вирішення якої залежить конкурентоспроможність будь-якої продукції, яка виробляється в Україні, та підвищення добробуту населення.

За оцінками фахівців, наведеними в численних публікаціях (див., наприклад, [185]), зараз в Україні залишається нереалізованим значний потенціал енергоефективності при генеруванні, передачі та споживанні ЕЕ. Для підтвердження цього наведемо наступні дані, опубліковані в роботі [186].

На ТЕС, що працюють на конденсаційному устаткуванні (95% від загальної кількості ТЕС), Україна в середньому за добу виробляється близько 28,7% від загального обсягу ЕЕ з середнім показником питомої витрати палива на виробництво ЕЕ 372 гуп / кВт-год. (гуп - грам умовного палива) і коефіцієнтом корисної дії (ККД) електростанцій - 25-28%. Тоді, як середньосвітовий показник витрати палива - 315 гуп / кВт-година, що відповідає ККД електростанцій - 36%. Цей же показник нижче середнього європейського

показника як по вугільним і мазутним - 38%, так і по газовим станціям - 41%.

А якщо врахувати ту обставину, що окремі блоки європейських ТЕС вже мають ККД близько 48,5, і планується створення блоків електростанцій з ККД -55%, то стає очевидним, що за рахунок поліпшення тільки одного показника енергоефективності - ККД можна досягти значної економії енергоресурсів на виробництво одиниці продукції - вироблюваної ЕЕ.

Не менш значний потенціал енергоефективності зберігається при передачі ЕЕ по лініях електропередач. Втрати ЕЕ, основна частина яких припадає на втрати в ВВЛ і розподільних мережах, силових трансформаторах, вимірювальних трансформаторах струму та напруги, ізоляції кабельних ліній, компенсуючих пристроях і шунтуючих реакторах та ін., в зв'язку з значним зносом устаткування. Втрати ЕЕ (технологічні, комерційні) в ВВЛ і розподільних мережах в Україні в 2003 р, за даними, наведеними в [187] становили 31,898 млрд. кВт.год - 19,57% всієї ЕЕ, що транспортується, та значно перевершували аналогічні показники в розвинених країнах світу.

За даними, наведеними в [184], показник споживання ЕЕ на одну людину (кВт.год / чел.), що характеризує технологічний рівень країни, в 2-3 рази нижче, ніж в розвинених країнах. Теж стосується і показника енергоемності валового внутрішнього продукту (ВВП), який в 2,6 рази перевищує середній світовий рівень енергоемності ВВП.

Таким чином, можна зробити висновок про те, що в електроенергетиці сьогодні зосереджений величезний потенціал енергоефективності, який повинен бути реалізований при належному державному управлінні процесами підвищення енергоефективності ЕЕС і зниження енергоемності ВВП.

Необхідність постановки та вирішення задачі створення державної системи управління енергоефективністю сформульована і обґрунтована в роботах [188-195], і обумовлена не тільки скороченням запасів енергетичних ресурсів, але й необхідністю вирішення глобальних завдань сталого розвитку суспільства з урахуванням основних закономірностей розвитку світової енергетики [64].

У цих же роботах до числа актуальних завдань організаційного управління енергоефективністю ЕЕС відносять такі: оцінка енергетичної ефективності виробництва, передачі та споживання електричної енергії, в тому числі тієї, що споживається на власні потреби; визначення потенціалу підвищення енергоефективності та формулювання науково-обґрунтованих планів організаційних, технічних та інших заходів, що забезпечують підвищення ефективності використання палива і енергії; визначення обсягу необхідних інвестицій, розробка пропозицій щодо здійснення заходів енергооб'єктів з переоснащення та впровадження енергоефективного устаткування, спрямованих на підвищення енергетичної ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів; здійснення енергоекологічної паспортизації енергооб'єктів на основі даних аудитів екологічної та енергетичної ефективності; моніторинг ефективності реалізованих заходів щодо підвищення енергоефективності.

6.4.1 Інформаційно-методичні аспекти побудови комп'ютерної моделі

Об'єктно-орієнтоване інформаційно-технологічне забезпечення інформаційно-методичного середовища побудови КММ енергоефективності було представлено в п. 6.3 на основі застосування якого розроблені засоби автоматизації процесів збору даних та їх аналітичної обробки, структури і моделі відповідних БД, які забезпечують вирішення всього комплексу перерахованих вище задач інформаційно-аналітичного забезпечення при функціонуванні КММ - елемента структури КСОУ в енергетиці.

При практичному створенні КММ необхідно сформувати БД і базу знань з метою методичного забезпечення розробки програм підвищення енергоефективності ЕЕВ і моніторингу їх виконання, які повинні включати: опис суб'єктів генеруючих компаній та класифікацію їх за показниками

енергоефективності; опис суб'єктів передачі ЕЕ та класифікацію їх за показниками енергоефективності; опис суб'єктів поставки і розподілу ЕЕ та класифікацію їх за показниками енергоефективності; характеристики зазначених суб'єктів - обсяги виробництва та передачі ЕЕ, динаміка, обсяг попиту-пропозиції; опис і класифікація споживачів за показниками ефективності енерговикористання; опис і класифікація суміжних і взаємодіючих енергосистем за показниками енергоефективності; опис і класифікація всіх найбільших енергосистем світу за показниками енергоефективності; методичні засоби у вигляді моделей та алгоритмів аналізу енергоефективності енергоустановок, енергопідприємств і ЕЕС в цілому, аналізу даних про втрати ЕЕ; нормативно-правові документи України та міжнародні правові договори і документи, включаючи державні і міжнародні стандарти енергоефективності, енергозбереження та управління.

І це далеко не повний перелік масивів даних, які необхідно сформувати для інформаційної підтримки прийняття рішень. Крім того, необхідно відзначити, що збір і попередня обробка цієї досить об'ємної та різномірної інформації при практичній реалізації КММ також вимагають проведення аналізу особливостей задач, що вирішуються нею, та пов'язаних з цим складнощів процесів актуалізації інформації.

6.4.2 Організаційні аспекти побудови комп'ютерної моделі

Як вже зазначалося раніше, в [188-194] запропонована та обгрунтована необхідність створення реально діючої СОУ енергоефективністю як складової загальної структури СОУ ОТС ЕЕВ. Основною метою управління якої повинна стати реалізація системної стратегії підвищення енергоефективності енергетики, шляхом подолання комплексу управлінських і технологічних бар'єрів. Зазначена стратегія представлена в роботах [191,192] і складається з п'яти найбільш істотних і взаємопов'язаних блоків: надійність енергозабезпечення; політика цін і тарифів; законодавство і нормативна база; безпосередньо програми підвищення

ефективності виробництва використання ЕЕ; захист навколишнього середовища та зменшення впливу на зміну клімату, що відповідає світовим тенденціям.

Відомо, що електроенергетика відрізняється від інших галузей економіки наявністю низки фізичних і виробничо-технологічних особливостей, які полягають в тому, що вона являє собою цілісну, безперервну та електрично нерозривно пов'язану систему процесів виробництва, передачі та споживання ЕЕ (п.1.3.1). Причому вся вироблена продукція миттєво передається, розподіляється та споживається. Тому було б природним створення єдиної цілісної системи показників енергоефективності для ЕЕВ в цілому. В [195] був приведений розроблений багаторівневий комплекс взаємопов'язаних локальних і глобальних показників для моніторингу ефективності функціонування ЕЕВ.

Зараз генеруючі компанії та компанії, які передають і постачають ЕЕ кінцевим споживачам, є різні самостійні організаційні структури, що відрізняються формою власності. А, отже, і керованістю державними органами управління, формуванням інтересів і стратегічних цілей управління та засобами їх досягнення. Незважаючи на це, вважаємо за доцільне сформулювати загальні вимоги до систем показників їх енергоефективності [195] ОТС ЕЕВ в цілому.

При реалізації основних цілей, функцій та задач стратегічного і оперативного управління енергоефективністю, виникає нагальна потреба розробки багаторівневої збалансованої системи показників енергоефективності та критеріїв їх оцінки, що відповідають сучасним вимогам побудови подібних систем оцінки ефективності та результативності діяльності електроенергетичних компаній. Ця система, безумовно, повинна відображати багаторівневий характер взаємодій системи управління з зовнішніми організаційними системами.

Дані моніторингу такої системи показників, яка буде складовою частиною загальної системи вимірювання та оцінки результативності та ефективності функціонування ЕЕВ і його СОУ в цілому, повинні забезпечувати реалізацію задач інформаційної підтримки процесів підготовки та прийняття рішень з управління енергоефективністю.

1. Система показників моніторингу енергоефективності. У нинішніх умовах господарювання, що відрізняються безперервним зростанням цін на енергоносії, саме підвищення енергоефективності при генеруванні ЕЕ стає однією з головних тенденцій розвитку світової енергетики, а, отже, і стратегічних цілей енергетичних компаній. Оскільки витрати на економію 1 кВт.год ЕЕ в 2-3 рази менше питомих витрат на створення нових енергоблоків для її виробництва [64].

Необхідно також підкреслити, що система показників енергоефективності повинна бути орієнтована на вирішення проблем інформаційного забезпечення при реалізації комплексних задач управління, пов'язаних з виконанням основних функцій енергетики - соціальної, економічної, екологічної, політичної з урахуванням енерго-екологічної та економічної взаємодії всіх галузей господарства держави та досягненням головних цілей державного управління ПЕК - забезпеченням енергетичної, економічної та екологічної безпеки держави. Принципово важливим є й забезпечення моніторингу взаємопов'язаних показників енерго-екологічної ефективності, що відображають вирішення завдань управління, пов'язаних з реалізацією глобальних завдань сталого розвитку суспільства та Енергетичної хартії. В ній, зокрема, передбачено науково-обгрунтоване співвідношення між зростанням ВВП, споживанням первинних енергоресурсів і щорічним зниженням енергоємності - 3%: 2%: 1% [64].

Галузі ПЕК, а часто й ОТС, що входять до них, стали суб'єктами економічного співробітництва не тільки в межах державного господарського комплексу, а й міжнародної системи виробництва. Тому, вважаємо за доцільне створення системи показників моніторингу для управління енергоефективністю, яка буде адекватно відображати не тільки економічний взаємовплив взаємодіючих елементів, але й взаємовплив фізичних показників, що забезпечують відповідність генеруючого й електротехнічного устаткування та енергосистеми в цілому, встановленим вимогам надійності та маневреності. Суттєвого підвищення ефективності енерговикористання можна домогтися, як

показано в [196], і за рахунок підвищення якості ЕЕ. Тому моніторинг стану показників якості ЕЕ, що виробляється, повинен стати невід'ємною складовою частиною загальної системи моніторингу енергоефективності. Важливість моніторингу показників якості ЕЕ пов'язана також з необхідністю врахування перспектив інтеграції ОЕЕС України і енергосистеми західної Європи.

2. Основні рівні взаємодії енергетики та економіки. Перш, ніж приступити до формального опису вимог до системи техніко-економічних показників моніторингу енергоефективності функціонування об'єктів ЕЕВ і зазначених взаємодій з іншими організаційними системами, необхідно виділити основні рівні та галузі їх взаємодії з іншими галузями та суб'єктами господарювання, а також сформулювати напрямки та завдання організаційного управління в фінансовому, соціальному, виробничому, адміністративному і юридичному блоках, вирішення яких має забезпечуватися відповідними органами системи управління. В [191], сформульовані основні управлінські стратегічні напрямки, які можуть бути покладені в основу системи заходів і організаційних дій з підвищення енергоефективності.

На основі аналізу літературних джерел можна зробити висновок про те, що, як правило (див., наприклад, [192]), виділяють такі рівні організаційних взаємодій.

А. *Загальнодержавний (міжгалузевий).* На цьому рівні виділяють такі основні галузі взаємодій - політична, економічна, енергетична, екологічна, інформаційна. Основні задачі управління - підготовка та прийняття міжнародних і державних інституціональних норм і угод, спрямованих на забезпечення енергетичної, економічної, екологічної безпеки держави.

Б. *Галузевий рівень.* Галузі взаємодій такі ж, як і на міжгалузевому рівні. Основна відмінність полягає в комплексному вирішенні взаємопов'язаних функціональних задач управління, які більш тісно пов'язані з безпосереднім функціонуванням галузей і суб'єктів ЕЕВ.

С. Регіональний рівень. Галузі взаємодій такі ж, як і на попередніх двох рівнях. Основні завдання управління пов'язані з вирішенням задач забезпечення економічної, енергетичної, екологічної безпеки та соціального розвитку регіонів.

Система показників, що характеризує енерго-екологічну та економічну ефективність функціонування ЕЕС в цілому, а також стан системи його організаційного управління представлятиме основу всього методичного забезпечення середовища проектування КММ. Її розробка в такій постановці з урахуванням всього різноманіття елементів його СОУ ЕЕВ і об'єктів, особливостей прояву їх взаємозв'язків на виділених рівнях і в галузях взаємодій, являє собою досить непросту задачу. Проблеми, які при цьому виникають, і шляхи їх вирішення, розглянуті в [197].

Очевидно, що система показників енергоефективності має забезпечувати ОПР всією необхідною інформацією про стан процесів з управління енергоефективністю на всіх вищенаведених рівнях взаємодії енергокомпаній електроенергетичної галузі ПЕК з внутрішніми та зовнішніми організаційними системами. На підставі вищевикладеного з використанням результати робіт [165, 166, 195, 198], можна зробити висновок про те, що багаторівнева система показників моніторингу енергоефективності повинна: входити складовою частиною в систему інтегральних показників енергоефективності економіки держави, галузі, регіону; відповідати прийнятим міжнародним і державним стандартам; відповідати сучасним вимогам і механізмам оцінки ефективності та результативності діяльності компаній; забезпечувати реалізацію вимог ієрархічності; забезпечувати можливість порівняльного аналізу та прогнозу енергоефективності відповідно до концепції сталого розвитку та закономірностей розвитку світової енергетики; забезпечувати можливість аналізу та прогнозу виконання системної стратегії та програм енергоефективності в межах Енергетичної стратегії України; забезпечувати можливість порівняльного аналізу даних про темпи розвитку ЕЕВ України з даними про розвиток світового енергетичного господарства; забезпечувати можливість порівняльного аналізу

механізмів і критеріїв оцінки економічної та енерго-екологічної ефективності діяльності енергетичних компаній.

6.4.3 Система показників енергоефективності

Згідно з даними літературних джерел для оцінки енергоефективності економіки в межах держави використовуються різні інтегральні показники. Серед них найбільш часто застосовуються такі як: енергоефективність валового ВВП - відношення одиниці вартості виробленого продукту до обраної одиниці об'єму енергетичних ресурсів (тис. дол. США / тонна умовного палива); енергоємність ВВП - відношення одиниці енергетичних ресурсів до одиниці вартості виробленого ВВП; енергоефективність ВВП за вартістю паливно-енергетичних ресурсів; електроефективність ВВП - відношення одиниці вартості виробленого продукту до одиниці об'єму ЕЕ; електроефективність ВВП за вартістю ЕЕ; енергоефективність, як відношення ВВП на одного жителя до сумарного споживання всіх видів ресурсів на одного жителя тонн умовного палива та ін.

Для оцінки стану та порівняльного аналізу енергоефективності енергетики та економіки в межах держави, крім зазначених вище, використовуються й інші інтегральні кількісні та якісні показники [64,198,199]. Серед них: споживання ЕЕ на душу населення (кВт.год); середня вартість ЕЕ (МВт.год); викиди CO_2 , SO_2 , NO_x ; надійність системи; надійність системи для відповідальних споживачів; ККД генерування при спалюванні органічного палива; ККД при комбінованому виробництві теплової енергії та ЕЕ; питомі витрати умовного палива на генерування одиниці ЕЕ (г.у.п. / кВт.год); питомі витрати енергетичного виробництва, вартість палива, витрати на ремонт і експлуатацію устаткування (грн/кВт-годину); ККД по випуску ЕЕ (%); коефіцієнт використання встановленої потужності (%); коефіцієнт готовності (%); коефіцієнт надійності роботи персоналу (%); коефіцієнт аварійності (%); втрати при передачі та розподілі ЕЕ (%).

Наведений вище далеко не повний перелік інтегральних показників, що характеризують стан енергоефективності та використовуються для порівняльного аналізу ефективності ЕЕС і енерговикористання в різних публікаціях, може бути покладено в основу при створенні відповідної системи показників КММ енергоефективності для державного та галузевого рівнів.

При проектуванні КММ на початковому етапі пропонується використовувати як основу систему показників, передбачених ДСТУ [201-203].

1. Система показників енергоефективності для генеруючих підприємств.

У перший основний блок системи кількісних показників необхідно внести ті показники енергоефективності, що відповідають номенклатурі показників енергоефективності, а саме: η - коефіцієнт корисної дії (%); K_{be} - коефіцієнт корисного використання енергії (%); b - питома витрата енергетичного ресурсу (Дж/одиницю продукції); bn - питома витрата палива (умовного палива в т/одиницю продукції); be - питома витрата електроенергії (кВт.год/одиницю продукції); E - енергоємність продукції (Дж/одиницю продукції); Ee - електроємність продукції (кВт.год / одиницю продукції); інші показники, згідно ДСТУ 3755-98.

Крім того, ґрунтуючись на результатах робіт [64,197], вводяться два додаткових блоки показників енергоефективності, які використовуються в різних країнах. До показників другого - допоміжного блоку, що характеризують стан енергоефективності енергокомпаній, крім перелічених відносять і такі кількісні та якісні показники: середня вартість ЕЕ (МВт.год); викиди CO_2 , SO_2 , NO_x - обсяг на одиницю продукції; надійність устаткування; ККД генерування при спалюванні органічного палива; ККД при комбінованому виробництві теплової енергії та ЕЕ; витрати на ремонт і експлуатацію устаткування (\$ USA / кВт.год); коефіцієнт надійності роботи персоналу (%); коефіцієнт аварійності (%).

У третій блок можна внести соціально-економічні показники, а також показники, які визначають діяльність енергокомпаній згідно нормативно-правовим документам - тарифи на енергоресурси та ін.

2. Система показників енергоефективності передачі, розподілу ЕЕ.

Підвищення енергоефективності при передачі ЕЕ безпосередньо пов'язано з реалізацією заходів, спрямованих на зниження втрат у ВВЛ і розподільних мережах. З огляду на ту обставину, що перелік електротехнічного устаткування, що використовується для передачі ЕЕ, налічує не один десяток найменувань, необхідно визначити та виділити те устаткування, втрати в якому найбільш істотні. В [202] проведено аналіз втрат ЕЕ в устаткуванні мереж і підстанцій, розроблено та обґрунтовано методики розрахунку втрат для наступного устаткування: лінійна арматура повітряних ліній; високочастотних загороджувачів і пристрої приєднання високочастотного зв'язку; вентильних розрядників і обмежників перенапруг; вимірювальних трансформаторах струму та напруги; електричних лічильниках 0,38 кВ безпосереднього включення; ізоляції кабельних ліній; компенсуючих пристроях батарей статичних конденсаторів, синхронних компенсаторів (СК); статичних тиристорних компенсаторів і шунтуючих реакторах (ШР); струмообмежувальні реакторах; трансформаторах для приєднання дугогасних реакторів; сполучних проводах і збірних шинах розподільних пристроїв підстанцій. На першому етапі проектування КММ система показників енергоефективності для передавальних і розподільних ЕЕ підприємств також може складатися з двох блоків. У перший блок входять ті ж показники, що й для генеруючих компаній. А в другий - перелічені вище показники втрат в пристроях ВВЛ і мереж передачі ЕЕ. Цим переліком пристроїв можна обмежитися, оскільки збір даних та їх актуалізація про втрати в інших пристроях може викликати певні труднощі.

3. Система показників енергоефективності споживання енергії. Система показників енергоефективності при споживанні ЕЕ та критерії їх оцінки, призначені для аналізу енергоефективності діяльності підприємств і галузей промисловості та розробки плану заходів щодо підвищення енергоефективності економіки.

Оцінка енергоефективності підприємств промислового та сільськогосподарського виробництва та інших споживачів ЕЕ повинна

базуватися на системі єдиних показників і критеріях порівняння різних показників діяльності як для окремих підприємств, так і галузей промисловості в цілому. Це необхідно для відпрацювання однотипних характеристик підприємств і напрямків промислового виробництва, оскільки проведення аналізу їх діяльності вимагає визначення лідерів або аутсайдерів як серед підприємств, так і на рівні вищевказаних галузей виробництва.

Система показників енергоефективності споживання на рівні підприємств повинна забезпечувати можливість подальшого аналізу результативності діяльності підприємств в плані підвищення енергоефективності споживання ЕЕ та відповідати наступним вимогам: забезпечувати взаємозв'язок критеріїв оцінки енергоефективності та системи показників опису виробництва; визначати рівень ефективності використання ЕЕ; мати мінімальний перелік показників, які можуть бути легко надані підприємствами і надалі оброблені при аналізі їх діяльності; надавати можливість порівняти показники діяльності підприємств різних галузей виробництва, які мають об'єктивно різні умови господарювання, витрат і доходів, які вони одержують.

З урахуванням цих вимог, визначимо наступні етапи оцінки діяльності підприємств і галузей виробництва: обґрунтування та створення системи показників, які характеризують діяльність підприємств; збір та обробка вихідної інформації про виробничу діяльність підприємств за період оцінювання; розрахунок підсумкових показників для оцінки та аналізу діяльності галузей виробництва; визначення порівняльних характеристик енергоефективності діяльності підприємств і галузей промисловості; визначення лідерів і аутсайдерів у промисловому виробництві як галузей, так і окремих підприємств; визначення об'єктивних і суб'єктивних факторів, що впливають на підвищення енергоефективності в промисловому та сільськогосподарському виробництві; визначення та застосування організаційних заходів щодо підвищення енергоефективності виробництва на базі отриманих підсумкових оцінок і модернізації устаткування підприємств.

Розрахунок підсумкової оцінки передбачає агрегацію даних по окремих підприємствах, які належать до однієї й тієї ж галузі виробництва. Порівняння оцінок - дозволяє провести аналіз за допомогою одного з обраних показників за допомогою критеріїв оцінки (рейтингів) і здійснити подальший вибір підприємств з найбільш високими (низькими) результатами по всій сукупності показників.

Такий підхід відповідає умовам ринку, де кожен самостійний товаровиробник прагне до того, щоб за всіма показниками діяльності випередити свого конкурента. У той же час, керівні органи мають можливість на основі порівняльного аналізу інтегральних показників енергоефективності різних підприємств і галузей промисловості визначити напрямки подальшого підвищення енергоефективності тієї чи іншої галузі виробництва, або іншими словами, визначити потенціал енергоефективності.

Для опису діяльності підприємств споживачів енергії використовується наступна система показників і критерії їх оцінки.

Інтегральна оцінка підприємства будується на підставі декількох рейтингів, складених за показниками діяльності підприємства.

Рейтинг підприємств за окремим показником відображає місце, яке підприємство займає серед всіх підприємств.

На підставі розрахованих рейтингів за всіма показниками виконується впорядкування або ранжування підприємств.

При ранжуванні найвищу (найменшу) оцінку отримує підприємство, яке отримало максимальну (мінімальну) суму за всіма обчисленими рейтингами.

До групи показників енергоефективності включені виробничо-комерційні показники діяльності підприємства, які складаються з витратних показників, які характеризують енергоефективність виробництва продукції.

В якості методики оцінки рівня ефективності використання енергоресурсів підприємства може бути використана методика, запропонована в [203], яка полягає у визначенні інтегрального показника енергоефективності:

$$I_{\text{EiY}} = \sum k_i C_i ,$$

де k_i - ваговий коефіцієнт i -го критерію енергоефективності, C_i - значення одного з критеріїв енергоефективності.

Відповідно до зазначеної методики вищу оцінку отримують енергоустановки, об'єкти, підприємства, якщо вони характеризуються:

- 1) більш високим ККД установки;
- 2) меншим рівнем втрат енергії;
- 3) наявністю системи вимірювання, контролю обліку та витрати енергії;
- 4) меншими рівнями енергоємності продукції і питомих витрат енергоресурсів;
- 5) наявністю та ефективністю програми енергозбереження;
- 6) наявністю енергетичного паспорта енергопідприємства з регулярним проведенням енергоаудиту;
- 7) більш високим рівнем підготовки персоналу;
- 8) наявністю системи стимулювання енергозбереження;
- 9) наявністю системи використання вторинних енергоресурсів та ефективної утилізації відходів;
- 10) наявністю системи стандартизації, сертифікації та метрології в галузі енергозбереження та використання енергоресурсів.

В [203] наведені також значення критеріїв ефективності та вагові коефіцієнти для окремих критеріїв. Слід зазначити, що при практичній реалізації КММ енергоефективності перелік кількісних і якісних показників енергоефективності та критеріїв їх оцінки може бути розширений та уточнений з використанням результатів робіт [204,205].

6.5 Висновки до розділу

1. На основі застосування методу об'єктно-орієнтованого моделювання розроблено інформаційно-технологічне забезпечення організації процесу

підготовки і верифікації первинної інформації та використання комп'ютерних моделей, включаючи структурну та алгоритмічну організацію, для побудови комп'ютерних моделей процесів вдосконалення механізмів функціонування СОУ, що включає:

- єдину уніфіковану систему опису суб'єктів СОУ, процесів прийняття рішень, єдину систему класифікаторів і довідників даних про об'єкти ОТС і суб'єкти СОУ, уніфіковану структуру зберігання даних;

- уніфіковані системи збору, перевірки достовірності, достатності, надлишковості даних реального часу, що характеризують стан об'єкта, що досліджується, формування даних комерційного обліку виробництва;

- процедури розроблення організаційної, концептуальної, інформаційної та функціональної складових часток комп'ютерних моделей, які забезпечують адекватне подання процесів організаційного управління з урахуванням реальних взаємовідносин між суб'єктами СОУ, аналізу, інтерпретації та візуалізації результатів моделювання;

2. Розроблено інформаційно-методичне середовище побудови КММ енергоефективності ЕЕВ, у склад якого входить методичне забезпечення у вигляді багаторівневої системи компонентів стану управління, які характеризують стан енергоефективності процесів виробництва, передачі та споживання ЕЕ.

РОЗДІЛ 7

КОМП'ЮТЕРНІ МОДЕЛІ ПРОЦЕСІВ ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕХАНІЗМІВ ОРГАНІЗАЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ

7.1. Комп'ютерна модель оптового ринку електроенергії

Комп'ютерна модель призначена для реалізації процесів вдосконалення механізмів функціонування СОУ ОРЕ - Правил ринку для вирішення задач аналізу та оцінки впливу впровадження нових або вдосконалення існуючих механізмів функціонування ОРЕ на розрахунки платежів за вироблену та

поставлену ЕЕ суб'єктів ринку. Вона побудована на основі використання математичної моделі ОРЕ (розділ 4 п. 2), застосування засобів комп'ютерної системи об'єктно-орієнтованого концептуального та інформаційного моделювання, представлених в розділі 6, і адекватно відтворює фінансові процеси формування цінових показників і обчислення платежів суб'єктів ринку на основі даних комерційного обліку відповідно до діючих Правил ринку.

На базі комп'ютерної моделі було розроблено та впроваджено на ДП «Енергоринок» АСРП суб'єктів ринку. Основною метою створення АСРП є підвищення продуктивності функціонування відповідних підрозділів ДП «Енергоринок» за рахунок скорочення термінів виконання розрахунків платежів на підставі автоматизації працемістких процесів збирання, ведення, обробки та підготовки нормативної, технологічної, статистичної інформації і службової документації, вдосконалення структури баз даних, підготовки параметрів розрахунків та організації обчислень з використанням сучасних інформаційних технологій.

7.1.1 Функціональна та алгоритмічна організація автоматизованої системи розрахунків платежів

АСРП забезпечує автоматизацію інформаційних та розрахунково-технологічних процесів, якими взаємопов'язані суб'єкти оптового ринку і регламентуються його Правилами (рис.7.1).



7.1 Схема інформаційної взаємодії суб'єктів ОРЕ

А саме: організацією підготовки моделюючих алгоритмів розрахунків та формування вихідних даних про результати їх виконання; проведенням розрахунків платежів суб'єктів ринку; інформаційною взаємодією з іншими підрозділами ДП «Енергоринок»; організацією підготовки моделюючих алгоритмів аналізу та оцінки впливу впровадження нових або вдосконалення існуючих механізмів функціонування ОРЕ на розподіл платежів за вироблену та поставлену ЕЕ; оперативним моніторингом і контролем за станом виконання розрахунків платежів.

Функціональна організація АСРП. До складу АСРП входять наступні функціональні підсистеми:

- підсистема «Налагодження системи»;
- підсистема «Підготовки вхідної інформації»;
- підсистема «Розрахунків»;
- підсистема «Формування вихідних даних»;
- підсистема «Аналізу і прогнозів».

1.1. Задачі підсистеми «Налагодження системи».

Підсистема «Налагодження системи» забезпечує можливість адаптації та настройки до змін у варіантах та параметрах розрахунку платежів, надає можливість ведення загальносистемних класифікаторів.

В підсистемі вирішуються наступні задачі: ведення схем розрахунків; ведення параметрів обчислень; формування алгоритмів правил обчислення параметрів; ведення формул обчислень; ведення загальносистемних класифікаторів.

Схема розрахунку - це набір послідовно обчислюємих параметрів за встановленими Правилами ОРЕ. Схема подається як дерево, в якому відтворена інформація про склад етапів (підетапів) проведення розрахунків та послідовність їх виконання. Схеми розрахунків та окремі їх етапи поділяються на основні та додаткові (аналітичні, прогнозні, експериментальні, перевірочні та інші). Основні схеми використовуються при виконанні розрахунків, за якими визначаються всі діючі на поточний момент платежі суб'єктів ОРЕ. При виконанні інших аналітичних та прогнозних розрахунків окрім основних схем, пов'язаних з удосконаленням схем розрахунку параметрів і моделюючих алгоритмів, можуть бути застосовані і інші схеми або окремі етапи (підсхеми). Кожна схема чи етап має свій період дії, який впливає на можливість проведення визначеного розрахунку.

Схема основного розрахунку платежів складається з наступних етапів: розрахунок платежів генерації за ЕЕ; розрахунок оптової ціни купівлі ЕЕ; розрахунок інших платежів генерації; розрахунок платежів генерації за ЕЕ за встановленим тарифом; розрахунок платежів експорту-імпорту; розрахунок платежів інфраструктурі; коригування платежів постачальників; розрахунок оптової ринкової ціни продажу ЕЕ; розрахунок платежів постачальників.

Кожен етап має власні послідовності операцій (підсхем), які визначаються параметром обчислення, його правилом розрахунку та переліком об'єктів - суб'єктів ринку для яких проводяться обчислення.

1.2. Параметр обчислення визначає сукупність параметрів об'єктів розрахунку, які мають однакові ознаки опису та однакове призначення при

проведенні розрахунку. Параметр обчислення подається описом з наступних ознак: тип параметра об'єкта; тип одиниці дискретності часу; тип зв'язку, що визначає приналежність параметра до первинного об'єкта; тип зв'язку, що визначає відповідність параметра до іншого об'єкта.

Всі параметри обчислень в залежності від способу утворення поділяються на вхідні та розрахункові (вихідні). Назва параметра обчислень має утворюватися з назв типа параметра об'єкта, типа одиниці дискретності часу та приналежності параметра до типа або групи об'єктів.

Вхідні параметри в своєму описі мають ознаку типа зв'язку параметра з об'єктом, що визначає спосіб отримання інформації про значення цих параметрів. Значенням цієї ознаки є застосована функція завантаження інформації сервера бази даних, яка визначається походженням параметрів, що підлягають завантаженню в АСРП. Вхідними параметрами обчислень є наступні підгрупи: відпуск добовий, погодинний для станцій, блоків; витрати та втрати добові для станцій, ОЕЕС та ДП «Енергоринок»; графіки навантаження планові, диспетчерські; дотаційні сертифікати; експорт-імпорт перетоків; коефіцієнти, нормативи, ознаки; платежі обсяги споживання та постачання; тарифи та цінові заявлені показники; та ін. (Повний перелік наведено у ДОДАТКУ Г)

Розрахункові параметри обчислень мають зв'язок з правилами розрахунків, які можуть бути використанні для визначення їх значень. Такими параметрами обчислень є: імпорт перетока оператора добовий; імпорт перетока оператора погодинний; та ін. (Повний перелік наведено у ДОДАТКУ Г)

Всі типи параметрів об'єктів поділені на групи, які визначають походження параметрів і їх подальше використання в АСРП: нормативні; розрахункові; технологічні; з системи накопичення макетів об'єктів; з інших розрахункових систем.

Нормативні параметри утворюють групу параметрів об'єктів, які вносяться до АСРП на підставі нормативних документів і є предметом ведення підсистемою «Підготовка вхідної інформації». До цих параметрів належать

параметри таких типів: витрати; дотаційний сертифікат; календар робочих днів; та ін. (Повний перелік наведено у ДОДАТКУ Г)

Розрахункові параметри утворюють групу параметрів об'єктів, які виникають при проведенні розрахунків в АСРП і підлягають накопиченню та зберіганню підсистемою «Розрахунки». До цих параметрів належать параметри таких типів: імпорт перетікання; імпорт; діапазон маневреності кінцевий; та ін. (Повний перелік наведено у ДОДАТКУ Г).

Технологічні параметри утворюють групу параметрів системи, які визначають особливості проведення розрахунків і є незмінними для нього. До цих параметрів належать: перехід на літній час; перехід на зимовий час; час «Start»; час «End».

Параметри об'єктів з системи накопичення макетів утворюють групу параметрів, що надходять від виробників, постачальників та компаній електричних мереж відповідно до вимог Правил ОРЕ. В АСРП до цих параметрів належать параметри таких типів: інші джерела; інші споживачі; відпуск; та ін.

Параметри об'єктів з інших розрахункових систем утворюють групу параметрів, що надходять від суміжних підрозділів ДП «Енергоринок» при формуванні розрахункових величин заданого графіку та цін системи згідно вимог Правил ОРЕ до операцій на наступну добу. В АСРП до цих параметрів належать параметри таких типів: графік навантаження диспетчерський; графік навантаження плановий; діапазон маневреності початковий; та ін..

Алгоритмічна організація АСРП. В АСРП поняття «Правило» ототожнюється з алгоритмом обчислення параметру, який визначено в схемі проведення розрахунків.

Наприклад, правило обчислення «Платіжу за надвиробництво блоку» буде подано в АСРП наступним чином: *ЯКЩО* ЦЗВбр \leq Ціна системи гранична фактична *ТО* 0; *ЯКЩО* ЦИЗВбр \leq Ціна системи гранична фактична *ТО* 0; *ЯКЩО* Эдбр \leq ЭГбр *ТО* 0; *ЯКЩО* Эфбр \leq ЭГбр *ТО* 0; *ЯКЩО* Нбр = 1 *ТО* 0; *ЯКЩО* Эгбр = 0 *ТО* ДВ+бр=(ЦЗВбр-ЦФПСр)*(Эфбр-ЭГбр)*Роб.

В формулах АСРП реалізовано такі основні математичні операції як «+»,

«-», «*», «/». Для збільшення можливостей АСРП у визначенні складних формул реалізован механізм групового виразу за допомогою використання пар символів «(» та «)». Рівень вкладеності групових виразів один до одного необмежено.

Операндами формули мають бути параметри обчислення, параметри об'єкта, інші формули, константи. Операнд вважається однозначно визначеним, якщо в описі його сутності присутні ознаки «Тип параметра об'єкта», «Тип одиниці дискретності часу», «Тип зв'язку, що визначає приналежність параметра до первинного об'єкта» та «Тип зв'язку, що визначає відповідність параметра до іншого об'єкта». Цієї вимозі відповідають описи параметрів обчислень, формули. Проте констант ця вимога не стосується. Таким чином, параметр об'єкта як операнд формули має бути обов'язково доповнен описом одиниці дискретності часу, а параметр обчислення, якщо його опис вимагає наявності зв'язку з іншим об'єктом, повинен мати значення цього об'єкта.

Крім цього, в описі операнда формули може бути присутнє агрегативне визначення значення операнда. В АСРП припустимим агрегуванням може бути:

- арифметичне підсумовування величин за спільною ознакою;
- знаходження мінімального або максимального значення величин;
- встановлення абсолютного значення поточної величини;
- виконання виклику функції обробки за встановленими функціональними параметрами.

Підсумовування (частково знаходження мінімуму і максимуму) може бути виконане за наступними ознаками:

- одиниця дискретності часу (година, зона, доба);
- підпорядкованість об'єктів операнда до розрахункового об'єкта;
- приналежність операнда до розрахункового об'єкта.

При підсумовуванні за часом виконується обробка всіх значень параметрів поточної дати розрахунку з визначеними одиницями дискретності, а якщо ознакою є доба, то від першої доби до поточної доби дати розрахунку.

При підсумовуванні за підпорядкованістю в описі операнду необхідно додати ознаки типу об'єктів та типу підпорядкованості об'єктів один до одного. Типами об'єктів для підсумовування значень операндів в АСРП можуть бути: агрегати ГЕС, АЕС, блокстанції, виробники та ін..

За допомогою підпорядкованості в АСРП можна побудувати різну за функціональними ознаками ієрархію об'єктів, яка буде використана для пошуку і визначення тих об'єктів, значення параметрів яких утворюють агрегативне значення операнду. Такими типами підпорядкованості є: територія; юридична підпорядкованість; складовий елемент у розрахунку; виробники за ціновими заявками; виробники за договорами; експортери-імпортери; постачальники за регульованим тарифом.

При підсумовуванні за приналежністю операнда до розрахункового об'єкта в описі не потрібно додатково вказувати ознаки підпорядкованості, тому що в цьому випадку виконується обробка значень тих параметрів, які за ознакою «Тип зв'язку з первинним об'єктом» належать до розрахункового об'єкту. В АСРП ознака «Тип зв'язку з первинним об'єктом» має наступні значення: пов'язаний об'єкт; джерело отримання ЕЕ; отримувач ЕЕ; територія поставки; інша сторона.

Опис виклику функції обробки передбачає наведення переліку вхідних параметрів, якими можуть бути параметри обчислень та параметри об'єктів з типом дискретності часу поточного розрахунку. Результатом виконання функції є значення операнда формули.

Таким чином, опис операнда формули обчислення передбачає визначення наступних ознак: тип операції; спосіб входження операнда до групового виразу; коефіцієнт збільшення значення операнда; кратність значення операнда; вид величини операнда (параметр обчислення, параметр об'єкта, формула, константа); функція обробки значень; ознака агрегативної обробки.

Ведення загальносистемних класифікаторів передбачає виконання функцій створення нових, коригування існуючих записів, видалення невикористаних даних із класифікаторів, за допомогою яких кодуються різного роду ознаки, типи, властивості та інше.

Задачі підсистеми «Підготовки вхідної інформації». Підсистема «Підготовки вхідної інформації» на основі нормативних документів та первинних даних від суб'єктів Енергоринку і суміжних підрозділів ДП «Енергоринок» здійснює формування інформаційних структур, необхідних для проведення первинної візуальної верифікації даних та використання їх іншими підсистемами. Підсистема забезпечує внесення коригувань у поточні та ретроспективні вхідні дані, підготовку додаткових даних для їх подальшого використання у різних розрахунках (див. п. 6.3.6).

Для відокремлення в АСРП документів від інших об'єктів введено та закріплено код типу об'єкта «Нормативний документ». До складу цього типу входять наступні підтипи: державні акти; розпорядчі документи; закони; постанови Кабінету Міністрів України; постанови НКРЕКП; листи.

Склад підтипів може бути змінений через ведення загальносистемних класифікаторів об'єктів в підсистемі «Налагодження системи».

Також, як і інші об'єкти АСРП, документи мають таку характеристику опису як властивості. До переліку властивостей нормативних документів необхідно віднести «Номер документа» та «Дата документа». Кожна властивість описується: назвою властивості; датою початку дії; датою завершення дії; значенням властивості.

Наприклад, для властивості «Дата документа» опис буде подано наступним чином: назва – «Дата документа», дата початку дії – «Дата введення в дію документа», дата завершення дії – «Дата завершення застосування документа», значення – «Дата підписання документа».

Наведені ознаки опису та й самі нормативні документи мають в АСРП тільки інформаційне навантаження і на процеси забезпечення та проведення розрахунків не впливають.

Формування нормативних параметрів забезпечує виконання вимог до підготовки вхідних даних в частині ведення даних про: тарифи НАЕК «Енергоатом», ТЕЦ, ГЕС, ВЕС, зовнішніх перетоків; на передачу електроенергії мережами НЕК «Укренерго»; дотаційні сертифікати; витрати ДП «Енергоринок»;

відрахування на розвиток нетрадиційних джерел; години максимального навантаження; тарифні зони доби операторів зовнішніх перетоків; штрафи та додаткові нарахування для виробників; та ін.

Перелік типів нормативних документів наведено в підсистемі «Налагодження системи».

Всі нормативні параметри описуються наступними ознаками: назвою параметра, типом параметра, одиницею виміру, видом (формою) подання значень параметра (одне значення, таблиця значень за додатковою ознакою).

Крім наведених ознак кожен параметр може бути додатково описаний за допомогою властивостей та пов'язаних об'єктів.

Структурно назва кожного параметра формується з назви його типа та пов'язаного первинного об'єкта. При введенні іншого, пов'язаного з параметром об'єкта, до назви параметра може бути додана назва цього об'єкта. Якщо параметр має зв'язок з іншим параметром, що можливе при відтворенні комплексних сутностей вхідних даних, то в даному випадку застосовуються можливості опису властивостей параметрів та закріпленого типу властивості «Код пов'язаного параметра».

Наприклад, значення коефіцієнтів тарифних зон зовнішніх перетоків залежать від типу доби – робоча чи вихідна. Тому опис такої складної сутності подається двома нормативними параметрами - основним «Коефіцієнт тарифної зони» та пов'язаним «Каландарем робочих днів». Окрім цього параметр «Коефіцієнт тарифної зони» має в описі вида подання значення «Таблиця значень», що дозволить відтворити додаткову ознаку «Робочий день» в описі значень параметру.

Кожен нормативний параметр має версії впроваджених даних за періодами дії. Отже кожна версія даних подається наступними ознаками:

- документ-підстава впровадження нормативу;
- дата початку дії норматива;
- дата завершення дії норматива;

- тип одиниці дискретності часу значень нормативу (годинний, добовий норматив);

- спосіб встановлення значення нормативу.

Ознака «Спосіб встановлення» дозволяє застосувати один з шляхів розподілу значення нормативу в залежності від його подальшого використання у розрахунках. Такими шляхами є:

- встановлення наведеного значення на період без розподілу за дискретностями часу (значення діє для всіх дискретностей часу визначеного періоду);

- встановлення наведеного значення на період з розподілом за визначеним рівнем дискретності часу (значення розподіляється за всіма значеннями одиниці дискретності часу із збереженням балансу з загальним значенням нормативу);

- встановлення окремих значень нормативів для кожного значення дискретності часу.

Завантаження вхідних даних передбачає виконання вимог до перевірки та підготовки в потрібній формі вхідних даних для проведення різних розрахунків. Виконання функцій завантаження здійснюється з джерел інформації, як внутрішніх, так і зовнішніх відносно до структур даних АСРП, а саме з структур даних про:

- нормативні параметри із внутрішнього джерела (структури) даних АСРП;

- параметри з поточними даними від виробників, постачальників, операторів зовнішніх перетоків із зовнішнього джерела системи накопичення макетів;

- параметри з розрахункових графіків навантаження та цін системи із зовнішніх джерел суміжних розрахункових систем.

Всі операції завантаження подаються в схемах розрахунків як окремі підсхеми, в яких визначені параметри обчислень з ознакою способу утворення «Вхідний параметр». Кожен вхідний параметр за своїм типом може походити від перелічених джерел інформації і належати до однієї із встановлених в АСРП основних груп типів параметрів.

Спосіб завантаження визначається за походженням кожного вхідного параметра через віднесення його до однієї з наступних груп:

- параметрів об'єктів з системи накопичення макетів;
- параметрів АСРП нормативних;
- параметрів об'єктів з інших розрахункових систем.

Завантаження параметрів з макетними даними об'єктів передбачає отримання інформації з джерела системи накопичення макетів за встановленою процедурою звертання і отримання інформації. Отримана інформація є погодинними або добовими значеннями вхідних параметрів. Для всіх параметрів з цієї групи застосовується загальна процедура завантаження, принцип роботи якої полягає в послідовному зчитуванні потрібної інформації із встановленими одиницями дискретності часу і формуванні масиву даних для занесення в структуру вхідних даних АСРП.

Завантаження нормативних параметрів АСРП передбачає отримання інформації з внутрішнього джерела підсистеми «Підготовки вхідної інформації» за встановленою процедурою звертання і отримання інформації. Необхідність виконання процедури завантаження власних даних АСРП полягає в забезпеченні вимог можливості внесення коригувань у вхідні дані для їх подальшого використання у розрахунках, аналізі та прогнозуванні, тобто з метою формування різних версій вхідних даних. Отримана інформація є погодинними, зонними або добовими значеннями вхідних параметрів, тобто відповідно до визначення одиниці дискретності часу параметра обчислень. Результат завантаження у вигляді масиву даних заноситься у структуру вхідних даних АСРП. Завантаження деяких нормативних параметрів, які мають зв'язок з іншими параметрами для відтворення комплексних сутностей вхідних даних, може виконуватися за допомогою власних процедур. Ці процедури є значеннями ознаки типу зв'язку з об'єктом-процедурою “Спосіб утворення інформації”.

Завантаження параметрів об'єктів з інших систем передбачає отримання інформації з джерел суміжних розрахункових систем за власними процедурами звертання і отримання інформації. Наявність тільки власних процедур

завантаження для кожного такого параметра пов'язана з тим, що потрібна інформація зберігається в різних структурах даних цих систем. Отже, за допомогою ознаки типу зв'язку параметра з об'єктом-процедурою "Спосіб утворення інформації" подається опис визначеної процедури завантаження. Отримана інформація є погодинними або добовими значеннями вхідних параметрів. Принцип роботи всіх процедур полягає в послідовному зчитуванні потрібної інформації із встановленими одиницями дискретності часу і формуванні масиву даних для занесення в структуру вхідних даних АСРП.

Стан виконання завантаження фіксується в спеціальному журналі, в якому відтворюється наступна інформація: поточний номер повідомлення; час виникнення; параметр та об'єкт розрахунку; одиниця дискретності часу; текст повідомлення.

В тексті повідомлення фіксується причина невиконання завантаження. Причинами можуть бути:

- вхідний параметр не віднесено до відповідного типу;
- вхідний параметр не має одиниці часу;
- не призначено функцію завантаження;
- не призначено відповідний код об'єкта-генератора;
- дані не введено;
- дані не знайдено;
- відсутні дані;
- помилка при виконанні процедури бази даних.

Задачі підсистеми «Розрахунків». Підсистема «Розрахунків» забезпечує можливість проведення розрахунків параметрів обчислень відповідно до діючих на розрахункову дату основних схем з підсистеми «Налагодження системи».

Підсистема на підставі отриманих вхідних даних виконує комплекс розрахункових задач, алгоритми реалізації яких розроблені та включають визначення наступних величин:

- платіж за вироблену електроенергію за фіксованим тарифом;
- платіж за вироблену електроенергію за граничною ціною системи;

- платіж за робочу потужність блоку;
- платіж за маневреність;
- штраф блоку за порушення диспетчерського графіку;
- платіж за надвиробництво та недовиробництво електроенергії;
- платіж за пуск;
- сумарний платіж станції та загалом виробника електроенергії;
- оптова ціна закупки;
- платіж за перетоки електроенергії;
- платіж НЕК “Укренерго” за диспетчерське управління та використання магістральних і міждержавних мереж;
- платіж ДП “Енергоринок”;
- відрахування на розвиток не традиційних джерел електроенергії;
- коригування платежів постачальників електроенергії;
- оптова ринкова ціна;
- платіж постачальника електроенергії.

Технологія проведення розрахунку визначеної схеми передбачає реалізацію наступних етапів: внесення необхідних коригувань у вхідні дані; визначення режиму розрахунку (автоматичного або поетапного з проміжним контролем) та наступне його проведення; остаточний аналіз проведення розрахунку і отримання вихідних результатів.

Внесення коригувань у вхідні дані передбачає фіксацію зміни первинного значення параметра та відтворення джерела нових даних – дані за інший період з бази або апріорно визначені дані. На поточну розрахункову дату може бути створено (завантажено) декілька варіантів вхідних даних з метою проведення розрахунків за варіантами. Проте як основний на поточну розрахункову дату існувати буде тільки один з них.

Виходячі з того, що ієрархічна будова схеми розрахунку дозволяє його поділ на незалежні частини, які логічно відокремлені одна від одної, застосування поетапного режиму означає проведення розрахунку з можливістю проміжного контролю як поточних результатів розрахунків так і даних про стан

виконання окремих частин схеми розрахунків. Стан виконання розрахунків фіксується в спеціальному журналі, в якому відтворюється наступна інформація: поточний номер повідомлення; час виникнення; параметр та об'єкт розрахунку; одиниця дискретності часу; текст повідомлення.

В тексті повідомлення в спеціальному форматі фіксується причина невиконання розрахунку параметра або стан успішності проведення визначеного розрахунку. Причинами можуть бути: не має вихідних даних; не має розрахункових даних; дані не знайдено; відсутні результати; помилка при виконанні процедури бази даних.

Структура повідомлення про невиконання розрахунку включає: причину невиконання; джерело – параметр, при обчисленні або зчитуванні якого виникла помилка; місце виникнення помилки – номер твердження алгоритма правила обчислення, формула обчислення та операнд формули.

Наприклад, при розрахунку параметра обчислення “Потужність робоча фактична” для об'єкта “Блок №5 ЛуТЕС” виникла помилка, пов'язана з відсутністю на момент проведення обчислення даних про розрахунковий параметр “Ознака порушення- Блок №5 ЛуТЕС”. Системою буде сформовано два повідомлення – для причини та наслідка цієї помилки:

1. «Не має вихідних даних->Ознака порушення- Блок №5 ЛуТЕС

Твердження:1 Формула: $O_{Фбр} = \Delta_{Фбр} - \Delta_{Дбр}$ Операнд:1»;

2. «Не має розрахункових даних->Потужність робоча фактична- Блок №5 ЛуТЕС

Твердження:1 Величина розрахунку:Нбр».

В разі успішного виконання розрахунку окремого обчислення із схеми системою буде сформовано повідомлення за кожним параметром об'єктів, які відповідають вимогам поточного розрахунку.

Задачі підсистеми «Формування вихідних даних». Підсистема «Формування вихідних даних» призначена для формування в електронному і друкованому вигляді стандартних вихідних форм документів про вхідні дані і

результати розрахунків платежів суб'єктів Енергоринку (ДОДАТОК Д). Для забезпечення цієї головної мети підсистема вирішує наступні задачі:

- створення і редагування форм подання інформації,
- формування вихідних документів.

Механізм редагування форм подання інформації призначений для роботи з шаблонами Excel документів з метою формування комплексних звітів для програмного додатка Excel, використовуючи базу даних.

Функціями цієї задачі є: створення книги Excel документу; створення аркушів; заповнення і редагування аркушів.

Створення книги передбачає автоматичне створення першого аркушу. До створеної книги прив'язується файл шаблону документу. Опрацювання книги та аркушів підтримується функціями створення, збереження, видалення, очищення.

Функція заповнення і редагування аркушів передбачає механізм утворення і наповнення даними комірок шаблону документу. Цей механізм визначає властивості обраної для створення в шаблоні комірки. Такими властивостями опису комірки є: назва атрибуту інформаційного об'єкта бази даних, з якого будуть обиратися дані при формуванні документу; тип поля, який визначає спосіб інтерпретування значення комірки, такі як поле тексту, поле даних, поле умови пошуку даних, поле впорядкування даних, поле групування даних; метод виводу зведених значень групи даних – підсумовування загалом і за групою даних; номер комірки, що визначає місце знаходження її на аркуші шаблону документа.

Задача формування вихідних документів реалізує механізм інтерпретування опису шаблону документу та підготовки запиту до бази даних для подальшого введення результатів обробки запиту до шаблону документа. Опис шаблону складається з визначення таких ознак форми документу: призначення документа; файл форми документа; елемент форми документа; елемент поля документа.

Призначення документа визначає певний напрямок звітності про результати розрахунків платежів за ознаками належності до ОРЕ.

Файл форми подається, як окремий інформаційний об'єкт, до якого будуть внесені дані, отримані в результаті обробки запиту до бази даних про результати розрахунків платежів та інше.

Елементи форми документа визначають типові поля, які дозволять здійснити необхідні дії зв'язування елементів даних з комірками документа; формування умов пошуку даних; впорядкування строкових даних документа та групування результатів за встановленими ознаками.

В разі формування в комірці зведених даних або виведення маскованих значень за допомогою функціональної обробки певної сукупності даних, використовуються елементи поля документа.

Запит до бази даних будується на підставі визначених значень елементів форми документа та переліку інформаційних об'єктів АСРП, які подані в наступних структурах даних: класифікатор таблиць, представлень, з яких будуть считуватися необхідні дані для формування звітних документів; класифікатор колонок таблиць, представлень; класифікатор реляційних зв'язків таблиць, представлень.

Сформований документ буде відтворено в середовищі програмного додатка Excel для подальшого друку, збереження або внесення додаткових змін за необхідністю.

Задачі підсистеми «Аналізу і прогнозів». Підсистема «Аналізу і прогнозів» передбачає проведення прогнозних розрахунків за визначеними алгоритмами, формування оперативних даних про проведені розрахунки за різними варіантами як вхідних так і проміжних даних.

Функціонально є розширенням підсистеми «Розрахунки» за рахунок можливості внесення змін у поточні дані на всіх стадіях їх існування. Схеми розрахунків за якими проводяться обчислення визначаються підсистемою «Налагодження системи» і допускається їх модифікування з метою проведення аналізу як самих алгоритмів, так і їх використання для інших суб'єктів розрахунку, непередбачених основною схемою розрахунків.

Контроль результатів здійснюється, як за допомогою журналу проведення розрахунків, так і в наслідок візуального аналізу отриманих значень параметрів. Створені за допомогою підсистеми «Формування вихідних даних» форми звітних документів можуть бути застосовані для відтворення отриманих результатів. Перелік вихідних форм документів наведено в ДОДАТКУ Д.

Вхідні та вихідні дані. Вхідні та вихідні дані АСРП зберігаються в базі даних та складаються з таких основних інформаційних блоків: блок даних про об'єкти АСРП; блок даних про параметри об'єктів АСРП; блок даних про алгоритми розрахунків; блок даних про завдання та результати розрахунків.

Блоки даних про об'єкти та параметри об'єктів є блоками спільного використання з іншими інформаційними системами ДП «Енергоринок».

Блок даних про об'єкти АСРП. Цей блок є вхідними та вихідними даними задачі «Ведення загальносистемних класифікаторів» підсистеми «Налагодження системи».

Блок даних про завдання та результати розрахунків призначений для опису дій, що виконує оператор 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.

Цей блок є вихідними даними підсистеми «Розрахунків» і «Аналізу та прогнозів» та вхідними для підсистеми «Формування вихідних даних».

АСРП є системою колективного користування і включає сукупність організаційних, технологічних, програмних і технічних засобів, що дозволяють виконувати покладені на неї функції в автоматизованому режимі відповідно до прийнятого регламенту.

7.1.2 Програмне забезпечення автоматизованої системи розрахунків платежів

1. Програмний комплекс АСРП складається з таких частин:

- клієнтське програмне забезпечення;
- програмне забезпечення сервера бази даних системи.

Клієнтське програмне забезпечення призначене для відтворення в інтерфейсній частині АСРП особливостей відображення технологічного процесу проведення розрахунків, а також послідовностей тих дій, що визначають процедури реалізації задач функціональних підсистем АСРП по наданню інформації користувачеві..

Функціональне програмне забезпечення сервера бази даних АСРП призначене для відтворення у функціональній частині АСРП методології підготовки і проведення технологічного процесу розрахунку платежів, а також для підтримки виконання задач функціональних підсистем АСРП по обробці і збереженню інформації. Воно реалізоване як комплекс пакетів внутрішніх процедур та інформаційних об'єктів сервера бази даних у середовищі СУБД.

2. *Умови застосування.* Програмний комплекс АСРП є прикладним програмним забезпеченням для роботи в операційній системі WINDOWS з підключенням до системи управління базою даних СУБД ORACLE. Вибір операційної системи сервера бази даних визначається застосованими технічними засобами і незалежить від програмного комплексу АСРП.

Основу технічних засобів АСРП складають персональні ЕОМ робочих місць користувачів та ЕОМ сервера бази даних. Робочі місця користувачів АСРП функціонують на Intel-сумісних апаратних платформах. Їх технічні параметри визначаються вимогами нормального функціонування встановлених на них засобів програмного забезпечення спеціалізованого інструментального програмного комплексу.

Засобами створення та відлагодження модулів програмного комплексу АСРП є власні засоби СУБД ORACLE.

АСРП розроблена як інформаційна система типу «Клієнт-сервер» для взаємодії з СУБД. Процес розрахунку здійснюється засобами внутрішніх процедур СУБД. При цьому в залежності від визначеного Замовником варіанта використання цей процес виконується або на локальній станції з наступним

занесенням в базу даних результатів розрахунків або безпосередньо на виділеному сервері єдиної бази даних.

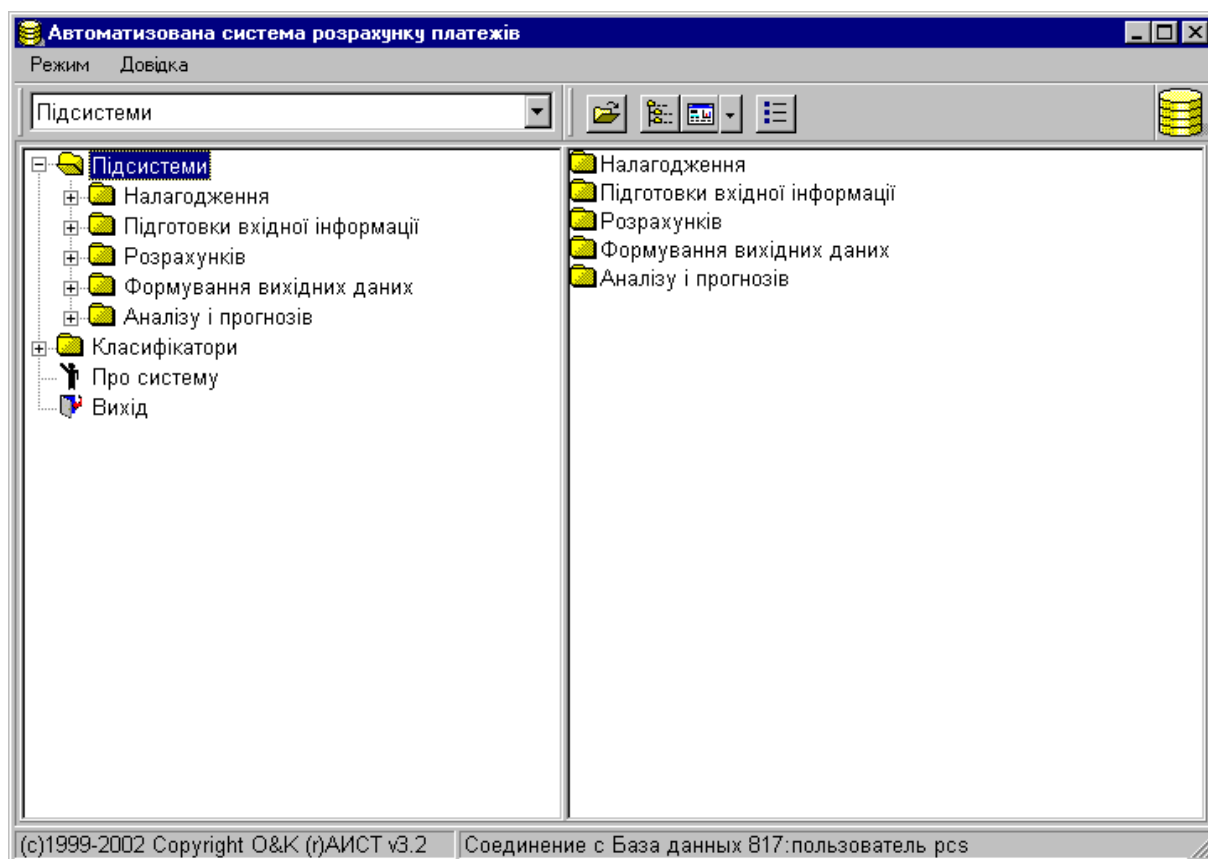


Рис.7.2 Вікно задач функціональних підсистем АСРП

7.1.3 Приклад розрахунків обсягів купівлі-продажу електроенергії на оптовому ринку

Представлені нижче результати розрахунків і їх аналізу сформовані за допомогою даних наведених на сайті ДП «Енергоринок», на якому і була введена в промислову експлуатацію АСРП. Документ, що підтверджує впровадження результатів дисертаційної роботи представлений в Додатку

1. Аналіз цін, що склалися в ОРЕ з 01 по 10.03.2017 за даними сайту ДП «Енергоринок» [136]. За період з 01 по 10.03.2017 середня ціна продажу ЕЕ в ОРЕ виробниками проти попереднього періоду (з 21 по 28.02.2017) збільшилась на 3,86%. Це обумовлено збільшенням середньої ціни продажу ЕЕ в ОРЕ ГК ТЕС

(через збільшення регулюючих коефіцієнтів, які використовуються для визначення цін за робочу потужність та маневреність).

Середня ціна купівлі ЕЕ в ОРЕ за вказаний період для постачальників збільшилась проти попереднього періоду на 5,23%. При цьому для постачальників за регульованим тарифом середня ціна купівлі ЕЕ збільшилась на 6,07%, а для постачальників за нерегульованим тарифом середня ціна купівлі ЕЕ зменшилась на 2,51%.

Збільшення середньої ціни купівлі ЕЕ в ОРЕ для постачальників за регульованим тарифом обумовлено збільшенням середньої ціни продажу ЕЕ в ОРЕ виробниками.

Зменшення середньої ціни купівлі ЕЕ в ОРЕ для постачальників за нерегульованим тарифом обумовлено зменшенням обсягу дотаційних сертифікатів для компенсації втрат від здійснення постачання ЕЕ за регульованим тарифом з 4238,87 млн.грн. в лютому 2017 року до 3420,85 млн.грн. в березні 2017 року (відповідно до постанови НКРЕКП від 27.02.2017 №227).

Різницю між ціною продажу та ціною купівлі ЕЕ складає націнка, яка включає витрати ДП “НЕК “УКРЕНЕРГО” на диспетчеризацію та передачу ЕЕ магістральними та міждержавними мережами, акцизний податок, витрати на інфраструктуру ДП “Енергоринок”, а також оплату витрат ЕЕ в магістральних та міждержавних мережах.

Таблиця 7.1 Динаміка та структура обсягів електроенергії, що відпущена виробниками в ОРЕ

Найменування показника	Період поставки			
	з 01.03.2017 по 10.03.2017		Наростаючим підсумком з 01.03.2017	
	МВт.г	%	МВт.г	%
Обсяг електроенергії, що відпущена в ОРЕ	3 943 226	100,00	3 943 226	100,00
В тому числі:				

ДП "НАЕК "Енергоатом"	2 431 988	61.68	2 431 988	61.68
ГК ТЕС	708 683	17.97	708 683	17.97
ГЕС, крім ГЕС, що працюють за "зеленим тарифом"	391 558	9.93	391 558	9.93
Виробники, що працюють за "зеленим тарифом"	75 438	1.91	75 438	1.91
В тому числі:				
<i>ГЕС</i>	<i>13 457</i>	<i>0.34</i>	<i>13 457</i>	<i>0.34</i>
<i>ВЕС</i>	<i>39 462</i>	<i>1</i>	<i>39 462</i>	<i>1</i>
<i>СЕС</i>	<i>17 303</i>	<i>0.44</i>	<i>17 303</i>	<i>0.44</i>
<i>Виробники е/е з біомаси</i>	<i>5 217</i>	<i>0.13</i>	<i>5 217</i>	<i>0.13</i>
ТЕЦ та інші	335 558	8.51	335 558	8.51

Таблиця 7.2 Динаміка та структура обсягів електроенергії, що куплена постачальниками з ОРЕ

Найменування показника	Період купівлі			
	з 01.03.2017 по 10.03.2017		Наростаючим підсумком з 01.03.2017	
	МВт.г	%	МВт.г	%
Обсяг електроенергії, що куплена в ОРЕ	3 684 957	100,00	3 684 957	100,00
В тому числі:				
Постачальники електроенергії за регульованим тарифом	3 398 067	92.21	3 398 067	92.21
Постачальники електроенергії за нерегульованим	286 891	7.79	286 891	7.79

тарифом				
---------	--	--	--	--

Таблиця 7.3 Динаміка цін продажу електроенергії в ОРЕ виробниками

Найменування показника	Період поставки	
	з 01.03.2017 по 10.03.2017	Наростаючим підсумком з 01.03.2017
	грн./МВт.г	грн./МВт.г
Середня ціна продажу електроенергії в ОРЕ виробниками	955.16	955.16
В тому числі:		
ДП "НАЕК "Енергоатом"	468.47	468.47
ГК ТЕС	2094.69	2094.69
ГЕС, крім ГЕС, що працюють за "зеленим тарифом"	540.83	540.83
Виробники, що працюють за "зеленим тарифом"	4140.7	4140.7
В тому числі:		
<i>ГЕС</i>	<i>3347.31</i>	<i>3347.31</i>
<i>ВЕС</i>	<i>3107.64</i>	<i>3107.64</i>
<i>СЕС</i>	<i>7334.01</i>	<i>7334.01</i>
<i>Виробники e/e з біомаси</i>	<i>3410.1</i>	<i>3410.1</i>
ТЕЦ та інші	1843.19	1843.19

Таблиця 7.4 Динаміка цін кіпівлі електроенергії постачальниками з ОРЕ

Найменування показника	Період купівлі	
	з 01.03.2017 по 10.03.2017	Наростаючим підсумком з 01.03.2017
	грн./МВт.г	грн./МВт.г
Середня ціна купівлі електроенергії з ОРЕ	1059.94	1059.94

постачальниками		
В тому числі:		
Постачальники електроенергії за регульованим тарифом	1039.73	1039.73
Постачальники електроенергії за нерегульованим тарифом	1299.26	1299.26

Таблиця 7.5 Структура за обсягом та вартістю ЕЕ, що була куплена ДП "Енергоринок" у виробників електричної енергії та продана енергопостачальникам у 2016 році

Первинні енергоносії	Частка в обсягах ЕЕ	Частка у вартості ЕЕ
Атомні електростанції (АЕС)	53,74%	29,32%
Генеруючі компанії теплових електростанцій (ГК ТЕС)	31,78%	45,96%
Гідроелектростанції (ГЕС) (крім малих)	6,21%	5,23%
Теплоелектроцентраль (ТЕЦ)	7,01%	12,51%
Гідроелектростанції (ГЕС) (малі)	0,13%	0,56%
Вітряні електростанції (ВЕС)	0,66%	2,54%
Сонячна енергія	0,35%	3,38%
Біомаса	0,06%	0,24%
Інші	0,06%	0,26%
Всього	100,00%	100,00%

7.2 Задача прогнозування показників функціонування енергоринку

7.2.1 Формулювання задачі

Реалізація основної функції управління СОУ ОРЕ на різних рівнях, яка пов'язана із автоматизованим первинним збором, накопиченням та попередньою обробкою вихідних даних та проведенням за їх допомогою розрахунків фактичних показників функціонування ринку поточної доби – обсягів виробництва та споживання ЕЕ, цін купівлі/продажу ЕЕ та ін., передбачає вирішення задач погодинного планування цих показників на наступну добу з метою визначення взаємопов'язаних управлінських рішень, спрямованих на оптимізацію режимів вироблення ЕЕ та її постачання споживачам за мінімальними цінами. Тому, до складу КСОУ слід долучати різнопланові засоби комп'ютерного моделювання для рішення задач прогнозування показників функціонування ринку, які використовуються при плануванні поставок ЕЕ верхнім рівнем СОУ, виробниками і постачальниками ЕЕ.

У розділах 4,5 роботи були отримані математичні моделі процесів в СОУ ОРЕ, призначені для рішення задач вдосконалення механізмів функціонування ринку. В якості вихідних даних в моделюючих алгоритмах реалізації цих моделей використовуються прогнозні значення показників функціонування ринку - обсягів виробництва і споживання ЕЕ, граничної ціни системи, заявлених цін на продаж та купівлю ЕЕ її виробниками та постачальниками, цін на енергоносії та ін.

Рішення задач прогнозування електроспоживання і активного електричного навантаження проводилося СОУ в енергетиці з часів створення енергосистем, як об'єднань електростанцій для технологічно-взаємозалежної роботи. Розробці математичних моделей, алгоритмів їх реалізації і створення комп'ютерних засобів вирішення задач оперативного (години - доба), короткострокового (доба - тиждень), середньострокового (місяць, від будь-якої довільної дати до кінця поточного місяця) та довгострокового (на майбутній місяць, квартал, рік) присвячено досить велику кількість робіт. Їх детальний огляд і аналіз можливостей застосування проведено в літературі [208-212].

Вибір оптимального методу для рішення конкретної практичної задачі являє собою окрему і досить непросту задачу. До цього часу у багатьох енергосистемах світу, при створенні прогностичних моделей, використовуються статистичні методи аналізу: динамічні (часові) ряди, тобто впорядковані послідовності даних спостережень за процесом, що змінюється в часі.

Прогнозування електричного навантаження в ОЕЕС України на основі даних прогнозу електроспоживання здійснюється НЕК «Укренерго» з використанням методики, реалізованої в програмному комплексі «Енергостат» [213, 214].

В умовах ринку у СОУ енергоринком з'явилися і нові завдання управління, пов'язані з плануванням поставок ЕЕ. У виробників ЕЕ - планування виробництва і складання заявок на продаж ЕЕ і потужності. У постачальників ЕЕ - планування управління електроспоживанням і складання заявок на купівлю ЕЕ. У АТС: планування поставок ЕЕ; визначення погодинних прогностичних цін на ЕЕ - оптових цін купівлі/продажу ЕЕ; визначення цін за робочу потужність, маневреність, пуск блоків ТЕС і інших цінових показників (див. п. 4.1). У Регулятора ринку формування та затвердження методик розрахунку цінових показників енергоринку, прогностичної оптової ціни покупки ЕЕ у виробників.

Практична реалізація цих нових завдань організаційного управління, в свою чергу, призводить до необхідності вирішення ряду нових самостійних задач, в якості основних вихідних даних для яких використовуються прогностичні значення планованих показників функціонування енергоринку.

Процес підготовки прийняття рішень з планування поставок ЕЕ регламентований в нормативних документах [67,120]. Схематично це представлено на рис. 7.3.



Рис. 7.3. Схема процесу прийняття рішень з планування поставок ЕЕ

Планування поставок ЕЕ має здійснюватися на основі застосування погодинних даних прогнозу електроспоживання, активного електричного навантаження генеруючих блоків, граничних погодинних цін за вироблену ЕЕ та цін на надання ряду системних послуг, а також на розрахункових даних про оптимальний ВСВГУ, отриманих на основі їх використання.

Дані прогнозу про зміну значень зазначених показників, на заданому інтервалі планування, призначені для подальшого вирішення задач планування поставок ЕЕ: планування добових балансів виробництва і споживання ЕЕ; планування погодинних обсягів вироблення ЕЕ; планування погодинного розподілу активного навантаження між блоками електростанцій; розрахунку планових цінових показників функціонування ОРЕ - оптових цін

купівлі/продажу ЕЕ, цін за робочу потужність, пуск, маневреність блоків електростанцій.

Крім перерахованих вище, до переліку вирішуваних задач організаційного управління можуть входити і такі, як планування фінансового (добового, погодинного) балансу обсягів купівлі/продажу ЕЕ; прогнозування середньої добової оптової ціни купівлі - продажу ЕЕ, граничної ринкової ціни та інших показників; визначення прогнозованої оптової ціни покупки ЕЕ на наступний місяць, що затверджується Регулятором ринку.

Як вже зазначалося вище, відомо достатню кількість статистичних методів прогнозування, що знайшли широке застосування для аналізу часових рядів [215,216]. Їх практична реалізація для зменшення похибки розрахунків вимагає збору, зберігання і подальшого використання значних обсягів вихідних ретроспективних даних погодинного фактичного виробництва ЕЕ. А для визначення і виправлення помилок, підтримки певного рівня коректності обліку інших факторів, що впливають на результат прогнозу, не меншого обсягу додаткових даних.

Аналіз літературних джерел показує, що і в даний час питанням підвищення якості і достовірності прогнозу показників функціонування енергоринку, наприклад електроспоживання, на основі застосування сучасних методів математичного моделювання, нових інформаційних технологій також приділяється багато уваги. Це пояснюється тим, що від точності і достовірності прогнозу електроспоживання, активного електричного навантаження та інших показників функціонування енергоринку істотно залежить рішення задач оптимального розподілу навантаження між генеруючими потужностями, ефективність управління режимами ОЕЕС і управління електроспоживанням. У свою чергу від точності рішення цих задач, що особливо важливо в ринкових умовах, залежить розрахунок оптової ціни покупки ЕЕ у генеруючих компаній а, отже, і оптова ціна її продажу постачальникам на ОРЕ.

Перевищення планових значень активного навантаження над фактичними значеннями, призводить до додаткових платежів за маневреність генеруючих

блоків і, відповідно, недовиробництва ЕЕ. Заниження планових значень призводить до додаткових платежів за пуски резервних блоків електростанцій, отже, до перевиробництва ЕЕ. Такі коливання, в свою чергу, призводять до збільшення виробничих витрат генеруючих компаній і системних витрат на диспетчеризацію на одиницю виробленої продукції та погіршення показників енергоефективності при генеруванні ЕЕ.

При реалізації існуючої організації складання прогнозу електроспоживання його основний складової повинен бути заявлений постачальниками графік електроспоживання на кожен розрахунковий період майбутньої доби, а також сумарний обсяг добового споживання. Так як, по суті, являє собою замовлення на виробництво ЕЕ, виконання якого повинно бути забезпечено.

Однак практика показує, що заявлених постачальниками даних про добовий обсяг електроспоживання та його погодинний графік, недостатньо для складання прогнозу електричного навантаження, так як часто вони істотно відрізняються від даних подальшого фактичного споживання. Мабуть, це пов'язано з тим, що зазначені суб'єкти енергоринку використовують для цілей прогнозування моделі та методи, що не відповідають сучасним вимогам до якості і достовірності. Крім того необхідно враховувати, що можливості ОЕЕС в плані покриття заявленого навантаження, як правило, мають обмеження, в зв'язку з чим доводиться вирішувати задачі управління електроспоживанням.

У цих умовах стає принципово важливим, щоб виробники і постачальники ЕЕ, АТС використовували одну і ту ж комп'ютерну модель прогнозування показників функціонування енергоринку. В іншому випадку виявляється вельми скрутним отримати прогноз активного навантаження, а, отже, і виконати розрахунок її планового графіка і інші прогнозні розрахунки з прийнятною для практичного використання точністю [211].

З цієї причини також триває пошук нових способів прогнозування показників функціонування енергоринку. Про що свідчить велика кількість публікацій в науковій літературі. В роботі [211], на основі проведеного аналізу відомих методів прогнозування електричного навантаження в енергосистемі

було обґрунтовано необхідність побудови комплексної системи прогнозування на всіх рівнях СОУ, шляхом застосування для цих цілей сучасного методичного забезпечення.

7.2.2 Вибір методичних засобів побудови прогностичних моделей

На вибір відповідного методу прогнозування, як відомо [215, 216], впливають такі основні фактори: територія прогнозування; період попередження прогнозування; наявність ретроспективних даних і їх похибка; необхідна точність прогнозу; поведінка часового ряду спостережуваного процесу.

Відмітна особливість процесів виробництва і споживання ЕЕ полягає в тому, що вони визначаються досить складним характером взаємодії сукупності взаємозалежних стаціонарних, нестаціонарних і неоднорідних випадкових величин [208-210]. Нестационарність цих процесів обумовлена залежністю імовірнісних характеристик випадкових процесів (математичного очікування, дисперсії і т.д.) від часу. Неоднорідність процесів визначається тим, що в різні часові інтервали спостереження (сезони року, «регулярні» (робочі) і «нерегулярні» (вихідні та святкові) дні) одного і того ж процесу його імовірнісні характеристики можуть приймати різні значення.

Тому вибір того чи іншого методу для вирішення конкретної практичної задачі являє собою окрему і досить непросту задачу. До теперішнього часу в багатьох енергосистемах при створенні прогностичних моделей використовуються статистичні методи аналізу часових рядів [208-210, 215, 216]. Крім них знаходять застосування й інші методи.

У роботах [217, 218] проведено порівняльний аналіз застосування статистичних, детермінованих, комбінованих імовірнісно-детермінованих моделей і методів моделювання процесів в ОТС, що відрізняються застосовуваним математичним апаратом. Аналіз результатів цих робіт і ряду інших літературних джерел (наприклад, [219]), дозволяє зробити висновок про те, що універсального методу, здатного вирішити проблему прогнозування

характеристик випадкових динамічних процесів різної природи не існує. Так як кожен, з використовуваних для побудови прогностичних моделей метод, має обмежені можливості застосування.

В [219], за результатами порівняльного дослідження можливостей застосування відомих методів прогнозування, при побудови прогностичної моделі рішення задачі спільного прогнозу співвідношення цін і обсягів ЕЕ і аналізу похибки результатів розрахунків, в умовах нерівномірного добового електроспоживання, для суб'єкта ОРЕ зроблений висновок про те, що затребуваними для практичного застосування можна вважати моделі прогнозування, які забезпечують прогнози цін з похибкою до 11%, і для обсягів електроспоживання – до 7,5% для ринку на добу вперед.

Також, на основі аналізу літературних джерел, можна зробити висновок про те, що практично всі великі енергосистеми світу користуються власними моделями і методами для прогнозування активного електричного навантаження та інших показників функціонування ринку ЕЕ, які постійно розвиваються. Це пов'язано з тим, що завдання прогнозування має не тільки режимне, але і досить важливе для конкурентного середовища економічне значення. Велике значення для отримання результатів прогнозування необхідної якості має і врахування особливостей функціонування кожної конкретної енергосистеми, структури її генеруючих потужностей і можливості передавальних систем, а також структури електроспоживання.

В останні роки для вирішення задач прогнозування показників функціонування енергоринку та його суб'єктів знаходять застосування нові методи, що розробляються на основі використання апарату штучних нейронних ШНС для побудови моделей досліджуваних процесів [220, 221]. Вони використовуються для прогнозування електроспоживання на великих промислових підприємствах, поставок ЕЕ в регіональних енергетичних компаніях і в енергосистемах в цілому, цінних показників функціонування енергоринку (наприклад, [222-229]).

У даній роботі, ґрунтуючись на результатах проведеного порівняльного аналізу застосування різних методів прогнозування процесів функціонування ОТС в [217-219], а також на позитивному досвіді практичного використання математичного апарату ШНС для вирішення завдань прогнозування, в роботі обрано апарат ШНС для побудови прогностичних моделей прогнозування показників функціонування енергоринку.

7.2.3 Побудова неформалізованої математичної моделі - штучної нейронної сітки

Розглянемо один з можливих підходів до створення математичних моделей для вирішення задач прогнозування, сформульованих в [119], призначених для рішення задач оперативного планування поставок ЕЕ в ОЕС України, показників і параметрів механізмів функціонування енергоринку, з урахуванням перерахованих вище вимог до таких моделей шляхом застосування апарату ШНС [230].

Теоретично апарат ШНС дозволяє вирішувати широкий спектр прикладних задач, в яких прогнозована величина пов'язана нелінійною залежністю з величинами, які спостерігаються - факторами, що визначають її значення з різним ступенем впливу, що має випадковий характер. Формально можна зібрати всю можливу ретроспективну інформацію про зміну в часі на заданому проміжку вхідних даних і подати її на вхід ШНС для подальшого навчання. Але при цьому необхідно враховувати, що є у моделі ШНС і недоліки - зі збільшенням кількості входів ускладнюється і сам процес навчання сітки. При навчанні сітки в систему може потрапити чимало додаткового випадкового «шуму», що призводить до спотворення навчання, а отже, різко падає якість прогнозу.

Тому побудову ШНС необхідно здійснювати в декілька етапів:

- пошук області критеріїв прогнозу з заданою якістю результату;
- визначення топології ШНС;

- рішення задачі оптимального представлення даних (кореляція вхідних даних, розбиття по групах і т.і.), для отримання необхідної якості прогнозу вихідних даних;

- попередня обробка вихідних даних і візуальна інтерпретація результуючих і проміжних даних роботи ШНС;

- вибір оптимального розміру «вікна» набору даних для навчання ШНС.

Для вирішення завдання розробки неформалізованої математичної моделі для прогнозування перерахованих вище величин пропонується використовувати ШНС, що має ряд необхідних властивостей:

- відповідає області застосування - задачі прогнозування;
- передбачає обробку помилки при навчанні;
- забезпечує досягнення прийнятних результатів прогнозування, використовуючи малу кількість прихованих шарів, для виключення стану «перенавчання»;

- забезпечує можливість навчатися, як з учителем, так і без вчителя.

Питання про кількість прихованих шарів - це практично питання про суперпозиції нелінійностей для функціонування ШНС. Доведено [220, 221, 229], що збільшення прихованих шарів та нейронів в них в математичній інтерпретації еквівалентно нарощуванню кількості нейронів в одному прихованому шарі.

Типова ШНС має шар вхідних даних, шар вихідних результатів і принаймі один прихований шар (рис. 7.4) [221].

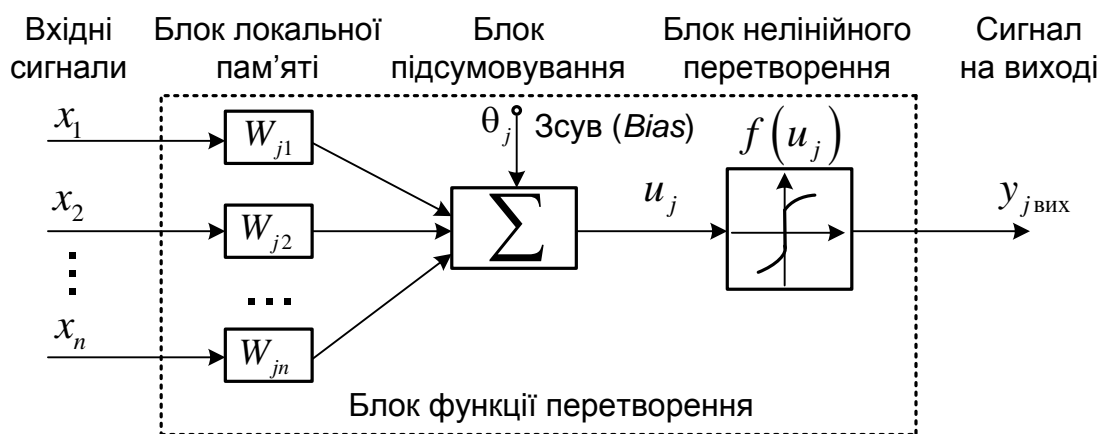


Рис. 7.4. Типова ШНС (x - шар вхідних даних, u - прихований шар, y - шар вихідних даних)

Теоретично, в сітці такого типу, обмежень щодо кількості прихованих шарів не існує, але практично застосовують один або два (рис.7.5).

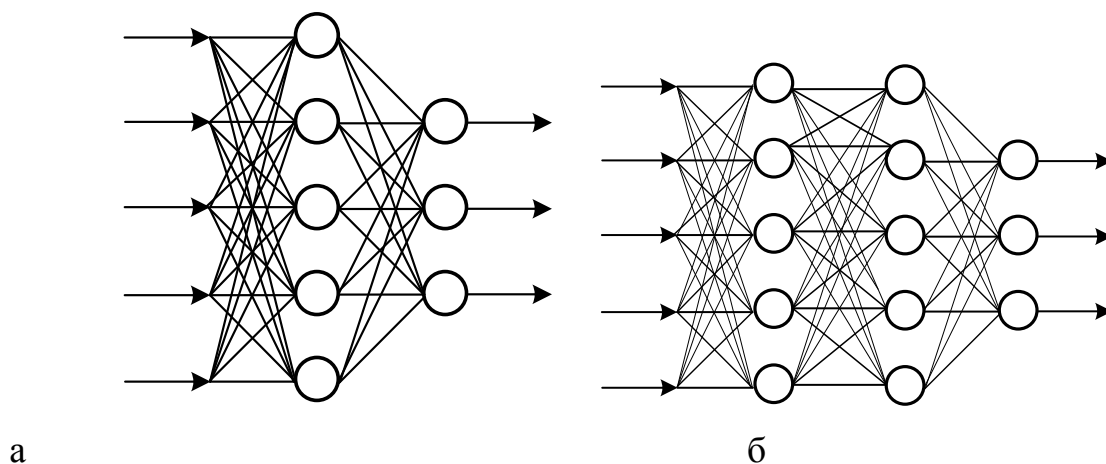


Рис. 7.5. ШНС з одним (а) і двома прихованими шарами (б).

Нейрони організовані в пошарову структуру з прямою передачею сигналу. Кожен нейрон мережі продукує зважену суму (рис. 7.2) своїх входів, пропускає цю величину через передавальну (активаційну) функцію ($Y = f(u_j)$) і видає вихідне значення. Сітка може моделювати функцію практично будь-якої складності, причому число шарів і число нейронів в кожному шарі визначають складність функції. Визначення числа проміжних шарів і числа нейронів в них є важливим при моделюванні сітки і являє собою нетривіальну задачу. Можливі варіанти вибору кількості нейронів в прихованому шарі і ряд інших питань побудови ШНС, детально розглянуті в роботі [230]. На основі застосування методичних засобів, заснованих на використанні ШНС, розроблена комп'ютерна модель для реалізації процесів прогнозування деяких ключових інформативних показників функціонування енергоринку, які включають інтерфейс користувача різного ступеня підготовки і реалізують повний цикл прогнозу зміни цих показників на заданий (короткостроковий) період попередження.

Алгоритмічна організація комп'ютерної моделі рішення задач прогнозування включає:

- використання існуючої в базі знань або формування індивідуальної топології ШНС;

- формування вихідних даних для навчання і тестування ШНС;
- проведення розрахунків
- оцінка і коригування результатів прогнозування.

Для оцінки якості прогнозування обрано показник MAPE (Mean Absolute Percentage Error) - абсолютна величина середньої помилки в відсотках

$$\delta F = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|F_i - P_i|}{F_i} \cdot 100\%, \quad (7.12)$$

де P_i - прогнозоване значення на певному часовому інтервалі; F_i - фактичне значення на цьому ж часовому інтервалі; n - кількість розрахункових періодів часу, на якій складається прогноз.

Такий підхід дозволяє оцінювати усереднену помилку прогнозу, тому що завдяки розкиду помилок відбувається взаємна компенсація неточностей прогнозування кожного окремо взятого значення. Однак для цілей застосування на ОРЕ необхідно враховувати, що, наприклад, заявлена потужність електроспоживання буде прийнята за базу оцінки відхилення від фактичного її отримання, а, відхилення в оцінці значення кожного часового споживання, будуть покарані штрафом з урахуванням відхилення вгору або вниз від заявленого значення. Дані вимоги призводять до необхідності введення іншої оцінки MPE (Mean Percentage Error) для кожного почасового електроспоживання:

$$\delta F_i = \frac{F_i - P_i}{F_i} \cdot 100\%, \quad (7.13)$$

де i - номер години в добі.

7.2.4 Комп'ютерна нейросіткова модель для розрахунку показників ринку

1. Побудова математичної моделі.

Визначення топології ШНС. Ключовим при визначенні топології ШНС є питання про кількість прихованих шарів нейронів - це практично питання про пророкування можливої форми кривої нелінійної залежності прогнозованої величини від часу. Наприклад, для вирішення завдання прогнозу ціни ЕЕ ТЕС в залежності від ціни на вугіль приймемо наступну структуру ШНС (рис.7.6).

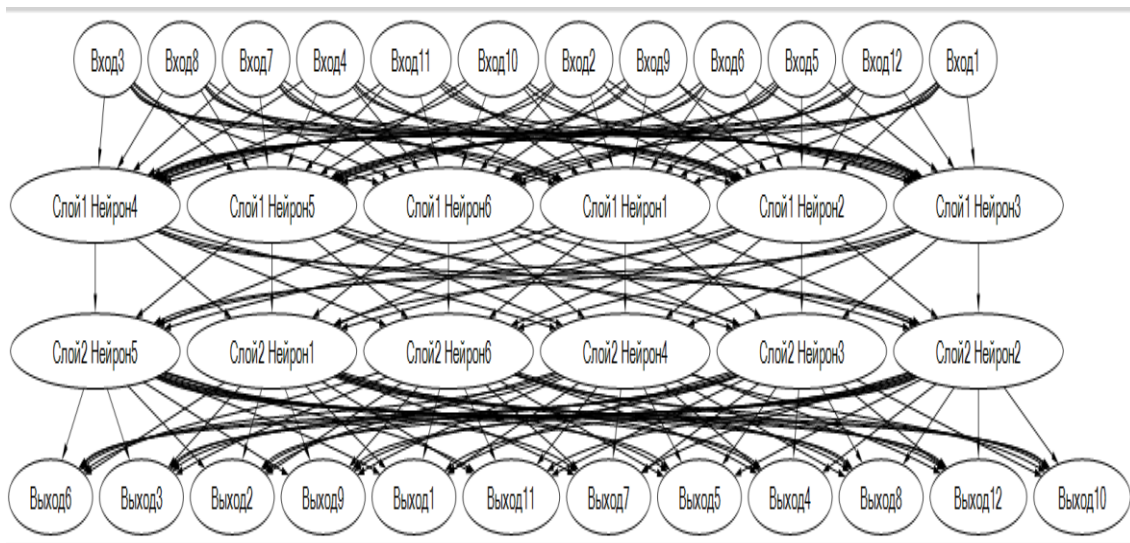


Рис.7.6. ШНС з двома прихованими шарами: у першому шарі і в другому шарі - 6 нейронів.

Вибір передавальної (активаційної) функції. будемо прагнути до досягнення мінімальної помилки прогнозу під час практичної роботи з ШНС. У ШНС, як правило, використовуються декілька видів таких функцій. Функція

Ферми (експоненціальна сигмоїда) - $f(u) = \frac{1}{1 + e^{-2\alpha u}}$, гіперболічний тангенс:

$$f(u) = th \frac{u}{\alpha} = \frac{e^{-\frac{u}{\alpha}} - e^{\frac{u}{\alpha}}}{e^{-\frac{u}{\alpha}} + e^{\frac{u}{\alpha}}}, \text{ де } u - \text{вихід суматора нейрона, } \alpha - \text{параметр, що впливає}$$

на ступінь крутизни функції

Функції такого роду монотонно зростають і мають ненульові похідні в області визначення. Ці властивості забезпечують коректне навчання і функціонування ШНС.

Нормалізація вхідних і вихідних даних. Вхідні і вихідні дані ШНС можуть належати до різних типів даних, вони можуть бути двійковими, цілими або дійсними. Необхідна умова успішного навчання і надалі, функціонування ШНС - однорідність типів даних (щоб всі елементи сигналів належали до одного типу) - ціна на паливо і ціна на ЕЕ. Крім того важливо, щоб діапазони змін елементів вхідних даних не дуже відрізнялися один від одного.

Для кожного елемента вхідних даних визначається його діапазон і виконується лінійне перетворення даного елемента таким чином, щоб в результаті його значення належали загальному діапазону (від 0 до 1).

Навчання ШНС. Алгоритм навчання сітки працює ітераційно, кроки ітерації називаються епохами. На кожній епосі на вхід ШНС по черзі подається множина значень, вибраних для навчання. Значення на виході сітки порівнюються з вихідними значеннями навчальної множини і обчислюється похибка. Значення похибки, а також градієнт поверхні станів використовуються для корекції ваг, і процес повторюється. Після навчання ШНС, прогнозуються дані та звіряються з шаблоном. Потім обчислюється помилка прогнозу, яка визначається за показником MAPE - середня помилка у відсотках.

3. Результати тестування моделі ШНС на прикладі розрахунку цін купівлі ЕЕ у виробників ТЕС, ТЕЦ. В якості вихідних для вирішення сформульованої задачі були використані помісячні дані про динаміку цін на ЕЕ ТЕЦ, ТЕС за 2011-13 рр. (табл. 5.1-5.5).

Вихідні дані з січня по грудень 2011-го року будуть використовуватися на першому етапі навчання ШНС, а дані з січня по грудень 2012, 2013 рр. - для перевірки якості прогнозу.

Вихідні дані з січня по грудень 2011 і 2012 рр. будуть використовуватися на другому етапі навчання ШНС, а дані з січня по грудень 2013 року - для

перевірки якості прогнозу. На етапах, як навчання, так і прогнозу вибирається «вікно» рівне прийнятому розрахунковому періоду часу - одному місяцю року.

Проводимо дві серії експериментальних досліджень: з навчанням тільки по 2011 р. і з навчанням за 2011-2012 рр.

Розглянемо результати прогнозу при навчанні ШНС тільки на даних 2011 року. (рис. 7.7-7.15).

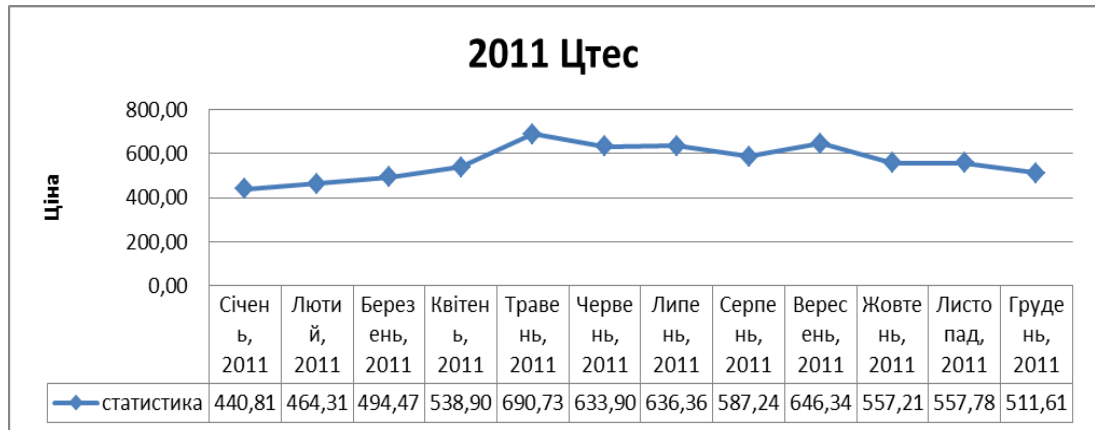


Рис.7.7. Дані (ціна на ЕЕ ТЕС 2011 р.), на яких проводилося навчання ШНС

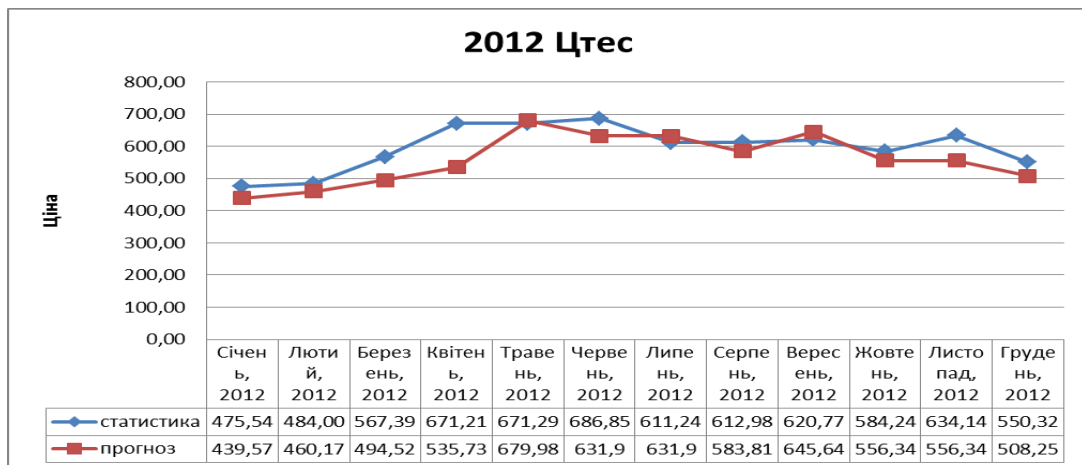


Рис. 7.8. Прогноз і реальні дані цін ТЕС для 2012 р.

(MAPE **7,636965**)

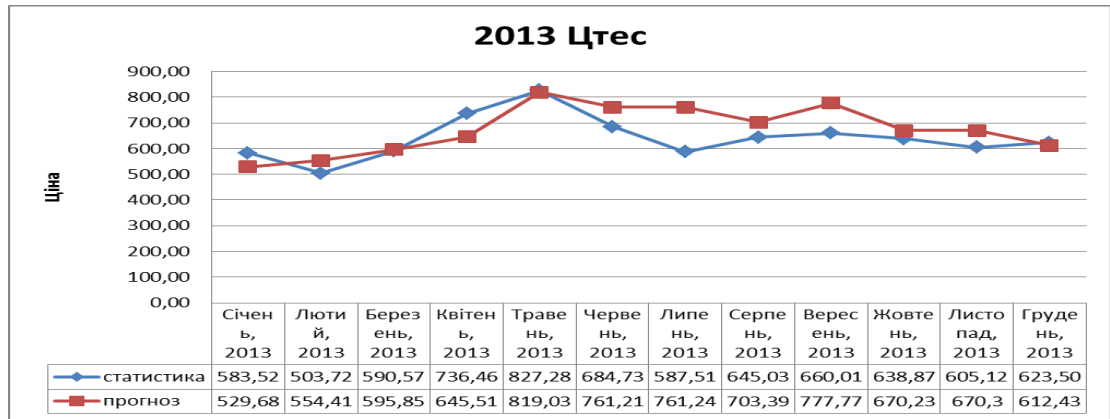


Рис. 7.9. Прогноз і реальні дані цін ТЕС для 2013 р.

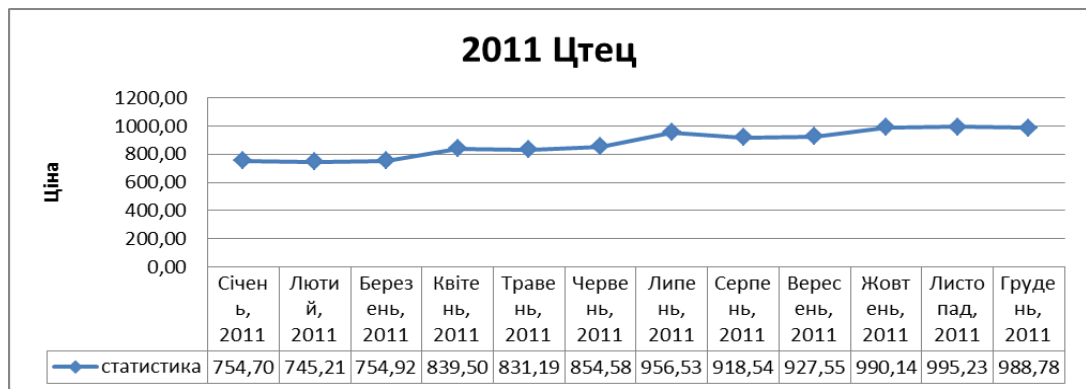
(МАРЕ **9,884421**)

Рис. 7.10. Дані (ціна на ЕЕ ТЕС в 2011 р.), на яких проводилося навчання

ІНС

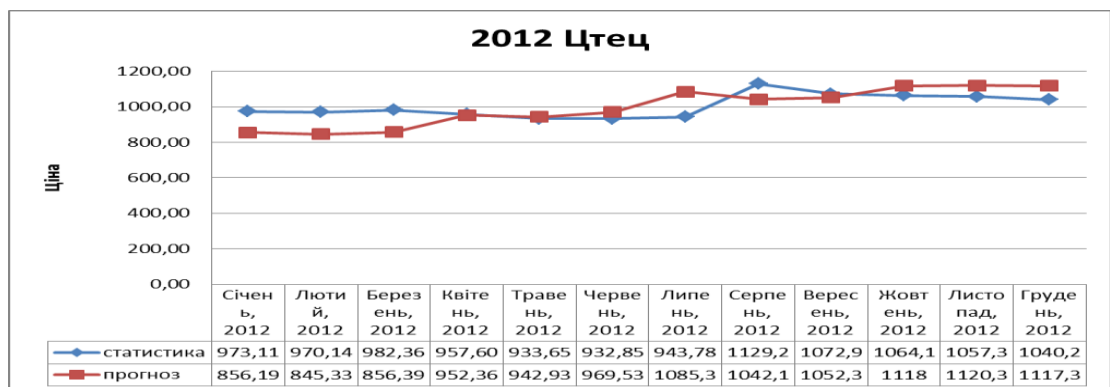


Рис. 7.11 Прогноз і реальні дані цін ТЕЦ для 2012 р.

(МАРЕ **7,186621**)

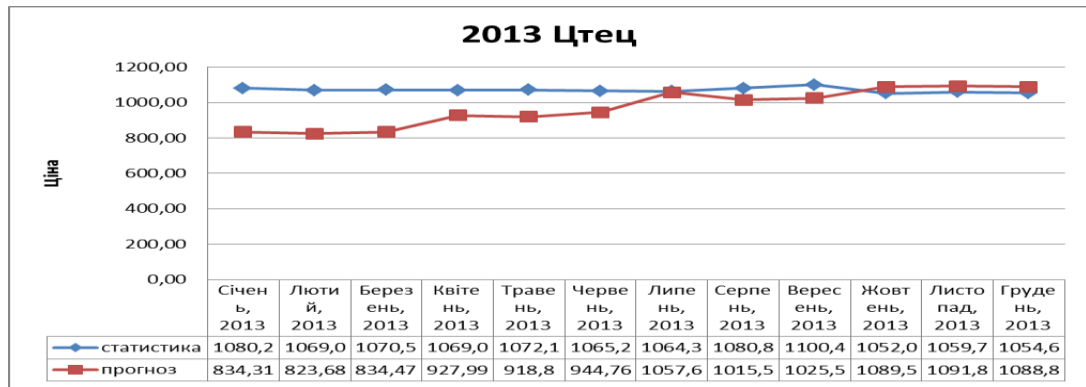


Рис. 7.12 Прогноз і реальні дані цін ТЕЦ для 2013 р.
(MAPE 10,8234)

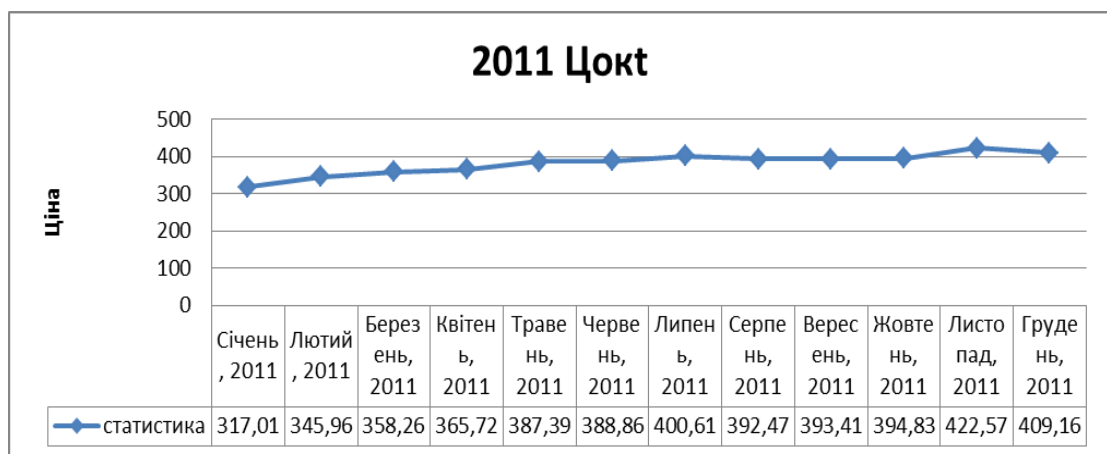


Рис. 7.13 Дані (середня ціна ЕЕ в 2011 р.), на яких проводилося навчання ШНС.

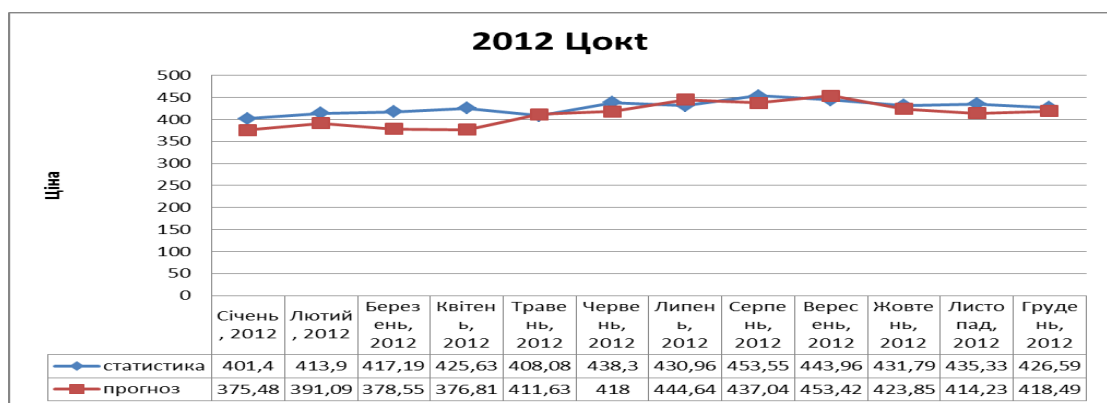


Рис. 7.14 Прогноз і реальні дані середньої ціни на ЕЕ для 2012 р.
(MAPE 4,64434)

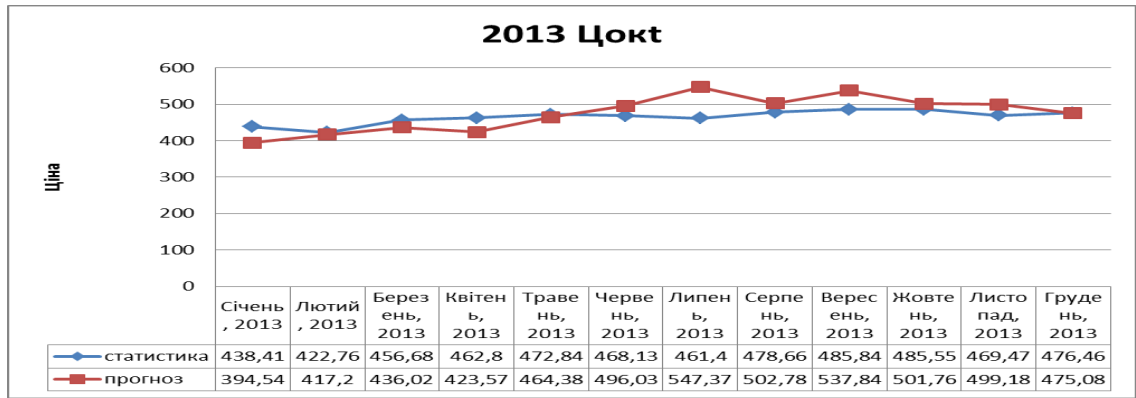


Рис. 7.15 Прогноз і реальні дані цін на ЕЕ для 2013 р.
(MAPE 6,366956)

Розглянемо результати прогнозу при навчанні ШНС на даних 2011-2012 рр. (рис. 7.16-7.19).

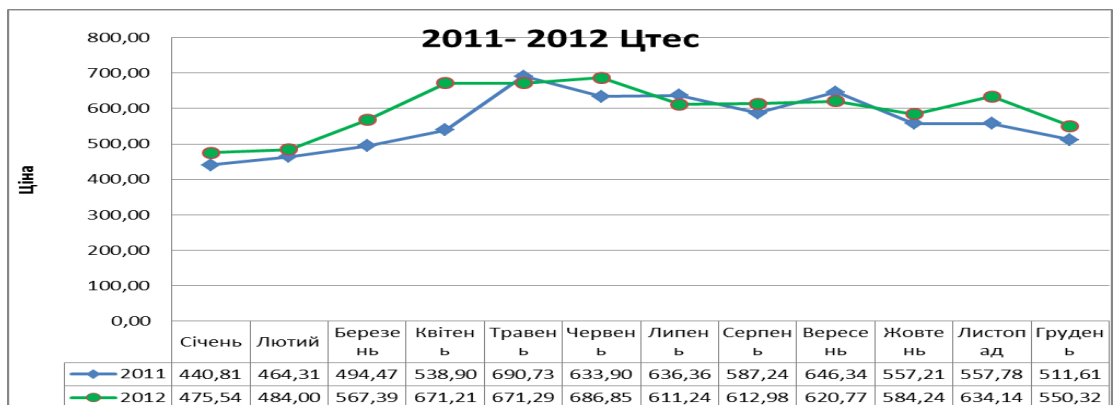


Рис.7.16. Дані (ціна на ЕЕ в 2011-2012 рр.), на яких проводилося навчання ШНС

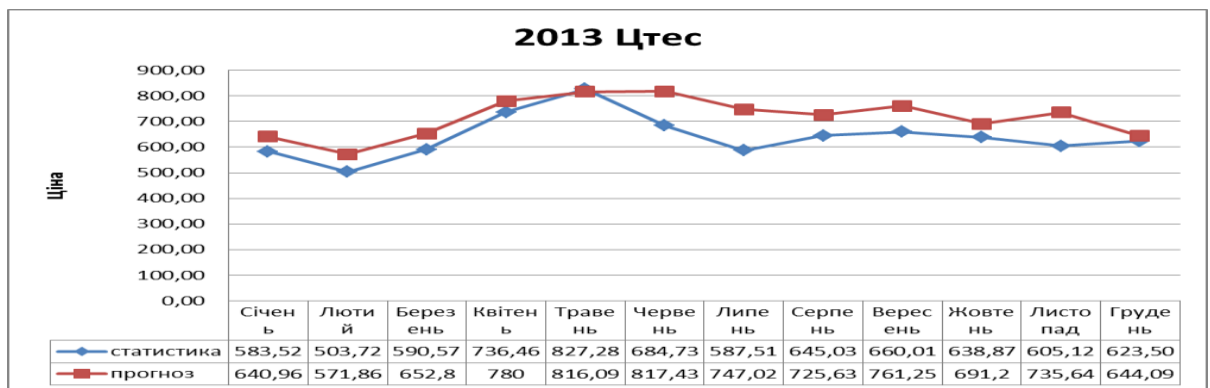


Рис.7.17 Прогноз і реальні дані цін ЕЕ ТЕС для 2013р.
(MAPE 12,38333)

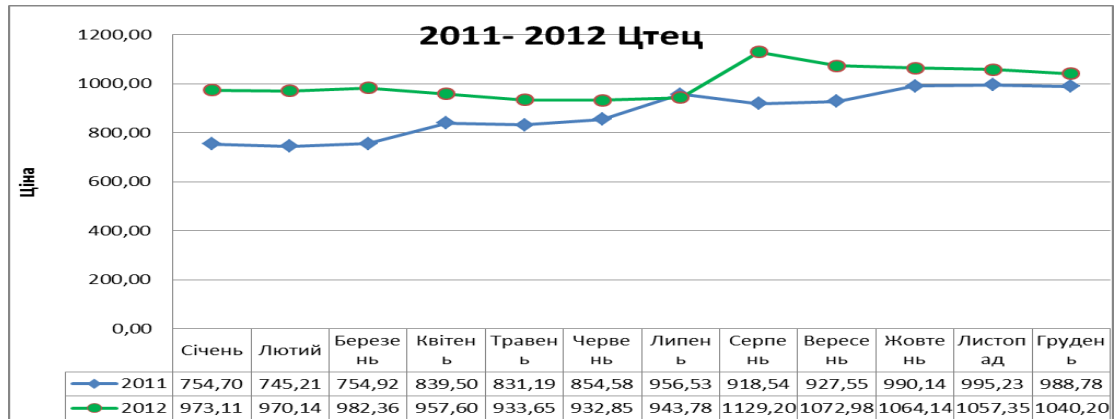


Рис. 7.18. Дані (ціна ЕЕ в 2011-2012 рр.), на яких проводилося навчання ШНС

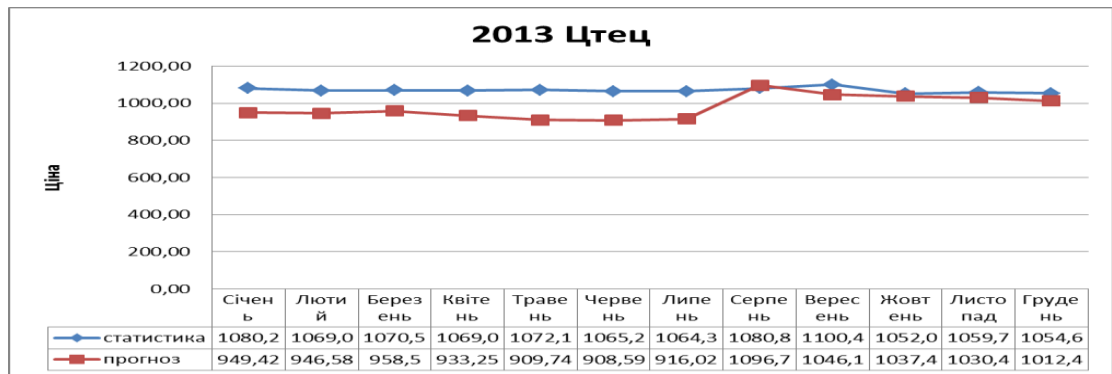


Рис. 7.19 Прогноз і реальні дані цін ЕЕ ТЕЦ для 2013

(MAPE **8,756259**)

7.2.5 Програмне забезпечення комп'ютерної моделі

Розроблено ПЗ для побудови комп'ютерних моделей вирішення завдань прогнозування величин компонентів стану процесів функціонування ОРЕ, шляхом застосування моделей ШНС.

Для вирішення такого роду завдань в ПЗ були реалізовані наступні функції:

1. створення структури ШНС (вибір кількості прихованих шарів, вхідних / вихідних даних);
2. створення / редагування набору вхідних / вихідних даних;
3. вибір активаційної функції для вибраної ШНС;

4. вибір додаткових властивостей ШНС для зменшення похибки по критерію МАРЕ.

5. режим дослідження якості прогнозування (графік зміни похибки після кожної епохи).

Основне робоче вікно ПЗ представлено на рис.

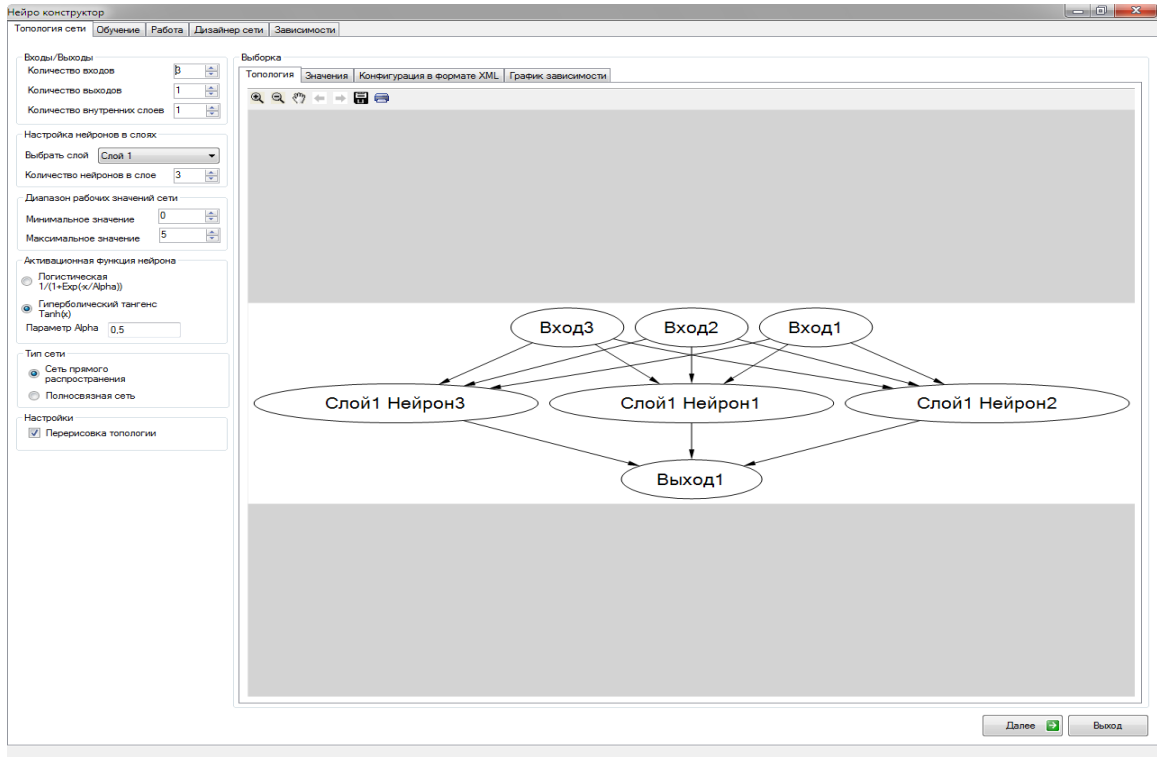


Рис 7.20. Основне вікно з активованою вкладкою вибору топології ШНС

У цьому вікні реалізуються наступні можливості: вибір кількості входів (нейронів); вибір кількості виходів; вибір кількості прихованих шарів; вибір кількості нейронів в прихованих шарах (в кожному індивідуально); вибір активаційної функції із зазначенням параметра крутизни; вибір типу зв'язків між нейронами ШНС; збереження топології (структури) поточної ШНС і друк її графічного представлення.

Для створення базової нейронної сітки використовується відкрита бібліотека Keras мови програмування Python. Дана бібліотека була обрана так як вона є модульною та добре розширюваною системою, а її мінімальна структура представляє необхідний та достатній набір інструментів для вирішення нашої

задачі. Вона містить безліч реалізацій часто вживаних будівельних елементів нейронних сіток, такі як активаційні, передавальні та цільові функції, оптимізатори, шари та інші.

7.3 Дослідження моделі розрахунку прогнозної оптової ціни купівлі ЕЕ

Метою дослідження є визначення ступеня адекватності запропонованої моделі в роботі [146] для розробки короткострокового прогнозу оптової ціни купівлі ЕЕ в залежності від зміни цін на основні енергоносії - газ, вугілля, мазут. Аналізується ступінь впливу складових в загальному балансі формули розрахунку $\ddot{O}^{i\delta\bar{a}}_{i\hat{e}}(t)$

$$\begin{aligned} \ddot{O}^{i\delta\bar{a}}_{i\hat{e}}(t) &= \ddot{O}_{\hat{A}\hat{N}}(t)\hat{E}^{\hat{Y}}_{\hat{A}\hat{N}}(t) + \ddot{O}_{\hat{A}\hat{O}}(t)\hat{E}^{\hat{Y}}_{\hat{A}\hat{O}}(t) + \dot{A}(t), \\ \dot{A}(t) &= \ddot{O}_{\hat{A}\hat{A}\hat{N}}(t)\hat{E}^{\hat{Y}}_{\hat{A}\hat{A}\hat{N}}(t) + \ddot{O}_{\hat{A}\hat{A}\hat{N}}(t)\hat{E}^{\hat{Y}}_{\hat{A}\hat{A}\hat{N}}(t) + \\ &\ddot{O}_{\hat{A}\hat{A}\hat{N}}(t)\hat{E}^{\hat{Y}}_{\hat{A}\hat{Y}\hat{A}}(t) + \ddot{O}_{\hat{N}\hat{A}\hat{N}}(t)\hat{E}^{\hat{Y}}_{\hat{N}\hat{A}\hat{N}}(t), \end{aligned} \quad (7.20)$$

а також динаміка поведінки кожної складової від зміни цін на основні енергоносії і можливі напрямки спрощення отриманої залежності з прийнятним ступенем адекватності одержуваного прогнозу до фактичних значень за критерієм MAPE [147].

Процес формування оптової ціни покупки ЕЕ у виробників на ОРЕ і на його базі оптової ціни її продажу постачальникам на кожну годину розрахункового періоду часу, по суті, є процесом пошуку рівноважних цін, що задовольняють економічні інтереси як виробників, так і постачальників ЕЕ. Початком цього процесу можна вважати визначення Регулятором ринку прогнозної величини оптової ціни покупки ЕЕ у виробників - $\ddot{O}^{i\delta\bar{a}}_{i\hat{e}}(t)$.

Визначення прогнозної величини призначене для подальшого вирішення завдань побудови попереднього ТДГ і диспетчерського графіків активного навантаження в енергосистемі, а також для управління процесом формування генкомпаніями ТЕС цінових заявок блоків електростанцій. $\ddot{O}^{i\delta\bar{a}}_{i\hat{e}}(t)$, яка

встановлюється Регулятором ринку в поточному місяці є прогнозна величина оптової ціни покупки ЕЕ на наступний місяць. Розрахункова формула для визначення цієї величини повинна включати поточні середньозважені ціни виробництва одиниці ЕЕ та потужності і враховувати дані прогнозу динаміки зростання витрат на енергоносії. Застосування такої величини є керуючим впливом Регулятора ринку при вирішенні задач ціноутворення при формуванні заявок генеруючими компаніями на ОРЕ, формування договірних цін регульованих договорів і визначенні регульованих тарифів на ЕЕ (потужність) для оптових постачальників ЕЕ, визначенні тарифів на роздрібному ринку на відповідний період регулювання та ін. А також відправною точкою при вирішенні задач розрахунку рівноважних оптових цін покупки і продажу ЕЕ і потужності АТС.

Аналіз формули (7.20) показав, що розрахунок оптової ціни залежить від двох типів складових - ціни за відпустку ЕЕ від певного виду виробників (генерації) і обсягу частки відпущеної ЕЕ кожним виробником в загальному балансі. Перша складова безпосередньо залежить від витрат, і отже, від цін на енергоносії, які використовуються в технологічному процесі виробництва ЕЕ, а друга - від структури електроспоживання, яка складається на ринку і в підсумку впливає на структуру генерації ЕЕ. Через структуру генерації остання складова непрямым чином залежить від цін на енергоносії, тому що АТС ОРЕ, при виборі структури генерації, враховує цінові заявки виробників ЕЕ.

В результаті першим експериментальним дослідженням служить аналіз впливу структури явних і неявних факторів ціни за енергоносії на прогноз оптової ціни купівлі ЕЕ.

Згідно формули (7.20) виконан розрахунок її складових для генкомпаній ТЕС, ТЕЦ, АЕС та ін., за реальними даними функціонування ОРЕ за обраний період спостереження 2011-2013 рр. наведеними в (табл.5.1-5.5). Результати розрахунку наведено в таблиці 7.6.

Таблиця 7.6 Прогноз вартості видів генерації і оптової ціни без урахування приросту цін на енергоносії

Період відпуску ЕЕ	Прогноз вартості генерації			Прогноз оптової ціни, грн/МВт.час	МРЕ
	АЕС та ін., грн/МВт.час	ТЕС, грн/МВт.час	ТЕЦ, грн/МВт.час		
Січень, 2011	85,55	153,72	73,17	312,44	1,44
Лютий, 2011	78,52	171,78	78,10	328,39	5,08
Березень, 2011	89,46	175,96	78,45	343,86	4,02
Квітень, 2011	97,26	184,59	58,81	340,65	6,85
Травень, 2011	108,93	180,88	51,59	341,40	11,87
Червень, 2011	97,23	272,61	36,73	406,57	4,55
Липень, 2011	98,36	263,16	32,39	393,91	1,67
Серпень, 2011	95,56	273,71	46,01	415,29	-5,81
Вересень, 2011	108,23	202,71	59,41	370,36	5,86
Жовтень, 2011	98,42	256,00	71,74	426,16	-7,93
Листопада, 2011	96,66	216,00	89,72	402,38	4,78
Грудень, 2011	118,41	202,14	105,27	425,82	-4,07
Січень, 2012	114,85	196,36	102,47	413,68	-3,06
Лютий, 2012	108,55	203,32	98,40	410,27	0,88
Березень, 2012	123,73	180,92	87,81	392,46	5,93
Квітень, 2012	125,89	203,12	60,50	389,51	8,49
Травень, 2012	129,55	239,95	45,47	414,97	-1,69
Червень, 2012	114,96	268,88	43,72	427,56	2,45
Липень, 2012	107,10	328,20	25,09	460,38	-6,83
Серпень, 2012	113,98	287,72	30,16	431,86	4,38
Вересень, 2012	137,53	255,78	49,92	443,22	-0,14
Жовтень, 2012	134,63	251,52	66,92	453,06	-5,43
Листопад, 2012	136,59	198,84	90,90	426,33	1,68
Грудень, 2012	116,88	237,42	104,84	459,14	8,08

Аналіз балансу складових формули (7.20) показує наступний розподіл часток в загальному балансі : ТЕС - 50-70%, ТЕЦ - 10-25%, АЕС та ін. - 25-30%.

Очевидно, що на частку приросту цін на енергоносії, як складової формули розрахунку $\hat{O}_{i\hat{e}}^{\ddot{a}}$, залишається не більше 5-10%. Це говорить про те, що спрощене виконання прогнозу основного тренда динаміки оптової ціни ЕЕ, можна виконувати без урахування зміни цін на енергоносії, точніше без урахування прямого впливу їх змін на величину прогнозної оптової ціни, а обмежитися тільки більш істотними факторами, що впливають на її формування.

Проведемо дослідження впливу зміни структури генерації ЕЕ, тобто приросту складових $\hat{E}_{OYN}^{\dot{Y}}(t_{i+1})$, $\hat{E}_{OYO}^{\dot{Y}}(t_{i+1})$, $K_A^{\mathcal{Z}}(t_{i+1})$ формули (7.20), на формування прогнозної оптової ціни купівлі ЕЕ. Виконан розрахунок її складових для генкомпаній ТЕС, ТЕЦ, АЕС та ін. за реальними даними функціонування ОРЕ, за обраний період спостереження 2011-2013 рр. (табл.7.7). Аналіз балансу складових структури генерації ЕЕ показує наступний розподіл часток в загальному балансі: ТЕС - 45-70%, ТЕЦ - 10-25%, АЕС та ін. - 25-35%. Очевидно, що приріст частки генерації, як складової формули розрахунку прогнозної оптової ціни ЕЕ, залишається не більше 3-7%.

Таблиця 7.7 Прогноз вартості видів генерації і оптової ціни без урахування приросту часток генерації

Період відпуску ЕЕ	Прогноз вартості генерації			Прогноз оптової ціни, грн/МВт.час	МРЕ
	АЕС та ін., грн/МВт.час	ТЕС, грн/МВт.час	ТЕЦ, грн/МВт.час		
Січень, 2011	80,14	167,94	76,75	324,84	-2,47
Лютий, 2011	94,58	163,63	76,21	334,42	3,33
Березень 2011	89,82	192,69	78,12	360,63	-0,66
Квітень, 2011	93,18	204,22	88,38	385,78	-5,49
Травень, 2011	95,09	257,85	64,75	417,69	-7,82
Червень, 2011	108,42	212,77	52,52	373,71	3,90

Липень, 2011	102,77	251,15	42,27	396,19	1,10
Серпень, 2011	100,32	243,79	34,82	378,92	3,45
Вересень, 2011	97,53	278,01	44,62	420,15	-6,80
Жовтень, 2011	109,33	192,35	64,04	365,71	7,37
Листопада, 2011	117,24	220,93	76,97	415,14	1,76
Грудень, 2011	116,91	198,33	89,60	404,83	1,06
Січень, 2012	122,48	172,33	102,93	397,75	0,91
Лютий, 2012	118,39	185,76	100,53	404,68	2,23
Березень, 2012	102,23	242,59	99,34	444,15	-6,46
Квітень, 2012	116,63	250,90	86,67	454,21	-6,71
Травень, 2012	120,74	240,31	57,50	418,56	-2,57
Червень, 2012	128,67	245,54	44,29	418,50	4,52
Липень, 2012	126,65	244,83	44,19	415,68	3,55
Серпень, 2012	126,48	292,90	30,37	449,75	0,42
Вересень, 2012	125,74	292,20	34,28	452,23	-2,17
Жовтень, 2012	128,09	243,79	47,04	418,92	2,52
Листопад, 2012	118,21	256,93	65,95	441,09	-1,72
Грудень, 2012	126,14	187,30	88,86	402,29	5,30

Аналіз складових для компаній ТЕС і ТЕЦ показує, що для короткострокового горизонту досить мати дані за попередній період. Тобто прогноз фактично не залежить від передісторії «поведінки» виробництва і ціноутворення на ЕЕ, а визначається попереднім станом, що характерно для оперативного управління генерацією ЕЕ як виробництва продукції, яка не накопичується. Крім того, точність прогнозу буде зумовлена точністю прогнозу балансу відпуску ЕЕ генерацією в ОРЕ.

Аналіз складових зміни цін на енергоносії показує, що в зв'язку з тим, що ціни на енергоносії директивно встановлюються регулятором ОРЕ, то доцільно перейти до аналізу впливу динаміки вартісних витрат на енергоносії при виробництві ЕЕ генеруючими компаніями ТЕС та ТЕЦ, причому окремо по кожному виду енергоносія.

Таким чином, можна зробити висновок, що на оптову ціну покупки ЕЕ більшою мірою впливає рішення верхнього рівня СОУ ОРЕ, відповідно до Правил ринку, по встановленню певного балансу в структурі генерації ЕЕ, яке визначається з стратегії розвитку ринку. А також Регулятора ринку, який встановлює ціни на енергоносії, і в меншій мірі від власних рішень самої генерації з придбання енергоносіїв у залежність від кон'юнктури ринку на них, що складається.

Проведений аналіз чинників, що роблять істотний вплив на формування прогнозу оптової ціни покупки ЕЕ, дозволяє зробити припущення, що основний тренд динаміки оптової ціни буде складатися з наступних складових: тренда, що забезпечує потреби виробництва держави (народного господарства) та населення; тренда сезонності в генерації ЕЕ; випадкових факторів, до яких слід в першу чергу віднести температуру і освітленість.

Тренд впливу виробництва може бути визначений в залежності від динаміки ВВП, тренд впливу населення - від динаміки рівня інфляції і платоспроможності, тренд сезонності - зумовлюється особливостями генерації ТЕЦ для забезпечення опалювального сезону і послуг ЖКГ, а також ТЕС - для забезпечення маневреності енергосистеми при сезонності деяких видів виробництва з циклічністю виробничих процесів, наприклад, сільського господарства. Таким чином, очевидним є прямий зв'язок і залежність прогнозу оптової ціни на ЕЕ від прогнозу електроспоживання з подальшим формуванням прогнозу фізичного балансу виробництва та споживання ЕЕ і, отже, важливість побудови адекватних прогностичних моделей електроспоживання від зазначених факторів.

Як впливає із Закону України «Про ринок електричної енергії» [66], в новій моделі функціонування ринку - ДДБР у Регулятора ринку не передбачено виконання функції формування регуляторного механізму - прогнозової оптової ціни покупки ЕЕ у генеруючих компаній. Очевидно, що виконання цієї функції перейде до генеруючих компаній та постачальників ЕЕ. При укладанні прямих форвардних договорів між ними на виробництво та постачання ЕЕ, на певний

період часу, і виникає завдання визначення договірної (прогнозна) ціни на ЕЕ. Не важко припустити, що тільки застосування прогностичних моделей, що враховують основні фактори, що впливають на ціноутворення на ринку, серед яких зміни цін на енергоносії, зміни структури виробництва і електроспоживання, дають можливість підвищити продуктивність прийняття рішень по визначенню зазначених договірних цін.

7.4 Дослідження моделі динаміки прибутку генеруючих компаній

Для підтвердження адекватності запропонованої в п. 5.1 моделі була проведена серія обчислювальних експериментів. У якості базового - рівноважного варіанта розподілу прибутку між компаніями, що використовують два види енергоносіїв для виробництва ЕЕ, і єдиним покупцем, що задовольняє всіх учасників економічної системи, був прийнятий тестовий варіант. Розглядалися три можливих випадки підвищення цін на енергоносії. У першому та другому - початкові умови та значення параметрів є незмінними, крім параметрів b_1 або, відповідно b_2 , - питомі витрати на одиницю прибутку, які збільшувались на 20%, внаслідок підвищення цін на перший або другий енергоносії. У третьому випадку збільшувалися на 20% значення b_1 , b_2 як результат підвищення цін на обидва енергоносії при незмінних інших даних. Отримано природний результат, при якому прибуток виробників і єдиного покупця у всіх випадках протягом календарного року зменшується, тобто необхідним стає збільшення оптової ціни покупки ЕЕ у виробників.

Далі була проведена друга серія експериментів, у результаті якої визначається розмір збільшення ціни покупки ЕЕ у виробників для відновлення базового рівня розміру прибутку. Третя серія експериментів була пов'язана з визначенням частки прибутку, яка утримується єдиним покупцем у виробників для відновлення базового рівня розміру прибутку до підвищення цін на енергоносії.

Для підтвердження достовірності результатів моделювання були проведені аналогічні обчислювальні експерименти шляхом чисельного вирішення системи рівнянь (5.1) методом Рунге-Кутта за допомогою програми Mathcad. Порівняння результатів обчислень показало їхній повний збіг.

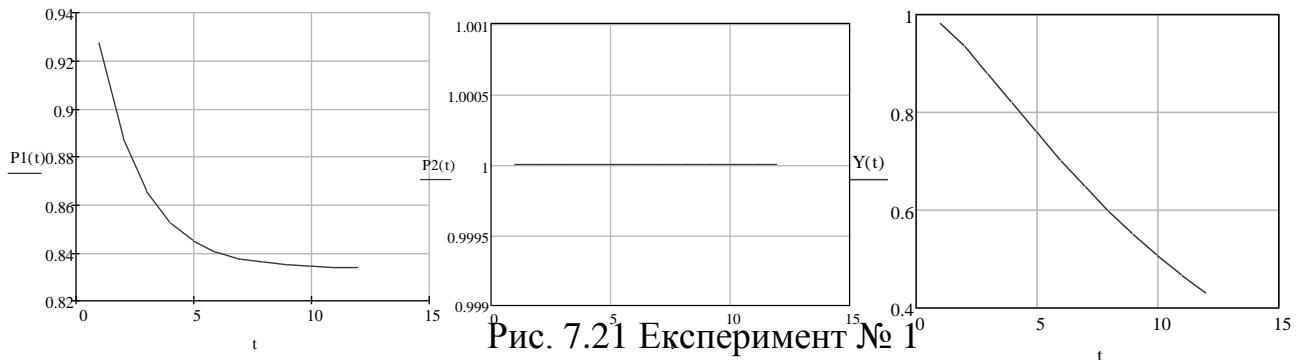


Рис. 7.21 Експеримент № 1

$$t_0 = 0, t = 1, 2, \dots, 12; P_1(t_0) = 1, P_2(t_0) = 1, Y(t_0) = 1; a_1 = 0,5, a_2 = 0,5; \\ b_1 = 0,6, b_2 = 0,5; \alpha_1 = 1, \alpha_2 = 1, e_1 = 0,5, e_2 = 0,5.$$

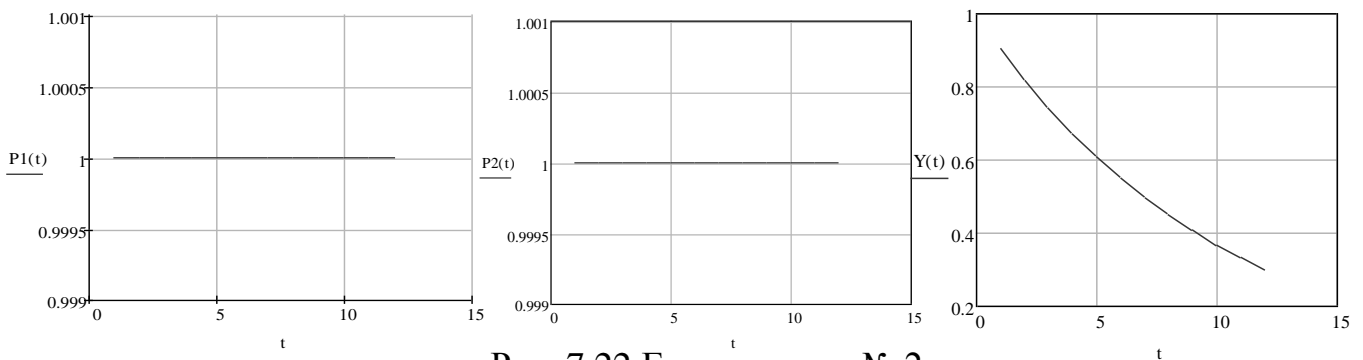


Рис. 7.22 Експеримент № 2.

$$t_0 = 0, t = 1, 2, \dots, 12; P_1(t_0) = 1, P_2(t_0) = 1, Y(t_0) = 1; \\ a_1 = 0,6, a_2 = 0,5; b_1 = 0,6, b_2 = 0,5; \alpha_1 = 1, \alpha_2 = 1, e_1 = 0,5, e_2 = 0,5.$$

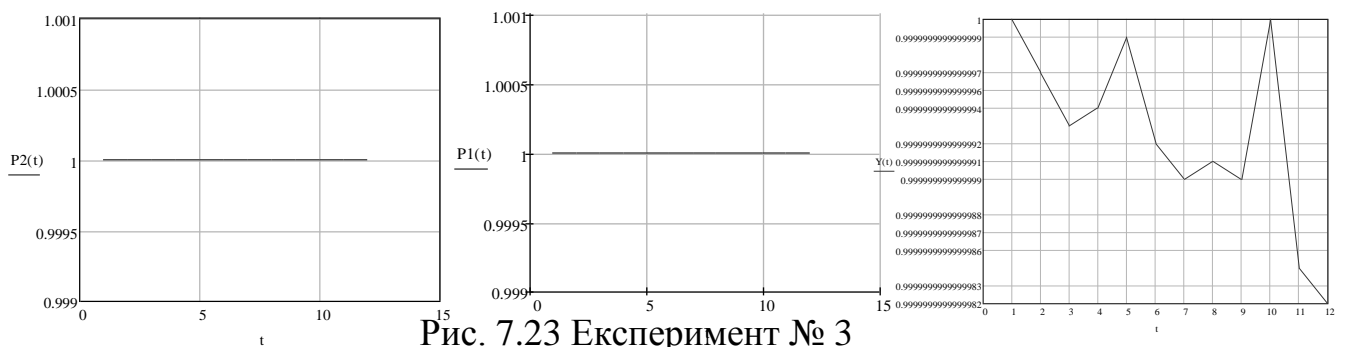


Рис. 7.23 Експеримент № 3

$$t_0 = 0, t = 1, 2, \dots, 12; P_1(t_0) = 1, P_2(t_0) = 1, Y(t_0) = 1; a_1 = 0,6, a_2 = 0,5; \\ b_1 = 0,6, b_2 = 0,5; \alpha_1 = \alpha_2 = 1, e_1 = 0,6, e_2 = 0,5.$$

7.5 Висновки до розділу

1. Побудовано неформалізовану нейросіткову модель короткострокового прогнозування компонентів стану управління функціонуванням ОТС та, на її основі комп'ютерну модель для прогнозування показників стану компонентів управління, розрахунку прогнозної оптової ціни купівлі ЕЕ на ОРЕ.

2. Побудовано комп'ютерну модель прогнозування показників функціонування на ОРЕ на основі застосування апарата ШНС. Проведено розрахунково-експериментальне дослідження моделі на прикладі рішення задачі прогнозування оптової ціни купівлі ЕЕ. Результати розрахунків підтверджують, що модель забезпечує задовільні для практичного використання показники якості прогнозування за критерієм MAPE.

3. Проведено розрахунково-експериментальне дослідження моделі для вдосконалення регуляторного механізму компоненти стану управління - прогнозної оптової ціни купівлі ЕЕ на ОРЕ з використанням даних динаміки цін на ЕЕ і цін на енергоносії за період 2011-2013 рр. Результати розрахунків показують, що вплив змін цін на енергоносії на оптову ціну купівлі ЕЕ складає 5-10%, а змін структури виробництва – 5-7%.

4. Проведено дослідження моделі динаміки прибутку генеруючих компаній у взаємодії з єдиним покупцем. На прикладі вирішення тестових задач показана достовірність результатів моделювання, що свідчить про можливість її застосування для вирішення задач організаційного управління оптовим ринком при прийнятті рішень з регулювання процесів формування прибутків суб'єктами ОРЕ в умовах зміни цін на енергоносії.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-прикладна проблема удосконалення методів математичного та комп'ютерного моделювання процесів прийняття рішень у складних багаторівневих СОУ в напрямку підвищення їх продуктивності на основі розроблення нових засобів організації процесів підготовки і використання моделюючих систем як носіїв досліджуваних моделей, шляхом розвитку теорії побудови комп'ютерних систем моделювання, включаючи структурну та алгоритмічну організацію комплексу взаємопов'язаних математичних і комп'ютерних моделей механізмів функціонування СОУ.

У ході досліджень одержані наступні основні наукові теоретичні й практичні результати.

1. На основі проведеного аналізу відомих підходів застосування засобів теоретико-ігрового моделювання запропоновано та обґрунтовано новий підхід до побудови дескриптивних теоретико-ігрових моделей процесів прийняття рішень з вдосконалення механізмів функціонування складних багаторівневих СОУ на прикладі ОТС енергоринку України з урахуванням реальних особливостей організаційної, технологічної та інформаційної взаємодії його суб'єктів, у межах якого:

- визначені рівні СОУ енергоринку, сформульовані цілі, співпадаючі та суперечливі інтереси, стратегії як окремих гравців одного рівня, так і різних рівнів, що є передумовами створення коаліцій гравців у конфліктних ситуаціях при виконанні умов істотності гри;

- розроблений спосіб математичного опису процесів ігрової взаємодії суб'єктів багаторівневої структури СОУ енергоринком.

2. З використанням теоретико-ігрового підхода побудовано:

- дескриптивну багаторівневу модель енергоринку, що описує коаліційний характер рівневих та міжрівневих взаємовідносин гравців у конфліктних ситуаціях, а також загальну багаторівневу модель, що враховує взаємозв'язок енергоринку з іншими ринками та еколого-економічною системою;

- трирівневі дескриптивні моделі сегментів енергоринку – оптового ринку за участю як основних гравців виробників, оптових постачальників ЕЕ та верхнього рівня СОУ ринком, а також оптово-роздрібного ринку, гравцями якого є оптові, роздрібні постачальники та верхній рівень СОУ ринком, визначені функції виграшу гравців і коаліцій, створених у виділених рівнях, якими оцінюються результати вирішення кооперативної гри.

3. Розроблені процедури формування оптимального рішення багаторівневих кооперативних ігор – моделей сегментів ринку, аналізу моделей для визначення діапазонів обмежень у змінах компонентів стану управління для збереження його стійкості, формування взаємоузгоджених, прийнятних для учасників ринку, варіантів змін до механізмів функціонування ринку.

4. Отримала подальший розвиток теорія систем організаційного управління шляхом побудови математичних моделей процесів вдосконалення механізмів функціонування та розвитку СОУ, а саме для розрахунку компонентів стану управління з урахуванням зміни цін на ринках ресурсів виробництва, планування компонентів стану управління; контролю матеріального балансу ресурсів, обсягів виробництва та фінансового балансу отримання й розподілу доходів від реалізації продукції між суб'єктами, у тому числі:

- побудовано модель для планування оптимального ТДГ електричного навантаження для сегмента ринку на добу наперед для визначення компоненти управління - оптової ціни купівлі ЕЕ, що відрізняється від відомих моделей використанням як критерію оптимальності мінімуму витрат на виробництво ЕЕ генеруючими компаніями енергосистеми;

- модель ОРЕ для вирішення задач аналізу та оцінки впливу впровадження нових або вдосконалення існуючих механізмів функціонування ОРЕ на розподіл платежів його суб'єктів, яка зв'язує балансовими співвідношеннями фізичні процеси виробництва, передачі та споживання ЕЕ та фінансові процеси формування цінових показників і обчислення платежів суб'єктів ринку на основі даних комерційного обліку та адекватного відтворення всіх розрахунково-технологічних процесів відповідно до діючих Правил ринку.

5. Отримала подальший розвиток теорія побудови комп'ютерних систем моделювання. На основі застосування методу об'єктно-орієнтованого моделювання розроблено інформаційно-технологічне забезпечення організації процесу підготовки та верифікації первинної інформації та використання комп'ютерних моделей, включаючи структурну й алгоритмічну організацію, для побудови комп'ютерних моделей процесів вдосконалення механізмів функціонування СОУ, що включає:

- єдину уніфіковану систему опису суб'єктів СОУ, процесів прийняття рішень, єдину систему класифікаторів і довідників даних про об'єкти ОТС і суб'єкти СОУ, уніфіковану структуру зберігання даних;

- уніфіковані системи збору, перевірки достовірності, достатності, надлишковості даних реального часу, що характеризують стан об'єкта, що досліджується, формування даних комерційного обліку виробництва;

- процедури розроблення організаційної, концептуальної, інформаційної та функціональної складових часток комп'ютерних моделей, які забезпечують адекватне подання процесів організаційного управління з урахуванням реальних взаємовідносин між суб'єктами СОУ, аналізу, інтерпретації та візуалізації результатів моделювання.

6. Розроблено інформаційно-методичне середовище побудови КММ енергоефективності ЕЕВ, у склад якого входить методичне забезпечення у вигляді багаторівневої системи компонентів стану управління, які характеризують стан енергоефективності процесів виробництва, передачі та споживання ЕЕ.

7. Побудовано імітаційну комп'ютерну модель організаційної, технологічної та інформаційної діяльності ОРЕ, що забезпечує підвищення продуктивності процесів прийняття рішень за рахунок автоматизованого вирішення розрахунково-технологічних завдань багатоваріантного аналізу пропонуваніх альтернатив вдосконалення механізмів функціонування та інтерпретацію і візуалізацію результатів моделювання, порівняльної оцінки впливу змін на компоненти стану управління та на розподіл платежів суб'єктів

ринку. Загальний час розрахунку не перевищує 5 хвилин, а розрахунки вартості, завдяки використанню запропонованого алгоритму розподілу небалансу, забезпечують необхідну точність результатів.

8. На основі застосування комп'ютерної моделі розроблена АСРП суб'єктів ОРЕ України. АСРП уведена в промислову експлуатацію. Застосовується не тільки для автоматизації процесів розрахунку платежів, а й забезпечує автоматизацію процесів вирішення комплексу завдань аналізу динаміки змін інформативних показників функціонування ОРЕ. Документальне підтверджено про використання теоретичних і прикладних результатів розділів 4, 6 при розробці й впровадженні АСРП на ДП «Енергоринок».

9. Побудовано модель динаміки прибутку генеруючих компаній, у взаємодії з єдиним покупцем, з урахуванням змін цін на енергоносії. На прикладі вирішення тестових задач показана достовірність результатів моделювання, що свідчить про можливість її застосування для вирішення задач організаційного управління оптовим ринком при прийнятті рішень з регулювання процесів формування прибутків суб'єктами ОРЕ в умовах зміні цін на енергоносії.

10. Виконано збір, обробка й подання даних про зміну цін на ЕЕ й основні енергоносії – енергетичне вугілля, природний газ, топковий мазут за період 2011-2013 рр. у вигляді таблиць, графічних залежностей. Розроблено інформаційно-методичне середовище, в вигляді таблиць даних в Microsoft Excel, бази моделей та алгоритми для побудови комп'ютерної моделі аналізу динаміки оптової ціни купівлі ЕЕ на ОРЕ.

11. Проведено аналіз динаміки цін на ЕЕ, динаміки балансів відпуску виробниками ЕЕ, цін на енергоносії, балансів споживання енергоносіїв, аналіз взаємозв'язку даних динаміки цін на ЕЕ й енергоносії. Встановлено залежність оптової ціни купівлі ЕЕ, не тільки від змін цін на енергоносії, а й від структури виробництва ЕЕ.

12. Побудовано модель для вдосконалення регуляторного механізму компоненти стану управління - прогнозованої оптової ціни купівлі ЕЕ на ОРЕ, що забезпечує, на відміну від відомих, можливість аналізу впливу динаміки

структури виробництва ЕЕ та змін цін на основні енергоносії на її величину.

Результати розрахунково-експериментальних досліджень моделі, з використанням даних динаміки цін на ЕЕ та цін на енергоносії за період 2011-2013 рр., показують, що вплив змін цін на енергоносії на оптову ціну купівлі ЕЕ складає 5-10%, а змін структури виробництва – 5-7%.

13. Побудовано комп'ютерну модель прогнозування показників функціонування на ОРЕ на основі застосування апарата ШНС. Проведено розрахунково-експериментальне дослідження моделі на прикладі вирішення задачі прогнозування оптової ціни купівлі ЕЕ. Результати розрахунків підтверджують, що модель забезпечує задовільні для практичного використання показники якості прогнозування за критерієм MAPE.

14. Запропонований у роботі об'єктно-орієнтований підхід був використаний при розробці інформаційно-методичного забезпечення середовища проектування АСОУ регіональної системи теплопостачання. Одержані результати були використані в Інституті технічної теплофізики НАН України при виконанні робіт за темою «Розробка методологічних основ підготовки регіональних програм модернізації комунальної теплоенергетики" між Міністерством житлово-комунального господарства України та Інститутом технічної теплофізики НАН України».

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Берталанфи Л. Фон. Общая теория систем: критич. обзор / Л. фон Берталанфи ; пер. с англ. под ред. В.Н. Садовского, Э.Г. Юдина //Сборник переводов Исследования по общей теории систем. - М. : – Прогресс, 1969. – С. 23–82.
2. Месарович М. Общая теория систем: математические основы : пер. с англ. / М. Месарович, Я. М.Такахара ; пер. с англ. Э.Л. Наппельбаума, под ред. С.В. Емельянова. - М. : Мир, 1978. – 311 с.
3. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем / Н.П. Бусленко. - М. : Наука, 1978. - 400 с.
4. Глушков В.М. Моделирование развивающихся систем / В.М. Глушков, В.В. Иванов, В.М. Яненко. - М. : Наука, 1983. – 351 с.
5. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа / Н.Н. Моисеев. - М.: Наука, 1981. – 488 с.
6. Молчанов А.А. Моделирование и проектирование сложных систем / А.А. Молчанов.– К. : Выща шк. Головное изд-во, 1988. – 359 с.
7. Никаноров С. П. Системный анализ и системный подход / С. П. Никаноров // Системные исследования: сб. научн. тр. Ин-т истории естествознания и техники. – М. : Наука, 1972. – С. 55–71.
8. Никаноров С. П. Об одном направлении в развитии теории систем и его значении для приложений / С. П. Никаноров, Д. Б. Персиц // Вопросы кибернетики.– М.: Советское радио. - 1977. – Вып. 32. – с. 74–89.
9. Никаноров С. П. Метод концептуального проектирования систем организационного управления / С. П. Никаноров // Социология 4 М. – 1996. - №7. – С. 29 - 52.
10. Бурков В.И., Механизмы функционирования организационных систем / В.И. Бурков, В.В. Кондратьев. - М.: Наука, 1981. – 384 с.
11. Гвишиани Д.М. Организация и управление / Д.М. Гвишиани.- М. : Наука, 1972. - 536 с.

12. Кунц Г., Управление: Системный и ситуационный анализ управленческих функций: в 2 т. Т1.: пер. с англ. / Г. Кунц, С. О Доннел; пер. с англ. В.В. Рославцева, Ю.В. Семенова, под ред. Д.М. Гвишиани. - М. : Прогресс, 1981. – 496 с.

13. Кунц Г., Управление: Системный и ситуационный анализ управленческих функций: в 2 т. Т2.: пер. с англ. / Г. Кунц, С. О Доннел; пер. с англ. В.В. Рославцева, Ю.В. Семенова, под ред. Д.М. Гвишиани. - М. : Прогресс, 1981. – 512 с.

14. Михалевич В.С. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем / В.С. Михалевич, В.Л. Волкович. – М. : Наука, 1982. – 286 с.

15. Негойце К. Применение теории систем к проблемам управления : пер. с англ. / К. Негойце ; пер. с англ. В.В. Тарасова, под ред. С.А. Орловского. - М. : Мир, 1981. - 184 с.

16. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: Теория и практика / Д.А.Поспелов. - М. : Наука, 1986. – 288 с.

17. Ру Доминик. Управление : пер. с фр. / Доминик Ру, Даниэль Сулье.. - К.: Основы. - 1995. – 442 с.

18. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий : пер. с англ. / Т. Саати ; пер. с англ. под ред. Р. Г. Вачнадзе. – М : Радио и связь, 1993. - 278 с.

19. Стогний А.А. Построение концептуальной модели систем управления / А.А. Стогний, С.С. Азаров, Я.И. Барсук // Управляющие системы и машины. – 1988. - №2. - С. 60 - 67.

20. США: Организационные проблемы управления / под общей ред. Б.З.Мильнера. - М. : Мысль, 1976. - 200 с.

21. Технология системного моделирования / под общ. ред. С.В. Емельянова, Е.Ф. Аврамчука, А.А.Вавилова. – М. : Машиностроение; Берлин: Техник, 1988. – 520 с.

22. Форрестер Дж. Основы кибернетики предприятия : пер. с англ. / Дж. Форрестер ; пер. с англ. под. ред. Д.М. Гвишиани. – М. : Прогресс, 1971. – 340 с.
23. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем - искусство и наука / Р.Шеннон ; пер. с англ. под. ред. Е.К. Масловского. - М. : Мир, 1978. – 418 с.
24. Янг С. Системное управление организацией : пер с англ.: / С.Янг; пер. с англ. под ред. С. П. Никанорова, С. А. Батасова. - М. : Советское радио, 1972. – 456 с.
25. Чисар И. Теория информации : теория кодирования для дискретных систем без памяти : пер. с англ. / И. Чисар, Я. Кернер . – М. : Мир,1985. – 400 с.
26. Каньгин Ю.М. Основы теоретической информатики / Ю.М. Каньгин, Г.И. Калитич. – К. : Наук. думка, 1990. – 232 с.
27. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами / Д.А. Новиков. – 3-е изд., испр. и дополн. - М. : Издательство физико-математической литературы, 2012. – 604 с.
28. Сорокин И.В. Проблемі исследования сложной организационно-технической системы / И.В.Сорокин // Вестник МГТУ МИРЭА. – 2013. - №1 (1). – С. 20 – 40.
29. Глушков В.М. Введение в АСУ / В.М. Глушков. - К.: Техника,1972. - 310 с.
30. Глушков В.М. Кибернетика. Вопросы теории и практики / В.М. Глушков. - М.: Наука, 1986. – 488 с.
31. Глушков В.М. Основы безбумажной информатики / В.М. Глушков. Изд. 2-е испр. - М.: Наука, 1987. – 552 с.
32. Додонов А.Г. Вычислительные системы для решения задач оперативно-организационного управления / А.Г. Додонов, В.В. Хаджинов, И.И. Волосков. - К. : Наукова думка,1988. - 216 с.

33. Стогний А.А. Вопросы автоматизации систем организационного управления / А.А.Стогний // Программные продукты и системы. – 1988. - №2. - С. 1 - 9.

34. Дафт Ричард Л. Теория организации : учебник для студентов вузов : пер. с англ. / Ричард Л. Дафт : пер с англ. под ред. Э.М. Короткова. – М. : Юнити - Дана, 2006. – 736 с.

35. Латфуллин Г. Р., Теория организации : учебник для вузов / Г.Р.Латфуллин, А. В. Райченко. — СПб.: Питер, 2004. — 395 с

36. Мильнер Б.З. Теория организаций / Б.З. Мильнер. – М. : Инфра, 2006. – 864 с.

37. Аверченко В.И. Системы организационного управления : учебное пособие / В.И.Аверченко, В.В.Ерохин. – 3-е изд., стереотип. – М. : Флинта, 2011. – 208 с.

38. Додонов О.Г. Комп`ютерне моделювання процесів організаційного управління / О.Г. Додонов // Вісн. НАН України. – 2016. - № 1. – С. 69 – 71.

39. Питухин Е.А. Математическое моделирование организационно-технических систем верхнего уровня : автореферат диссертации. ...д.т.н. : 05.13.18 / Е.А. Питухин. – Петрозаводск , 2006. – Режим доступа : <http://www.dissercat.com/content/matematicheskoe-modelirovanie-organizatsionno-tekhnicheskikh-sistem-verkhnego-urovnya>. - Дата последнего посещения 19.01.17

40. Щербатов И.А. Проталинский О.М. Сложные слабоформализуемые многокомпонентные технические системы / И.А. Щербатов, О.М. Проталинский // Управление большими системами, Выпуск 45. М.: ИПУ РАН, 2013. – С. 30-40.

41. Цыганов В.В. Исследование и разработка адаптивных механизмов функционирования активных систем тема автореферат диссертации по д.т.н. ... : 05.13.10 / В.В Цыганов. – М. :, 2000. - Режим доступа : <http://www.dissercat.com/content/issledovanie-i-razrabotka-adaptivnykh-mekhanizmov-funktsionirovaniya-aktivnykh-sistem#ixzz59QAVEaWI>. - Дата последнего посещения: 19.10.17

42. Щербатов И.А. Математические модели сложных слабоформализуемых систем: компонентный подход. – Режим доступа : http://xn--90ae2bn.xn--p1ai/static/unit/journal_smt/docs/number_22/70-78.pdf. - Дата последнего посещения: 19.01.17.

43. Корнаков А.Н. Модель сложной организационно-технической системы / А.Н. Корнаков // Международный электронный научный журнал. Перспективы науки и образования., 2015. - № 2. – С.44-50. Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/.../model-slozhnoy-organizatsionno-tehnicheskoy-sistem...> - Дата последнего посещения: 14.01.18

44. Мелентьев Л.А. Системные исследования в энергетике / Л.А. Мелентьев. - М.: Наука, 1983. – 455 с.

45. Макаров А.А. Методы исследования и оптимизация энергетического хозяйства / А.А. Макаров, Л.А. Мелентьев. - Новосибирск : Наука, 1973. - 274 с.

46. Кулик М.Н. Методы системного анализа в энергетических исследованиях / М.Н. Кулик. - К. : Наук. думка, 1987. – 200 с.

47 Автоматизация управления энергообъединениями / В.В. Гончуков, В.М. Горнштейн, Л.А. Крумм и др.; под ред. С.А. Савалова. - М.: Энергия. - 1979. – 432 с.

48 Баринов В.А. Структуры управления и рыночные отношения в энергетике/ В.А. Баринов // Электричество. - 2000. - №1. - С. 4 - 19.

49. Волков Э.П. Управление развитием и функционированием электроэнергетики в условиях формирования рыночных отношений / Э.П. Волков, В.А. Баринов // Известия РАН, Энергетика. - 2002. - №5. - С. 37 - 47.

50. Воропай Н.И. Математическое моделирование развития электроэнергетических систем в современных условиях / Н.И. Воропай, В.В. Труфанов // Электричество. – 2000. - №10. - С. 6 - 12.

51. Воропай Н.И. Современное состояние и проблемы энергетики России / Н.И.Воропай, С.И. Паламарчук, С.В. Подковальников // Проблемы прогнозирования. – 2001. - № 5. – С. 49 - 62.

52. Сабирзанов Т.Р. Компьютерные модели оперативного и долгосрочного планирования в инвестиционном планировании электроэнергетических систем / Т.Р. Сабирзанов // Известия РАН, Энергетика. – 2001. - № 3. – С. 128 - 134.

53. Макаров А.А. Системный анализ перспектив развития энергетики / А.А. Макаров // Известия РАН, Энергетика. – 2003. – № 1. – С. 42–50.

54. Макаров А.А. Новые подходы к системным исследованиям развития энергетики России / А.А. Макаров // Известия РАН, Энергетика. - 2004. - №4. - С. 3 - 7.

55. Саух С.Е. Математическое моделирование конкурентного равновесия на электроэнергетических рынках Российской Федерации и Украины. I. Современное состояние и тенденции развития электроэнергетических систем / С.Е. Саух, А.В. Борисенко, С.В. Подковальников, О.В. Хамисов// Электрон. моделирование. - 2012. – Т.34, № 2. – С. 3 - 22.

56. Саух С.Е. Математическое моделирование конкурентного равновесия на электроэнергетических рынках Российской Федерации и Украины. II. Математические модели олигополистических рынков электроэнергии и их применение / С.Е. Саух, А.В. Борисенко, С.В. Подковальников, О.В. Хамисов // Электрон. моделирование. - 2012. – Т.34, № 3. – С. 3 - 24.

57. Саух С.Е. Методы компьютерного моделирования конкурентного равновесия на рынках электроэнергии / С.Е. Саух // Электрон. моделирование.— 2013. — Т. 35, № 5. — С. 11 - 26.

58. Евдокимов В.Ф. О проблемах компьютерного моделирования в энергетике / В.Ф. Евдокимов // Электрон. моделирование. - 1999. – Т.21, № 4. – С. 3 - 9.

59. Стогній Б.С. Проблеми та шляхи підвищення ефективності систем інформаційного забезпечення в електроенергетиці / Б.С. Стогній, О.В. Кириленко, О.С. Яндульський // Техн.електродинаміка. - 2001. - №1. - С. 3 - 10.

60. Опыт реформирования энергетических рынков / Материалы международной конференции. – Киев. - 13-14 июня 2001 г. / под ред. А.Ю. Кучеренко. - Київ. - 2001. - 478 с.

61. Туменов А. Рынок электроэнергии Англии и Уэльса / А. Туменов // Журнал «Энергорынок». – 2004. - №11. – Режим доступа : <http://www.e-m.ru>. - Дата последнего посещения: 14.01.15

62. Стофт С. Экономика энергосистем. Введение в проектирование рынков электроэнергии : пер. с англ. / С. Стофт; пер. с англ. под ред. А.И. Лазебника, И.С. Сорокина - М.: Мир, 2006. - 623 с.

63. Закон України «Про електроенергетику» № 575/97 від 16.10.1997 р. Из змінами внесеними Законами Верховної Ради України станом на 11.06.2017 р. – Режим доступу : zakon.rada.gov.ua/go/575/97-вр . - Дата звернення: 14.01.17

64. Шидловський А.К. Основні закономірності ефективного розвитку світової електроенергетики / А.К. Шидловський, Г.М.Федоренко // Гідроенергетика України. – 2004. - №2. - С. 10 - 15.

65. Концепція функціонування та розвитку Оптового ринку електричної енергії України // Матеріали науково-практичної конференції. - Київ, 25 липня 2002 р. - Х.: ЕнергоКлуб України, 2002. – 72 с.

66. Закон України «Про ринок електричної енергії» № 2019-VIII від 13. 04. 2017 р. – Режим доступу : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2019-19>. - Дата звернення : 15.08.17

67. Постанова НКРЕ про затвердження Правил Оптового ринку електричної енергії України від 12 листопада 1997 року №1047а із змінами і доповненнями, внесеними постановами НКРЕ станом на 1 травня 2003 року.

68. Основные научно – технические требования к созданию интегрированной отраслевой автоматизированной системы управления Минэнерго СССР (ИОАСУ Энергия). – Режим доступа : www.lawru/dok/1989/05/25/p1179110.htm. - Дата последнего посещения: 14.01.17

69. Баринов В.А. Режимы энергосистемы : методы анализа и управления / В.А. Баринов, С.А. Савалов. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 438 с.

70. Обработка технико-экономической информации на ЭВМ в энергетике / М.Л. Баркалов, И.Г. Горлов, В.А. Семёнов, В.Ф. Шумилин - М. : Энергоатомиздат, 1993. – 252 с.

71. Башлаков А.А. Проектирование систем принятия решений в энергетике / А.А. Башлаков. - М. : Энергоатомиздат, 1986. - 120 с.

72. Башлаков А.А. Экспертные системы поддержки принятия решений в энергетике / А.А. Башлаков, А.П. Еремеев. - М. : Изд - во Московского энергетического института, 1994. – 241 с.

73. Горский Ю.М. Информационные аспекты управления и моделирования / Ю.М. Горский. - М.: Наука, 1978. – 223 с.

74. Управление мощными энергообъединениями / Н.И.Воропай, В.В.Ершевич, Я.Н.Лучинский и др. : под ред. С.А.Совалова. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 256 с.

75. Корнеев С.В. Опыт и подходы к модернизации автоматизированных систем управления предприятиями энергетики на основе адаптации и внедрения зарубежных интегрированных систем / С.В. Корнеев, А.Г. Кофто, В.В. Мохор // Информационные технологии в энергетике : материалы научн. конф. – Киев, 2002. - С. 61 - 74.

76. Информационно-аналитическая система энергетического объединения / И.Е. Габа, А.Э. Зоммер, Ю.Е. Струговщиков [и др.] // Корпоративные системы. - 2001. - №4. - С. 40 - 45.

77. Шумахер Ю.Э. Опыт внедрения SAP R/3 в энергетике/ Ю,Э. Шумахер // Корпоративные системы. – 2002. - №2. - С. 34 - 39.

78. Новиков Д.А. Механизмы функционирования многоуровневых организационных систем / Д.А. Новиков М : «Фонд проблемы управления», 1999. – 161 с.

79. Вороновский Г.К. Избранные труды. Размышления об энергетике. Судьбы и события, наблюдения и комментарии : в 2 т. Т.1 / Г.К. Вороновский. – Харьков : Институт системных исследований в энергетике, 2003. - 260 с.

80. Борукаев З.Х. О предпосылках теоретико-игрового подхода к моделированию энергетического рынка / З.Х. Борукаев // Моделювання та інформаційні технології : зб. наук. праць. – К. : - 2005. - Вип. № 32. - С. 14 - 22.

81. Борукаев З.Х. О подходах и задачах построения общей модели энергетического рынка / З.Х. Борукаев // Институт проблем моделювання в енергетиці : зб. наук. праць. – К. : - 2006. - Вип. № 32. - С. 66 - 77

82. Котлер Ф. Основы маркетинга. Краткий курс : пер. с англ. / Ф. Котлер. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2007. – 656 с.

83. Воробьев Н.Н. Коалиционные игры / Н.Н. Воробьев // Теория вероятностей и ее применения. - 1967. - Т. XII, Вып. № 2. - С. 289 – 305.

84. Воробьев Н.Н. Теория игр для экономистов-кибернетиков / Н.Н. Воробьев. - М.: Наука, 1985. - 271 с.

85. Гермейер Ю.Б. Игры с непротивоположными интересами / Ю.Б. Гермейер. - М.: Наука, 1976. – 327 с.

86. Горелик В.А. Теоретико-игровые модели в эколого-экономических системах / В.А. Горелик , А.Ф. Кононенко. – М.: Радио и связь, 1982. – 144 с.

87. Полумиенко С.К. Дескриптивное моделирование эколого-экономических систем / С.К. Полумиенко // Проблемы информатики города : сб. научн. трудов. - Киев: «Наук. думка», 1991. – С. 179 – 194.

88. Полумиенко С.К. О решении многоуровневых коалиционных динамических игр / С.К. Полумиенко // Кибернетика и системный анализ. - 1997. - № 5. - С. 25 - 29.

89. Ауман Р., Шепли Л. Значения для неатомических мер : пер. с англ. / Р. Ауман, Л. Шепли. – М.: Мир, 1977. – 357 с.

90. Воропай Н.И. Особенности формирования оптового рынка электроэнергии и мощности в России с учетом специфики ее регионов / Н.И. Воропай, С.И. Паламарчук, В.М. Соболевский // Электричество.-2000. - №2. - С. 2 – 9.

91. Воропай Н.И. Многокритериальный анализ решений при планировании электроэнергетических систем / Н.И. Воропай, Е.Ю. Иванова // Электричество. – 2000. - №11. - С. 2 - 9.

92. Воропай Н.И. Методы обоснования развития электроэнергетических систем и компаний в рыночных условиях / Н.И. Воропай, Е.Ю. Иванова // Известия РАН, Энергетика. – 2006. - №3. - С. 28 - 36.

93. Гусев В.Б. Моделирование экономических процессов в состоянии динамического равновесия / В.Б. Гусев // Сибирский журнал индустриальной математики. - 2004. - Т. VII, № 3 (19). – С. 84 – 94.

94. Математическая модель конкурентного оптового рынка электроэнергии в России / М.Р. Давидсон , Ю.В. Догадушкина, Е.М. Крейнс и др. // Известия РАН. Энергетика. - 2004. - № 3. – С. 72 – 83.

95. Гамм А.З. Нахождение равновесных точек в рыночных моделях ЭЭС / А. З. Гамм, Е. В. Таирова, О. В. Хамисов // Известия РАН. Энергетика, - 2000. - №6. - С. 57 - 73.

96. Хамисов О. В. О коалиционном поведении в рыночных моделях электроэнергетических систем / Е. В. Таирова, О. В. Хамисов // Изв. РАН. Энергетика. - 2002. - №4. - С. 40 - 47.

97. Бушмин И.А. Моделирование рынка электроэнергии / И.А. Бушмин , А.Д. Нестеров, Т.Н. Оскорбина / /Изв. Алтайского госуниверситета. – 2004. - №1(31). - С. 37 - 40.

98. Васильев А.П. Организация энергетического рынка как проблема государственного значения / А.П. Васильев, Ю.Б. Гук // Экономика и финансы электроэнергетики. – 2001. - №6. - С. 159 – 167.

99. Audet N. Modeling electricity Forward Curve Dynamics in the Nordic Market/ N. Audet, P. Heiskanen, J.Keppo, I. Vehvilainen // Modelling Prices in Competitive Electricity markets. Edited by D.W.Bunn. – 2004. J.Wiley & Sons, Ltd. – P. 251 - 265.

100. Ghali K.H. Energy use and output growth in Canada: a multivariate cointegration analysis / K.H. Ghali, El-Sakka // *Energy Economics*. – 2004. – Vol. 26. – P. 225 - 238.

101. Schweppe F.C. Spot Pricing of Electricity / F.C. Schweppe, M.C. Caramanis, R.D. Tabors, R.E.Bohn, Boston: Kluwer Academic Publishers. – 1988. – 370 p.

102. Skantze P., Gubina A., Ilic M. Bid-based Stochastic Model for Electricity Prices: The Impact of Fundamental Drivers on Market Dynamics/ P. Skantze, A. Gubina, M. Ilic // *Energy Laboratory of Massachusetts Institute of Technology*. – November 2000.-№ MIT _EL00-004. – 61 p.

103. Волчуков Н.П. Математическая модель аукционного рынка электрической энергии / Н.П. Волчуков , Н.Н.Титов, Т.Н. Волчуков // *Техн. электродинамика*. – 2001. - №3. - С. 104 - 108.

104. Beeck N.M. Classification of Energy Models./ N. Beeck // *Tilburg University & Eindhoven University of Technology*. – 1999. – 26 p.

105. Chuang A.S., Wu F., Varaiya P. A game-theoretic model for generation expansion planning: problemformulation and numerical comparisons / A.S. Chuang, F. Wu, P.Varaiya // *Power Systems, IEEE Transactions*. – 2001. – Vol. 16, Issue 3. – P. 885 – 891.

106. Nanduri V., Das T.K. Game theoretic approach for generation capacity expansion in restructured power markets *Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century* / V. Nanduri, T.K Das// 2008 IEEE Volume , Issue , 20-24 July 2008. - P. 1 – 3.

107. Pettersen E. An electricity market game between consumers, retailers and network operators *Sourc* / E. Pettersen, Andrev B. Philpott, Stein W. Wallace // *Decision Support Systems - Challenges of restructuring the power industry*. –Vol. 40, Issue 3-4 (October 2005). – P. 427 – 438.

108. Hu X., Ralph D. Using EPECs to Model Bilevel Games in Restructured Electricity Markets with Locational Prices / X. Hu, D. Ralph // *Operations research*. – 2007. - Vol. 55, №. 5, September October. – P. 809-827.

109. Губко М.В. Управление организационными системами с коалиционным взаимодействием участников / М.В. Губко. - М.: ИПУ РАН, 2003. - 140 с.
110. Губко М.В. Теория игр в управлении организационными системами / М.В. Губко, Д.А. Новиков. – изд. 2-е. - М.: ИПУ РАН, 2005. - 138 с.
111. Дюбин Г.В. Введение в прикладную теорию игр / Г.В. Дюбин, В.Г. Суздаль. – М. : Наука, 1981. – 334 с.
112. Фон Нейман Дж. Теория игр и экономическое поведение : пер. с англ. / Дж. фон Нейман Дж., О. Morgenstern ; пер. с англ. и с доб. Н.Н. Воробьева . – М. : Наука, 1970. – 708 с.
113. Борукаев З.Х. Подход к построению теоретико - игровой модели энергетического рынка / З.Х. Борукаев // Электрон. моделирование. – 2006. – Т.28, №4. – С. 107 – 119.
114. Борукаев З.Х. Формирование оптимального решения многоуровневой коалиционной игры - модели энергорынка / З.Х. Борукаев // Энергетика та електрифікація. - 2006. - №12.- С. 4 - 10.
115. Распознавание, классификация, прогноз. Математические модели и их применение : ежегодник / под. ред. Ю.И. Журавлева. – М. : Наука, 1989. - 335 с.
116. Кондратьев А.И. Теоретико – игровые модели в задачах распознавания / А.И. Кондратьев. – М. : Наука, 1986. – 324 с.
117. Борукаев З.Х. Задачи и этапы программной реализации теоретико – игровых моделей энергетического рынка / З.Х. Борукаев // Автоматизація виробничих процесів. - 2006. - №2(23). - С. 152 – 161.
118. Евдокимов В.Ф. Некоторые вопросы создания компьютерных средств поддержки принятия решений для систем организационного управления в энергетике / В.Ф. Евдокимов, Ю.Г. Куцан, З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, Л.И. Грицюк // Энергетика и электрификация. - 2003. - №1. - С. 2 - 7.
119. Борукаев З.Х. Подход к построению компьютерных моделей для оперативного (суточного) планирования поставок электрической энергии в условиях оптового рынка. Часть 1. Формулировка задачи / З.Х. Борукаев, К.Б.

Остапченко, О.И. Лисовиченко // К.: Моделювання та інформаційні технології : зб.наукових прац. - 2012. - вип.63. - С. 192 - 199.

120. Порядок складання прогнозного фізичного балансу електричної енергії Об'єднаної енергетичної системи України та прогнозного балансу її купівлі–продажу в Оптовому ринку електричної енергії України на наступний розрахунковий місяць. Наказ Міністерства палива та енергетики України № 246 від 13.05.2009 р.

121. Кириленко О.В. Балансуючий ринок електроенергії та його математична модель / О.В. Кириленко, І.В. Блінов, Є.В.Парус // Техн. електродинаміка. – 2011. - №2. – С. 36 - 43.

122. Блінов І.В. Теоретичні та практичні засади функціонування конкурентного ринку електроенергії / І.В. Блінов.-К.: Наукова думка, 2015. – 216 с.

123. Максименко И.М. Методы оптимального планирования диспетчерского графика с учетом результатов аукциона / И.М. Максименко // НРЭ. – 2003. - №10. - С. 6 - 16.

124. Абакшин П.С. Комплекс программ планирования суточных режимов энергообъединений ПРЭС СУТКИ / П.С. Абакшин, Т.М. Алябышева, Р.М. Яганов // Электрические станции. – 2008. - №4. - С. 42 - 46.

125. Паламарчук С.И. Планирование поставок электроэнергии в условиях оптового рынка / С.И. Паламарчук, А.И.Федоров // Электричество. – 2000. - №11. - С. 31 – 39.

126. Нечаев И.А. Задача планирования режимов электроэнергетических систем в условиях оптового рынка / И.А.Нечаев, С.И. Паламарчук // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. Специальный выпуск. – 2009. - №1. - С. 80 - 84.

127. Порошин В.И. Выбор состава включенного генерирующего оборудования / В.И. Порошин, Ф.Ю.Черных // Электрические станции. – 2009. - №9. - С. 11 - 14.

128. Борукаев З.Х. Планирование торгового диспетчерского графика распределения активной нагрузки на оптовом рынке электроэнергии. Часть 1. Математическая модель / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.И. Лисовиченко // зб. наук. праць. Інституту проблем моделювання в енергетиці ім .Г.Є. Пухова. – Київ: 2012. - Вип. № 64. - С. 127 - 137.

129. Борукаев З.Х. Построение математической модели функционирования оптового рынка электроэнергии для решения задач организационного управления / З.Х.Борукаев, К.Б. Остапченко //Электрон. моделирование. - 2007. - Т.29, № 2. - С. 73 - 84.

130. Борукаев З.Х. Моделирование динамики прибыли генерирующих компаний в условиях изменения цен на энергоносители / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.И. Лисовиченко // Энергетика та електрифікація. – 2015. - №10. - С. 31 - 35.

131. Экономика и управление энергетическими предприятиями: Учебник для студ. высш. учебн. заведений / Т.Ф. Басова, Е.И. Борисов, В.В. Бологова и др.; под ред. Н.Н. Кожевникова. - М.: Издательский центр «Академия», 2004. - 432 с.

132. Борукаев З.Х. Анализ взаимосвязи данных динамики энергорынка с изменениями цен на рынках энергоносителей / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.И. Лисовиченко // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління». - 2015. - №1(26). - С. 46 - 64.

133. Аль-Рефай В.А. Разработка математической модели конкурентных процессов / В.А. Аль-Рефай, И.В. Наумейко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. - №5/3(71). – С. 55-60.

134. Фурсова П.В. Математические модели в биологии: Учебное пособие. Семинар 1,2 / П.В. Фурсова, Л.Д. Терлова, Г.Ю. Резниченко. - М. – Ижевск : Изд. РХД, 2008. - С. 1 - 32.

135. Вольтерра В. Математическая теория борьбы за существование / В. Вольтера. - М.: Наука, 1976. – 36 с.

136. www.er.energy.gov.ua

137. ПАО ДТЭК. Годовой отчет ДТЭК 2011 г.- dtek.com/library/file/annual-report-2011-ru.pdf. - Дата звернення : 15.08.14.
138. ПАО ДТЭК. Годовой отчет ДТЭК 2012 г.- dtek.com/library/file/annual-report-2012-ru.pdf. - Дата звернення : 15.08.14.
139. ПАО ДТЭК. Годовой отчет ДТЭК 2013 г.- .- dtek.com/library/file/annual-report-2013-ru.pdf. - Дата звернення : 15.08.14.
140. Інформаційний бюлетень НКРЕ .-№№ 1-12, 2011-2013гг.
141. Державне підприємство «Вугілля України». Дані ДП «Вугілля України» : Режим доступу : www.dpvu.com.ua. - Дата звернення : 15.08.14.
142. Энергетика.Энергосбережение.Энергоаудит. Информационный журнал учрежден Национальным техническим университетом «Харьковский политехнический институт» . Харьков, 2011-2013.- №№ 1-12.
143. Информационное агентство Бензин Онлайн. Биржевые котировки Мазут. : Режим доступа : [www.benzol.ru/graphics/?product\[\]=5.](http://www.benzol.ru/graphics/?product[]=5.): - Дата последнего посещения: 14.08.14.
144. Энергобизнес: Журнал.- Киев, 2011 - 2013.-№№ 1-24.
145. Стогний О.В. Математична модель оптимальної структури вугільної продукції для ТЭС України/ О.В. Стогний, М.М. Макортецький, М.О. Перов // Проблеми загальної енергетики. - 2013. - Вип.4(35). - С. 41 - 46.
146. Борукаев З.Х. Модели для определения прогнозной оптовой цены покупки электроэнергии / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.И. Лисовиченко // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління». - 2015. - №2 (27). - С. 32 - 38.
147. Борукаев З.Х. Модель краткосрочного прогноза оптовой цены покупки электроэнергии в условиях изменения цен на рынках энергоносителей / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.И. Лисовиченко // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління». - 2016. - №1 (28). - С. 11 - 22.
148. ПАО «Донбассэнерго». Годовой отчет 2012 г. : Режим доступа : https://de.com.ua/document/godovye_otchety - Дата звернення : 17.08.14.

149. ПАТ «Центрэнерго». Річний звіт за 2011 р.: Режим доступу : centrenergocom.com - Дата звернення : 17.08.14.
150. ПАТ «Центрэнерго». Річний звіт за 2012 р.: Режим доступу : centrenergocom.com - Дата звернення : 17.08.14.
151. Отчет о результатах деятельности НКРЭ в 2013 г., Постановление НКРЭ №348, от 27.03.2014 г. : Режим доступу : nec.gov.ua - Дата звернення : 15.03.15.
152. Данилов Н.Н., Иноземцева Л.П. Основы математической экономики: Учебное пособие / Н.Н. Данилов, Л.П. Иноземцева. – Кемерово : КемГУ. - 1999. - 321с. : Режим доступа : www.math.kemsvu.ru : - Дата последнего посещения: 12.07.14.
153. Хаджинов В.В. О построении информационно-аналитической системы для решения задач ликвидации и предупреждения чрезвычайных ситуаций / В.В. Хаджинов, П.И. Иваненко // Электрон. моделирование. – 1999г. - Т. 21, № 4. – с. 81 - 90.
154. Батюк А.Е. Концепция создания информационно-аналитических систем в управлении / А.Е. Батюк, Г.Т. Кравчук // К.: Моделювання та інформаційні технології : зб.наукових прац. - 1999. - Вип.4. - С. 122 – 137.
155. Вагин В.Н. Некоторые базовые принципы построения интеллектуальных систем поддержки принятия решений систем реального времени / В.Н. Вагин, А.П. Еремеев // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2001. - №6. - С. 114 - 123.
156. Сахаров А.А. Принципы проектирования многомерных баз данных / А.А. Сахаров // СУБД. - 1996. - №3. - С. 44 - 59.
157. Ситник В.Ф. Основы інформаційних систем: навч. посібник / В.Ф. Ситник, Т.А. Писаревська, Н.В. Єрьоміна, О.С. Краєва. - Вид.друге, перероб. і доп. - К.: КНЕУ. - 2001: - 420 с.
158. Устинова Г.М. Информационные системы менеджмента: Основные аналитические технологии в поддержке принятия решений / Г.М. Устинова. Учеб. пособие. - СПб : Изд - во «Диа-Софт ЮП». - 2000г. – 368 с.

159. Архипенков С. Хранилища данных. От концепции до внедрения / С. Архипенков, Д. Голубев, О. Максименко. Под общей редакцией С.Я. Архипенкова. – М. : ДИАЛОГ – МИФИ. - 2002. – 528 с.

160. Теоретические и информационные аспекты создания компьютерной системы управления топливно-энергетическим комплексом / З.Х. Борукаев, В.Ф. Евдокимов, К.Б. Остапченко, В.Ф. Шатров // Электрон. моделирование. – 2002. – Т. 24, №1. – С. 59-70.

161. Борукаев З.Х. Информационно-аналитическая система мониторинга оптового рынка электроэнергии / З.Х. Борукаев, В.Ф. Евдокимов, К.Б. Остапченко // Моделювання та інформаційні технології. - К.: зб. наук. праць. - 2002. - Вып. №14. - С.3 - 13.

162. Борукаев З.Х. Подход к построению систем поддержки принятия решений для автоматизации процессов организационного управления в энергетике / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.И.Лисовиченко // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління». - 2017. - №1(30). - С.36 - 48.

163. Стогній Б.С. Організація моніторингу режимів енергооб'єднання України та нові можливості розв'язання задач диспетчерського керування / Б.С. Стогній, О.В. Кириленко, О.Ф. Буткевич, М.Ф. Сопель, В.М. Авраменко, В.Л. Прихно, П.О. Черненко // Наука та інновації. – 2009. – Т. 5, № 6. – С. 25-35.

164. Еналеев А.К., Заложнев А.Ю. Мониторинг как метод организационного управления. Мониторинг финансово промышленной группы / А.К. Еналеев, А.Ю. Заложнев // Управление большими системами, Общая редакция Д.А. Новиков. М. : ИПУ РАН, 2004. – Вып. 6. - с. 84 – 89. : Режим доступа : [http:// mi.matnet.ru/ubs33/12.01.2017](http://mi.matnet.ru/ubs33/12.01.2017). Дата последнего посещения : 12.01.17.

165. 146. Галіцин В.К. Системи моніторингу / В.К. Галіцин.-К. : КНЄУ. - 2000. – 231 с.

166. Задорожна Н.Т. Підхід до проектування системи моніторингу як складової інформаційних технологій підтримки діяльності органів державного

управління / Н.Т. Задорожна, О.О. Каплун, Т.В. Кузнецова // Проблемы программирования, Специальный выпуск. - 2002. - № 1-2. - С. 368 - 377.

167. Актуальные технологии для рынка электроэнергетики. Обзор TAdviser.: Режим доступа : // www.tadviser.ru/index.php : - Дата последнего посещения: 14.02.17.

168. Yu N. Big Data Analytics in Power Distribution Systems / N. Yu, R. Johnson, R. Sherick, M. Hong, K. Loparo // Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT). - IEEE Power & Energy Society. – 2015. - P. 1-5.

169. Diamantoulakis P.D.. Big Data Analytics for Dynamic Energy Management in Smart Grids / P.D. Diamantoulakis, V.M. Kapinas, G.K. Karagiannidis // Big Data Research 2 . - 2015. – P. 94–101.

170. Big Data Analytics in Energy & Utilities : Режим доступа : www.slideshare.net/AndersQuitza/Ibm/big-data-analytics-in-energy-utilities : ;Дата последнего посещения: 14.02.17.

171. Крылов В.В. Большие данные и их приложения в электроэнергетике от бизнес-аналитики до виртуальных электростанций / В.В. Крылов, С.В. Крылов М.: Нобель Пресс, 2014. – 166 с.

172. Big Data Blackout: Большие данные в энергетике // Режим доступа: <http://denreymer.com/big-data-blackout-большие-данные-в-энергетике> : Дата последнего посещения: 14.02.17

173. Stimmel C.L. Big Data Analytics Strategies for the Smart Grid / C.L. Stimmel. - CRC Print. – 231 p.

174. Колесов Ю.Б. Объектно-ориентированное моделирование сложных динамических систем / Ю.Б. Колесов. - СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2004. - 240 с.

175. Грэхэм И. Объектно-ориентированное моделирование. Принципы и практика / И. Грэхэм. - М. : Изд. - во – Вильямс, 2004. - 880 с.

176. Буч Г. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений на C++ : пер. с англ / Г. Буч . Третье изд ; пер. с англ. И. Романовского, Ф. Андреева.М. : Изд. - во – Вильямс, 2008. – 720 с.

177. Евдокимов В.Ф. Компьютерная модель мониторинга энергоэффективности: информационно-технологические аспекты / В.Ф. Евдокимов, З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко // Энергетика та електрифікація. - 2006. - №11. - С. 52 - 57.

178. Борукаев З.Х., Компьютерная модель мониторинга энергоэффективности: аспекты информационного моделирования / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, Л.И. Грицюк // Энергетика та електрифікація. - 2007. - №1. - С. 3 - 7.

179. Борукаев З.Х. Построение информационной модели системы мониторинга энергоэффективности электроэнергетики / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, Л.И. Грицюк // Энергетика та електрифікація. - 2007. - №2. - С. 60 - 65.

180. Осуга С. Обработка знаний: пер. с японс./ С. Осуга; пер. с японс. В.И. Этова. – М. : Мир, 1989. – 293 с.

181. IES 61970-301 (2009-04) Ed. 2.0 Energy management system applications program interface (EMS-API) – Part 301: Common information model (CIM) base.

182. Давыдянц Д.Е. К определению понятий «энергосбережения», и «энергоэффективность» / Д.Е.Давыдянц, В.Е. Жидков, Л.В. Зубова // Фундаментальные исследования. – 2014. - № 9 (часть 6). – С. 1294 - 1296

183. Режим доступа : <http://investments.academic.ru/1560> : Дата последнего посещения : 17.08.17

184. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» Режим доступу : mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/cardnpg?docid=250250456 - Дата звернення : 17.12.17.

185. Энергетика світу та Києва: огляд та аналіз тенденцій / М.М. Березовик, В.М. Бортовський, А.П. Кухта, С.К. Полумієнко, А.О. Стогній, І.П. Беляєва, Ю.В. Лагуточкіна – К.: - 2003 р. – 109 с.

186. Светелик А. Научно-техническое и инвестиционное обеспечение перспективного развития теплоэнергетики мира / А. Светелик, Н. Борисов // Энергетическая политика Украины. - 2005, №2. - С. 58 - 66.

187. Алескеров Ф.Т. Производство, легальное и нелегальное потребление электроэнергии (динамический анализ) / Ф.Т. Алескеров, Б.М. Шит // Проблемы управления. – 2005. - №2. - С. 63 - 69.

188. Мусієнко О.Г. Сучасні проблеми енергоефективності та шляхи їх вирішення / О.Г. Мусієнко, Т.Г. Маслова, В.О. Мусієнко // Энергосбережение, энергетика, энергоаудит. – 2005. - №9. - С. 35 - 41.

189. Паливно енергетичний комплекс України на порозі третього тисячоліття. Під загальною редакцією А.К.Шидловського, М.П. Ковалка // К.: Українські енциклопедичні знання. - 2001. – 400 с.

190. Праховник А.В. Шляхи подолання перешкод у реалізації довгострокової енергетичної політики та створення ефективної енергетики / А.В. Праховник // Энергетична стратегія України. Погляд громадськості. - К.: -2003. - С. 129 - 136.

191. Праховник А.В. Концептуальні положення управління енергоефективністю в Україні / А.В. Праховник, Є.М. Іншеков // Энергосбережение, энергетика, энергоаудит. – 2005. - №8. - С. 27 - 35.

192. Праховник А.В. Энергосбереження України: Стратегія та гармонізація до світових тенденцій / А.В. Праховник, Є.М. Іншеков // Праці Інституту електродинаміки НАН України, Збірник наукових праць, Спеціальний випуск. – К. : 2004. - С. 22 - 27.

193.174. Праховник А. Относительно анализа энергетической ситуации стран мира / А. Праховник, Е. Иншеков, В. Усачева // Энергетическая политика. – 2005. - №12. - С. 10 - 16.

194. Суходоля О.М. Розвиток державного управління енергоефективністю: теорія і практика / О.М. Суходоля // Праці Інституту електродинаміки НАН України :зб. наукових праць, Спеціальний випуск.-К. : 2004. - С. 31 - 35.

195. Борукаев З.Х. Об основных требованиях к системе технико-экономических показателей мониторинга энергоэффективности производства, передачи и потребления электроэнергии / З.Х. Борукаев // Праці Інституту електродинаміки НАН України: зб. наук. праць, Спеціальний випуск. – К.: 2006. - №3(15). - С. 11 - 15.

196. Шидловский А.К. Высшие гармоники в низковольтных электрических сетях/ А.К. Шидловский, А.Ф. Жаркин. - К.: Наук. думка. - 2005. - 300 с.

197. Эффективное энергоиспользование и альтернативная энергетика / А.Н. Криволапов, И. Классен, Э.П. Островский, В.Ф. Резцов, И.И. Стоянова / под ред. А.К. Шидловского. - К.: Українські енциклопедичні знання, 2000.- 302 с.

198. Борукаев З.Х. Об информационно-аналитической системе мониторинга энергоэффективности производства, передачи и потребления электроэнергии / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко // Моделювання та інформаційні технології. - К.: зб. наук. праць. - 2006. - Вип. № 37. -С. 108 - 115.

199. ДСТУ 3755-98. Державний стандарт України. Енергосбереження. Номенклатура показателів енергоефективності і порядок їх внесення в нормативну документацію.

200. ДСТУ 3682-98. Державний стандарт України. Енергозбереження. Методика визначення повної енергоємності продукції, робіт та послуг.

201. ДСТУ 2804-94. Державний стандарт України. Енергобаланс промислового підприємства.

202. Железко Ю.С. Потери электроэнергии в оборудовании сетей и подстанций / Ю.С. Железко // Электрические станции. – 2005. - № 7. - С. 41 - 49.

203. Литвак В.В. Яворский М.И. Универсальная шкала энергетической эффективности / В.В. Литвак, М.И.Яворский // Промышленная энергетика. - 2002, №7. - С. 8 - 10.

204. Микитенко В.В. Энергоефективність промислового виробництва / В.В. Микитенко. - К. : Об'єднаний інститут економіки НАН України, 2004. - 282 с.

205. Кумаритов А.М. Эффективность производственной энергетической системы / А.М. Кумаритов, О.И. Хузмиева // Экономика и финансы электроэнергетики. – 2002. - № 9. – с. 199 – 204.

206. Борукаев З.Х. Компьютерная модель Оптового рынка электроэнергии Украины / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко // Электрон. моделирование. – 2004. - Т.26, №1. – с. 111 - 124.

207. Борукаев З.Х. Программный комплекс автоматизированной системы расчёта платежей субъектов энергорынка Украины / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, А.Б. Остапченко, О.И. Лисовиченко // Моделювання та інформаційні технології: зб. наук. праць. – К.: 2003. - Вип.№ 19. – С. 47 - 51.

208. Бэнн Д.В. Сравнительные модели прогнозирования электрической нагрузки : пер. с англ. / Д.В. Бэнн, Е.Д. Фармер // М.: Энергоатомиздат, 1987. - 200 с.

209. Вчерашний В.П. Управление электропотреблением в электроэнергетических системах развитых капиталистических стран / В.П. Вчерашний // М.:ВИНИТИ: Итоги науки и техники, Серия «Энергетические системы и их автоматизация», Т. №4. - Прогнозирование и управление электропотреблением в электроэнергетических системах. - 1988. - С. 152 - 207.

210. Меламед А.М. Современные методы анализа и прогнозирования режимов электропотребления в электроэнергетических системах / А.М. Меламед // М.: ВИНИТИ: Итоги науки и техники, Серия «Энергетические системы и их автоматизация», Т.№4. - Прогнозирование и управление электропотреблением в электроэнергетических системах. - 1988. - С. 4 - 111.

211. Борукаев З.Х. К вопросу о создании комплексной системы прогнозирования электрической нагрузки / З.Х. Борукаев // Институт проблем моделювання в енергетиці:зб.науков.праць. - К. : - 2006. - Вип. №33. - С. 69 - 76.

212. Кобрін П.П. Аналіз методів прогнозування графіків електричного навантаження об'єднаної енергосистеми та можливості їх вдосконалення / П.П. Кобрін, Д.В. Крисанов // Проблеми загальної енергетики. - 2001. - №4. - С. 24 - 29.

213. Макоклюев Б.И. Анализ и планирование электропотребления / Б.Ию Макоклюев // М. : Энергоатомиздат, 2008. — 296 с.
214. Прогнозирование электрической нагрузки ОЭС Украины / Б.И. Макоклюев, А.В. Антонов, К.В. Ущатовский, Р.В. Грабчак // Электрические сети и системы. – 2010. – № 4. – С. 4–12.
215. Четыркин Е.М. Статистические методы прогнозирования / Е.М. Четыркин. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: «Статистика», 1977. - 200 с.
216. Рабочая книга по прогнозированию / Редкол.: И.В. Бестужев-Лада (отв. ред.). – М.: Мысль, 1982. - 430 с.
217. Остапченко К.Б. Выбор модели прогнозирования электропотребления при решении задач оперативного суточного планирования поставок электроэнергии на оптовом рынке / К.Б. Остапченко, О.И. Лисовиченко // Міжвідомчий науково – технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління». - Дніпропетровськ ДНВП Системні технології. – 2014. - Вип. 1(24). - С. 76 - 86.
218. Галустов Г.Г. Математическое моделирование и прогнозирование в технических системах : Учебное пособие / Г.Г.Галустов, С.П., Бровченко, С.Н. Мелешкин. – Таганрог : Изд-во ТТИ ЮФУ, 2008. – 30 с.
219. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации : пер. с польского / С. Оссовский; пер. с польского И.Д. Рудинского. - М.: Финансы и статистика, 2002. - 344 с.
220. Ямпольський Л.С. Системи штучного інтелекту в плануванні, моделюванні та управлінні : підруч. для студ. вищ. навч. закл. / Л. С. Ямпольський, Б. П. Ткач, О. І. Лісовиченко.— К. : ДП «Вид. дім «Персонал», 2011. – 544 с.
221. Шумилова Г.П. Прогнозирование электрических нагрузок ЭЭС на базе новых информационных технологий / Г.П. Шумилова, Н.Э. Готман, Т.Б. Старцева // В книге: Новые информационные технологии в задачах оперативного управления электроэнергетическими системами / Н.А.Манов, Ю.Я.Чукреев, М.И.Успенский и др. Екатеринбург : УрО РАН, 2002. - С.127 - 156.

222. Прогнозирование электропотребления: Современные подходы и пример исследования / Л.А. Большов, М.Ф. Каневский, Е.А. Савельева, В.А. Тимонин, С.Ю. Чернов // Изв. РАН, Энергетика. – 2004. - №6. - С. 74 - 93.

223. Краткосрочное прогнозирование потребления электроэнергии на основе искусственной многослойной нейро фаззи сети / Е.В. Бодянский, С.В. Попов, Т.В. Рыбальченко, Н.Н. Титов // Энергетика та електрифікація. – 2008. – №9. – С. 37.

224. Кудрин Б.И. Методика обеспечения почасового прогнозирования электропотребления предприятий с учетом погодных факторов / Б.И. Кудрин, А.В. Мозгалин // Вестник МЭИ. – 2007. – N 2. – С. 45 - 47.

225. Воронов И. В. Создание прогнозной модели электропотребления предприятия химической отрасли на основе искусственных нейронных сетей / И.В. Воронов, Е. А. Политов // Журнал «Промышленная Энергетика». – 2011. - №3. - стр. 26 – 29.

226. Блінов І.В. Короткострокове прогнозування оптових цін на електричну енергію з використанням радіально базисних штучних нейронних мереж / І.В. Блінов, Г.С. Корхмазов, В.І. Попович, А.М. Зозуля // Праці ІЕД НАНУ. – 2009. – Вип. 24. – С. 23-31.

227. Блінов І.В. Розв'язання задач прогнозування в системах електроживлення локальних об'єктів з використанням штучних нейронних мереж / І.В. Блінов, Ю.С. Перетегеря, Т.А. Хижняк, В.В. Чопик // Праці ІЕД НАНУ. – 2010. – Вип. 27. – С. 15-21.

228. Руссков О.В. Планирование неравномерного потребления субъекта оптового рынка электроэнергии на основе прогноза соотношений часовых цен / О.В. Руссков, С.Э. Сараджишвили // Наука и Образование : МГТУ им Н.Э. Баумана. - Электрон. журнал, 2015. -№2. - С. 115 - 135.

229. Muller V. Neural Networks: an introduction, Springer-Verlag / V. Muller, J. Reinhart. - Berlin Heidelberg, 1990. - 331 p.

230. Борукаев З.Х. Подход к построению автоматизированной информационной системы оперативного (суточного) планирования поставок

электрической энергии в условиях оптового рынка. Часть 2. Методическое обеспечение / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.И. Лисовиченко // Институт проблем моделирования в энергетике им. Г.С. Пухова: сб. научных работ. – К. : 2012. - Вып. № 63. - с. 172 - 184.

231. Борукаев З.Х. Математическое обеспечение методики расчета прогнозной оптовой цены на рынке электроэнергии / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.И. Лисовиченко // Энергетика та електрифікація. – 2015. - № 9. - С. 33 - 43.

ДОДАТОК А

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Борукаев З.Х. Теоретические и информационные аспекты создания компьютерной системы управления топливно-энергетическим комплексом / З.Х. Борукаев, В.Ф. Евдокимов, К.Б. Остапченко, В.Ф. Шатров // Электрон. моделирование. – 2002. - Т. 24, №1. – С. 58 - 69.

2. Борукаев З.Х. Информационно-аналитическая система мониторинга оптового рынка электроэнергии / З.Х. Борукаев, В.Ф. Евдокимов, К.Б. Остапченко // Моделювання та інформаційні технології: зб. наук. праць. – К.: 2002. - Вип. №14. - С. 3 - 13.

3. Борукаев З.Х. Программный комплекс автоматизированной системы расчёта платежей субъектов энергоринку Украины / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, А.Б. Остапченко, О.И. Лисовиченко // Моделювання та інформаційні технології: зб. наук. праць. – К.: 2003. - Вип. № 24. – С. 47 - 51.

4. Евдокимов В.Ф. Некоторые вопросы создания компьютерных средств поддержки принятия решений для систем организационного управления в энергетике / В.Ф. Евдокимов, Ю.Г. Куцан, З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, Л.И. Грицюк // Энергетика и электрификация. – 2003. - №1. - С. 2 - 7.

5. Борукаев З.Х. Компьютерная модель Оптового рынка электроэнергии Украины / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко // Электрон. моделирование. - 2004. - Т.26, № 1. - С. 111 - 124.

6. Борукаев З.Х. О предпосылках теоретико-игрового подхода к моделированию энергетического рынка / З.Х. Борукаев // Моделювання та інформаційні технології : зб. наук. праць. – К.: 2005. - Вип. № 32. - С. 14 - 22.

7. Борукаев З.Х. О подходах и задачах построения общей модели энергетического рынка / З.Х. Борукаев // Институт проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова: зб. наук. праць. – К. : 2006. - Вип. № 32. - С. 66 - 77.

8. Борукаев З.Х. Подход к построению теоретико - игровой модели энергетического рынка / З.Х. Борукаев // Электрон. моделирование. – 2006. – Т.28, № 4. – С. 107 – 119.

9. Борукаев З.Х. Формирование оптимального решения многоуровневой коалиционной игры - модели энергоринка / З.Х. Борукаев // Энергетика та електрифікація. - 2006. - № 12. - С. 4 - 10.

10. Борукаев З.Х. Задачи и этапы программной реализации теоретико-игровых моделей энергетического рынка / З.Х. Борукаев // Автоматизація виробничих процесів. - 2006. - № 2(23). - С. 152 – 161.

11. Борукаев З.Х. К вопросу о создании комплексной системы прогнозирования электрической нагрузки / З.Х. Борукаев // Институт проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова : зб. наук. праць. – К.: 2006. - Вип. № 33. - С. 69 - 76.

12. Борукаев З.Х. Об информационно-аналитической системе мониторинга энергоэффективности производства, передачи и потребления электроэнергии / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко // Моделювання та інформаційні технології : зб. наук. праць. - К.: 2006. - Вип. № 37. - С. 108 - 115.

13. Борукаев З.Х. Об основных требованиях к системе технико-экономических показателей мониторинга энергоэффективности производства, передачи и потребления электроэнергии / З.Х. Борукаев // Праці Інституту електродинаміки НАН України: зб. наук. праць. – К.: 2006. - № 3(15). - С. 11 - 15.

14. Евдокимов В.Ф. Компьютерная модель мониторинга энергоэффективности: информационно-технологические аспекты / В.Ф. Евдокимов, З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко // Энергетика та електрифікація. - 2006. - № 11. - С. 52 - 57.

15. Борукаев З.Х., Компьютерная модель мониторинга энергоэффективности: аспекты информационного моделирования / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, Л.И. Грицюк // Энергетика та електрифікація. - 2007. - № 1. - С. 3 - 7.

16. Борукаев З.Х. Построение информационной модели системы мониторинга энергоэффективности электроэнергетики / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, Л.И. Грицюк // Энергетика та електрифікація. - 2007. - № 2. - С. 60 - 65.

17. Борукаев З.Х. Построение математической модели функционирования оптового рынка электроэнергии для решения задач организационного управления / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко // Электрон. моделирование. - 2007. - Т.29, № 2. - С. 73 - 84.

18. Борукаев З.Х. Подход к построению компьютерных моделей для оперативного (суточного) планирования поставок электрической энергии в условиях оптового рынка. Часть 1. Формулировка задачи / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.И. Лисовиченко // Моделювання та інформаційні технології : зб. наук. праць. - К.: 2012. - Вип. № 63. - С. 192 - 198.

19. Борукаев З.Х. Подход к построению компьютерных моделей для оперативного (суточного) планирования поставок электрической энергии в условиях оптового рынка. Часть 2. Методическое обеспечение / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.И. Лисовиченко // Институт проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова : зб. наук. праць. – К.: 2012. - Вип. № 63. - С. 172 - 185.

20. Борукаев З.Х. Подход к построению компьютерных моделей для оперативного (суточного) планирования поставок электрической энергии в условиях оптового рынка. Часть 3. Информационно-технологическое обеспечение / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.И. Лисовиченко // Институт проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова: зб. наук. праць. – К.: 2012. - Вип. № 62. - С. 164 - 186.

21. Борукаев З.Х. Планирование торгового диспетчерского графика распределения активной нагрузки на оптовом рынке электроэнергии. Часть 1. Математическая модель. / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.И. Лисовиченко // Институт проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова : зб. наук. праць. – Київ: 2012.- Вип. № 64. - С. 127 - 137.

22. Борукаев З.Х. Компьютерное моделирование задач планирования поставок электроэнергии на оптовом рынке с применением искусственных нейронных сетей / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.И. Лисовиченко // Институт проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова :зб. наук. праць. – К.: 2012. - Вип. № 65. - С. 140 - 152.

23. Борукаев З.Х. Анализ взаимосвязи данных динамики энергорынка с изменениями цен на рынках энергоносителей / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.И. Лисовиченко // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління». - 2015. - № 1(26). - С.85 - 101. (WorldCat, Open AIRE, Google Scholar)

24. Борукаев З.Х. Моделирование динамики прибыли генерирующих компаний в условиях изменения цен на энергоносители / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.И. Лисовиченко // Енергетика та електрифікація. – 2015. - № 10. - С. 31 - 35.

25. Борукаев З.Х. Математическое обеспечение методики расчета прогнозной оптовой цены на рынке электроэнергии / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.И. Лисовиченко // Енергетика та електрифікація. – 2015. - № 9. - С. 33 - 43. (WorldCat, Open AIRE, Google Scholar)

26. Борукаев З.Х. Модели для определения прогнозной оптовой цены покупки электроэнергии в условиях изменения цен на энергоносители / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.И. Лисовиченко // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління». - 2015. - № 2 (27). - С.35 - 43. (WorldCat, Open AIRE, Google Scholar)

27. Борукаев З.Х. Модель краткосрочного прогноза оптовой цены покупки электроэнергии в условиях изменения цен на рынках энергоносителей / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.И. Лисовиченко // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління». - 2016. - № 1 (28). - С. 11 - 22. (WorldCat, Open AIRE, Google Scholar)

28. Борукаев З.Х. Подход к построению систем поддержки принятия решений для автоматизации процессов организационного управления в

енергетике / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.И.Лисовиченко // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Адаптивні системи автоматичного управління». - 2017. - №1(30). - С.36 - 48. (WorldCat, Open AIRE, Google Scholar)

Праці апробаційного характеру:

29. Борукаев З.Х. Автоматизированная система расчёта платежей субъектов оптового рынка электроэнергии / З.Х. Борукаев, В.Ф. Евдокимов, К.Б. Остапченко // Энергетика: Управление, качество и эффективность использования энергоресурсов: третья Всероссийская научно техническая конференция с международным участием 14-16 мая, 2003 г., г. Благовещенск, Российская федерация: сборник трудов в 2-х томах, изд-во Амурского государственного университета. - 2003. - Т.1. - С. 133 – 138.

30. Евдокимов В.Ф. О проблеме информатизации системы организационного управления топливно-энергетическим комплексом Украины / В.Ф. Евдокимов, З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко // Информационные технологии в управлении энергетическими системами : международная конференция, 18-19 октября, 2005 г., г. Киев, Украина : тезисы докл. – С. 5 – 6.

31. Борукаев З.Х. Математическая модель функционирования оптового рынка электроэнергии / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко // Международная конференция «Моделирование - 2006», 16-18 мая 2006 г., Киев, Украина : сборник трудов. - С.33 - 36.

32. Борукаев З.Х. О теоретико-игровой модели рынка электрической энергии Украины / З.Х. Борукаев // Международная научно-практическая конференция «Функціонування і розвиток ринків електроенергії та газу», 31 мая-5июня 2006 г., п.г.т. Партенит, Крым, Украина // Институт проблем моделирования в энергетике ім. Г.Є. Пухова : зб. наук. праць, Спеціальний випуск. – К. : 2006. - С. 34 - 43.

33. Борукаев З.Х. Проектирование інформаційно-аналітичних систем моніторингу виробничих показників у теплоенергетичному комплексі / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.І. Лісовиченко // Автоматизація: проблеми, ідеї,

рішення : міжнародна науково-технічна конференція, 5-9 вересня 2011 р., м. Севастополь, Україна : матеріали конф. - С. 211 - 213.

34. Борукаев З.Х. Проблемы математического моделирования распределения активной нагрузки на оптовом рынке электроэнергии / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.И. Лисовиченко // Автоматизация: проблемы, идеи, решения : міжнародна науково-технічна конференція, 9-13 вересня 2013 р., м. Севастополь, Україна : матеріали конф. - С. 31 - 32.

35. Борукаев З.Х. Прогнозирование электропотребления при решении задач оперативного суточного планирования поставок электроэнергии на оптовом рынке / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.И. Лисовиченко // Автоматизация: проблемы, идеи, решения : міжнародна науково-технічна конференція, 8-12 вересня, 2014 р., м. Севастополь, Україна : матеріали конф. - С. 31 - 32.

36. Борукаев З.Х. Модель прогноза оптовой цены покупки электроэнергии в условиях изменения цен на энергоносители / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.И. Лисовиченко // V международная конференция «Моделирование - 2016», 25-27 мая 2016 г., г. Киев, Украина : сборник трудов. - С.147 – 150.

37. Борукаев З.Х. Модель аналізу динаміки прибутку генеруючих компаній в умовах зміни цін на енергоносії / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.І.Лисовиченко // Прикладні науково-технічні дослідження : міжнародна науково-практична конференція, 5-7 квітня 2017 р., Івано-Франківськ, Україна : матеріали конф. - С. 28.

Додатковий список наукових праць:

38. Борукаев З.Х. Об одном подходе к созданию компьютерной системы организационного управления в энергетике / З.Х. Борукаев, В.Ф. Евдокимов, К.Б. Остапченко // Энергетика и электрификация. – 2002. - № 2. - С. 49 - 54.

39. Компьютерные системы организационного управления в энергетике / З.Х. Борукаев, В.Ф. Евдокимов, К.Б. Остапченко, В.Ф. Шатров. - Киев: ЦТИ Энергетика и электрификация, 2002. - 66 с.

40. Евдокимов В.Ф. О компьютерной системе мониторинга энергетического рынка Украины / В.Ф. Евдокимов, Ю.Г. Куцан, З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, Л.И. Грицюк // Энергетика и электрификация. - 2002. - № 12. - С. 15 - 18.

41. Борукаев З.Х. О компьютерной системе мониторинга энергетического производства / З.Х. Борукаев, В.Ф. Евдокимов, К.Б. Остапченко // Энергетика: Управление, качество и эффективность использования энергоресурсов: третья Всероссийская научно техническая конференции с международным участием, 14-16 мая, 2003 г., г. Благовещенск, Российская федерация : сборник трудов в 2-х томах, изд-во Амурского государственного университета. - 2003. - Т.1. - С.223 - 228.

42. Борукаев З.Х. О компьютерной системе мониторинга «Ресурсы производства и продукция ТЭК» / З.Х. Борукаев, Л.И. Грицюк, В.И. Кубанский, К.Б. Остапченко // XXII науково-технічна конференція “Моделювання”, 9-10 січня 2003 р., м. Київ, Україна : тези конф. - 2003. - С. 4 - 7.

43. Борукаев З.Х. Автоматизированная система расчёта платежей субъектов оптового рынка электроэнергии Украины / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, В.Ф. Евдокимов // Электрические сети и системы. – 2003. - №2. – С. 43 - 48.

44. Борукаев З.Х. Об информационно-технологической платформе компьютерного моделирования процессов организационного управления / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко // Информационные технологии в управлении энергетическими системами : международная конференция, 18-19 октября, 2005 г., г. Киев, Украина : тезисы докл. – С. 26 - 28.

45. Борукаев З.Х. Моделирование динамики энергорынка в условиях изменения цен на рынках энергоносителей. Часть 1. Общая формулировка задачи / З.Х. Борукаев, К.Б. Остапченко, О.И. Лисовиченко // Моделювання та інформаційні технології : зб. наукових прац. - К. : 2014. - Вип. № 73. - С. 139 – 14.

ДОДАТОК Б
ДОКУМЕНТИ, ЯКІ ПІДТВЕДЖУЮТЬ ВИКОРИСТАННЯ
РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ



Кабінет Міністрів України

ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО «ЕНЕРГОРИНОК»

01032, м. Київ-32, вул. Симона Петлюри, 27, телефон: 594-86-00, факс: 594-86-88.

22.12.2016 № 01/32-12864

На №..... від

[Про впровадження результатів
дисертаційної роботи
Борукаєва З. Х.

Інститут проблем моделювання в
енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України

03164, Київ – 164,
вул. Генерала Наумова 15.

Результати досліджень, виконаних в рамках дисертаційної роботи Борукаєва З.Х. «Математичні та комп'ютерні моделі автоматизації процесів організаційного управління в енергетиці в умовах ринку», використані в ДП «Енергоринок» при розробці та впровадженні автоматизованої системи розрахунків платежів (далі - АСРП) суб'єктів Оптового ринку електроенергії України (далі - ОРЕ).

Розроблено математичну модель, алгоритми та програмне забезпечення для автоматизації розрахунково-технологічних процесів розрахунків оптових ринкових цін на електричну енергію та платежів суб'єктам ОРЕ на підставі погодинних даних комерційного обліку виробленої та поставленої електричної енергії, формування балансів купівлі-продажу електричної енергії відповідно до Правил ОРЕ.

АСРП впроваджено в промислову експлуатацію у 2005 р., як інформаційно – розрахункову систему, інтегровану в комп'ютерну систему ДП «Енергоринок». Вона призначена не тільки для автоматизації процесів розрахунків платежів, а і забезпечує автоматизацію процесів рішення комплексу задач аналізу динаміки змін показників функціонування ОРЕ – оптових погодинних цін купівлі, продажу електроенергії та інших у розрахунковий період часу, встановлений Правилами ОРЕ.

В цілому роботу АСРП можна охарактеризувати, як успішну, що відповідає всім вимогам до автоматизованих інформаційно-розрахункових систем такого класу складності і відповідальності.

Директор

Ю.Л. Гнатюк

ДРП
594-86-77



Затверджую
 Директор Інституту технічної
 теплофізики НАН України
 чл.-кор. НАН України, д.т.н., проф.
 Сисежкін Ю.Ф.
 « 27 » _____ 2016 р.

Акт

про використання результатів дисертаційної роботи «Математичні та комп'ютерні моделі автоматизації процесів організаційного управління в енергетиці в умовах ринку»

Борукаєва Зелімхана Харитоновича

Ми, що нижче підписалися, представники Інституту технічної теплофізики НАН України чл.-кор. НАН України, д.т.н., проф. Басок Б.І., пров.н.с., к.т.н. Базеєв Є.Т. склали цей акт про те, що результати досліджень дисертаційної роботи Борукаєва З.Х. «Математичні та комп'ютерні моделі автоматизації процесів організаційного управління в енергетиці в умовах ринку» використані в Інституті технічної теплофізики НАН України при виконанні робіт за Договором № НЗ-14-65-08 від 08.09.2008 р. «Розроблення методологічних засад підготовки регіональних програм модернізації комунальної теплоенергетики» між Міністерством житлово-комунального господарства України та Інститутом технічної теплофізики НАН України.

У рамках цієї роботи було створено розділ 11 «Застосування інформаційних технологій в сфері теплозабезпечення: Білінгові системи». У ньому запропоновано інформаційно-технологічне забезпечення, що реалізує об'єктно-орієнтований підхід до створення комп'ютерної системи організаційного управління регіональною системою теплопостачання (РСТ).

Розроблено організаційну та функціональну моделі програмного середовища запропонованої інформаційної технології, систему класифікації та структуру бази даних задля формування інформаційного ресурсу у виді електронної бази даних про теплогенеруючі об'єкти РСТ, їхні технічні характеристики тощо. Програмне середовище призначено для рішення задач автоматизації процесів організаційного управління з метою істотного підвищення якості, обґрунтованості й оперативності прийнятих рішень. Зокрема, при виконанні таких функцій організаційного управління як, комерційний облік теплової енергії, розрахунки платежів суб'єктів ринку теплової енергії та інших показників.

В цілому виконану по Договору роботу можна охарактеризувати, як таку, що відповідає сучасним вимогам до інформаційно-технологічного забезпечення автоматизації процесів організаційного управління РСТ.

Член.-кор. НАН України, д.т.н., проф.

Пров.н.с., к.т.н.

Б.І. Басок

Є.Т. Базеєв

ДОДАТОК В
СХЕМИ РОЗРАХУНКІВ ВИЗНАЧЕННЯ ПЛАТЕЖІВ
СУБ'ЄКТІВ ОРЕ

Таблиця В.1 Схеми розрахунків визначення платежів суб'єктів ОРЕ

№	Схеми розрахунків	Умов. познач.	Визначення величин	Один. виміру	Джерело даних
1	Розрахунок платежів генерації				
1.1.	Платіж за вироблену електроенергію	$D_{\text{ср}}^{\text{в}}$	Платіж станції	грн.	
1.1.1.	Платіж за фіксованим тарифом (за договором, контрактом) $D_{\text{ср}}^{\text{двк}} = T_{\text{ср}} \times \mathcal{E}_{\text{ср}}^{\text{фо}}$ Платіж по фіксованому тарифу генкомпанії $D_{\text{р}}^{\text{дв}} = \sum_{\text{с}=1}^{N_{\text{г}}} D_{\text{ср}}^{\text{двк}}$	$T_{\text{ср}}$	Фіксований погодинний тариф	грн.	Нормативний параметр
		$\mathcal{E}_{\text{ср}}^{\text{фо}}$	Фактичний відпуск електроенергії станції	МВт/год	Макет
		C	Індекс станції		
		P	Розрахунковий період		
1.1.2.	Платіж станції за граничною ціною системи $D_{\text{ср}}^{\text{з}} = \Pi_{\text{р}}^{\text{фпс}} \times \mathcal{E}_{\text{ср}}^{\text{фо}}$ $\mathcal{E}_{\text{ср}}^{\text{фо}} = \sum_{\text{б}=1}^{N_{\text{с}}} \mathcal{E}_{\text{бр}}^{\text{фо}}$	$\Pi_{\text{р}}^{\text{фпс}}$	Фактична гранична ціна системи	грн.	ДФ ЦРН
		$N_{\text{ст}}$	Кількість блоків станції		
			Платіж генкомпанії за добу $D_{\text{г}}^{\text{з}} = \sum_{\text{р}=1}^{25} \sum_{\text{с}=1}^{N_{\text{г}}} D_{\text{ср}}^{\text{з}}$		
	Платіж генкомпанії за місяць $D_{\text{г}}^{\text{з}} = \sum_{\text{ж}=1}^{31} D_{\text{г}}^{\text{з}}$				
1.1.4.	Платіж по договірній ціні $D_{\text{с}}^{\text{дв}} = \sum_{\text{р}=1}^{25} \Pi_{\text{дог}} \times \mathcal{E}_{\text{ср}}^{\text{фо}}$ $D_{\text{м}}^{\text{дв}} = \sum_{\text{ж}=1}^{31} \sum_{\text{с}=1}^{N_{\text{г}}} D_{\text{с}}^{\text{дв}}$				
1.2.	Платіж за заявлену робочу потужність	$D_{\text{бр}}^{\text{рм}}$	Платіж за робочу потужність блоку		
1.2.1.	$D_{\text{бр}}^{\text{рм}} = P_{\text{бр}}^{\text{рф}} \times P_{\text{о}}^{\text{о}} \times \Pi_{\text{р}}^{\text{рм}}$	$\Pi_{\text{р}}^{\text{рм}}$	Ціна робочої потужності		
		$P_{\text{о}}^{\text{о}}$	Коефіцієнт корисного відпуску		
		$P_{\text{бр}}^{\text{рф}}$	Фактична робоча потужність		

№	Схеми розрахунків	Умов. познач.	Визначення величин	Один. виміру	Джерело даних
1.2.2.	Визначення фактичної робочої потужності блоку $P_{бр}^{рф} = \begin{cases} P_{бр}^{рo}, & \text{якщо } H_{бр} = 0 \\ \min \{ \mathcal{E}_{бр}^{\phi}, P_{бр}^{рo} \}, & \text{якщо } H_{бр} = 1 \end{cases}$	$P_{бр}^{рo}$	Кінцева заявлена робоча потужність блоку		
		$H_{бр}$	Ознака порушення		
		$\mathcal{E}_{бр}^{\phi}$	Фактичний виробіток блоку		
1.2.3.	Визначення ознаки порушення $H_{бр} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } O_{бр}^{\phi} > O_{бр}^{\Delta} \\ 0, & \text{якщо } O_{бр}^{\phi} \leq O_{бр}^{\Delta} \end{cases}$ $O_{бр}^{\Delta} = \mathcal{E}_{бр}^{\text{дис}} \times \Delta_{б}$ $O_{бр}^{\phi} = \mathcal{E}_{бр}^{\phi} - \mathcal{E}_{бр}^{\text{дис}}$	$O_{бр}^{\Delta}$	Припустиме відхилення блоку		
		$O_{бр}^{\phi}$	Відхилення від припустимого		
		$\mathcal{E}_{бр}^{\text{дис}}$	Виробіток блоку заданий диспетчером		
		$\Delta_{б}$	Припустиме нормативне відхилення від диспетчерського графіку		
1.2.4.	Платіж за робочу потужність станції $D_{ср}^{\text{рм}} = \sum_{б=1}^{N_c} D_{бр}^{\text{рм}}$	$D_{ср}^{\text{рм}}$	Платіж за робочу потужність станції		
1.2.5.	Платіж за робочу потужність генкомпанії $D_{г}^{\text{рм}} = \sum_{с=1}^{N_r} \sum_{р=1}^{25} D_{ср}^{\text{рм}}$				
1.3.	Штраф за порушення диспетчерського графіку $D_{бр}^{\text{ш}} = 0$, якщо $H_{бр} = 0$ $D_{бр}^{\text{ш}} = (\mathcal{C}_{р}^{\text{фпс}} \times K^{\text{ш}}) \times \mathcal{E}_{бр}^{\phi} - \mathcal{E}_{бр}^{\Delta} \times P_{б}^o$ якщо $H_{бр} = 1$	$D_{бр}^{\text{ш}}$	Штраф блоку за порушення графіку роботи		
		$K^{\text{ш}}$	Коефіцієнт штрафу		
		$\mathcal{E}_{бр}^{\Delta}$	Виробіток блоку заданий диспетчером		
1.4.	Платіж за відхилення від графіку для створення резерву і на виконання вимог системи (надвиробництво)	$D_{бр}^{\text{в}}$	Платіж за надвиробництво Змушене надвиробництво		
		$\mathcal{C}_{бр}^{\text{зв}}$	Заявлена ціна блоку		
1.4.1.	Якщо $\mathcal{C}_{бр}^{\text{зв}} > \mathcal{C}_{р}^{\text{фпс}}$, то $D_{бр}^{\text{в}} = 0$	$\mathcal{E}_{бр}^{\Delta}$	Плановий графік		
		$\mathcal{E}_{бр}^{\phi}$	Диспетчерський фактично заданий		
1.4.2.	Якщо $\mathcal{E}_{бр}^{\Delta} > \mathcal{E}_{бр}^{\Gamma}$ не виконано, то $D_{бр}^{\text{в}} = 0$				
1.4.3.	Якщо $\mathcal{E}_{бр}^{\phi} > \mathcal{E}_{бр}^{\Gamma}$ не виконано, то $D_{бр}^{\text{в}} = 0$				

№	Схеми розрахунків	Умов. познач.	Визначення величин	Один. виміру	Джерело даних
1.4.4.	Якщо $H_{\text{бр}} = 1$, то $D_{\text{бр}}^{\text{в}} = 0$				
1.4.5	Якщо $H_{\text{бр}} = 0$ то $\mathcal{E}_{\text{бр}}^{\text{в}+} = (\mathcal{E}_{\text{бр}}^{\text{ф}} - \mathcal{E}_{\text{бр}}^{\text{г}}) \times P_{\text{б}}^{\text{о}}$				
1.4.6.	Якщо $\mathcal{E}_{\text{бр}}^{\text{г}} = 0$ $D_{\text{бр}}^{\text{в}} = (\mathcal{C}_{\text{бр}}^{\text{зв}} - \mathcal{C}_{\text{р}}^{\text{фпс}}) \times \mathcal{E}_{\text{бр}}^{\text{в}+}$, в іншому випадку $D_{\text{бр}}^{\text{в}} = (\mathcal{C}_{\text{бр}}^{\text{изв}} - \mathcal{C}_{\text{р}}^{\text{фпс}}) \times \mathcal{E}_{\text{бр}}^{\text{в}+}$	$\mathcal{C}_{\text{бр}}^{\text{изв}}$	Визначення заявленої прирощеної ціни при змінній режиму		
1.4.7.	Визначення завленої прирощеної ціни блоку якщо $P_{\text{б1}} > \mathcal{E}_{\text{бр}}^{\text{ф}}$, то $\mathcal{C}_{\text{бр}}^{\text{изв}} = \mathcal{C}_{\text{б1}}^{\text{з}}$; якщо $P_{\text{б1}} \leq \mathcal{E}_{\text{бр}}^{\text{ф}} < P_{\text{б2}}$: то $\mathcal{C}_{\text{бр}}^{\text{изв}}$ = точка інтерполяції між $\mathcal{C}_{\text{б1}}^{\text{з}}$ і $\mathcal{C}_{\text{б2}}^{\text{з}}$; якщо $P_{\text{б2}} \leq \mathcal{E}_{\text{бр}}^{\text{ф}} < P_{\text{б3}}$: то $\mathcal{C}_{\text{бр}}^{\text{изв}}$ = точка інтерполяції між $\mathcal{C}_{\text{б2}}^{\text{з}}$ і $\mathcal{C}_{\text{б3}}^{\text{з}}$; якщо $P_{\text{б3}} \leq \mathcal{E}_{\text{бр}}^{\text{ф}} < P_{\text{б4}}$: то $\mathcal{C}_{\text{бр}}^{\text{изв}}$ = точка інтерполяції між $\mathcal{C}_{\text{б3}}^{\text{з}}$ і $\mathcal{C}_{\text{б4}}^{\text{з}}$; якщо $\mathcal{E}_{\text{бр}}^{\text{ф}} \geq P_{\text{б4}}$: то $\mathcal{C}_{\text{бр}}^{\text{изв}} = \mathcal{C}_{\text{б4}}^{\text{з}}$.	$\mathcal{C}_{\text{бр}}^{\text{изв}}$			
1.5.	Платіж за відхилення від графіку для створення резерву і на виконання вимог системи (недовиробництво)				
1.5.1.	Перевірка умови $\mathcal{C}_{\text{бр}}^{\text{зв}} < \mathcal{C}_{\text{р}}^{\text{фпс}}$, якщо не виконується, то $D_{\text{бр}}^{\text{в}} = 0$				
1.5.2.	Перевірка умови Якщо $\mathcal{E}_{\text{бр}}^{\text{д}} < \mathcal{E}_{\text{бр}}^{\text{п}}$, не виконується, то $D_{\text{бр}}^{\text{в}} = 0$				
1.5.3.	Якщо $\mathcal{E}_{\text{бр}}^{\text{ф}} < \mathcal{E}_{\text{бр}}^{\text{г}}$, не виконується, то $D_{\text{бр}}^{\text{в}} = 0$				
1.5.4.	Якщо $H_{\text{бр}} = 1$, то $D_{\text{бр}}^{\text{в}} = 0$				

№	Схеми розрахунків	Умов. познач.	Визначення величин	Один. виміру	Джерело даних
1.5.5.	Якщо $H_{бр} = 0$, то $\mathcal{E}_{бр}^{в-} = (\mathcal{E}_{бр}^r - \mathcal{E}_{бр}^f) \times P_{\phi}^o$				
1.5.6.	Якщо $\mathcal{E}_{бр}^f = 0$, то $D_{бр}^в = (\mathcal{C}_p^{фпс} - \mathcal{C}_{бр}^{зв}) \times \mathcal{E}_{бр}^{в-}$ в іншому випадку $D_{бр}^в = (\mathcal{C}_p^{фпс} - \mathcal{C}_{бр}^{изв}) \times \mathcal{E}_{бр}^{в-}$				
1.5.7.	Платіж станції за відхилення від графіку $D_c^в = \sum_{\phi=1}^{N_c} \sum_{p=1}^{25} D_{бр}^в$				
1.5.8.	Платіж генкомпанії за відхилення від графіку $D_r^в = \sum_{j=1}^{31} \sum_{c=1}^{N_r} D_c^в$				
1.6.	Платіж за маневреність блоку				
1.6.1.	$D_{бр}^{мн} = \mathcal{C}_{бр}^{мн} \times \square P_{бр}^{фрег} \times P_{\phi}^o$	$\mathcal{C}_{бр}^{мн}$	Ціна за маневреність		
		P_{ϕ}^o	Коефіцієнт корисного відпуску		
1.6.2.	Визначення фактичного діапазону маневреності Якщо $H_{бр} = 1$, $\square P_{бр}^{фрег} = 0$; Якщо $H_{бр} = 0$, $\square P_{бр}^{фрег} = \min(\square P_{бр}^{рег}, \square P_{бр(кінц)}^{рег})$				
1.6.3.	Визначення кінцевого діапазону маневреності якщо $P_{об} = 1$, то $\square P_{бр(кінц)}^{рег} = P_{бр-д}^{Pmax} - P_{бр-д}^{min}$ якщо $P_{об} = 0$, то якщо $M_{бр} = 1$, то $\square P_{бр}^{рег(кінц)} = P_{бр-д}^{max}$ якщо $M_{бр} = 0$, то якщо $M_{бр} = 1$ на корпусі, то $\square P_{бр}^{рег(кінц)} = P_{бр-д}^{max} / 2$ усі інші: $\square P_{бр(кінц)}^{рег} = P_{бр-д}^{Pmax} - P_{бр-д}^{min}$				
1.7.	Додаткові платежі виробникам	D_{ϕ}^c	Додатковий платіж станції		

	$D_{бр}^c = D_6^c / T^{cr}$	T^{cr}	Тривалість додаткового графіку		
1.8.	Платіж, що сплачують виробникам, які не мають двосторонніх договорів (що розраховуються за граничною ціною системи)				
1.8.1.	Сумарний платіж блоку $D_{бр}^p = D_{бр}^b + D_{бр}^{pm} + D_{бр}^c - D_{бр}^m + D_{бр}^{mn}$				
1.8.2.	Сумарний платіж станції $D_{ср}^{cc} = \sum_{б=1}^{N_c} D_{бр}^p + D_{ср}^o$				
1.8.3.	Сумарний платіж генкомпанії $D_{гр}^{cc} = \sum_{с=1}^{N_r} D_{ср}^{cc}$				
1.9.	Визначення оптової ціни закупки $Ц_p^{ок} = \frac{\sum_b D_{бр}^{pm} + \sum_c D_{ср}^o + \sum_b D_{бр}^{mn}}{\sum_c \mathcal{E}_{ср}^{fo}}$	$D_{гр}^{pm}$	Платіж за робочу потужність		
		$D_{ср}^b$	Платіж за вироблену електроенергію		
		$\mathcal{E}_{ср}^{fo}$	Фактичний відпуск станції		
1.10.	Визначення платежів перетоків $D_{ip}^n = P_{ip}^{n3} \times K_{ip}^{t3} \times Ц_i^t$	P_{ip}^{n3}	Потужність і-го перетоку електроенергії		
		K_{ip}^{t3}	Коефіцієнт тарифної зони		
		$Ц_i^t$	Тариф і-го вузла		
2.	Розрахунок оптової ринкової ціни продажу				
2.1.	Зменшення платежів постачальників електроенергії $D_p^{zn} = \frac{\sum_c (D_{ср}^{dvk} - Ц_p^{ок} \times \mathcal{E}_{ср}^{fo})}{T^{cr}}$	$D_{ср}^{dvk}$	Сумарний платіж поставникам і операторам зовнішніх перетоків, які продають електроенергію згідно двосторонньому договору		
		$\mathcal{E}_{ср}^{fo}$	Фактичний відпуск електроенергії виробникам, які продають електроенергію згідно двосторонньому договору		
		T^{cr}	Тривалість добового графіку		

№	Схеми розрахунків	Умов. познач.	Визначення величин	Один. виміру	Джерело даних
2.2.	Витрати ДП “Енергоринок” $D_p^{эр} = D^{эр} / (T^{ст} \times 31)$	$D_p^{эр}$	Витрати ДП “Енергоринок”		
2.3.	Додаткові платежі постачальників на фінансування розвитку нетрадиційних джерел електроенергії $D_p^{вт} = 0.75 \times (D_{ср}^{сс} + D_p^{дв})$	$D_p^{дв}$	Сумарний платіж виробникам, які продають електроенергію згідно двосторонньому договору		
2.4.	Визначення націнки до оптової ціни продажу $C_p^н = \frac{\sum_{б} (D_{бр}^в + D_{бр}^с - D_{бр}^ш) + D_p^{бв} + D_p^{пт}}{\mathcal{E}_p^{пт}}$	$D_p^{бв}$	Сума платежів за користування магістральних і міжнародних сіток		
		$D_p^{эр}$	Платіж за послуги ДПЕ		
		$D_p^{пв}$	Сумарний обсяг дотаційних сертифікатів		
		$D_p^{зп}$	Зменшення платежів постачальників		
		$D_p^{вт}$	Відчислення на вітроенергетику		
2.5.	Визначення оптової ринкової ціни $C_p^{ор} = \frac{C_p^{ок} + C_p^н}{1 - K_p^{пс}} \times K$ $K_p^{пс} = \frac{\mathcal{E}_p^{пс}}{\sum_{б} \mathcal{E}_{бр}^{фо} + \sum_i \mathcal{E}_{ір}^{вн}}$	$C_p^{ок}$	Оптова ціна закупки		
		K	Коефіцієнт надбавок ОРЕ		
		$K_p^{пс}$	Коефіцієнт витрат в магістральних міжнародних сітках		
		$C_p^{оп}$	Оптова ціна продаж розрахункового періоду		
		$\mathcal{E}_{ір}^{вн}$	Зовнішній переток електроенергії (експорт, імпорт)		
3.	Розрахунок платежів постачальників електроенергії $D_{сп}^{эп} = \mathcal{E}_{сп}^{пт} \times C_p^{ор} + D_{п}^{сп} + D_p^{од}$	$\mathcal{E}_{сп}^{пт}$	Споживання окремого постачальника електроенергії		
		$C_p^{ор}$	Оптова ринкова ціна		
		$D_{п}^{сп}$	Додаткова плата постачальника в спірних ситуаціях платежу за обслуговування боргу		

ДОДАТОК Г
ПАРАМЕТРИ ОБЧИСЛЕНЬ ПЛАТЕЖІВ СУБ'ЄКТІВ ОРЕ

Таблиця Г.1 Вхідні параметри обчислень

1.	Відпуск в/для добовий для станцій
2.	Відпуск в/для погодинний для станцій
3.	Відпуск повний добовий для станцій
4.	Відпуск повний погодинний для станцій
5.	Виробіток погодинний для блоку
6.	Витрати ДПЕ добові
7.	Втрати в ШР добові для станцій
8.	Втрати в ШР погодинні для станцій
9.	Втрати у мережах добовий для ЕС
10.	Втрати у мережах перетоків добовий для ЕС
11.	Втрати у мережах перетоків погодинний для ЕС
12.	Втрати у мережах погодинний для ЕС
13.	Графік навантаження диспетчерський
14.	Графік навантаження плановий
15.	Діапазон маневреності початковий погодинний для блоку
16.	Дотаційні сертифікати ОРЕ добові для ПРТ
17.	Дотаційні сертифікати добові для ОРЕ
18.	Дотаційні сертифікати погодинні для ОРЕ
19.	Експорт-Імпорт добовий
20.	Експорт-Імпорт позонний
21.	Зовнішній переток ЕС погодинний
22.	Коефіцієнт корисного відпуску для блоку
23.	Коефіцієнт тарифної зони
24.	Коефіцієнт тарифної зони при транзиті
25.	Коефіцієнт штрафу для блоку

26.	Курс долара США
27.	Норматив втрат на транзит
28.	Норматив фінансування ОРЕ
29.	Нормативне відхилення від графіка
30.	Ознака зупинки на вимоги системи погодинна для блоку
31.	Ознака маневреності погодинная для блоку
32.	Ознака маневреності погодинная для корпусу блоку
33.	Ознака пуску на вимоги системи погодинна для блоку
34.	Ознака пуску фактична погодинна для блоку
35.	Ознака роботи на вимоги режиму мережі погодинна для блоку
36.	Ознака роботи на вимоги режиму станції погодинна для блоку
37.	Отримання від ОРЕ добове для ПРТ
38.	Отримання від ОРЕ погодинне для ПРТ
39.	Період максимального навантаження
40.	Платіж додатковий добовий для виробників
41.	Платіж додатковий погодинний для виробників
42.	Поставка добова для ПНТ
43.	Поставка добова для території ПРТ
44.	Поставка погодинна для ПНТ
45.	Поставка погодинна для території ПРТ
46.	Потужність заявлена кінцева мінімальна
47.	Потужність заявлена кінцева максимальна
48.	Потужність заявлена кінцева погодинна для блоку
49.	Споживання на ВП добовий для станцій
50.	Споживання на ВП погодинний для станцій
51.	Споживання на закачку добовий для станцій
52.	Споживання на закачку погодинний для станцій

53.	Споживання у режимі СК добовий для станцій
54.	Споживання у режимі СК погодинний для станцій
55.	Тариф виробника добовий
56.	Тариф компенсації втрат на транзит
57.	Тариф на імпорт
58.	Тариф на експорт
59.	Тариф на покупку
60.	Транзит добовий
61.	Ціна заявлена прирощена добова для блоку
62.	Ціна заявлена розрахункова погодинна
63.	Ціна пуску добова для корпусу 1
64.	Ціна пуску добова для корпусу 2
65.	Ціни пуску добова для блоку
66.	Ціни фактичні погодинні

Таблиця Г.2 Розрахункові параметри обчислень

1.	Імпорт перетока оператора добовий
2.	Імпорт перетока оператора погодинний
3.	Втрати на транзит добовий для оператора
4.	Втрати на транзит погодинний для оператора
5.	Втрати у ВВЛ добові для ОРЕ
6.	Втрати у ВВЛ погодинні для ОРЕ
7.	Діапазон маневреності кінцевий
8.	Діапазон маневреності фактичний
9.	Експорт перетока оператора добовий
10.	Експорт перетока оператора погодинний
11.	Експорт-Імпорт добовий для ОРЕ
12.	Експорт-Імпорт погодинний
13.	Експорт-Імпорт погодинний для ОРЕ

14.	Загальна сума платежів виробникам в націнці добова
15.	Загальна сума платежів виробникам в націнці погодинна
16.	Зовнішній перетік добовий для ОРЕ
17.	Зовнішній перетік оператора добовий
18.	Зовнішній перетік оператора погодинний
19.	Зовнішній перетік погодинний для ОРЕ
20.	Коефіцієнт втрат у ВВМ добовий для ОРЕ
21.	Коефіцієнт втрат у ВВМ погодинний для ОРЕ
22.	Коригування платежу відповідно до платежів АЕС добовий
23.	Коригування платежу відповідно до платежів АЕС погодинний
24.	Коригування платежу відповідно до платежів ГЕС, ТЕЦ, ВЕС, ЕІ добовий
25.	Коригування платежу відповідно до платежів ГЕС, ТЕЦ, ВЕС, ЕІ погодинний
26.	Націнка добова для ОРЕ
27.	Націнка погодинна для ОРЕ
28.	Небаланс перетоків добовий для ОРЕ
29.	Небаланс перетоків добовий для країни перетока
30.	Небаланс платежів постачальник-виробник добовий для ОРЕ
31.	Обсяг відпуску в ВВЛ НЕК добовий для НЕК
32.	Обсяг відпуску в ВВЛ НЕК добовий для станцій
33.	Обсяг відпуску в ОРЕ добовий для станцій
34.	Обсяг відпуску в ОРЕ добовий для юр.особи
35.	Обсяг відпуску в ОРЕ погодинний для станцій
36.	Обсяг відпуску в ОРЕ погодинний для юр.особи
35.	Обсяг відпуску з ШР погодинний для станцій
36.	Обсяг купівлі з ОРЕ добовий для постачальника

37.	Обсяг купівлі з ОРЕ добовий постачальниками для ОРЕ
38.	Обсяг купівлі з ОРЕ погодинний для постачальника
39.	Обсяг купівлі з ОРЕ погодинний постачальниками для ОРЕ
40.	Обсяг продажу в ОРЕ добовий для ГЕС, ТЕЦ, ВЕС, СЕС, ЕІ
41.	Обсяг продажу в ОРЕ добовий для ГК ТЕС
42.	Обсяг продажу в ОРЕ добовий для юр.особи
43.	Обсяг продажу в ОРЕ погодинний для ГЕС, ТЕЦ, ВЕС, СЕС, ЕІ
44.	Обсяг продажу в ОРЕ погодинний для ГК ТЕС
45.	Обсяг продажу в ОРЕ погодинний для юр.особи
46.	Ознака порушення погодинна для блоку
47.	Отримання від ОРЕ добове всіх ПРТ для ОРЕ
48.	Отримання від ОРЕ погодинне всіх ПРТ для ОРЕ
49.	Платіж інфраструктурі добовий
50.	Платіж інфраструктурі погодинний
51.	Платіж додатковий добовий для ОРЕ
52.	Платіж додатковий за вимоги режиму погодинний для ГК
53.	Платіж додатковий за вимоги режиму погодинний для блоку
54.	Платіж додатковий за вимоги режиму погодинний для станцій
55.	Платіж додатковий погодинний для ОРЕ
56.	Платіж за втрати на транзит добовий для оператора
57.	Платіж за ЕЕ добовий за граничною ціною системи для ГК та її станцій
58.	Платіж за ЕЕ добовий за граничною ціною системи для ОРЕ
59.	Платіж за ЕЕ добовий за тарифом для станцій
60.	Платіж за ЕЕ добовий за тарифом для юр.особи
61.	Платіж за ЕЕ погодинний за граничною ціною системи для ГК

62.	Платіж за ЕЕ погодинний за граничною ціною системи для ОРЕ
63.	Платіж за ЕЕ погодинний за граничною ціною системи для станцій
64.	Платіж за ЕЕ погодинний за тарифом для станцій
65.	Платіж за ЕЕ погодинний за тарифом для юр.особи
66.	Платіж за ЕЕ сумарний добовий виробникам за договорами
67.	Платіж за ЕЕ сумарний погодинний виробникам за договорами
68.	Платіж за куповану ЕЕ добовий для постачальника
69.	Платіж за куповану ЕЕ погодинний для постачальника
70.	Платіж за маневреність добовий для ГК та її станцій
71.	Платіж за маневреність добовий для ОРЕ
72.	Платіж за маневреність погодинний для ГК
73.	Платіж за маневреність погодинний для ОРЕ
74.	Платіж за маневреність погодинний для блоку
75.	Платіж за маневреність погодинний для станцій
76.	Платіж за надвиробництво добовий для ГК та її станцій
77.	Платіж за надвиробництво добовий для ОРЕ
78.	Платіж за надвиробництво погодинний для ГК
79.	Платіж за надвиробництво погодинний для ОРЕ
80.	Платіж за надвиробництво погодинний для блока
81.	Платіж за надвиробництво погодинний для станцій
82.	Платіж за недовиробництво добовий для ГК та її станцій
83.	Платіж за недовиробництво добовий для ОРЕ
84.	Платіж за недовиробництво погодинний для ГК
85.	Платіж за недовиробництво погодинний для ОРЕ
86.	Платіж за недовиробництво погодинний для блока
87.	Платіж за недовиробництво погодинний для станцій

88.	Платіж за пуск добовий для ГК та її станцій
89.	Платіж за пуск добовий для ОРЕ
90.	Платіж за пуск добовий для блоку
91.	Платіж за пуск погодинний для ГК
92.	Платіж за пуск погодинний для ОРЕ
93.	Платіж за пуск погодинний для блоку
94.	Платіж за пуск погодинний для станцій
95.	Платіж за пуск фактичний погодинний для блоку
96.	Платіж за робочу потужність добовий для ГК та її станцій
97.	Платіж за робочу потужність добовий для ОРЕ
98.	Платіж за робочу потужність погодинний для ГК
99.	Платіж за робочу потужність погодинний для ОРЕ
100.	Платіж за робочу потужність погодинний для блоку
101.	Платіж за робочу потужність погодинний для станцій
102.	Платіж за споживання на ВП добовий для станцій
103.	Платіж за споживання на ВП добовий для юр.особи
104.	Платіж за споживання на ВП погодинний для станцій
105.	Платіж за споживання на ВП погодинний для юр.особи
106.	Платіж за споживання на закачку добовий для станцій
107.	Платіж за споживання на закачку добовий для юр.особи
108.	Платіж за споживання на закачку погодинний для станцій
109.	Платіж за споживання на закачку погодинний для юр.особи
110.	Платіж за ціною оптової закупки добовий для ГЕС, ТЕЦ, ВЕС, СЕС, ЕІ
111.	Платіж за ціною оптової закупки добовий для юр.особи
112.	Платіж за ціною оптової закупки погодинний для ГЕС, ТЕЦ, ВЕС, СЕС, ЕІ
113.	Платіж за ціною оптової закупки погодинний для юр.особи
114.	Платіж на розвиток вітроенергетики добовий

115.	Платіж на розвиток вітроенергетики погодинний
116.	Платіж операторів добовий в ОРЕ для ОРЕ
117.	Платіж оператора добовий для країни перетока
118.	Платіж оператора погодинний для країни перетока
119.	Платіж оператора позонний з врахуванням транзиту
120.	Платіж остаточний добовий для постачальників
121.	Платіж перетікання оператора добовий
122.	Платіж перетікання оператора погодинний
123.	Платіж сумарний добовий виробникам для ОРЕ
124.	Платіж сумарний добовий виробникам за ціновими заявками
125.	Платіж сумарний добовий для ГЕС, ТЕЦ, ВЕС, СТС, ЕІ
126.	Платіж сумарний добовий для ГК та її станцій
127.	Платіж сумарний добовий для постачальника
128.	Платіж сумарний добовий постачальників для ОРЕ
129.	Платіж сумарний погодинний виробникам за ціновими заявками
130.	Платіж сумарний погодинний для ГК
131.	Платіж сумарний погодинний для станцій
140.	Потужність робоча фактична погодинна для блоку
141.	Споживання на ВП добовий для юр.особи
142.	Споживання на ВП добовий за відпуском повним з ШР для станцій
143.	Споживання на ВП погодинний для юр.особи
144.	Споживання на ВП погодинний за відпуском повним з ШР для станцій
145.	Споживання на закачку добовий для юр.особи
146.	Споживання на закачку погодинний для юр.особи
147.	Транзит погодинний

148.	Ціна заявлена прирощена розрахункова погодинна для блоку
149.	Ціна оптова ринкова погодинна
150.	Ціна оптової закупки погодинна для ГК
151.	Ціна оптової закупки погодинна для ОРЕ
152.	Ціна оптової закупки погодинна для станцій
153.	Штраф за порушення дисп.графіка добовий для ГК та її станцій
154.	Штраф за порушення дисп.графіка добовий для ОРЕ
155.	Штраф за порушення дисп.графіка погодинний для ГК
156.	Штраф за порушення дисп.графіка погодинний для ОРЕ
157.	Штраф за порушення дисп.графіка погодинний для блока
158.	Штраф за порушення дисп.графіка погодинний для станцій

Всі типи параметрів об'єктів поділені на групи, які визначають походження параметрів і їх подальше використання в АСРП (табл. Г.3):

Таблиця Г.3 Типи параметрів

1.	Параметри АСРП нормативні
2.	Параметри АСРП розрахункові
3.	Параметри АСРП технологічні
4.	Параметри об'єктів з системи накопичення макетів
5.	Параметри об'єктів з інших розрахункових систем

Нормативні параметри утворюють групу параметрів об'єктів, які вносяться до АСРП на підставі нормативних документів і є предметом ведення підсистемою «Підготовка вхідної інформації». До цих параметрів належать параметри таких типів (табл. Г.4):

Таблиця Г.4 Нормативні параметри

1.	Витрати
2.	Дотаційний сертифікат
3.	Календар робочих днів
4.	Коефіцієнт надбавок
5.	Коефіцієнт тарифної зони при транзиті
6.	Коефіцієнт тарифної зони
7.	Коефіцієнт штрафа
8.	Курс валютний
9.	Норматив відхилення від графіку
10.	Норматив втрат на транзит
11.	Норматив фінансування
12.	Період максимального навантаження
13.	Платіж додатковий виробнику
14.	Тариф компенсації втрат на транзит
15.	Тариф на імпорт
16.	Тариф на експорт
17.	Тариф на покупку
18.	Тариф за ЕЕ

Розрахункові параметри утворюють групу параметрів об'єктів, які виникають при проведенні розрахунків в АСРП і підлягають накопиченню та зберіганню підсистемою «Розрахунки». До цих параметрів належать параметри таких типів (табл. Г.5):

Таблиця Г.5 Типи параметрів об'єктів

1.	Імпорт перетікання -
2.	Імпорт-
3.	Втрати на транзит-

4.	Діапазон маневреності кінцевий-
5.	Діапазон маневреності фактичний-
6.	Експорт перетока-
7.	Експорт-
8.	Коефіцієнт втрат у ВВЛ-
9.	Коригування платежу-
10.	Націнка-
11.	Небаланс перетікання-
12.	Небаланс платежів постачальник_виробник-
13.	Обсяг відпуску/споживання-
14.	Обсяг купівлі з ОРЕ-
15.	Обсяг продажу в ОРЕ-
16.	Ознака порушення-
17.	Платіж інфраструктурі-
18.	Платіж до націнки-
19.	Платіж додатковий постачальника-
20.	Платіж за імпорт-
21.	Платіж за відпущену ЕЕ-
22.	Платіж за втрати на транзит-
23.	Платіж за ЕЕ додатковий за вимоги режиму-
25.	Платіж за експорт-
26.	Платіж за куповану електроенергію-
27.	Платіж за маневреність-
28.	Платіж за надвиробництво-
29.	Платіж за недовиробництво-
30.	Платіж за пуск фактичний-
31.	Платіж за пуск-
32.	Платіж за робочу потужність-
33.	Платіж за споживання на ВП-

34.	Платіж за споживання на закачку-
35.	Платіж за ціною оптової купівлі-
36.	Платіж оператора-
37.	Платіж остаточний-
38.	Платіж перетікання-
39.	Платіж сумарний за купівлю з ОРЕ-
40.	Платіж сумарний за продаж в ОРЕ-
41.	Потужність робоча фактична-
42.	Ціна заявлена прирощена розрахункова-
43.	Ціна оптова ринкова-
44.	Ціна оптової закупки-
45.	Штраф за порушення диспетчерського графіку-

Технологічні параметри утворюють групу параметрів системи, які визначають особливості проведення розрахунків і є незмінними для нього. До цих параметрів належат (табл. Г.6):

Таблиця Г.6 Технологічні параметри

1.	Перехід на літній час
2.	Перехід на зимовий час
3.	Час «Start»
4.	Час «End»

Параметри об'єктів з системи накопичення макетів утворюють групу параметрів, що надходять від виробників, постачальників та передавальних компаній відповідно до вимог Правил ОРЕ. В АСРП до цих параметрів належать параметри таких типів (табл. Г.7):

Таблиця Г.7 Типи параметрів, що надходять від виробників, постачальників та передавальних компаній

1.	Інші_джерела-
2.	Інші_споживачі-
3.	Відпуск-
4.	Відпуск_(в/для)-
5.	Відпуск_блокстанцій-
6.	Відпуск_на_Експорт-
7.	Відпуск_орендний-
8.	Відпуск_у_ВВЛ_НЕК_для_OPE-
9.	Виробіток-
10.	Виробіток_блокстанцій-
11.	Виробіток_малих_ГЕС-
12.	Виробіток_орендний-
13.	Власні_потреби-
14.	Втрати_в_ШР-
15.	Втрати_у_ВВЛ_НЕК_для_OPE-
16.	Втрати_у_ПЛ_110_кВ-
17.	Втрати_у_ВВЛ-
18.	Експорт-Імпорт-
19.	Зовнішнє_перетікання
20.	Зовнішнє_перетікання_по_ВВЛ-
21.	Міжрегіональне_перетікання-
22.	Міжрегіональне_перетікання_по_ВВЛ-
23.	Небаланс
24.	Отримання від ВВЛ НЕК-
25.	Отримання від ОРЕ-
26.	Отримання_від-
27.	Купівля

28.	Постачання_по-
29.	Сальдо-
30.	Споживання
31.	Споживання_(по)-
32.	Споживання_брутто-
33.	Споживання_на_власні потреби_(від)-
34.	Споживання_на_закачку-
35.	Споживання_у_режимі_СК-
36.	Транзит-

Параметри об'єктів з інших розрахункових систем утворюють групу параметрів, що надходять від суміжних підрозділів ДП «Енергоринок» при формуванні розрахункових величин заданого графіку та цін системи згідно вимог Правил ОРЕ до операцій на наступну добу. В АСРП до цих параметрів належать параметри таких типів (табл. Г.8):

Таблиця Г.8 Типи параметрів з інших розрахункових систем

1.	Графік навантаження диспетчерський-
2.	Графік навантаження плановий-
3.	Діапазон маневреності початковий-
4.	Коефіцієнт корисного відпуску-
5.	Ознака зупинки на вимоги системи-
6.	Ознака маневреності блоку-
7.	Ознака маневреності корпусу-
8.	Ознака пуску на вимоги системи-
9.	Ознака пуску фактична-
10.	Ознака роботи на вимоги режиму мережі-
11.	Ознака роботи на вимоги режиму станції-
12.	Ознака роботи на вимоги системи-

13.	Потужність заявлена кінцева мінімальна-
14.	Потужність заявлена кінцева максимальна-
15.	Потужність заявлена кінцева-
16.	Ціна заявлена прирощена-
17.	Ціна заявлена розрахункова-
18.	Ціна пуску блоку-
19.	Ціна пуску корпусу1-
20.	Ціна пуску корпусу2-
21.	Ціна гранична фактична системи-
22.	Ціна за робочу потужність-
23.	Ціна за маневреність-

ДОДАТОК Д

Приклади вихідних форм документів

I. Щоденні дані, які надаються суб'єктам ОРЕ і в департамент фінансових операцій електроенергії.

1.1. Виробники

Генкомпанії (таблиці 1-7).

- Таблиця 1. *Платіж виробнику* (дані включають: назву компанії; відпуск електроенергії в Енергоринок за добу; середню ціну (тариф) продажу електроенергії в ОРЕ; платіж за виробництво);
- Таблиця 2. *Розрахунок платежів ГК ТЕС* (надаються **погодинні** дані: гранична ціна системи; ціна робочої потужності; оптова ціна купівлі; фактичний відпуск електроенергії; платежі за відпущену електроенергію, і заявлену робочу потужність; додаткові платежі за вимушене надвиробництво і недовиробництво; штрафи за порушення графіку навантаження; остаточний платіж);
- Таблиця 3. *Дані диспетчерського журналу по ТЕС за добу* (надаються погодинні дані, які включають: назву електростанції; № блока; заданий графік навантаження; останню заявлену потужність; заданий диспетчером графік; фактичний виробіток; надвиробництво; недовиробництво; ознаку порушення; штрафи; вказується наявність цінових пропозицій).

1.2. Постачальники (таблиці 7-11).

Таблиця 7. *Платежі за відпущену з ОРЕ електроенергію по енергопостачальних компаніях за добу* (надається найменування енергопостачальної компанії; обсяг купованої з ОРЕ електроенергії; платіж за електроенергію відповідно до Правил ОРЕ; націнка; дотаційні сертифікати; додаткові платежі; розподіл небалансу платежів; сумарний платіж; середня ціна; остаточний платіж; остаточна середня ціна).

Таблиця 8. *Платежі за відпущену з ОРЕ електроенергію по енергопостачальних компаніях наростаючим підсумком* (дані включають: найменування енергопостачальної компанії; обсяг електроенергії, що купується з ОРЕ; платіж

за електроенергію відповідно до Правил ОРЕ; націнку; дотаційні сертифікати; додаткові платежі; розподіл небалансу платежів; сумарний платіж; середню ціну; остаточний платіж, остаточну середню ціну).

Таблиця 9. *Середні оптові ціни продажу електроенергії з ОРЕ постачальникам за добу* (щодобові погодинні середні оптові ціни продажу електроенергії з ОРЕ).

1.3. Департамент фінансових операцій електроенергії (таблиці 12-14).

- Таблиця 12. *Розрахунок платежів і середніх цін по виробниках* (дані надаються за добу і наростаючим підсумком з початку місяця та включають: назву генеруючої компанії (станції); фактичний відпуск електроенергії в ОРЕ; платіж за фактично відпущену електроенергію; середню ціну (тариф) продажу електроенергії, коп/ кВт.г);

- Таблиця 13. *Розрахунок платежів і середніх цін по енергопостачальних компаніях* (дані надаються за добу і наростаючим підсумком з початку місяця по енергопостачальних компаніях “обленерго” і включають: фактичне споживання електроенергії; платіж, за куповану з ОРЕ електроенергію; середню ціну купівлі з ОРЕ (тариф), коп/кВт.г);

- Таблиця 14. *Обсяг купівлі електроенергії з ОРЕ постачальниками за нерегульованим тарифом* (дані надаються за добу і наростаючим підсумком з початку місяця та включають: обсяг поставки; вартість електричної енергії; середню ціну продажу електроенергії з ОРЕ постачальникам за нерегульованим тарифом).

II. Дані по розрахунках за місяць та наростаючим підсумком з початку року.

2.1. Виробники (таблиці 15 –16).

- Таблиця 15. *Акт про продаж ДП “Енергоринок” електроенергії, виробленої ГК за місяць* (надаються дані за місяць і наростаючим підсумком з початку року і включають: обсяг електроенергії, що продана в ДПЕ (відпуск в мережу); вартість електроенергії, що продана в ДП “Енергоринок”).

- Таблиця 16. *Акт про продаж ДП “Енергоринок” електроенергії, виробленої окремими теплоелектроцентралями (станціями) за місяць* (надаються дані за

місяць і наростаючим підсумком з початку року і включають: обсяг електроенергії, що продана в ДПЕ (відпуск в мережу); вартість електроенергії, що продана в ДП “Енергоринок”).

2.2. Постачальники (таблиця 17).

Таблиця 17. *Акт купівлі – продажу між ДП “Енергоринок” та постачальником за регульованим тарифом за місяць* (надаються дані за місяць і наростаючим підсумком з початку року і включають: обсяг купованої електроенергії; середню оптову ціну купівлі електроенергії; вартість купованої електроенергії).

2.3. Департамент фінансових операцій електроенергії і департамент бухгалтерського обліку (таблиці 18-23).

- Таблиця 18. *Фактичні розрахунки з купованої ДП “Енергоринок” електричної енергії за місяць* (дані включають: назву виробника, код ЗКПО, обсяг купованої електроенергії, вартість купованої електроенергії, платежі, середню ціну (тариф) купованої електроенергії);
- Таблиця 22. *Перелік постачальників за нерегульованим тарифом, які купували електроенергію з ОРЕ України за місяць* (дані включають: код ЗКПО та назву постачальника за нерегульованим тарифом; обсяг поставки; вартість поставки; середню ціну (тариф) купівлі електроенергії з ОРЕ);
- Таблиця 23. *Перелік постачальників за нерегульованим тарифом, які купували електроенергію з ОРЕ України наростаючим підсумком з початку року* (дані включають: код ЗКПО та назву постачальника за нерегульованим тарифом; обсяг поставки; вартість поставки; середню ціну (тариф) купівлі електроенергії з ОРЕ).

2.4. Департамент правового забезпечення (таблиці 24-25).

Таблиця 24. *Фактичні розрахунки з проданої ДП “Енергоринок” електричної енергії енергопостачальним компаніям і постачальникам за нерегульованим тарифом за місяць* (дані включають: назву постачальника; код ЗКПО; обсяг електроенергії, що продана з ОРЕ; вартість проданої електроенергії з ОРЕ; середню ціну (тариф) проданої електроенергії);

2.5. НКРЕКП (таблиці 26-29).

Таблиця 26. *Розрахунки з купленої ДП “Енергоринок” електроенергії за місяць* (дані включають: назву виробника; обсяг купованої електроенергії; вартість купованої електроенергії).

Таблиця 27. *Розрахунки з проданої ДП “Енергоринок” електроенергії за місяць* (дані включають: назву постачальника, обсяг електроенергії, що продана з ОРЕ; вартість проданої електроенергії з ОРЕ).

2.6. НЕК “Укренерго” (таблиці 30-31).

Таблиця 30(29). *Перелік енергопостачальних компаній, по яких поставляли електроенергію постачальники за нерегульованим тарифом протягом місяця* (дані включають: назву енергопостачальної компанії; обсяг поставки; вартість поставки).

Таблиця 31. *Перелік постачальників за нерегульованим тарифом, які купували електроенергію з ОРЕ України* (дані включають: код ЗКПО та назву постачальника за нерегульованим тарифом; обсяг поставки; вартість поставки; середню оптову ціну (тариф) купівлі електроенергії з ОРЕ).

2.7. Мінпаливенерго (таблиці 32-34).

Таблиця 32. *Розрахунок виробітку, випуску та продажу в ОРЕ електроенергії генеруючими компаніями і окремими станціями за місяць* (дані включають: назву генеруючої компанії і окремої станції; виробіток електроенергії; власні потреби; відпуск електроенергії в мережу, відпуск електроенергії поза межами ОРЕ, продаж електроенергії в ОРЕ).

Таблиця 33. *Розрахунок споживання електроенергії по областях, купівля постачальниками за регульованим і нерегульованим тарифом та іншими споживачами електроенергії з ОРЕ* (дані включають: назву постачальника; обсяг споживання електроенергії; обсяг електроенергії, що вироблена і споживається на території областей і експорт поза ОРЕ; сальдо покупки з ОРЕ в тому числі

покупка електроенергії з ОРЕ постачальниками за регульованим тарифом та нерегульованим тарифом, іншими споживачами).

Таблиця 34. *Загальносистемні втрати електричної енергії* (дані надаються по синхронним компенсаторам, шунтуючим реакторам, технологічним витратам електроенергії на транспортуванні її високовольтними мережами).

III. Аналітична інформація, що надається по запиту в Кабінет Міністрів України, НКРЕКП, Мінпаливенерго, керівництву ДП “Енергоринок” (таблиці 35–48).

Таблиця 35. *Структура продажу електроенергії виробниками в ОРЕ за місяць і наростаючим підсумком з початку року* (дані включають: назву виробника; обсяг продажу електроенергії за місяць; обсяг продажу електроенергії наростаючим підсумком з початку року; питому вагу кожного виробника до загальної суми продажу електроенергії).

Таблиця 36. *Відхилення обсягів продажу електроенергії в ОРЕ по місяцях звітнього періоду проти відповідного періоду минулого року* (дані включають: назву виробника; відхилення обсягів продажу електроенергії).

Таблиця 37. *Аналіз платежів і середніх цін продажу електроенергії в ОРЕ за звітний період проти відповідного періоду минулого року* (дані включають: обсяг продажу електроенергії в ОРЕ, ціна продажу і платіж за продану електроенергію за звітний період; обсяг продажу електроенергії в ОРЕ, ціна продажу і платіж за продану електроенергію за відповідний період минулого року; абсолютне і відносне відхилення обсягу продажу електроенергії, ціни продажу та платежу за продану електроенергію в ОРЕ за звітний період проти відповідного періоду минулого року).

Таблиця 38. *Середні ціни продажу електроенергії виробниками в ДП “Енергоринок” наростаючим підсумком з початку року* (дані включають: назву виробника; середні ціни продажу електроенергії за місяці звітнього періоду (в коп/кВт.г, цент/кВт.г); середні ціни продажу електроенергії наростаючим підсумком з початку року (в коп/кВт.г, цент/кВт.г)).

Таблиця 39. *Розрахунок обсягів купівлі електроенергії з ОРЕ постачальниками за регульованим тарифом наростаючим підсумком з початку року* (дані включають: назву постачальника; обсяг купівлі електроенергії з ОРЕ за місяці звітнього періоду; обсяг і питому вагу купівлі електроенергії з ОРЕ наростаючим підсумком з початку року).

Таблиця 40. *Відхилення обсягів купівлі електроенергії в ОРЕ по місяцях звітнього періоду проти відповідного періоду минулого року* (дані включають: назву постачальника; відхилення обсягів купівлі електроенергії).

Таблиця 41. *Аналіз вартості і середніх цін продажу електроенергії в ОРЕ зазвітний період проти відповідного періоду минулого року* (дані включають: назву постачальника; обсяг купівлі електроенергії з ОРЕ, ціна купівлі (коп/кВт.г, цент/кВт.г) і платіж за куплену електроенергію за звітний період; обсяг купівлі електроенергії з ОРЕ, ціна купівлі (коп/кВт.г, цент/кВт.г) і платіж за куплену електроенергію за відповідний період минулого року; абсолютне і відносне відхилення обсягу купівлі електроенергії, ціни купівлі (коп/кВт.г, цент/кВт.г) та платежу за куплену електроенергію в ОРЕ за звітний період проти відповідного періоду минулого року).

Таблиця 42. *Середні ціни купівлі електроенергії постачальниками ОРЕ наростаючим підсумком з початку року* (дані включають: назву постачальника; середні ціни купівлі електроенергії за місяці звітнього періоду (в коп/кВт.г, цент/кВт.г); середні ціни купівлі електроенергії наростаючим підсумком з початку року (в коп/кВт.г, цент/кВт.г)).

Таблиця 43. *Сальдо купівлі–продажу електроенергії АК “Київенерго”* (дані включають: щодобовий погодинний обсяг купівлі–продажу електроенергії; сальдо; обсяг продажу; обсяг купівлі);

Таблиця 44. *Зведена таблиця погодинних цін купівлі – продажу електроенергії АК “Київенерго” за місяць* (щодобові погодинні ціни купівлі–продажу електроенергії).

- Таблиця 45. *Вартість купівлі – продажу електроенергії АК “Київенерго” за місяць* (дані включають: щодобову погодинну вартість купівлі–продажу електроенергії; вартість продажу; вартість купівлі).

Таблиця 46. *Динаміка і структура обсягів і вартості електричної енергії, яку відпускають ТЕЦ в мережу* (надаються дані за місяці звітного періоду і наростаючим підсумком з початку року та включають: найменування ТЕЦ; обсяг, вартість і тариф електричної енергії, яку відпускають ТЕЦ у мережу; обсяг, вартість і тариф електричної енергії, яку продають ТЕЦ в ОРЕ; обсяг, вартість і тариф електричної енергії, яку продають ТЕЦ споживачам).

Таблиця 47. *Розподіл електроенергії між постачальниками з урахуванням форм власності енергопостачальних компаній за місяць* (дані включають: назву постачальника (експортера); обсяг споживання електроенергії брутто по території, в тому числі обсяг електроенергії ТЕЦ, що виробляється і споживається на території).

Таблиця 48. *Розподіл електроенергії між постачальниками з урахуванням форм власності енергопостачальних компаній наростаючим підсумком з початку року* (дані включають: назву постачальника (експортера); обсяг споживання електроенергії брутто по території, в тому числі обсяг електроенергії, що виробляється ТЕЦ і споживається на території енергопостачальної компанії).