

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

БОРУКАЄВ ЗЕЛІМХАН ХАРИТОНОВИЧ



УДК 004.94 : 51-74

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

01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Київ - 2018

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Інституті проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України, м. Київ.

Науковий консультант доктор технічних наук, професор,
чл.-кор. НАН України
Євдокимов Віктор Федорович,
Інститут проблем моделювання в енергетиці
ім. Г.Є. Пухова НАН України, головний науковий
співробітник відділу математичного та комп'ютерного
моделювання

Офіційні опоненти: доктор технічних наук,
старший науковий співробітник
Борисенко Андрій Володимирович,
ТОВ «Укренергоконсалтинг», заступник генерального
директора з питань перспективного розвитку та
енергозберігаючих технологій

доктор технічних наук, професор,
Додонов Олександр Георгійович,
Інститут проблем реєстрації інформації НАН України,
заступник директора з наукової роботи

доктор фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник
Полумієнко Сергій Костянтинович,
Інститут телекомунікацій і глобального
інформаційного простору НАН України,
завідувач відділу прикладної інформатики

Захист відбудеться «05» липня 2018 р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.185.01 Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України за адресою: 03164, м. Київ, вул. Генерала Наумова, 15.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України, м. Київ за адресою: 03164, м. Київ, вул. Генерала Наумова, 15.

Автореферат розісланий «02» червня 2018 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 26.185.01



В.В. Душеба

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

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.

Процес прийняття рішень щодо вдосконалення механізмів функціонування СОУ включає постановку та комплексне вирішення наступних взаємопов'язаних задач: 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 й 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 «Енергоринонок», 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», «Енергоринонок», «Енергія 1», «Баланс», як ініціатор і науковий керівник робіт, а при виконанні теми «Модель» як виконавець.

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 ігри, що описує коаліційну взаємодію гравців;

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

- 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 багатоелементної 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 тривірневі 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 цінних 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 – прогнозної 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». Вона призначена для автоматизації процесів розрахунків платежів відповідно до Правил ринку. Включає також необхідні засоби вирішення завдань підготовки та прийняття рішень щодо вдосконалення механізмів функціонування ринку. Забезпечує візуалізацію та інтерпретацію результатів розрахунково-експериментальних досліджень.

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.

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, висновків, списку використаних джерел (231 бібліографічних найменувань) та 5 додатків. Загальний обсяг роботи складає 342 сторінки, з них 304 сторінки основного тексту, включаючи 16 таблиць та 51 рисунок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі роботи проведений аналіз літературних джерел з розвитку системних досліджень процесів організаційного управління в складних ОТС і сучасного стану досліджень науково-прикладної проблеми математичного та комп'ютерного моделювання процесів організаційного управління.

Розробці 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 цих робіт пов'язаний з моделюванням процесів вдосконалення механізмів функціонування та розвитку СОУ, як підсистем ОТС. Для цього в структурі ОТС створюються комп'ютерні моделюючі системи, які реалізують функції та задачі взаємопов'язаного організаційного, виробничо-технологічного та інформаційного управління (рис. 1).



Рис.1. Структура організаційно-технічної системи

Основною метою їх створення є 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 та процедури функціонування СОУ.

Аналіз публікацій, пов'язаних з проблемою дослідження складних ОТС, показує, що основна увага в них приділяється питанням проектування структур багатокомпонентних ОТС, моделювання механізмів управління при вирішенні задач планування розвитку ОТС, мотиваційного управління та розробки систем стимулювання суб'єктів.

Питання ж, які пов'язані з процесами вдосконалення механізмів функціонування та розвитку СОУ, вирішенням задач аналізу та 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 конкретних СОУ та ОТС в цілому.

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).

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. 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, М.М. Кулика, А.О. Макарова, С.Є. Сауха, Б.С. Стогнія, А.К. Шидловського та ін.

Прийнятий Закон «Про ринок електроенергії України» № 2019-VIII від 13.04.2017, свідчить про необхідність продовження реформування енергоринку, а отже, і його СОУ та істотно змінює інституційні норми поведінки суб'єктів ринку.

Відповідно до цього закону, буде здійснений перехід від діючої зараз моделі «Єдиного покупця та продавця» до моделі двосторонніх договорів і балансуєчого ринку (ДДБР) шляхом реорганізації структури СОУ та створення нових її елементів для сегментів ринку: двосторонніх договорів; на добу наперед; внутрішньодобового; балансуєчого; допоміжних системних послуг; роздрібною.

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.

Проведений аналіз публікацій показав, що актуальною залишається 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.

У розділі 2 розглянуті питання теоретико-ігрового опису структури СОУ енергоринком, що відображає коаліційний характер взаємодії його суб'єктів - гравців ринку, визначення основних рівнів такої взаємодії, побудови дескриптивних моделей її рівнів і загальної багаторівневої моделі.

Кожний з гравців ринку, виходячи зі своїх інтересів або цілей, може вплинути на СОУ в цілому шляхом реалізації наявних у нього стратегій поведінки, а також певних дій для їхнього досягнення. У роботі описані основні інтереси, можливі стратегії поведінки гравців ринку - рівнів споживачів, роздрібних постачальників, оптових постачальників, виробників і верхнього рівня СОУ ринком і конфліктні ситуації, які виникають при їхній реалізації.

Підхід до побудови теоретико-ігрової моделі енергоринку. На основі проведеного аналізу можливих підходів теоретико-ігрового моделювання різних ринків, запропонований та обґрунтований новий підхід до побудови багаторівневої дескриптивної моделі енергоринку шляхом застосування теорії коаліційних (кооперативних) ігор.

Назвемо учасників енергоринку гравцями, способи їх поведінки - стратегіями, різні об'єднання гравців - коаліціями. Множини всіх можливих коаліцій, їхніх стратегій та відповідних їм функцій (виграшу), що вказують виграш коаліцій у кожній з ситуацій - наборів коаліційних стратегій, утворюють кооперативну гру.

Якщо припустити, що учасники такої гри залежні від стратегій гравця більш високого або керівного рівня, то одержимо ієрархічну гру. Однак енергоринку властиві більш складні взаємозв'язки між його верхнім рівнем управління, виробниками та постачальниками, які в цій термінології можуть бути названі коаліціями гравців одного та різних рівнів. Крім того, можливе входження одного гравця в різні коаліції. Таким чином, можна зробити висновок про те, що опис такого енергоринку не може бути представлено засобами простої кооперативної ієрархічної гри. Більш адекватний опис може бути побудований в термінах багаторівневої коаліційної гри.

Розробка теоретико-ігрових засобів опису енергоринку та побудова однорівневої базової моделі. Нехай I множина індивідуальних учасників - гравців енергоринку, $I = \{i\}$, $i = 1, 2, \dots, I$. 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 $ST = \{st_r\}$, $r = 1, 2, \dots, R$. Розмір одержуваного доходу - виграшу який одержує 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 розподіляється між ними на основі попередніх угод, прийнятих цією коаліцією.

За умови суттєвості гри, 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 -

$$\Gamma = \langle I, U, CU, S, CA, ST, \{H_i\}, \{H_{ni}\}, I = \{i\}, N = \{n\} \rangle, \quad (1)$$

яку відповідно будемо називати коаліційною (стратегічною) грою.

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 (1) одержуємо розширену сукупність множин, названу коаліційною динамічною грою в загальній формі:

$$\Gamma(t) = \langle I(t), U(t), CU(t), PS(t), S(t), CA(t), ST(t), Res(t), \{H_i(t)\}, \{H_{ni}(t)\}, \{LF_i(t)\}, I = \{i\}, N = \{n\}, t \in [t_0, T] \rangle. \quad (2)$$

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. За допомогою моделі (2), одержані моделі для всіх рівнів СОУ енергоринком. Будемо позначати рівні моделі символом p перед відповідним позначенням. Відповідно маємо множини pI , pU , pCU , pPS , pS , pCA , pST , pRes , $\{{}^pH_i\}$, $\{{}^pH_{ni}\}$, $\{{}^pLF_i\}$.

Взаємодію споживачів роздрібного ринку ЕЕ будемо описувати у вигляді:

$${}^1\Gamma(t) = \Gamma_{\text{розн.слож.}}(t) = \langle {}^1I(t), {}^1U(t), {}^1S(t), {}^1ST(t), {}^1Res(t), \{{}^1H_i(t)\}, \{{}^1D_i(t)\}, i \in {}^1I, t \in [t_0, T] \rangle. \quad (3)$$

Сукупність множин (3) будемо називати дескриптивною (однорівневою) моделлю роздрібних споживачів. За побудовою одержуємо, що (3) є безкоаліційною грою, розширеною в (2) функціями $\{LF_i\}$, $i \in {}^1I(t)$, що відображають задоволення гравців результатом її завершення. Факт оплати одержаної ЕЕ в цьому випадку можна вважати задоволенням роздрібних споживачів результатами завершення гри. Тому замість функцій $\{LF_i\}$, $i \in {}^1I(t)$ в (3) вводяться функції $\{{}^1D_i(t)\}$, що вказують величину оплати одержаної 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:

$${}^2\Gamma(t) = \Gamma_{\text{опт.спож.}}(t) = \langle {}^2\mathbf{I}(t), {}^2\mathbf{U}(t), {}^2\mathbf{CU}(t), {}^2\mathbf{PS}(t), {}^2\mathbf{S}(t), {}^2\mathbf{CA}(t), {}^2\mathbf{ST}(t), {}^2\mathbf{Res}(t), \{ {}^2H_i(t) \}, \{ {}^2H_{ni}(t) \}, \{ {}^2LF_i(t) \}, i \in {}^2\mathbf{I}(t), n \in {}^2\mathbf{N}(t), t \in [t_0, T] \rangle, \quad (4)$$

де ${}^2\mathbf{I}(t)$ - 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

$${}^2D_{ca}(t) = \sum_{i \in \mathbf{I}} {}^2D_i(t) \quad (5)$$

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

$${}^2HD_i(t) = {}^2D_{ca}(t) - {}^2H_i(t), i \in {}^2\mathbf{I}(t) \quad (6)$$

- 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 :

$${}^2G_i(t) = {}^2HD_i(t) + {}^2DD_i(t), i \in {}^2\mathbf{I}(t). \quad (7)$$

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

Отже, теоретико-ігрова модель споживання ЕЕ ($\Gamma_{\text{розн.спож.}}(t), \Gamma_{\text{опт.спож.}}(t)$) описується сукупністю об'єктів: підрівень 1 – гра ${}^1\Gamma(t)$ (3); підрівень 2 – гра ${}^2\Gamma(t)$ (4); ${}^2\mathbf{F}(t) = ({}^1\Gamma(t), i \in {}^2\mathbf{I}(t))$. Тут ${}^1\mathbf{CA}(t)$ - коаліція дії індивідуальних агрегованих гравців першого рівня, які отримують ЕЕ від оптового споживача 2i , \mathbf{CA} - множина всіх непересічних коаліцій дій гравців рівня 1, які куруються гравцями з ${}^2\mathbf{I}(t)$, ${}^2\mathbf{F}(t)$ позначимо набір ігор, утворений з відповідних кожному з гравців $i \in {}^2\mathbf{I}(t)$ - оптових споживачів і контролюючих певну множину роздрібних споживачів.

Сукупність ($\Gamma_{\text{розн.спож.}}(t), \Gamma_{\text{опт.спож.}}(t)$) (3), (4) разом з співвідношеннями (5)-(7), будемо називати дворівневою моделлю споживання ЕЕ.

За аналогією будуються моделі всіх інших рівнів постачальників, виробників, верхнього рівня СОУ, загальна багаторівнева модель.

Розділ 3 роботи присвячений побудові моделей сегментів ринку, розробці процедур формування та аналізу рішень коаліційних ігор, що розігруються на сегментах, створених гравцями різних рівнів.

Реалізація інтересів і стратегій гравців і коаліцій гравців неминуче приводять до зіткнення їхніх інтересів на ОРЕ. Причому визначальною для конфліктних ситуацій є поведінка груп виробників і постачальників ЕЕ як найбільш сильних гравців і коаліцій різних рівнів.

Основні припущення. 1. Наявність суперечливих ситуацій між окремими роздрібними постачальниками, оптовими та роздрібними споживачами можлива. Однак у цьому розділі роботи дослідження цих суперечностей не розглядається через те, що їхній вплив на поведінку основних учасників ОРЕ вбачається незначним. 2. Будемо вважати, що стратегії та інтереси роздрібних постачальників на ринку представляють оптові постачальники, а споживачів – Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП), шляхом установаження тарифів на спожиту ЕЕ.

Ці допущення приводять до можливості побудови трирівневої ігрової моделі.

Формування оптимального рішення коаліційної гри. Розробку процедури формування оптимального рішення гри - моделі енергоринку та її аналізу розглянемо для коаліційної трирівневої ігрової моделі оптово-роздрібного ринку ЕЕ - виробників, постачальників і роздрібних споживачів ЕЕ за участю в ньому як гравця верхнього рівня СОУ.

У цій грі ${}^3I(t)$ - множина гравців верхнього рівня СОУ та їх інтереси ${}^3U(t)$. 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 виграш гравця i та виграш коаліції n .

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

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

Модель першого рівня - ${}^1\Gamma(t)$, $i \in {}^1I(t)$. До гравців рівня 1 віднесемо роздрібних споживачів ЕЕ. 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, використовуються агреговані стратегії $s \in {}^1S_i(t)$ оптових споживачів $i \in {}^1I(t)$.

Передбачається, що виграш роздрібних споживачів (обсяг одержаної 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 ${}^1H_i(t) = {}^1H_i({}^2H_i(t), i \in {}^1I(t))$.

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

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

1. Визначення компонент вектора $c(t) = c(c_1, c_2, c_3, \dots, c_{ML})(t)$, $ml = 1, 2, 3, \dots, ML$ вектора поточного стану енергоринку, що включає набір множин гравців і коаліцій, їхніх стратегій, ситуацій, значень функцій виграшу та оцінок реалізації інтересів гравців і коаліцій. Кожному з виділених базових показників, що характеризують функціонування енергоринку, зіставляється множина його припустимих значень, у тому числі підмножина, де показник має оптимальне значення. Оптимальність значень може бути задана як емпірично, так і в процесі аналізу теоретико-ігрової моделі.

2. Визначення ключових інформативних компонент у векторі $c(t)$. 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.

Процедура аналізу моделі та формуванні рішення коаліційної гри. Зупинимось 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.

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.

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; ймовірнісним розподілом можливих значень;

логічними схемами переходу станів компонент в результаті виконання стратегій гравців і коаліцій.

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

5. Визначення 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 вигоди гравців і коаліцій в умовах дотримання балансу компоненти. Множина прийнятних ситуацій визначається виходячи з двох критеріїв: прийнятність вигод і реалізація вихідних інтересів гравців і коаліцій; прийнятність стану енергоринку за оцінкою верхнього рівня СОУ.

6. Визначення функцій вигоди. Функції вигоди 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 .

8. Визначення вигод гравців і коаліцій. Вигоди гравців і коаліцій утворюються як суми значень функцій $H_{ml}(t)$ по компонентах ml . Вигоди, одержані в рамках матричних ігор, побудованих на компонентах, формуються як відповідна частка гравця або коаліції в значенні $H_{ml}(s_l)$, 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 вигод гравців і коаліцій з урахуванням порівняння вихідних очікуваних або узгоджених з гравцем верхнього рівня та отриманих значень відповідних логічних функцій.

У четвертому розділі розглянуті питання побудови математичних моделей процесів функціонування СОУ ОРЕ.

Математична модель для розрахунку оптимального добового розподілу обсягів виробництва ЕЕ між блоками електростанцій на оптовому ринку на добу наперед. На цьому сегменті ринку ЕЕ реалізуються заплановані поставки та системні послуги практично всіх сегментів ринку ДДБР. Тому для формування диспетчерського графіку активного навантаження необхідно попередньо вирішити задачу планування поставок (економічної диспетчеризації) ЕЕ. Як критерій оптимізації обраний критерій мінімуму витрат в ОЕЕС на виробництво та передачу ЕЕ.

Постановка задачі формування ТДГ для сегмента ринку на добу наперед.

Метою оптимізації є мінімальна оптова ціна купівлі ЕЕ в ОРЕ за даними цінових заявок нерегульованих виробників-суб'єктів ринку, з урахуванням того, що будуть виконуватися досягнуті домовленості на інших сегментах ринку: мінімальні договірні відпускні ціни за вироблену ЕЕ регульованими виробниками - суб'єктами

ринку; мінімальна ціна купівлі ЕЕ за умови продажу її частини на аукціоні на ринку двосторонніх договорів; мінімальна сумарна ціна купівлі ЕЕ, яка продається в ОРЕ в нерегульованих виробників і по двосторонніх договорах; мінімальні витрати на передачу ЕЕ.

Формальна постановка задачі оптимізації включає три основні складові: невідомих, що шукаються, – об'єктів оптимізації; цільової функції критерію оцінювання значень невідомих – мети оптимізації; системи обмежень на припустимі значення невідомих.

При постановці задачі були прийняті такі припущення: електрична схема мережі залишається актуальною на майбутню добу; втрати в магістральних високовольтних лініях (ВВЛ) дорівнюють втратам у попередню добу; системні витрати на виробництво ЕЕ дорівнюють витратам у попередню добу; не враховуються особливі умови роботи блоків Бурштинської ТЕС; не враховується робота ГЕС у моторному режимі.

Вихідними даними завдання є: встановлені потужності та діапазони маневреності блоків електростанцій; прогнозні погодинні дані активного навантаження та мінімальної й максимальної заявленої потужності блоку; заявлені природжені ціни за відпущену ЕЕ, що відповідають встановленим опорним потужностям енергоблоку; ціна холостого ходу, пуску та зупинки блоку.

Об'єкти оптимізації. У якості невідомих варто розглядати плановий ТДГ завантаження енергоблоків $\{P_{\sigma p}^T \mid \sigma \in B, p = 1, T^{CT}\}$ у розрахункові інтервали функціонування енергосистеми. Таким розрахунковим інтервалом T^{PII} є період часу, протягом якого вироблена енергоблоком ЕЕ вважається постійною - 15, 30 хвилин, 1 година. Зараз в ОРЕ прийнято, що $T^{PII} = 1$ година. В результаті ТДГ формується як команда енергоблоку на встановлення певного рівня потужності $P_{\sigma p}^T$ наприкінці розрахункового періоду, де індекс σ – позначає приналежність до енергоблоку, p – порядковий номер розрахункового періоду в добовому графіку.

Мета оптимізації. Вибір з множини припустимих варіантів завдання енергоблокам по рівнях потужності виходячи з такого ТДГ, який забезпечує мінімум витрат на виробництво ЕЕ генеруючими компаніями.

Побудова моделі. Всі виробники ЕЕ в ОРЕ розділені на дві основні групи, які працюють за регульованим тарифом - АЕС, ТЕЦ, ГЕС, ГАЕС, ВЕС, СЕС, та за ціновими заявками - ТЕС. Отже, частина виробників ЕЕ може розглядатися як об'єкти, що можуть бути оптимізовані, а частина - як об'єкти із заданою генерацією.

Розрахункова заявлена ціна блоку $C_{\sigma p}$, на основі якої оцінюється вартість роботи енергоблоку, крім $C_{\sigma p}^{uz}$ - розрахункової природженої ціни блоку, повинна враховувати також витрати на роботу блоку на холостому ходу C_{σ}^{xx} . Вважається, що зміна навантаження енергоблоку здійснюється лінійно.

У результаті врахування всіх факторів витрат, що впливають на оптимальність ТДГ, було одержано вираз цільової функції у вигляді функціоналу, для лінеаризації якого були прийняті додаткові припущення, що спрощують її:

1) оптимальний склад генеруючого обладнання визначається вибором енергоблоків для розрахункового періоду максимального покриття (споживання ЕЕ)

за умови роботи блоків протягом періоду *Start-End* на заявленій максимальній робочій потужності $P_{\delta p}^{p \max}$. Для всіх інших розрахункових періодів вибір складу енергоблоків визначається складом для періоду максимального покриття з відключенням тих блоків, які мають найбільші витрати на вироблення ЕЕ;

2) розрахункова заявлена ціна блоку $C_{\delta p}$, на основі якої оцінюється вартість його роботи, 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 $P_{\delta p}^{p \max}$;

3) питома економія витрат енергоблоку на пуск $C_{\delta p}^e$ оцінюється величиною, яка розрахована для періоду мінімального покриття p_{\min} за умови роботи блоку протягом періоду *Start-End* на заявленій мінімальній робочій потужності;

4) розрахунковий інтервал $T^{PII} = 1$ година та значення встановленої потужності енергоблоку для останнього періоду попередньої доби еквівалентний значенню потужності для останнього періоду поточної доби $P_{\delta(0)}^{\Gamma} = P_{\delta(24)}^{\Gamma}$.

У результаті спрощень цільова функція прийме такий (лінійний) вигляд:

$$C_p^{ok} = \min \left\{ \sum_{p=1}^{T^{CT}} \sum_{\delta} ((K_{\delta}^1 + K_{\delta}^2 + K_{\delta}^3) \times P_{\delta p}^{\Gamma}) \right\} \quad (8)$$

$$\text{де } K_{\delta}^1 = a \times P_{\delta p_{\max}}^{p \max}, \quad K_{\delta}^2 = \frac{\sum_{p=1}^{T_{\delta}^{CT}} C_{\delta}^{xx}}{\sum_{p=Start}^{End} \frac{P_{\delta(p-1)}^{p \max} + P_{\delta p}^{p \max}}{2} \times T^{PII} \times P_{\delta}^o}, \quad K_{\delta}^3 = \frac{C_{\delta}^n - \sum_{p=Start}^{End} (C_{\delta}^{xx} + C_{\delta p}^{uz} \times P_{\delta p}^{p \min})}{P_{\delta p_{\min}}^{p \min}}.$$

Обмеження оптимізації:

1) баланс потужності енергосистеми в кожному розрахунковому періоді між генерацією та споживанням з урахуванням втрат;

2) діапазон зміни потужності від мінімальної до максимальної заявленої робочої потужності об'єктів, що оптимізуються, $-P_{\delta p}^{p \min} \leq P_{\delta p}^{\Gamma} \leq P_{\delta p}^{p \max}$;

3) швидкість набору (скидання) навантаження від одного розрахункового періоду до іншого $-\Delta P_{\delta p}^{p \min} \leq |P_{\delta(p+1)}^{\Gamma} - P_{\delta p}^{\Gamma}| \leq \Delta P_{\delta p}^{p \max}$;

4) мінімальний час знаходження у включеному та відключеному станах;

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

Розроблено схему алгоритму вирішення задачі оптимізації.

Модель ОРЕ. Відповідно до закону «Про ринок електричної енергії», визначається порядок утворення нових сегментів ринку - «на добу наперед», «внутрішньодобового», «балансуючого», «допоміжних послуг», для управління якими створюються нові адміністративні елементи структури організаційного управління - оператори ринків.

Новоутворені сегменти ринку, маючи свого оператора, фактично в його особі мають єдиного покупця та продавця послуг в цьому сегменті ринку. Цим же

законом визначено і порядок його імплементації, яким на операторів сегментів ринку покладається реалізація формування Правил їх функціонування.

Вдосконалення механізмів функціонування СОУ енергоринку та його суб'єктів обумовлює необхідність створення математичної моделі, що дозволяє вирішувати завдання розрахунку інформативних компонентів управління, аналізу та оцінки ступеня можливого впливу змін механізмів функціонування, що вносяться до Правил ринку, на величину їх компонентів.

Модель повинна складатися з співвідношень:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_p^{FO} + \mathcal{E}_p^{EI} - \mathcal{E}_p^{PF} &= \mathcal{E}_p^{PK} \\ D_p^{CC} + D_p^{EI} + D_p^{IC} + D_p^{BT} + D_p^{PB} - D_p^{PF} &= D_p^{EP} \end{aligned} \quad (9)$$

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

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) - \mathcal{E}_p^{FO} , обсягу експорту або імпорту ЕЕ - \mathcal{E}_p^{EI} , обсягу втрат ЕЕ - \mathcal{E}_p^{PF} , обсяг спожитої ЕЕ за розрахунковий період усіма постачальниками складається з обсягів споживання суб'єктами, які купують ЕЕ в ОРЕ - \mathcal{E}_p^{PK} .

Складові балансового співвідношення для обсягів виробництва, передачі та споживання ЕЕ, що зв'язують величини в (9), отримані з використанням Правил ОРЕ.

2. Розглянемо тепер складові балансового рівняння платежів: D_p^{CC} - сумарний платіж компанії ТЕС; D_p^{EI} - платіж за поставлену на ОРЕ ЕЕ мережевими суб'єктами; D_p^{IC} - витрати інфраструктури поділяються на платежі: НЕК «Укренерго» за використання магістральних і міждержавних електромереж, за виконання диспетчерських функцій та ДП «Енергоринок»; D_p^{BT} - додаткові відрахування постачальників на інвестиційні проекти; D_p^{PB} - обсяг дотаційних сертифікатів; D_p^{PF} - витрати на покриття втрат при виробництві та передачі ЕЕ; D_p^{EP} - сумарний платіж в ОРЕ за ЕЕ усіма постачальниками за розрахунковий період.

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 ОРЕ відповідно до Правил ринку встановлено добу. Тому баланс платежів будується спочатку на основі розрахунку балансу за кожний розрахунковий період p , а потім формується баланс підсумкових платежів за добу:

$$\begin{aligned}
D_p^{CC} + D_p^{EI} + D_p^{BT} + D_p^{IC} + D_p^{PB} - D_p^{PF} &= D_p^{\text{ЭП}}, p = 1, 2, 3, \dots, 24 \\
D^{CC} + D^{EI} + \sum_{p=1}^{24} D_p^{IC} + \sum_{p=1}^{24} D_p^{BT} + \sum_{p=1}^{24} D_p^{PB} - \sum_{p=1}^{24} D_p^{PF} &= D^{\text{ЭП}}
\end{aligned} \tag{10}$$

де D^{CC} , D^{EI} , $D^{\text{ЭП}}$ - підсумкові платежі за добу, які проведені за аналогічними правилами обчислення відповідних платежів за розрахунковий період p . 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 -

$$HD^{CC} = D^{CC} - \sum_{p=1}^{24} D_p^{CC}, HD^{EI} = D^{EI} - \sum_{p=1}^{24} D_p^{EI}, HD^{\text{ЭП}} = D^{\text{ЭП}} - \sum_{p=1}^{24} D_p^{\text{ЭП}}, \tag{11}$$

де HD^{CC} , HD^{EI} , $HD^{\text{ЭП}}$ - небаланси відповідних платежів D^{CC} , D^{EI} , $D^{\text{ЭП}}$.

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 p :

$$HD_{Гр}^{CC} = D_{Гр}^{CC} - \sum_{C \in Г} \sum_{\delta \in C} D_{\delta}^{CC}. \tag{12}$$

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.

У сукупності співвідношення (9)-(12) й утворюють математичну модель ОРЕ.

Розділ 5 присвячений побудові математичних моделей процесів прийняття рішень верхнім рівнем СОУ з вдосконалення регуляторних механізмів функціонування ринку ЕЕ з урахуванням зміни цін на основні енергоносії.

Модель динаміки прибутку суб'єктів організаційної системи.

Нехай $P_{CT}(t)$ - прибуток компаній-виробників ЕЕ, $CT \in \{ТЕС, ТЕЦ, АЕС, ГЕС, ВЕС, СЕС\}$. Їхній загальний прибуток є $P_p(t) = \sum P_{CT}(t)$. Нехай економічна система складається з n виробників ЕЕ компаній ТЕС і ТЕЦ та єдиного покупця. Очевидно, що очікуваний прибуток учасників ринку, залежить від обсягу планового відпуску ЕЕ генеруючими компаніями та прогнозованої оптової ціни її купівлі $P_j(t) = (C_{ок}^{поз}(t) - C_j(t)) \Delta_j(t)$, де $C_j(t)$ - ціна одиниці відпущеного об'єму ЕЕ, $\Delta_j(t)$ - її обсяг.

Позначимо через: $P_j(t) > 0$ - прибуток j -тої генеруючої компанії, P_j - максимально досяжний прибуток компаній; $a_j(t) > 0$ - питома швидкість зростання прибутку j -тої генеруючої компанії ТЕС і ТЕЦ на заданому проміжку часу; $b_j(t) > 0$ - відносний приріст витрат на одиницю прибутку, відображає конкуренцію між

виробниками через обмежені запаси енергоносіїв і зростання цін на них; $Y_j(t)$ - прибуток єдиного покупця; $c_j(t) > 0$ - питома швидкість зростання його прибутку;

$c = \sum_{j=1}^n \alpha_j a_j$, α_j - безрозмірні регулюючі коефіцієнти, які встановлюються єдиним покупцем для досягнення рівних умов одержання прибутку; $e_j(t) > 0$ - частка питомої швидкості зростання прибутку, який відбирається у j -тої генеруючої компанії в залежності від її частки в загальному балансі відпущеної енергії.

Для одержання рівнянь динаміки прибутку компаній ТЕС і ТЕЦ застосуємо підхід, що був використаний у рівняннях популяційної динаміки. При припущенні, що питома швидкість зростання прибутку залежить від його величини лінійно, одержимо для $P_j(t)$ логістичне рівняння Ферхюльста. А як рівняння, що зв'яже $P_j(t)$ з прибутком єдиного покупця, використаємо друге рівняння системи Вольтерра «хижак-жертва».

Таким чином, приходимо до системи звичайних диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{dP_j(t)}{dt} = P_j(t)(a_j(t) - b_j(t)P_j(t)), j = \overline{1, n} \\ \frac{dY(t)}{dt} = Y(t)(-c(t) + \sum_{j=1}^n e_j(t)P_j(t)) \end{cases} \quad (13)$$

- модель динаміки прибутку компаній ТЕС і ТЕЦ в 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.

Розглянемо окремий випадок застосування моделі. Приймемо припущення, що $a_j(t) = a_j = \text{const}$; $b_j(t) = b_j = \text{const}$; $P_j(t) \leq P_j = \text{const}$; $e_j(t) = \text{const} = e_j$; $c(t) = \text{const}$;

$c = \sum_{j=1}^n \alpha_j a_j$ Нехай задані початкові умови $P_j(0) = P_j^0$, $Y(0) = Y^0$ - базові значення прибутку, досягнуті виробниками та покупцем ЕЕ в попередній розрахунковий проміжок часу (квартал). У цьому випадку система рівнянь (13) допускає одержання аналітичного рішення. Рішення системи рівнянь для заданих початкових умов має вигляд:

$$P_j(t) = \frac{K_j P_j^0 e^{a_j t}}{K_j + P_j^0 (e^{a_j t} - 1)}, \quad K_j = \frac{a_j}{b_j} \quad (14)$$

$$Y(t) = \frac{Y^0}{\prod_{j=1}^n K_j^{\frac{e_j}{b_j}}} \cdot e^{-\sum_{j=1}^n \alpha_j a_j t} \cdot \prod_{j=1}^n \left[\left(K_j + P_j^0 (e^{a_j t} - 1) \right)^{\frac{e_j}{b_j}} \right] \quad (15)$$

Функції (14), (15) задовольняють системі рівнянь (13) і початковим умовам.

Математична модель задачі динаміки енергоринку. Виконано збір, обробку та 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. Проведено аналіз динаміки цін на ЕЕ, динаміки балансів відпуску виробниками ЕЕ, цін на енергоносії, балансів споживання енергоносіїв, аналіз взаємозв'язку дані динаміки цін на ЕЕ та енергоносіїв

Витрати ТЕС є визначальними при формуванні конкурентної оптової ціни купівлі ЕЕ у генеруючих компаній на ОРЕ. Тому, виділимо та об'єднаємо в окрему підсистему в ПЕК - теплову електроенергетику та галузі, що забезпечують видобуток і постачання основних органічних енергоносіїв - енергетичного вугілля, природного газу, топкового мазуту, для моделювання динаміки впливу зміни цін на зазначені енергоносії на формування оптових цін купівлі ЕЕ на ОРЕ.

Введемо позначення: $C_{ок}(t)$ - оптова ціна купівлі ЕЕ у виробників, $C_j(t)$ з відповідним індексом $j \in CT = \{ТЕС, ТЕЦ, АЕС, ГЕС, ВЕС, СЕС\}$ - відпускна ціна виробника j , $\mathcal{E}_j(t)$ - обсяг відпущеної ЕЕ в ОРЕ виробником. Тоді

$$C_{ок}(t) = \frac{(C_{ТЕС}(t)\mathcal{E}_{ТЕС}(t) + C_{ТЕЦ}(t)\mathcal{E}_{ТЕЦ}(t) + C_{АЕС}(t)\mathcal{E}_{АЕС}(t) + C_{ГЕС}(t)\mathcal{E}_{ГЕС}(t) + C_{ВЕС}(t)\mathcal{E}_{ВЕС}(t) + C_{СЕС}(t)\mathcal{E}_{СЕС}(t))}{\mathcal{E}_{відпуск}(t)}, \quad (16)$$

де $\mathcal{E}_{відпуск}(t) = \mathcal{E}_{ТЕС}(t) + \mathcal{E}_{ТЕЦ}(t) + \mathcal{E}_{АЕС}(t) + \mathcal{E}_{ГЕС}(t) + \mathcal{E}_{ВЕС}(t) + \mathcal{E}_{СЕС}(t)$.

Відомо, що для блоків ТЕС ціна купівлі в ОРЕ формується з двох складових - платежу за відпущену ЕЕ, який визначається граничною (маржинальною) ціною системи та платежем за робочу потужність блоку. Розглянуті в роботі дані динаміки $C_{ТЕС}(t)$ включають обидві складові. На основі проведеного аналізу даних встановлено, що $C_{АЕС}(t)$, $C_{ГЕС}(t)$, $C_{ВЕС}(t)$, $C_{СЕС}(t)$ - це контрактні договірні відпускні ціни, що встановлюються Регулятором ОРЕ на достатньо тривалі проміжки часу. А $C_{ТЕЦ}(t)$ - 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 $A(t)$ та розраховується за формулою

$$A(t) = \frac{(C_{АЕС}(t)\mathcal{E}_{АЕС}(t) + C_{ГЕС}(t)\mathcal{E}_{ГЕС}(t) + C_{ВЕС}(t)\mathcal{E}_{ВЕС}(t) + C_{СЕС}(t)\mathcal{E}_{СЕС}(t))}{\mathcal{E}_{відпуск}(t)}. \quad (17)$$

Оскільки $C_{ок}(t)$ в загальному випадку залежить і від частки відпущеної ЕЕ кожним виробником в загальному балансі, то визначимо їх, як такі величини $K_j^{\mathcal{E}}(t) = \mathcal{E}_j(t) / \mathcal{E}_{відпуск}(t)$, $j \in CT = \{ТЕС, ТЕЦ, АЕС, ГЕС, ВЕС, СЕС\}$.

В результаті одержимо, що

$$\begin{aligned} C_{ок}(t) &= C_{ТЕС}(t)K_{ТЕС}^{\mathcal{E}}(t) + C_{ТЕЦ}(t)K_{ТЕЦ}^{\mathcal{E}}(t) + A(t), \\ A(t) &= C_{АЕС}(t)K_{АЕС}^{\mathcal{E}}(t) + C_{ГЕС}(t)K_{ГЕС}^{\mathcal{E}}(t) + C_{ВЕС}(t)K_{ВЕС}^{\mathcal{E}}(t) + C_{СЕС}(t)K_{СЕС}^{\mathcal{E}}(t) \end{aligned} \quad (18)$$

Як відомо, реально $C_{TEC}(t)$ включає в себе, крім паливної $C_{TEC}^{nc}(t)$, ще дві складові - змінні витрати $C_{TEC}^{36}(t)$ та умовно-постійні витрати $C_{TEC}^{yn3}(t)$. Вочевидь, в загальному випадку, коли компанії-виробники ЕЕ здобувають енергоносії на конкурентних ринках, то не тільки величини $C_{TEC}^{nc}(t)$, $C_{TEЦ}^{nc}(t)$, але й $K_{TEC}^{\mathcal{E}}(t)$, $K_{TEЦ}^{\mathcal{E}}(t)$ залежать від цін на натуральні енергоносії – вугілля $C_6^{hn}(t)$, газ - $C_2^{hn}(t)$, мазут - $C_M^{hn}(t)$, тому що обсяг відпуску ЕЕ блоком електростанції залежить від його заявленої ціни.

В результаті, для визначення в поточному місяці t_i прогнозованої ціни купівлі ЕЕ у виробників на наступний місяць t_{i+1} , одержимо

$$C_{TEC}^{npo2_{ок}}(t_{i+1}) = C_{TEC}(C_6^{hn}(t_{i+1}), C_2^{hn}(t_{i+1}), C_M^{hn}(t_{i+1}))K_{TEC}^{\mathcal{E}}(t_{i+1}) + C_{TEЦ}(C_6^{hn}(t_{i+1}), C_2^{hn}(t_{i+1}), C_M^{hn}(t_{i+1}))K_{TEЦ}^{\mathcal{E}}(t_{i+1}) + A(t_{i+1}) \quad (19)$$

- динамічну модель регулювання прогнозованої оптової ціни купівлі ЕЕ на ОРЕ в загальному вигляді, в якій $C_{TEC}(t)$, $K_{TEC}^{\mathcal{E}}(t)$, $C_{TEЦ}(t)$, $K_{TEЦ}^{\mathcal{E}}(t)$, A - прогнозовані величини.

В розділі 6 роботи розглянуто питання розробки комп'ютерної системи моделювання складних багаторівневих СОУ.

Застосування методу об'єктно-орієнтованого моделювання розглянемо на прикладі розробки інформаційно-методичного середовища побудови КММ енергоефективності ЕЕВ. Реалізація методу передбачає: формування концептуального представлення організаційної структури об'єктно-орієнтованої КММ; об'єктне моделювання даних предметної області з метою формування структури бази даних суб'єктів СОУ; функціональне моделювання процесів обробки даних. В основу системи опису об'єктів предметної області моделювання процесів організаційного управління повинні бути покладені типові риси, які відрізняють обраний об'єкт від іншого.

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 функціонування.

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 визначає склад, зв'язки та атрибути об'єктів предметної області моделювання (рис.2), а функціональна частина - структуру і взаємозв'язок розрахунково-технологічних процесів функціонування зазначених об'єктів (рис.3).

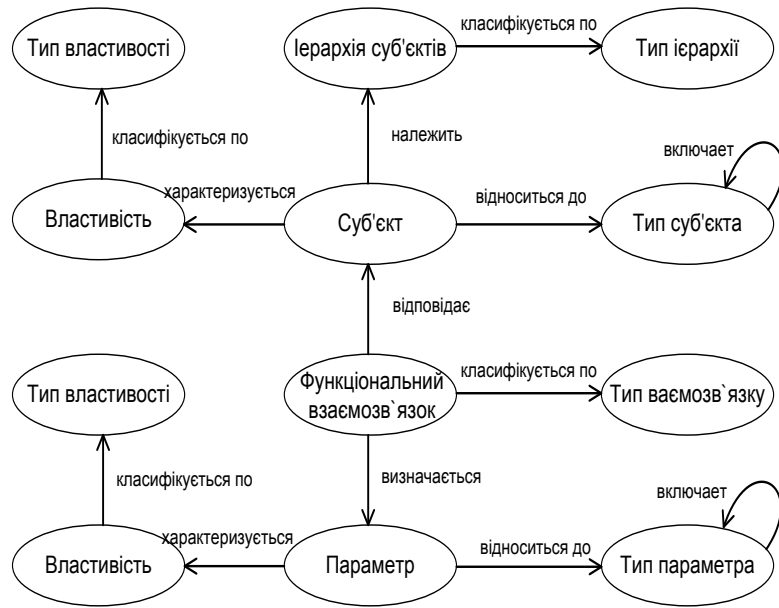


Рис.2. Інформаційна частина концептуальної моделі

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. 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.

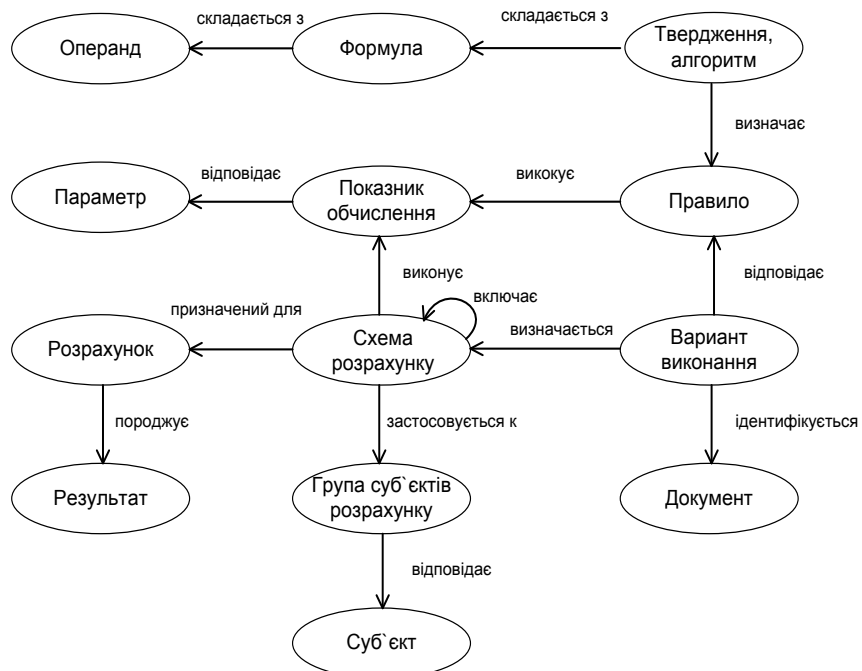


Рис.3. Функціональна частина концептуальної моделі

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.

Алгоритмічна організація комп'ютерних моделей. Моделюючі алгоритми процесів реалізації механізмів функціонування організаційної системи застосовуються для встановлення взаємозв'язків різних параметрів суб'єктів предметної області на підставі правил їх продукційного подання. Алгоритми реалізуються за допомогою схем розрахунку, показників обчислення значень параметрів для встановленого інтервалу часу, тверджень продукційних правил обчислення значень параметрів, формул і операндів (рис.3).

Побудова інформаційної моделі. Однією з головних умов створення адаптивних КММ для застосування в різних ОТС, в тому числі в енергетиці, є уніфікація даних. В енергетиці завдання уніфікації знайшли своє відображення в стандартах узагальненої інформаційної моделі СІМ (Common Information Model) та узагальненої специфікації інтерфейсу додатків (Common Interface Specification) - CIS.

Дотримуючись принципів об'єктно-орієнтованого методу, СІМ підтримує опис фізичних суб'єктів на всіх рівнях управління, що дозволяє однаково чиним описати елементи системи, їх властивості та зв'язки. І тим самим забезпечує можливість створення єдиної системи класифікаторів, довідників і систем доступу.

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.

Структурна організація програмного забезпечення комп'ютерної моделі. В цілому базовий програмний комплекс об'єктно-орієнтованої комп'ютерної моделі побудований на принципах декомпозиції, та структурований з підсистем, які реалізують завдання, що відображають стадії функціонування (настройка, формування та застосування) інформаційної моделі предметної області.

Функціональна організація програмного забезпечення комп'ютерної моделі. Розглянемо функціональну організацію об'єктно-орієнтованої КММ (рис. 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. Функціональну організацію утворюють підсистеми, які характеризуються вхідними та вихідними потоками даних, а також механізмами управління та реалізованими функціями обробки даних.

Методична складова середовища побудови КММ енергоефективності. До складу інформаційно-методичного середовища побудови КММ енергоефективності ЕЕВ входить методичне забезпечення у вигляді багаторівневої системи компонентів стану управління, які характеризують стан енергоефективності процесів виробництва, передачі та споживання ЕЕ.

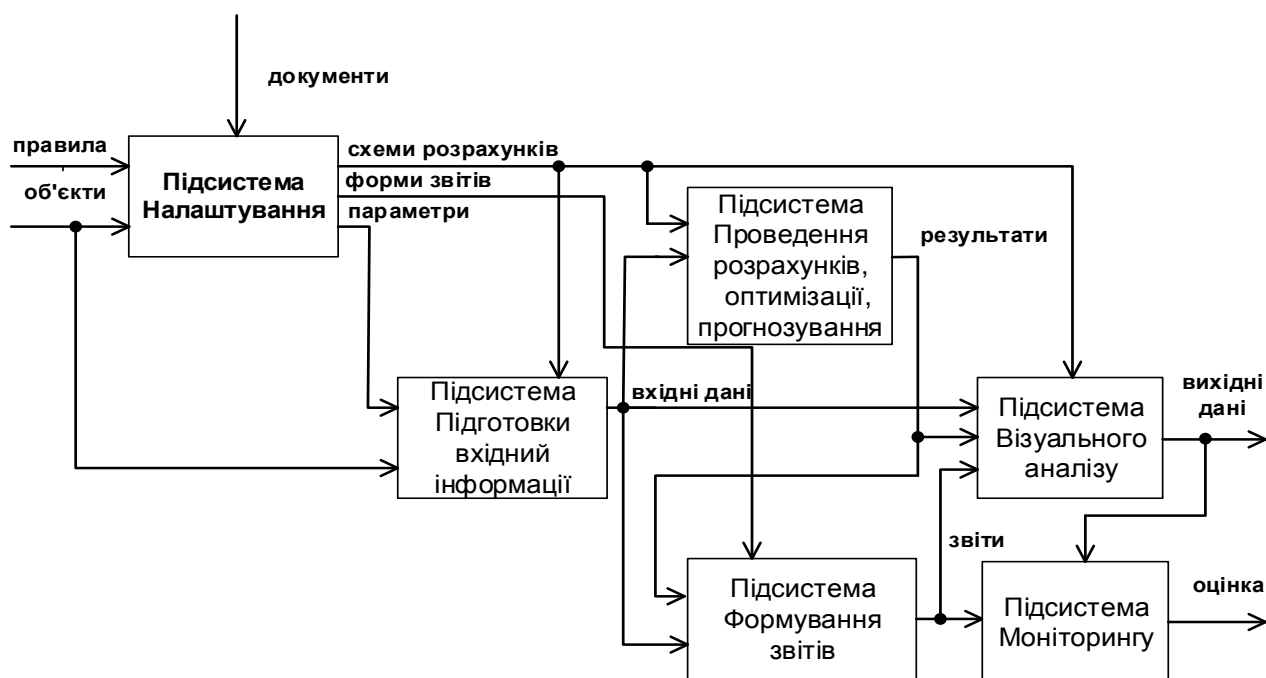


Рис. 4 Функціональна організація комп'ютерної моделі

В розділі 7 роботи розглянуто питання побудови комп'ютерних моделей процесів вдосконалення механізмів функціонування СОУ ОРЕ, на основі використання математичних моделей, одержаних в розділах 4, 5, та приклади вирішення прикладних та тестових задач за їх допомогою.

1. Комп'ютерна модель ОРЕ призначена для реалізації процесів функціонування СОУ ОРЕ, а також для вирішення задач аналізу та оцінки впливу впровадження нових або вдосконалення існуючих механізмів функціонування ОРЕ - Правил ринку на розрахунки платежів за вироблену та поставлену ЕЕ суб'єктів ринку. Модель адекватно відтворює розрахунково-технологічні процеси формування цінних 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 ЕЕ.

2. Прогнозування показників функціонування енергоринку. Ринкові умови створили нові задачі управління в СОУ, пов'язані із плануванням постачань ЕЕ, а саме задачі, де основними вихідними даними є прогнозні значення планованих показників функціонування енергоринку.

Для вищення задачі побудована комп'ютерна нейросіткова модель.

Алгоритм вирішення завдань прогнозування включає: формування вихідних даних для навчання та тестування штучної нейронної сітки (ШНС); використання існуючої в базі знань або формування індивідуальної топології ШНС; оцінка та коригування результатів.

Для оцінки якості прогнозування обраний показник MAPE (Mean Absolute Percentage Error) - абсолютна величина середньої помилки у відсотках -

$$\delta F = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|F_i - P_i|}{F_i} \cdot 100\%, \quad (20)$$

де P_i - прогнозоване значення на певному часовому інтервалі; F_i - фактичне значення на цьому ж інтервалі. од; n – кількість розрахункових періодів.

Для проведення розрахунково-експериментальних досліджень математичної моделі динаміки прогнозованої оптової ціни купівлі ЕЕ був розроблений обчислювальний алгоритм із використанням апарата ШНС. Як вихідні дані були використані помісячні дані з динаміки цін на вугілля, природний газ і на ЕЕ ТЕЦ, ТЕС за 2011-13 рр. Вихідні дані за 2011 р. використовувалися на етапі навчання ШНС, а дані за 2012, 2013 рр. - для перевірки якості прогнозу. На етапах, як навчання, так і прогнозу вибирається «вікно» рівне одному місяцю.

Деякі результати розрахунково-експериментальних досліджень. Проведено дві серії експериментальних досліджень: 1) з навчанням тільки по даних 2011 р. для прогнозування величини оптової ціни купівлі ЕЕ в 2012-2013 р.; з навчанням по даним 2011-2012 рр. і прогнозуванням величини оптової ціни купівлі ЕЕ в 2013 р. (табл. 1). Найефективнішим за якістю прогнозу за критерієм MAPE виявився прогноз оптової ціни на ЕЕ 2012 р. Практично він збігся з оптовими цінами на ЕЕ 2012 р., при використанні для навчання ШНС даних тільки за один 2011 р.

Таблиця 1 Результати прогнозуванням величини оптової ціни купівлі ЕЕ

Навчання	ТЕС 2012	ТЕС 2013	ТЕЦ 2012	ТЕЦ 2013	ціна 2012	ціна 2013
2011	7,6369	9,8844	7,1866	10,8234	4,6443	6,3669
2011 2012	-	12,3833	-	8,7562	-	8,3887

Проведено дослідження аналізу впливу зміни ціни на енергоносії на прогноз оптової ціни купівлі ЕЕ. Дослідження показало, що частка приросту цін на енергоносії, як складової формули розрахунку $C_{ок}^{прог}(t_{i+1})$, становить не більше 5-10%. Це говорить про те, що спрощений прогноз основного тренда динаміки оптової ціни ЕЕ можна виконувати без урахування зміни цін на енергоносії, точніше без урахування прямого впливу їхньої зміни на величину оптової ціни.

Можна також зробити висновок, що на оптову ціну купівлі ЕЕ більшою мірою впливає рішення регулятора ОРЕ зі встановленню певного балансу в структурі генерації ЕЕ, і в меншому ступені від власних рішень самої генерації з придбання енергоносіїв залежно від складної кон'юнктури ринку на них.

Проведено дослідження впливу зміни структури генерації ЕЕ, тобто приросту складових $K_{ТЭС}(t_{i+1})$, $K_{ТЭЦ}(t_{i+1})$, $K_A(t_{i+1})$ співвідношення (19), на формування оптової ціни покупки ЕЕ. Аналіз показує, що залежність $C_{ок}^{прог}(t_{i+1})$ від динаміки структури виробництва складає 5-7 %.

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 підходу 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 цінних 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 пропонування 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 - прогнозу 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 МАРЕ.

14. Запропонований у роботі об'єктно-орієнтований підхід був використаний при розробці інформаційно-методичного забезпечення середовища проектування автоматизованої системи організаційного управління 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 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 // 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 // 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 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

1. Борукаев З.Х. Автоматизированная система расчёта платежей субъектов оптового рынка электроэнергии / З.Х. Борукаев, В.Ф. Евдокимов, К.Б. Остапченко // Енергетика: 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.

2. 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.

3. 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.

4. 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.

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

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

7. 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 // Автоматизація: проблеми, ідеї, рішення : міжнародна науково-технічна конференція, 8-12 вересня, 2014 р., м. Севастополь, Україна : матеріали конф. - С. 31 - 32.

8. 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.

9. Борукаєв З.Х. Модель аналізу динаміки прибутку генеруючих компаній в умовах зміни цін на енергоносії / З.Х. Борукаєв, 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.

АНОТАЦІЯ

Борукаєв З.Х. Математичні та комп'ютерні моделі процесів вдосконалення механізмів функціонування і розвитку систем організаційного управління. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 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 СОУ 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 СОУ.

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

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

Розроблено нові уніфіковані засоби об'єктно-орієнтованого концептуального та інформаційного моделювання процесів взаємодії суб'єктів СОУ, з застосуванням яких побудовано імітаційну комп'ютерну модель ОРЕ.

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 АСРП суб'єктів оптового ринку електроенергії України. Система впроваджена на ДП «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.

АННОТАЦИЯ

Борукаев З.Х. Математические и компьютерные модели процессов совершенствования механизмов функционирования и развития систем организационного управления. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 01.05.02 – математическое моделирование и вычислительные

методы. – Институт проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова НАН Украины, Киев, 2018.

Диссертация посвящена решению актуальной научно-прикладной проблемы совершенствования методов и средств математического и компьютерного моделирования процессов принятия решений в сложных многоуровневых СОУ в направлении повышения их производительности на основе разработки новых средств организации процессов подготовки и использования моделирующих систем как носителей исследуемых моделей.

Разработан подход к построению дескриптивных теоретико-игровых моделей процессов принятия решений по совершенствованию механизмов функционирования сложных многоуровневых СОУ, в рамках которого: разработан способ математического описания процессов игрового взаимодействия субъектов энергорынка; построена дескриптивная многоуровневая теоретико-игровая модель энергорынка, описывающая коалиционный характер взаимоотношений игроков в конфликтных ситуациях; разработаны процедуры формирования оптимального решения многоуровневых кооперативных игр, анализа моделей для определения диапазонов ограничений в изменениях компонентов состояния управления для сохранения устойчивости управления, определения приемлемых для участников рынка альтернативных вариантов изменений механизмов функционирования рынка.

Построены математические модели процессов совершенствования механизмов определения ценовых показателей функционирования рынка электроэнергии. В том числе, модель ОРЭ для решения задач анализа и оценки влияния внедрения новых или совершенствования существующих механизмов функционирования ОРЭ на распределение платежей его субъектов, в которой балансовыми соотношениями связаны физические процессы производства, передачи и потребления ЭЭ и и финансовые процессы формирования ценовых показателей и расчета платежей субъектов рынка.

Разработаны новые унифицированные средства объектно-ориентированного концептуального и информационного моделирования процессов взаимодействия субъектов СОУ, с применением которых построено имитационную компьютерную модель ОРЭ.

Имитационная компьютерная модель организационной, технологической и информационной деятельности ОРЭ, что обеспечивает повышение производительности процессов принятия решений за счет автоматизированного решения расчетно-технологических задач многовариантного анализа предлагаемых альтернатив совершенствования механизмов функционирования и интерпретацию и визуализацию результатов моделирования, сравнительной оценки влияния изменений на компоненты состояния управления и на распределение платежей субъектов рынка.

Проведено исследование компьютерных моделей, путем решения прикладных и тестовых задач, подтверждающее их адекватность.

Теоретические результаты по разработке компьютерных систем моделирования были использованы при создании информационно-технологического обеспечения АСРП субъектов ОРЭ Украины. Система внедрена на ГП «Энергорынок».

Ключевые слова: дескриптивная модель, информационная модель, компьютерная модель, концептуальная модель, кооперативная игра, механизмы функционирования, мониторинг энергоэффективности, объектно-ориентированное описание, организационно-техническая система, система организационного управления, теоретико-игровое описание.

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.

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

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.

Підписано до друку 01 червня 2018 р. Формат 60x90/16.

Папір офсетний. Умовн. др. арк. 1,6

Друк різнограф. Тираж 100 прим. Зам. № 1249

Суб'єкт видавничої діяльності

Занесено до державного реєстру № 620049 від 13.10.2008р.

«Прінт центр» м. Київ, вул. Політехнічна 16.