

ВІДГУК
офіційного опонента

завідувача відділу прикладної інформатики Інституту телекомунікацій і
глобального інформаційного простору НАН України,
доктора фізико-математичних наук, старшого наукового співробітника
Полумієнка Сергія Костянтиновича

на дисертаційну роботу Борукаєва Зелімхана Харитоновича «Математичні та
комп'ютерні моделі процесів вдосконалення механізмів функціонування і розвитку
систем організаційного управління», подану на здобуття вченого ступеня доктора
технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – «Математичне моделювання та
обчислювальні методи»

Актуальність обраної теми.

Робота присвячена дослідженню методів аналізу та оптимізації процесів функціонування складних людино-машинних організаційно-технічних систем в енергетиці, які характеризуються діяльністю різнобічних взаємозалежних підсистем на внутрішньому та зовнішньому рівнях. Такі підсистеми мають різні цілі та методи управління, що призводить до виникнення суперечностей в їх взаємодії, яка водночас ускладнюється розмірами системи, істотною мінливістю в часі та необхідністю швидкого реагування при прийнятті рішень.

Ці та інші ускладнення формують суттєві вимоги до математичного та інформаційно-технологічного забезпечення засобів підтримки прийняття рішень - необхідно описати та проаналізувати взаємодіючу багаторівневу ієрархічну систему, кожен з вузлів якої може мати власні цілі та стратегії поведінки, різнобічний вплив на інші елементи системи, характеризується багатоваріантністю можливих дій, неповнотою їх опису. Крім цього, від ефективності всієї системи залежить ефективність інших систем, зокрема, рівень життя населення або собівартість продукції національної економіки внаслідок тарифів, що встановлюються в межах організаційно-технічної системи в енергетиці, що досліджується в роботі.

Також вихідна система потребує неперервного вдосконалення та, водночас, як і більшість працюючих організаційно-технічних систем, не припускає натурних експериментів. Це вимагає створення великих моделюючих систем, які адекватно відображають взаємодію вихідної системи та дозволяють знайти оптимальні рішення з її розвитку, в тому числі з урахуванням структурних змін органів управління, включаючи правила їх взаємодії.

Метою дисертаційної роботи є удосконалення методів моделювання процесів прийняття рішень у складних багаторівневих системах організаційного управління (СОУ), спрямованих на підвищення їх ефективності на основі використання нових методів організації та використання моделюючих систем, включаючи побудову та аналіз структури взаємопов'язаних моделей функціонування СОУ.

Перелічене підкреслює актуальність теми дисертаційної роботи.

Підтвердженням важливості проведених в ній досліджень також є те, що вони виконувались згідно з планами науково-дослідних робіт НАН України в межах декількох фундаментальних і прикладних бюджетних тем, перелік яких наведено в дисертації. Вказані науково-дослідні теми відповідають пріоритетним напрямам

мтс 17 Вх 137
22.06.18

розвитку науки і техніки, затвердженим наказом № 1066/609 від 26.11.2009 р. Міністерства освіти і науки та Національною Академією наук України, та Закону України "Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки" № 48, 2001 р.

Наукова новизна роботи.

Розробка, аналіз та відпрацювання рішень з вдосконалення функціонування СОУ вимагають вирішення сукупності задач з формування обмежень змін задля збереження стійкості стану управління. Це викликає необхідність прогнозування та планування змін компонентів стану управління з урахуванням зміни цін, контролю матеріального балансу ресурсів, обсягів виробництва та балансу розподілу доходів суб'єктів СОУ та їх стимулювання.

Без математичного та комп'ютерного моделювання процесів організаційного управління в складних багаторівневих системах вирішення цих задач неможливе. Також необхідною є підготовка первинної інформації - розробка уніфікованих засобів структуризації та математичного опису, обробки та зберігання даних, що характеризують стан системи; забезпечення якості моделюючих засобів; дослідження моделей, інтерпретація результатів моделювання та ін. Не менш важливими є задачі моніторингу та аналізу показників, що характеризують особливості взаємодії підсистем вихідної організаційної системи та її елементів.

Вирішення описаного класу задач моделювання процесів прийняття рішень у багаторівневих СОУ, спрямованих на вдосконалення їх функціонування, на основі сукупності уніфікованих теоретико-ігрових і об'єктно-орієнтованих засобів в дисертаційній роботі розглядається вперше, що підтверджує наукову новизну її теми та проведених досліджень.

Аналіз основного змісту дисертації.

Дисертація складається з анотації, вступу, 7 розділів основної частини роботи, висновків та 5 додатків. Загальний обсяг роботи складає 342 сторінки, у тому числі основної частини - 304 сторінки.

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, її мету, проблеми та задачі досліджень, зазначено її зв'язок з науковими програмами, планами та темами, визначено об'єкт, предмет та методи досліджень, сформульовано одержані наукові результати, що виносяться на захист, та їх практичне значення, надано інформацію про апробацію, впровадження та публікації.

Перший розділ роботи присвячений огляду інформації з досліджень процесів управління в організаційно-технічних системах та їх моделювання. Основна увага приділяється проектуванню структур багатокомпонентних організаційно-технічних систем (ОТС), моделюванню організаційного, виробничо-технологічного та інформаційного управління при вирішенні задач їх розвитку. Основною метою моделюючих систем є підвищення ефективності управління та обґрунтованості прийнятих рішень на основі аналізу варіантів внесених змін у правила функціонування ОТС.

З огляду на це, розглядається науково-прикладна проблема моделювання процесів вдосконалення функціонування та розвитку СОУ на прикладі об'єднаної електроенергетичної системи. Визначається, що до основних проблем реалізації її

моделі разом з концептуальним проектуванням структури СОУ необхідно включити й проблему формування правил взаємодії учасників ринку. Проведений аналіз дозволив автору визначити, що актуальною залишається проблема розробки та використання засобів моделювання, що забезпечують можливість підвищення продуктивності прийняття рішень з вдосконалення функціонування складних СОУ.

У *другому розділі* розглядаються засоби теоретико-ігрового опису СОУ енергоринком, призначені для відображення взаємодії його суб'єктів та об'єктів. Зроблені визначення гравців та коаліцій, їх інтересів та стратегій, виділені коаліції споживачів та постачальників електроенергії (ЕЕ), рівні виробництва, споживання та управління енергоринком.

На основі аналізу різних підходів до моделювання ринків, запропонований та обґрунтований новий теоретико-ігровий підхід до побудови багаторівневої дескриптивної моделі енергоринку засобами коаліційних та кооперативних ігор. Враховуються властиві енергоринку складніші, ніж притаманні традиційним моделям, взаємозв'язки між рівнями управління, виробників та постачальників ЕЕ. В результаті запропонована та побудована багаторівнева коаліційна гра. На першому етапі її визначення будується теоретико-ігрова модель, що описує однотипних учасників ринку, що належать одному рівню ієрархії енергоринку. На цій основі будується узагальнена дворівнева модель, яка враховує етапи формування та узгодження інтересів та стратегій гравців та коаліцій різних рівнів.

В *третьому розділі* роботи розглядається побудова моделей сегментів ринку, розробка процедур формування та аналізу рішень коаліційних ігор, що розігруються на різних рівнях. Реалізація стратегій гравців і коаліцій неминуче призводить до зіткнення їхніх інтересів. При цьому визначальною є поведінка груп виробників і постачальників ЕЕ як найбільш сильних гравців і коаліцій. Для узгодження таких інтересів вводиться сукупність припущень. Зокрема, вважається, що стратегії та інтереси роздрібних постачальників на ринку представляють оптові постачальники, а споживачів – Національна комісія з питань регулювання енергетики та комунальних послуг шляхом установлення тарифів на електроенергію.

Це дозволяє побудувати трирівневу теоретико-ігрову модель динаміки ринку, в межах якої інтереси та стратегії його учасників узгоджуються в термінах рішення коаліційної гри. Далі розробляється процедура формування оптимального рішення гри - моделі енергоринку, що переводиться з коаліційної в кооперативну гру, яка має більш прості, а, головне, конструктивні методи вирішення.

Оптимальність рішення, як зазначається автором, може визначатися як емпірично, так і в процесі аналізу теоретико-ігрової моделі. Виходячи з понять оптимальності та балансу ситуацій, побудована багатоетапна процедура формування та вирішення кооперативної гри – моделі ринку. Останнім її етапом є оцінка підсумкових вигащів гравців і коаліцій з урахуванням порівняння очікуваних або узгоджених з гравцем верхнього рівня та одержаних значень відповідних (логічних) функцій вигащу.

У *четвертому розділі* розглядається побудова моделей процесів функціонування СОУ оптового ринку електроенергії (ОРЕ). На сегменті оптового ринку на добу наперед реалізуються заплановані поставки ЕЕ та системні послуги практично всіх сегментів ринку. Це вимагає для формування диспетчерського

графіку активного навантаження попередньо вирішити задачу економічної диспетчеризації ЕЕ. Як критерій оптимізації обраний критерій мінімуму витрат на виробництво та передачу ЕЕ. Метою оптимізації є мінімальна оптова ціна купівлі ЕЕ за даними цінових заявок нерегульованих виробників-суб'єктів ринку з урахуванням того, що будуть виконуватися домовленості на інших сегментах ринку.

При постановці задачі були, зокрема, прийняті такі припущення: електрична схема мережі залишається актуальною на майбутню добу; втрати в магістральних високовольтних лініях дорівнюють втратам у попередню добу, що відноситься й до системних витрат на виробництво ЕЕ. Вихідними даними є: встановлені потужності та діапазони маневреності блоків електростанцій; прогнози погодинні дані активного навантаження та мінімальної й максимальної заявленої потужності блоку; заявлені припрошені ціни за відпущену ЕЕ тощо. При побудові моделі виробники ЕЕ розділені на дві основні групи – ті, що працюють за регульованим тарифом - АЕС, ТЕЦ, ГЕС, ГАЕС, ВЕС, СЕС, та ті, що працюють за ціновими заявками - ТЕС. Тобто, частина виробників ЕЕ може розглядатися як об'єкти, що можуть бути оптимізовані, а частина - як об'єкти із заданою генерацією.

У результаті врахування всіх факторів витрат, що впливають на оптимальність, було одержано вираз цільової функції у вигляді функціоналу, для лінеаризації якого були прийняті додаткові припущення, що спрощують цю функцію. Розроблено схему алгоритму вирішення задачі оптимізації.

Далі аналізується законодавчий порядок утворення нових сегментів ринку - «на добу наперед», «внутрішньодобового», «балансуючого», «допоміжних послуг», для управління якими створюються нові адміністративні елементи. Нові сегменти ринку, маючи свого оператора, фактично в його особі мають єдиного покупця та продавця послуг. Для вдосконалення функціонування СОУ енергоринку та його суб'єктів створена математична модель, що дозволяє вирішувати завдання розрахунку інформативних компонентів управління, аналізу та оцінки ступеня впливу змін механізмів функціонування, що вносяться до правил ринку.

Таким чином, розроблено засоби планування компонентів стану управління, контролю матеріального балансу ресурсів, обсягів виробництва та фінансового балансу від реалізації продукції між суб'єктами, у тому числі:

- модель для планування оптимального торговельного диспетчерського графіка електричного навантаження для сегмента ринку на добу наперед для визначення оптової ціни купівлі ЕЕ, що відрізняється від відомих моделей використанням мінімуму витрат на виробництво ЕЕ як критерію оптимальності;

- модель ОРЕ, що зв'язує балансовими співвідношеннями фізичні процеси виробництва, передачі та споживання ЕЕ та фінансові процеси формування цінових показників та обчислення платежів суб'єктів ринку.

У розділі 5 розглядається побудова математичних моделей процесів прийняття рішень верхнім рівнем СОУ з вдосконалення регуляторних механізмів функціонування ринку ЕЕ з урахуванням зміни цін на основні енергоносії.

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

Для одержання рівнянь динаміки прибутку компаній ТЕС і ТЕЦ застосовується підхід, що був використаний у рівняннях популяційної динаміки. Побудовані відповідні системи диференціальних рівнянь, знайдені їх рішення.

Також розроблена модель динаміки оптової ціни купівлі ЕЕ на ОРЕ, що забезпечує, на відміну від відомих, можливість аналізу впливу структури виробництва ЕЕ та змін цін на основні енергоносії на її формування для вдосконалення методики розрахунку прогнозної оптової ціни купівлі ЕЕ.

Виконано збір та обробку даних за період 2011-2013 рр. про зміну цін на ЕЕ та основні енергоносії - енергетичне вугілля, природний газ, топковий мазут. Проведено аналіз динаміки цін на ЕЕ та енергоносії, балансів відпуску виробниками ЕЕ та споживання енергоносіїв, аналіз взаємозв'язку динаміки цін на ЕЕ та енергоносії. Побудовані системи рівнянь, які власно й утворюють модель регулювання прогнозної оптової ціни купівлі ЕЕ на енергоринку.

У **розділі 6** на основі методів об'єктно-орієнтованого моделювання розглядається розробка інформаційно-технологічного забезпечення підготовки первинної інформації та використання комп'ютерних моделей процесів вдосконалення механізмів функціонування СОУ, що включає засоби:

- опису суб'єктів СОУ та процесів прийняття рішень, включаючи класифікатори даних, структуру їх зберігання та перевірки достовірності, достатності, засоби аналізу та інтерпретації результатів моделювання;

- розробки організаційної, інформаційної та функціональної складових комп'ютерних моделей з урахуванням взаємовідносин між суб'єктами СОУ.

В результаті всі вхідні та вихідні дані представляються у вигляді інформаційних блоків і підрозділяються на блоки даних про: об'єкти; параметри об'єктів; алгоритми розрахунків; результати розрахунків; форми звітних документів. Розглядається базовий програмний комплекс підтримки комп'ютерної моделі, побудований на принципах декомпозиції та структурований по підсистемах, які відображають стадії функціонування інформаційної моделі предметної галузі.

В цілому створене інформаційно-методичне середовище проектування комп'ютерних моделей моніторингу енергоефективності ОТС.

У **розділі 7** розглядається побудова комп'ютерних моделей, призначених для аналізу процесів вдосконалення функціонування СОУ ОРЕ, а також для вирішення задач оцінки впливу впровадження нових або вдосконалення існуючих механізмів функціонування ОРЕ, що виконується на основі розроблених моделей. Також наводяться приклади вирішення прикладних та тестових задач.

Показано, що модель адекватно відтворює розрахунково-технологічні процеси формування цінкових показників та обчислення платежів суб'єктів ринку, на її основі було розроблено та впроваджено на ДП «Енергоринок» систему розрахунків суб'єктів ринку ЕЕ.

Побудована нейромережева модель для вирішення задачі прогнозування постачання ЕЕ. Алгоритм її вирішення включає: формування вихідних даних для навчання та тестування штучної нейронної мережі; використання існуючої в базі знань або формування її індивідуальної топології; оцінку результатів. Для оцінки якості прогнозування використовується показник MAPE (Mean Absolute Percentage Error). На основі помісячних даних з динаміки цін на вугілля, природний газ і на ЕЕ

за 2011-13 рр. проведені відповідні експериментальні розрахунки. При цьому дані за 2011 р. використовувалися для навчання мережі, а дані за 2012, 2013 рр. - для перевірки якості прогнозу. Наводяться результати розрахунків та їх аналіз.

Також проведено дослідження аналізу впливу зміни ціни на енергоносії на прогноз оптової ціни купівлі ЕЕ, зокрема, вказується, що він оцінюється не більше, ніж у 5-10%%. Тобто, прогноз тренда динаміки оптової ціни ЕЕ можна виконувати без урахування прямого впливу цін на енергоносії на величину оптової ціни. Цікавим висновком цього є те, що на оптову ціну купівлі ЕЕ більшою мірою впливає рішення регулятора ОРЕ зі встановлення балансу в структурі генерації ЕЕ.

У **висновках** викладені основні теоретичні та практичні результати роботи, з якими погоджуюсь.

Висновок про повноту опублікування основних положень дисертації, аналіз автореферату.

Основні наукові теоретичні та прикладні результати дисертаційної роботи доповідалися на 10 науково-технічних конференціях, у тому числі міжнародних. За темою роботи опубліковано 45 наукових робіт, зокрема, 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. Публікації достатньо повно висвітлюють наукові положення дисертації.

Автореферат правильно та повністю відображає зміст роботи, основні наукові положення та висновки дисертаційної роботи ідентичні наведеним у авторефераті.

Нові наукові результати та цінність дисертаційної роботи.

Серед одержаних наукових результатів слід виділити такі.

1. Розробка теоретико-ігрового підходу до побудови дескриптивних моделей процесів прийняття рішень з вдосконалення функціонування багаторівневих СОУ з урахуванням особливостей їх взаємодії. Зокрема, автором розроблені:

- багаторівневі дескриптивні теоретико-ігрові моделі процесів функціонування СОУ енергоринком, в межах яких визначені множини гравців та коаліцій системи, розглянуті інтереси та стратегії основних гравців та коаліцій, процеси коаліційної взаємодії суб'єктів багаторівневої структури СОУ;

- на основі створених моделей побудована загальна теоретико-ігрова модель СОУ енергоринком, запропонована багаторівнева кооперативна гра, в межах якої визначені функції виграшу гравців і коаліцій, за допомогою яких оцінюються результати гри, тобто ситуація, що склалася на енергоринку;

- розроблено процедури аналізу моделей та формування оптимального рішення гри та визначення на цій основі обмежень функціонування СОУ для збереження стійкого стану управління.

2. Побудова комплексу взаємопов'язаних моделей процесів вдосконалення функціонування та розвитку СОУ оптовим ринком електроенергії на добу наперед, в тому числі:

- модель планування оптимального торговельного диспетчерського графіка електричного навантаження та розрахунку оптової ціни купівлі електроенергії в сегменті ОРЕ за критерієм мінімуму витрат на виробництво ЕЕ;

- модель аналізу впливу нових або вдосконалення існуючих способів функціонування ОРЕ на обчислення та розподіл платежів на основі балансових співвідношень процесів виробництва, передачі та споживання ЕЕ та формування ціни через адекватне відтворення розрахунково-технологічних процесів відповідно до діючих правил ринку;

- модель динаміки компонентів стану управління енергоринком з урахуванням впливу динаміки структури виробництва ЕЕ та змін ціни, призначеної для розробки регуляторного механізму формування прогнозованої оптової ціни ЕЕ.

3. Розробка уніфікованих засобів концептуального моделювання процесів підготовки та використання моделюючих систем та їх побудова для процесів функціонування СОУ, включаючи структурну та алгоритмічну організацію моделей.

4. Побудова з використанням нейромережових засобів моделі короткострокового прогнозування компонентів стану управління функціонуванням ОРЕ та проведення експериментальних розрахунків в межах побудованих моделей.

Перелічені основні результати одержані вперше, що підтверджує наукову новизну та цінність роботи.

Практичне значення дисертації полягає в тім, що на основі запропонованих моделей процесів організаційного управління ОРЕ розроблена та впроваджена в промислову експлуатацію автоматизована система розрахунку платежів суб'єктів ОРЕ України на Державному підприємстві «Енергоринок». Крім цього, розроблене об'єктно-орієнтоване інформаційно-технологічне забезпечення було використано для інформаційно-методичного середовища проектування автоматизованої системи організаційного управління регіональної системи теплопостачання. Документи, що підтверджують практичне використання роботи, представлені в додатках.

Оцінка обґрунтованості та достовірності результатів дисертації.

Обґрунтованість одержаних результатів та висновків базується на деталізованому описі та аналізі об'єктів та процесів предметної галузі, що досліджується в дисертаційній роботі, - структурі та діяльності багаторівневих систем організаційного управління, що відображають функціонування та розвиток національного енергоринку, а також на створенні та аналізі нових змістовно прозорих моделей та методів аналізу, які повніше відображають об'єкт дослідження, ніж більшість з існуючих на сьогодні моделей.

Достовірність одержаних результатів підтверджується математичною коректністю поставлених задач, перевіркою на тестових та реальних експериментальних прикладах одержаних оцінок та прогнозів, використанням у режимі промислової експлуатації впроваджених інформаційно-технологічних та методичних засобів.

Зауваження до роботи.

1. В першому розділі роботи є певне перебільшення обґрунтування необхідності створення засобів моделювання ОТС енергоринку, в тому числі, обраних засобів досліджень. Тема роботи та проведене науково-прикладне дослідження дійсно актуальні та не вимагають надмірного аналізу обґрунтованості.

4. Також слід зазначити, що робота іноді важкувато читається, але це відноситься до стилю автора, який має право на існування, підкреслюючи складність взаємопов'язаних задач, які він вирішує.

За актуальністю, ступенем обґрунтованості, повнотою та глибиною досліджень, їх новизною, теоретичним та практичним значенням дисертація Борукаєва Зелімхана Харитоновича на тему «Математичні та комп'ютерні моделі процесів вдосконалення механізмів функціонування і розвитку систем організаційного управління» повністю відповідає вимогам до дисертацій та авторефератів дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук, зокрема, пп. 9, 10 та 12 – 14 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вчених звань старшого наукового співробітника», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 р. (зі змінами) та паспорту спеціальності 01.05.02 – «Математичне моделювання та обчислювальні методи», а Борукаєв Зелімхан Харитонович заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – «Математичне моделювання та обчислювальні методи».

Полумієнко С.К.

Клименко В.І.

