

УДК 004

Ю.Дьяченко, магістр гр. КН-22М-2

Центральноукраїнський національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ІНДИКАТИВНОГО АНАЛІЗУ

У статті розроблено програмне забезпечення, яке призначено для системи підтримки індикативного аналізу. Метою розробки є дослідження та програмна реалізація системи підтримки індикативного аналізу. Об'єктом дослідження є процес підтримки індикативного аналізу. Предметом дослідження є методи підтримки індикативного аналізу. Методи дослідження базуються на методах Big Data, методах математичної статистики, методах розробки програмного забезпечення. Результат роботи – програмна реалізація системи підтримки індикативного аналізу. В процесі роботи над програмною моделлю виконано аналіз існуючих апаратних та програмних засобів. В повній мірі описані всі компоненти розробленого програмного забезпечення.

Постановка проблеми. Актуальність роботи визначається актуальністю досліджень проблеми забезпечення енергетичної безпеки (ЕБ) України й актуальністю розробки інструментарію для проведення цих досліджень.

Енергетична безпека України характеризується як стан захищеності її громадян, суспільства, держави, економіки від обумовлених внутрішніми й зовнішніми факторами погроз дефіциту в забезпеченні їхніх обґрунтованих потреб в енергії енергетично доступними паливно-енергетичними ресурсами (ПЕР) прийнятної якості в нормальних умовах і при надзвичайних обставинах, а також від порушень стабільності, безперебійності паливо- і енергопостачання. У нормальних умовах зазначений стан захищеності відповідає забезпеченню в повному обсязі обґрунтованих потреб, у надзвичайних ситуаціях – гарантованому забезпеченню мінімально необхідного обсягу потреб.

Важливим напрямком рішення завдання забезпечення ЕБ України і її регіонів є облік вимог ЕБ при дослідженні перспектив розвитку енергетики країни. Аналогічні завдання одержали найбільше поширення в роботах інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова (ІПМЕ НАНУ). У цей час у даному інституті проводяться дослідження, що стосуються вибору раціональних з позицій ЕБ напрямків розвитку енергетики країни і її регіонів і формування на їхній основі пропозицій по забезпеченню ЕБ. Робиться це на основі використання індикативного аналізу перспективних станів найважливіших індикаторів ЕБ при порівнянні їхніх очікуваних значень із відповідними граничними значеннями.

Основним засобом зазначених досліджень є створений в ІПМЕ НАНУ на основі методів комбінаторного моделювання інструментарій для формування з урахуванням вимог ЕБ напрямків розвитку паливно-енергетичного комплексу (ПЕК). Множину напрямків розвитку паливно-енергетичного комплексу в цьому випадку представлено у вигляді графа, кожний вузол якого відповідає можливому стану ПЕК зі своїми особливостями паливо- і енергопостачання, а дуга – траєкторії переходу ПЕК з одного часового рівня на інший зі своєю вартістю. У даному інструментарії не були реалізовані компоненти для відображення графів розвитку ПЕК і їхнього аналізу з позицій ЕБ. Особливість використання в поставлених завданнях методів комбінаторного моделювання складається у формуванні значної кількості перспективних станів енергетики країни і її регіонів. Відображення цих станів на екрані, а також відображення самих траєкторій неможливо через їхню величезну кількість. По цій же причині неможливий і їхній експертний аналіз із позицій ЕБ. Наявність подібних проблем обумовило необхідність рішення проблеми відображення графів розвитку

ПЕК і подальший аналіз їхніх станів і траєкторій з позицій ЕБ, включаючи проведення індикативного аналізу кожного можливого стану ПЕК з обліком часового й територіального аспектів. Пропонований шлях рішення такої проблеми тут – розробка системи підтримки індикативного аналізу ЕБ країни.

При постановці досліджень і створенні інструментарію було прийнято, що процес підготовки результуючого графа розвитку ПЕК, його відображення й подальший експертний аналіз можливих станів ПЕК і траєкторій його розвитку з позицій ЕБ повинні бути виконані в спеціалізованому інтегрованому середовищі. При цьому оцінки станів по найважливіших індикаторах ЕБ повинні формуватися за допомогою підсистеми розрахунку індикаторів ЕБ. Наочний, доступний для експертів індикативний аналіз перспективних станів ПЕК повинен бути реалізований у рамках підсистеми індикативного аналізу можливих станів ПЕК – спеціалізованого «аналітичного» інструмента, у якому за допомогою елементів когнітивної графіки проводився б детальний аналіз можливих станів як у територіальному, так і в часовому розрізах. У такому інструменті повинні бути враховані основні положення методики проведення індикативного аналізу ЕБ (нормування значень індикаторів ЕБ, порівняння величин значень індикаторів ЕБ з їхніми граничними значеннями, одержання якісної оцінки ситуації з ЕБ у різних аспектах функціонування й розвитку енергетики територій).

Аналіз нині існуючого інструментарію показує, що дотепер таких програмних продуктів для проведення досліджень розвитку енергетики України з позицій ЕБ запропоновано не було. Існують спеціалізовані системи для роботи із графами довільної семантики, є інструментарій для індикативного аналізу інших предметних областей, у якому використовуються різні принципи проведення аналізу об'єктів дослідження. Однак здебільшого подібний інструментарій має вузьку функціональну або предметну спрямованість, що вимагає його адаптації у випадку його використання для рішення завдання проведення аналізу можливих станів ПЕК і траєкторій його розвитку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При аналізі останніх досліджень і публікацій [1-20] було виявлено певні прогалини у забезпеченні системи підтримки індикативного аналізу.

Мета й завдання дослідження. Метою роботи є дослідження та програмна реалізація системи підтримки індикативного аналізу.

Для досягнення поставленої мети визначена програма дослідження, що складається з наступних завдань:

- Огляд існуючих систем підтримки індикативного аналізу.
- Дослідження системи підтримки індикативного аналізу.
- Програмна реалізація системи підтримки індикативного аналізу.

Об'єктом дослідження є процес підтримки індикативного аналізу.

Предметом дослідження є методи підтримки індикативного аналізу.

Методи дослідження базуються на методах Big Data, методах математичної статистики, методах розробки програмного забезпечення.

Виклад основного матеріалу. Розкриємо основні завдання й мети дослідження проблеми забезпечення ЕБ України і її регіонів і виділимо основні напрямки дослідження проблеми ЕБ, до яких відносяться наступні:

- оцінка поточного стану й перспектив розвитку ПЕК з позицій ЕБ (моніторинг, оцінка погроз, виявлення й прогноз вузьких місць і т.д.);
- обґрунтування мер організаційного, структурно-технологічного й фінансово-енергетичного характеру по забезпеченню ЕБ;
- розробка методів і засобів обґрунтування заходів щодо забезпечення ЕБ (математичні моделі, інформаційна технологія).

Розглянемо питання обліку вимог ЕБ при дослідженні розвитку енергетики країни і її регіонів. Запропонована в ПІМЕ НАНУ дворівнева технологія досліджень при рішенні проблеми забезпечення ЕБ, що дозволяє досліджувати відповідні особливості роботи систем

енергетики в ПЕК і на системному рівні. При цьому верхній рівень зазначеної технології представляють моделі для проведення досліджень по оцінці стану ПЕК при можливих збурюваннях і їхнього впливу на умови паливо- і енергопостачання споживачів з позицій забезпечення ЕБ. Нижній рівень ієрархії представляють галузеві моделі, що дозволяють оцінити потенційні можливості обласних систем нафтопостачання (СНП) і газопостачання (СГП) по задоволенню споживачів відповідними енергоресурсами як у нормальних умовах функціонування, так і в умовах надзвичайних ситуацій.

Опишемо балансову економіко-математичну модель ПЕК України, призначену для дослідження розвитку енергетики України і її регіонів з позицій ЕБ. У математичному змісті дана модель являє собою класичне завдання лінійного програмування, у змістовному (енергоекономічному) – модель, що базується на традиційній територіально-виробничій моделі ПЕК, із блоками електроенергетики, тепло-, газо- і углепостачання, а також мазутопостачання.

Надамо аналіз розробок, що поклали початок сучасної інформаційної технології дослідження ПЕК, і використовуваного на сьогоднішній день інструментарію для дослідження розвитку ПЕК з позицій ЕБ. При цьому в дослідженнях для одержання найбільш достовірного рішення бажано формувати якнайбільше можливих перспективних станів ПЕК, за умови реалізації погроз ЕБ. Традиційна схема проведення досліджень, заснована на детальному аналізі обмеженого числа експертно обраних варіантів розвитку ПЕК не зовсім ефективний у силу неповноти набору можливих варіантів, тривалості й трудомісткості процесу підготовки й розрахунку кожного сценарію, що розраховується. Звідси необхідність у використанні методів комбінаторного моделювання при дослідженні розвитку енергетики з позицій ЕБ.

Розглянемо методологію дослідження варіантів розвитку ПЕК з позицій ЕБ, формуванню принципів створення системи підтримки індикативного аналізу ЕБ України.

Кожен сформований за допомогою методів комбінаторного моделювання стан характеризує окремий варіант розвитку енергетики в конкретний момент часу, формується шляхом різних сполучень станів галузей енергетики по регіонах у цей момент часу.

Виділення раціональних з позицій ЕБ варіантів розвитку ПЕК здійснюється за допомогою проведення індикативного аналізу ЕБ, заснованого на порівнянні значень індикаторів ЕБ з їх граничними або гранично припустимими значеннями, і підготовку на цій основі відповідних висновків і рекомендацій. Якісно в процедурі індикативного аналізу виділяються нормальна, передкризова й кризова ситуації в забезпеченні ЕБ територій.

Для проведення індикативного аналізу в теперішній час використовуються найважливіші індикатори ЕБ, що задовольняють двом вимогам: у сукупності вони повинні покривати весь обсяг інформаційних потреб завдань забезпечення ЕБ; кожен індикатор, їхня сукупність повинні забезпечити максимально можливу вірогідність інформації. Експертно було виділено 10 найважливіших індикаторів ЕБ, розподілених по блоках самозабезпеченості, живучості системи паливо- і енергопостачання, стану основних виробничих фондів. Список даних індикаторів запропонований у таблиці 1.

Далі розкриємо основну проблему при проведенні досліджень за допомогою методів комбінаторного моделювання, покажемо можливі шляхи її рішення. Як відзначалося раніше, відобразити граф розвитку ПЕК дуже великих розмірів практично неможливо, а притягнутим до дослідження експертам фізично неможливо проаналізувати всі можливі стани ПЕК, зрівняти їх між собою. Наприклад, для трьох енергетичних галузей, чотирьох географічних зон і всього лише двох сценаріїв розвитку виділених галузей усього лише для одного року експертів необхідно проаналізувати 512 можливих станів. Положення ускладнюється ще й можливою близькістю розрахункових станів ПЕК по характеристиках функціонування енергетики в регіонах, що приводить до наявності в графі практично ідентичних станів, які можуть дати майже що не відрізняються друг від друга перспективні напрямки розвитку енергетики. І навіть в випадку відбору логічно можливих станів і переходів (відсікання переходів від кращого стану до гіршого) досліджувати подібний граф можливо лише в

рамках спеціалізованої системи підтримки індикативного аналізу ЕБ, і то за умови скорочення в ньому числа станів. Для того, щоб скоротити число досліджуваних перспективних станів і створити базу для проведення їхнього аналізу з позицій ЕБ, у роботі сформульовані принципи обліку вимог ЕБ при аналізі графів розвитку ПЕК, створених за допомогою методів комбінаторного моделювання. Вибір найбільш представницьких станів ПЕК у графі – додатковий крок, що дозволяє експертам згодом виробити найбільш ефективні заходи щодо забезпечення ЕБ досліджуваних територій.

Таблиця 1 – Найважливіші індикатори енергетичної безпеки

Група індикаторів	Індикатори енергетичної безпеки
Блок самозабезпеченості	1. Відношення величини сумарної розташовуваної потужності електростанцій регіону до максимального електричного навантаження споживачів на його території.
	2. Відношення величини суми розташовуваної потужності електростанцій і пропускної здатності міжсистемних зв'язків регіону із сусідніми до максимального електричного навантаження споживачів на його території.
	3. Частка власних первинних ПЕР у споживанні котельно-грубого палива (КГП) на території.
Блок живучості системи паливо- і енергопостачання	1. Частка домінуючого ресурсу в загальному споживанні КГП на території регіону.
	2. Частка найбільш великої електростанції у встановленій електричній потужності регіону.
	3. Рівень потенційної забезпеченості попиту на теплову енергію в умовах різкого похолодання (10% споживання) на території регіону
Блок стану активної частини ОВФ	1. Ступінь зношування основних виробничих фондів (ОВФ) електроенергетики регіону.
	2. Ступінь зношування ОВФ підприємств паливної промисловості території.
	3. Ступінь зношування ОВФ у теплоенергетиці регіону
	4. Відношення уведення встановленої потужності й технічного переозброєння електростанцій території за попередній 5-літній період до встановленої потужності на території.

Вимоги до основних програмних компонентів розробленої системи наступні.

– Підсистема розрахунку індикаторів ЕБ повинна бути призначена для одержання кількісної і якісної оцінок окремих індикаторів ЕБ для кожного можливого стану ПЕК, щоб скористатися ними на етапах формування розрідженого графа розвитку ПЕК і його подальшого аналізу з позицій ЕБ.

– Середовище для відображення графів розвитку ПЕК і їхнього аналізу з позицій ЕБ повинна бути призначена для проведення дослідження розрідженого графа. При формуванні результуючого графа повинна виконуватися двоступінчаста процедура відсічення неприйнятних станів, на першому етапі якої відтинаються неприпустимі по найважливіших індикаторах ЕБ стани ПЕК, на другому – вибираються найбільш представницькі стани за допомогою методів кластерного аналізу.

У розглянутому середовищі велика роль повинна приділятися візуальному поданню результатів проведеного аналізу, у тому числі на вузлах і дугах графа. Для оцінки конкретних аспектів розвитку енергетики з позицій ЕБ необхідний вибір раціональних траєкторій розвитку ПЕК за станом окремих індикаторів ЕБ. Проведення комплексного аналізу траєкторій розвитку ПЕК можливо у випадку вибору субраціональних за найважливішими індикаторами ЕБ траєкторій розвитку, у множині яких експерт зможе

вибрати найбільш перспективну на його погляд траєкторію, можливо не що цілком відповідає вимогам ЕБ.

Питання пошуку траєкторії, найбільш близької до раціонального з позицій ЕБ, у розроблювальному середовищі може бути вирішений за допомогою одного з методів багатокритеріальної оптимізації. Такий підхід може підвищити об'єктивність одержуваних комплексних оцінок, не вимагаючи активної участі притягнутих експертів.

У роботі сформульовані наступні основні вимоги до середовища для відображення графів розвитку ПЕК, і їх аналізу з позицій ЕБ:

1. Реалізація користувальницького інтерфейсу для вивчення графа великої розмірності.
2. Залучення графічних рішень для аналізу станів ПЕК за критеріями функціонування й розвитку енергетики України.
3. Можливість проведення індикативного аналізу станів ПЕК на рівні областей України.
4. Можливість пошуку раціональної й субраціональних траєкторій розвитку ПЕК по індикаторах ЕБ.
5. Забезпечення взаємодії із зовнішніми додатками й базами даних.

Розробка подібного інструментарію може бути проведена на базі спеціалізованого програмного забезпечення для роботи із графами. Такий підхід дозволяє на базі універсальних бібліотек для роботи із графами, створити більш спеціалізовані програми для роботи із графами, спрямовані на рішення конкретних прикладних завдань. Відповідно до цього була запропонована й реалізована наступна технологія створення середовища для відображення графів розвитку ПЕК і їхнього аналізу з позицій ЕБ:

1. Вибір спеціалізованого програмного забезпечення для роботи із графами згідно пред'явленим до середовища вимогам.
2. Вивчення вимог бібліотеки графів до подання графів.
3. Реалізація алгоритмів пошуку раціональної й субраціональних траєкторій розвитку ПЕК по індикаторах ЕБ.
4. Реалізація взаємодії з підсистемою розрахунку індикаторів ЕБ.
5. Інтеграція інструментарію для відображення результатів індикативного аналізу можливих станів ПЕК у спеціалізоване програмне забезпечення.

На підставі сказаного модель середовища для дослідження графів розвитку ПЕК повинна включати:

- блок відображення графів розвитку ПЕК, що підтримує засобт графічного уведення й виводу;
- блок аналізу станів графа, у рамках якого проводиться ідентифікація станів ПЕК по оцінках індикаторів ЕБ;
- блок аналізу траєкторій розвитку ПЕК, що підтримує вибір раціональної й субраціональних траєкторій розвитку ПЕК по оцінках індикаторів ЕБ.

Якісно ситуація з рівнем ЕБ України і її регіонів може бути наочно відображена безпосередньо в графі розвитку ПЕК шляхом колірної диференціації вузлів і дуг графа розвитку ПЕК. Для цього детальний аналіз станів ПЕК з обліком територіального й часового аспектів повинен проводитися в рамках підсистеми індикативного аналізу можливих станів ПЕК. При цьому повинні бути враховані вимоги методики проведення індикативного аналізу, а залучення засобів когнітивної графіки може дозволити аналізувати структуру й зміст даних через колірні рішення, форму, розміри, текстуру, позицію, орієнтацію графічних елементів зображення (наприклад, стовпці, сектори й точки діаграм, колірна ідентифікація полігонів електронних карт або вершин спрямованих графів).

У цілому підсистема індикативного аналізу можливих станів ПЕК повинна відповідати наступним вимогам:

1. Підтримка вимог методики проведення індикативного аналізу ЕБ (одержання нормованих оцінок, одержання на їхній основі якісної оцінки стану по регіонах для окремих індикаторів ЕБ і їхніх груп).

2. Графічне відображення результатів індикативного аналізу станів ПЕК.

3. Можливість створення різних наборів індикаторів.

Аналіз спеціалізованого програмного забезпечення для індикативного аналізу інших предметних областей показав, що вузька предметна спрямованість програмних продуктів найчастіше сприяє введенню обмежень на вихідні набори аналізованих показників, а також особливостям методики проведеного аналізу. Однак адаптувати подібне програмне забезпечення для рішення завдання індикативного аналізу ЕБ за умови гнучкості й відкритості вихідних наборів даних і критеріїв їхнього аналізу, схожості принципів проведення аналізу, наочному графічному поданні результатів аналізу має зміст. Це дозволить створити відносно універсальний інструментарій для аналізу розвитку енергетики України і її регіонів, у тому числі за допомогою індикаторів ЕБ, природно з обліком сформульованих раніше вимог. Тому, у рамках роботи була запропонована й реалізована наступна методика адаптації спеціалізованого програмного забезпечення для рішення завдання відображення результатів індикативного аналізу ЕБ:

1. Дослідження формату вихідних даних для проведення індикативного аналізу.

2. Дослідження алгоритмів нормування вихідних даних, їхні згортки з урахуванням пріоритетності.

3. Облік можливості розбивки даних по територіальній і часовій ознаках.

4. Дослідження підходу до виділення якісного стану об'єкта дослідження.

5. Вивчення й вибір найбільш представницьких форм відображення результатів аналізу.

6. Перетворення фактичних значень індикаторів ЕБ для одержання оцінки рівня ЕБ по прийнятим у програмному забезпеченні правилам виділення якісного стану об'єкта дослідження.

7. Реалізація інтеграції досліджуваного програмного забезпечення.

Розробка структурної схеми

Розглянемо структурну схему системи підтримки індикативного аналізу ЕБ України.

У комплексі формуються графи розвитку галузей ПЕК із заданими характеристиками функціонування галузей. Далі за допомогою блоку комбінаторного моделювання формується граф розвитку ПЕК, кожний стан якого наступним кроком розраховується на балансовій економіко-математичній моделі ПЕК. Із графа виключаються стани, неприпустимі по фінансових і ресурсних обмеженнях. Наступним етапом проводиться кластерний аналіз станів, реалізований у блоці кластерного аналізу.

Вибір представницьких станів ПЕК з повного графа розвитку ПЕК відбувається у два етапи. На кожному з етапів для кожного моменту часу вибираються стани, які розташовані найбільше близько до центра кластера. У результаті для кожного моменту часу відбирається кілька десятків станів, з яких формується розріджений граф розвитку ПЕК.

Питання проведення подальшого аналізу отриманого графа розвитку ПЕК були вирішені в рамках розробленої на базі спеціалізованого програмного забезпечення системи підтримки індикативного аналізу ЕБ України.

Узагальнена структурна схема системи, включаючи основні компоненти розробленої автором системи підтримки індикативного аналізу ЕБ (виділені сірим кольором), представлена на рис. 1.

Підтримка аналізу графів розвитку ПЕК була виконана в рамках мережного інтегрованого середовища для відображення графів розвитку ПЕК і їхнього аналізу з позицій ЕБ. Відправною точкою в розробці середовища послужили існуючі набірочки в області візуалізації й обробки графів. Аналіз існуючого програмного забезпечення показав, що незважаючи на досить широкий спектр програм, здебільшого вони спеціалізовані, або з позицій предметної області (графи «постачені» певною специфічною семантикою), або з

позицій окремих аспектів роботи із графами. Стосовно до завдання дослідження графів розвитку ПЕК, до числа висунутих до даних програм вимог, були віднесені:

- якісна й ефективна робота з більшими графами довільної семантики;
- вибір вільно розповсюдженого програмного забезпечення;
- можливість подальшої підтримки розроблювачами цих проектів;
- відкритість вихідних кодів.

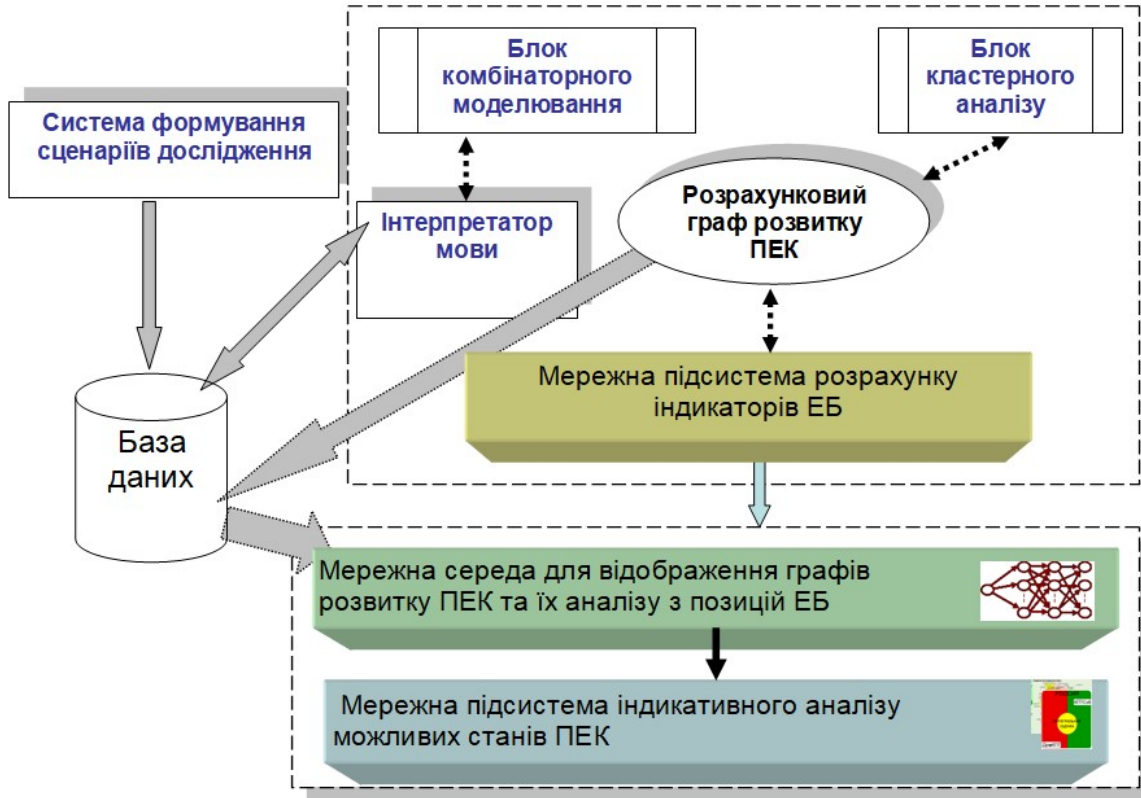


Рисунок 1 – Структурна схема системи

Була реалізована наступна технологія застосування розробленого середовища:

1. Ідентифікація станів ПЕК по оцінках окремих індикаторів ЕБ виконується з наступним фарбуванням вузлів графа. У табличній формі наводяться дані, згруповані за критеріями й вузлами.

2. Пошук траєкторій розвитку ПЕК, раціональних по окремих індикаторах ЕБ, виконаний за допомогою алгоритму Флойда-Уоршала для знаходження найкоротшого шляху між парами вузлів по вагам (або довжинам) дуг. У таблицях приводиться список можливих траєкторій розвитку ПЕК з результуючою вагою траєкторій і переліком характеристик вузлів, що входять у траєкторії.

3. Формування графа субраціональних траєкторій розвитку ПЕК по окремих індикаторах ЕБ виробляється у два етапи також за допомогою алгоритму Флойда-Уоршала. На першому етапі послідовним розглядом всіх станів ПЕК від вихідного моменту часу до кінцевого визначаються величини витрат на досягнення кожного стану. На другому – зворотним переглядом станів (від кінцевих станів ПЕК до вихідного) визначаються величини мінімальних витрат, що відповідають системі, що розвивається, з кожного стану до одному з кінцевих станів. Мінімальні витрати по всім які проходять стан траєкторіям ПЕК, рівні сумі значень мінімальних витрат на досягнення даного стану й мінімальних витрат на подальший розвиток, – величина, за якою визначають субраціональність стану. Діапазони числового інтервалу для влучення стану в категорію субраціонального задається експертами величиною збільшення до найкращого значення критерію.

4. Пошук траєкторії, найбільш близької до раціональної з позицій ЕБ, здійснюється за критерієм мінімального усередненого рівня погіршення якості об'єкта дослідження (енергетики) у порівнянні з іншими негіршими альтернативами (траєкторіями). Використовуваний метод оптимізації припускає рівнозначність аналізованих критеріїв, тому в системі розглядається лише як механізм підказки можливого напрямку розвитку ПЕК, найбільш перспективного з позицій ЕБ.

Висновки. У статті наведені теоретичне узагальнення й рішення наукового завдання дослідження методів підтримки індикативного аналізу. Рішення даного завдання полягало у вирішенні наступних задач: Був проведений огляд існуючих систем підтримки індикативного аналізу; Досліджена система підтримки індикативного аналізу; На основі отриманих результатів досліджень створена програмна реалізація системи підтримки індикативного аналізу; Розроблені під час виконання випускної кваліфікаційної роботи за другим (магістерським) рівнем вищої освіти алгоритми дозволяють успішно вирішувати завдання підтримки індикативного аналізу. Проведено аналіз предметної галузі в ході якого були виявлені об'єкти, взаємодія яких носить істотний характер для функціональної діяльності предметної галузі, і їхні основні характеристики; побудована алгоритм і вибраний середовище розробки.

Список літератури

1. Smirnov, O., Sydorenko, V., Aleksander, M., Zhyharevych, O., Yenchov, S. «Simulation of the cloud IoT-based monitoring system for critical infrastructures». CEUR Workshop Proceedings, Volume 3530, 2023, pp. 256-265.
2. Smirnov, O., Karapetyan, A., Fedorov, E., «Creating Neural Network and Single Solution Human-Based Metaheuristic Methods of Solving the Traveling Salesman Problem». CEUR Workshop Proceedings, Volume 3312, 2022, pp. 47-58.
3. Smirnov, O., Neskorodieva, T., Fedorov, E., Rudakov, K., Neskorodieva, A. «Method Detection Audit Data Anomalies on Basis Restricted Cauchy Machine» CEUR Workshop Proceedings, Volume 3187, 2022, pp. 1-12.
4. Smirnov O., Smirnova T., Anas M. Al-Oraiqat, Drieiev O., Polishchuk L., Sheroz Khan, Yassin M. Y. Hasan, Aladdein M. Amro, Hazim S. AlRawashdeh «Method for Determining Treated Metal Surface Quality Using Computer Vision Technology». Sensors (Basel, Switzerland) Volume 22, Issue 16, 6223, 2022.
5. Smirnov, O., Lakhno, V., Akhmetov, B., Chubaievskiy, V., Khorolska, K., Bebesko, B. «Selection of a Rational Composition of Information Protection Means Using a Genetic Algorithm». In: Rajakumar, G., Du, KL., Vuppapapati, C., Beligiannis, G.N. (eds) Intelligent Communication Technologies and Virtual Mobile Networks. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 131. 2023. Springer, Singapore. pp. 21-34.
6. Kuznetsov, A., Oleshko, I., Chernov, K., Bagmut, M., Smirnova, T. «Biometric authentication using convolutional neural networks». Lecture Notes in Networks and Systems. Volume 152, 2021, Pages 85-98.
7. Smirnov O., Kuznetsov A., Kryvinska N., Kiian A., Kuznetsova K. «Full Non-Binary Constant-Weight Codes». SN Computer Science, Vol 2, 337, 2021. <https://doi.org/10.1007/s42979-021-00739-w>.
8. Smirnov O., Neskorodieva T., Fedorov E., Rymar P. «Neural Network Modeling Method of Transformations Data of Audit Production with Returnable Waste». CEUR Workshop Proceedings Volume 3101, 2021, Pages 192-207.
9. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Potii, O., Poluyanenko, N., Stelnyk, I., Mialkovsky, D. «Combining and filtering functions in the framework of nonlinear-feedback shift register». International Journal of Computing; 2020, Volume 19, Issue 2 – Research Institute for Intelligent Computer Systems – 2020. – P. 247-256.
10. Smirnov O., Kuznetsov A., Kiian A., Kuznetsova T. «Non-binary constant weight coding technique». CEUR Workshop Proceedings. Volume 2740, 2020, Pages 102-114.
11. Smirnov O., Kuznetsov A., Kiian A., Cherep A., Kanabekova M., Chepurko I. «Testing of code-based pseudorandom number generators for post-quantum application». 2020 IEEE 11th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT), Ukraine, Kyiv, May 14-18. 2020. P. 172-177.
12. Smirnov O., Kuznetsov A., Pushkar'ov A., Serhiienko R., Babenko V., Kuznetsova T., «Representation of Cascade Codes in the Frequency Domain». In: Radivilova T., Ageyev D., Kryvinska N. (eds) Data-Centric Business and Applications. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 48. Springer, Cham. 2021. pp 557-587.
13. Smirnov, O., Drieieva, H., Drieiev, O., Polishchuk, Y., Brzhanov, R., Aleksander, M. «Method of fractal traffic generation by a model of generator on the graph». CEUR Workshop Proceedings Volume 2616, 2020, Pages 366-379.
14. Smirnov, O., Drieieva, H., Drieiev, O., Simakhin, V., Bondar, S., Odarchenko, R. «Managing multifractal properties of the binary sequence generated with the Markov chains», CEUR Workshop Proceedings Volume 2608, 2020, Pages 633-645.
15. Smirnov O. Kuznetsov A., Zaichenko Yu., Pastukhov M., Oleshko O., Kuznetsova K., «Formation of Discrete

- Signals with Special Correlation Properties». International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics, UkrMiCo 2019; Odessa; Ukraine; 9-13 September 2019. P.22-28.
16. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kolovanova, I., Kuznetsova, T., «Noise immunity of the algebraic geometric codes». International Journal of Computing; 2019, Volume 18, Issue 4 – Research Institute for Intelligent Computer Systems – 2019. – P. 393-407.
 17. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Reshetniak, O., Ivko, N., Katkova, T., Kuznetsova, T., «Generators of Pseudorandom Sequence with Multilevel Function of Correlation». 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), Kyiv, Ukraine, 8 – 11 October 2019 . P.517-522.
 18. Smirnov, O., Ulichev, O., Meleshko, Y., Khokh, V., Goncharenko, I. «Method of Choosing Objects for Informational Influence in Social Networks during Information Campaign Based on the Analytic Hierarchy Process». CEUR Workshop Proceedings, Vol 2588, P. 215-227, 2019.
 19. Smirnov, O., Krasnobayev, V., Yanko, A., Kuznetsova, T. «Methods of nulling numbers in the system of residual classes». CEUR Workshop Proceedings, Vol 2588, P. 90-106, 2019.
 20. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kovalchuk, D., Averchev, A., Pastukhov, M., Kuznetsova, K., «Formation of Pseudorandom Sequences with Special Correlation Properties», 2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies, AICT -2019/ Lviv, Ukraine, 2-6 July, 2019, P. 395-399.
 21. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kiian, A., Zamula, A., Rudenko, S., Hryhorenko, V., «Variance Analysis of Networks Traffic for Intrusion Detection in Smart Grids», 2019 IEEE 6th International Conference On Energy Smart Systems (2019 IEEE ESS), Kyiv, Ukraine April 17-19, 2019 P. 353-358.
 22. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kavun, S., Babenko, B., Nakisko, O., Kuznetsova, K., «Malware Correlation Monitoring in Computer Networks of Promising Smart Grids», 2019 IEEE 6th International Conference On Energy Smart Systems (2019 IEEE ESS), Kyiv, Ukraine April 17-19, 2019 P. 347-352.