

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТА КЕРУВАННЯ

УДК 621.311: 658.284

А.Г. Кігель

Державний вищий навчальний заклад „Національний гірничий університет“, м. Дніпропетровськ, Україна,
e-mail: anatoliy.kigel@gmail.com.ua

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

А.Н. Kihel

State Higher Educational Institution “National Mining University”,
Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: anatoliy.kigel@gmail.com.ua

FEATURES OF THE USE OF INFORMATION TECHNOLOGIES IN ELECTRICAL NETWORKS

Функціонування енергетичного комплексу характеризується незбалансованістю структури генеруючих та навантажувальних потужностей, застарілістю та недосконалістю обладнання, у тому числі в контурі оперативного керування, що знижує ефективність його роботи. Для досягнення потрібного рівня надійності та економічності роботи за вказаних умов пропонується впровадження сучасних засобів моніторингу, оцінювання стану та оптимізації режимів з використанням інформаційних технологій.

Ключові слова: електроенергетичні мережі, інформаційні і геоінформаційні технології, диспетчерське керування

Мета роботи. Оцінювання стану електроенергетичного комплексу є базовою задачею оперативного диспетчерського керування. З переходом на ринкові відносини змінилися функції вказаного керування. Ці зміни відносяться до прямих обов'язків оперативного персоналу з управління енергетичним обладнанням. Якщо до переходу на ринкові відносини основним завданням диспетчерського керування було забезпечення технічного управління енергетичними об'єктами, а питання економічного обґрунтування керуючих дій не завжди вирішувалося на необхідному рівні, то в ринкових умовах питання економічних чинників набувають необхідного рівня. У цьому сенсі, до технічного керування, що базується на послідовності „технологічна модель-технічний моніторинг – оцінка технічної спостережуваності – реалізація технічної керованості“, додається економічна складова (комерційна модель об'єкта – комерційний моніторинг – оцінка комерційної спостережуваності – реалізація комерційної керованості) і система управління перетворюється в інтегральну систему управління електроенергетичними об'єктами, системами електропостачання чи енергетичними системами [1,3]. Забезпечення умов функціонування інтегральної системи управління за результатами дослідження

інформаційної бази електроенергетичної частини виробничого комплексу як складової частини загальнодокументального потоку – основна мета роботи.

Матеріал і результати дослідження. Великий обсяг задач, що вирішуються з метою управління електроенергетичними комплексами, а також структура самого об'єкту управління вимагають створення ієрархічної інтегральної системи диспетчерського керування, що відповідає структурі електроенергетичної галузі країни. При цьому, на кожному ієрархічному рівні мають бути забезпечені функціонування і взаємодія інформаційно-технологічних систем [2,3]:

- 1) оперативного контролю і управління режимом;
- 2) оперативного аналізу і планування режиму;
- 3) планування режимів на різні інтервали часу;
- 4) контролю і обліку енергоспоживання;
- 5) автоматичного управління.

Основою побудови ієрархічної системи керування є створення єдиного інформаційного простору і масштабованої відкритої архітектури, а також використання єдиної інформаційної технології і системи стандартних інтерфейсів. Визначальні критерії якості цієї системи мають бути: інформативність (інформаційна ефективність); оперативність надання даних про поточний режим диспетчерському персоналу та

іншим користувачам; інформаційна надійність і живучість системи [3].

Характеристики реакції інтегральної системи повинні розглядатися у двох аспектах: реакції інформаційного тракту в цілому (часу затримки отримання користувачем інформації про поточний режим) та реакції людино-машинного інтерфейсу, пов'язаного із затримкою виконання запиту на доступ до набору певних даних.

Отже, завдання побудови ефективної інтегральної ієрархічної системи диспетчерського управління полягає у визначенні: 1) кількості рівнів управління; 2) структури вертикальних і горизонтальних зв'язків між рівнями та елементами рівнів управління; 3) оптимального розподілу завдань між рівнями управління; 4) інформаційно-технічних засобів, що забезпечують ефективність роботи інтегральної ієрархічної системи керування (надійність, живучість, вартісну ефективність тощо).

У теперішній час для забезпечення спостережуваності електричних мереж має місце оснащення їх цифровими улаштуваннями релейного захисту та автоматики (РЗА), автоматизованими системами комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) та автоматизованими системами управління енергетичними об'єктами (АСУТП), системами діагностики тощо. Усе це зумовлює значне зростання обсягів інформації, передачі її по інформаційним мережам та обробку. Значне зростання обсягів інформації та необхідність прийняття по ним відповідальних рішень, які суттєво впливають не тільки на технологічні процеси передачі, розподілу та використання електричної енергії, а й техніко – економічні показники діяльності енергетичних комплексів. Тому зростають вимоги до достовірності інформації та її зберігання. Ефективним засобом вирішення вказаних проблем є впровадження комп'ютерних технологій, у тому числі інформаційних технологій.

Інформаційні технології у практиці експлуатації електричних мереж та інших електроенергетичних об'єктів – це автоматизація процесу збору, обробки та відображення інформації, що використовується експлуатаційними підрозділами для безпосередньої роботи з управління функціонуванням підрозділів електромереж та підприємств. Такі технології успішно застосовують також при проектуванні і управлінні розвитком об'єктів електроенергетики.

Подальше вдосконалення засобів обчислювальної техніки у напрямі створення локальних, а потім і корпоративних мереж, побудованих за технологією Intranet, удосконалення програмного забезпечення та інструментальних програмних засобів розробки значно розширили обсяги завдань, які вирішуються за

допомогою інформаційних технологій у сфері управління і експлуатації електричних мереж електроенергетичних систем та компаній. У цьому випадку диспетчери та інший персонал електричних мереж підприємств та компаній має можливість наочно в темпі процесу отримувати інформацію про стан та параметри режиму електроенергетичної системи та електроенергетичних об'єктів на екранах персональних комп'ютерів, оперативно стежити за зміною ситуації, оновлювати інформацію і зберігати її у відповідних базах даних (БД).

Обмін інформацією, що відбувається в темпі процесу, між різними підрозділами підприємств електричних мереж, а також між різними ієрархічними рівнями управління дозволяє підвищити не лише ефективність управління, але й надійність і якість функціонування електричних мереж систем електропостачання та електроенергетичних систем. Цей факт означає початок зміни технології експлуатації електричних мереж та їх об'єктів, виведення їх на сучасний рівень, відповідний міжнародним стандартам, який допоможе прискорити процес інтегрування до Європейського союзу. Зрештою, це дає можливість побудувати інтегровану АСУТП електричними мережами, що буде функціонувати в єдиному інформаційному просторі електроенергетичної галузі.

Інтегрована АСУТП електричними мережами споживачів, електроенергетичних компаній або систем, яка побудована з урахуванням останніх досягнень в області інформаційних технологій, покликана вирішувати електроенергетичні задачі на якісно новому, більш вищому та ефективному рівні. Це, перш за все, дозволить різним користувачам виконання багатьох завдань одночасно, використовуючи розосереджене середовище обробки даних і можливості сучасних операційних систем обробляти великий обсяг інформації, що надходить різними потоками. Застосування сучасної архітектури „клієнт-сервер“ або Intranet сприяє значній економії обчислювальних ресурсів і підвищенню швидкості обробки інформації, яка використовується для управління функціонуванням енергетичних об'єктів.

Особливістю будь-яких підрозділів електроенергетики є розташування енергетичних об'єктів на значній території, а для деяких з них (наприклад, лінії електропередачі) – на значних відстанях. Тому, при управлінні такими об'єктами важливим є отримання інформації не тільки про події на об'єкті, а й визначення місця, де ця подія сталася (наприклад, обрив проводу на ЛЕП). Для вирішення таких задач пропонується використовувати геоінформаційні системи (технології). Сьогодні в розвинених країнах накопичений значний досвід застосування геотехнологій у

різних сферах виробничої і господарської діяльності. Тому геотехнології можливо досить успішно використовувати і в інтегрованих АСУТП електроенергетичних об'єктів для вирішення завдань, пов'язаних з експлуатацією ЛЕП, підстанцій, у роботі виробничих та технічних служб, при видачі технічних умов на приєднання споживачів до електричних мереж енергетичних компаній та систем, в оперативно-диспетчерській службі, службі контролю за енергоспоживанням тощо.

Запропонована геоінформаційна технологія – це комп'ютерна інформаційна система, де кожен елемент даних має чітку просторову географічну прив'язку. Її ядро складається з графічної БД і різних способів взаємного узгодження і управління. Така організація системи дозволяє користувачеві:

- оперативно отримувати необхідну текстову інформацію (паспорти об'єктів – ЛЕП, підстанцій, іншого обладнання) при роботі з графічними матеріалами (цифровими картами територій, схемами об'єктів, вузлів навантаження, їх фотографічними зображеннями тощо);
- проводити пошук об'єктів, обраних за тими чи іншими критеріями в текстовій БД, з паралельним їх відображенням (підсвічуванням і локалізацією) на цифрових картографічних матеріалах;
- організовувати складні запити з аналізом графічної БД і тематичною фільтрацією текстової або графічної інформації;
- виводити на друк необхідну текстову або графічну інформацію;
- розосереджувати і визначати напрями оперативних робочих місць з ліквідації аварій або введення параметрів режиму в оптимальну область;
- вирішувати різні технологічні, експлуатаційні та експертні завдання, моделювати режимні ситуації тощо.

Завдяки наявності таких зв'язків забезпечується велика кількість функціональних можливостей геотехнологій в електричних мережах. У базовий набір функцій пропонується включити: збір та перевірку достовірності інформації, її редагування; збереження, оновлення, інформаційний пошук додаткових даних, аналіз, моделювання та розрахунки (у випадку необхідності, отримання результатів розрахунків для використання в управлінні), паспортизація даних та їх віднесення до відповідної БД.

Виконані дослідження показують, що для електричних мереж за функціональними можливостями доцільно застосувати мережні геоінформаційні системи, які орієнтовані на робочі станції (операційне середовище Windows NT, UNIX, Solaris) і мережний режим роботи. Таких систем у світі нараховується до 20, з яких най-

більш поширеними є MGE, Microstation, ARS/INFO, Intergraf, System 9, SPAN GIS, SISSCAN.

Для роботи геотехнічної системи необхідно: налагодити серійний випуск програмного забезпечення; мати надійні фірми-виробники; забезпечити сервісну підтримку і модернізацію; мати можливість працювати в комп'ютерних мережах і в архітектурі „клієнт-сервер“; мати відкриту архітектуру; мати можливість підтримувати (обробляти) великі за обсягом (територія) картографічні матеріали; підтримувати стандартні графічні розширення для обміну інформацією; підтримувати роботу з різними типами БД.

Нині в країні відсутнє сучасне програмне забезпечення геоінформаційних систем вітчизняної розробки, яке б здійснювало ефективний збір і збереження інформації, що необхідна для управління. Існуючі відомчі системи збору даних організаційно і методично розрізнені, що не дозволяє ефективно використовувати їх при формуванні, обґрунтуванні і прийнятті конкретних рішень. Крім того, низький рівень автоматизації під час збору, обробки і передачі інформації стає на перешкоді своєчасному її отриманні в необхідних обсягах і в прийнятному вигляді. Наявні в електроенергетиці розробки окремих колективів вирішують обмежене коло завдань і не відповідають рівню, необхідному для їх промислового застосування.

За таких обставин доцільно використовувати закордонний досвід. Використання геоінформаційних систем в електроенергетиці за кордоном має місце, здебільшого, у країнах, що використовують інтеграцію на міжгалузевому рівні на загальній картографічній основі з використанням серійно виготовленого програмного продукту. При цьому підкреслюється, що серед основних особливостей технології потрібно виділити її потужність (здатність оперувати значними обсягами графічної і текстової інформації), мережеву структуру організації, адаптацію до всієї гамми платформ (UNIX, DOS, Windows NT, Windows 9*, MAC тощо), сумісність з усіма основними БД (Oracle, Informix, MS SQL Server, Sybase, X-Base, DBASE тощо) і непримхливість (робоче місце може бути організовано навіть на базі ПК).

Таким чином доведено, що створення і розвиток АСУТП електричними мережами повинні будуватися з використанням останніх досягнень інформаційних технологій, що є одним із найбільш перспективних напрямів, що дозволяють створювати автоматизовані системи управління електроенергетичними об'єктами на основі поєднання графічних відображень та БД, що охоплюють усі ієрархічні рівні управління, використовуючи для цього єдиний інформаційний простір відповідно споживача, компанії, енергетичної системи тощо. Крім того, використовуючи наявні в геотехнологічних сис-

темах можливості масштабування, можливо нарощувати кількість проблемних завдань і рівнів управління, що беруть участь в інформаційному обміні у процесі управління роботою електроенергетичних об'єктів.

Застосування геоінформаційних технологій в управлінні експлуатацією ЛЕП, підстанцій та інших електроенергетичних об'єктів дозволяє оперативно реагувати на зміну технічного стану обладнання електромереж, режимів роботи, використовуючи інформацію, що надходить від систем моніторингу, вимірювання, РЗА та безпосередньо від персоналу. При цьому диспетчер, а за необхідності і керівництво, отримує наглядну інформацію про пошкоджені елементи та місце їх розташування, приймає відповідні рішення, погодивши їх з іншими службами та обмінявшись з ними відповідною інформацією. Інформація про технічний стан, подібні події і прийняті рішення (наприклад, про відключення і вивід у ремонт ЛЕП) надходить до БД, обробляється і документується. На цій підставі надалі формуються графіки оглядів, ремонтів за результатами діагностики і так далі з наступним занесенням інформації до БД.

Геоінформаційні системи дозволяють наочно, в автоматичному режимі, з прив'язкою до місцевості для відповідних служб проводити: процеси збору, обробки і оперативного отримання необхідної технічної, технологічної та експлуатаційної інформації; контролювати технічний стан електромережних об'єктів і мережі в цілому; встановлювати терміни ремонтів і профілактичних оглядів у залежності від експлуатаційних характеристик устаткування і результатів діагностики, з розрахунком необхідних витрат у відповідності до діючих нормативних документів; мати постійно оновлювані картографічні матеріали по проходженню інженерних комунікацій різних користувачів, з визначенням місць перетинів і зближення; отримувати різноманітні схеми і креслення об'єктів з відображенням їх паспортів і сучасного стану; проводити інвентаризаційні роботи по обладнанню у межах окремих об'єктів і систем в цілому; встановлювати і контролювати склад користувачів з визначенням їх просторового розташування, автоматизувати їх облік; планувати і проектувати прокладення нових комунікацій; моделювати різноманітні технологічні ситуації, у тому числі аварійні, та визначати розміри збитків і час їх усунення тощо.

За результатами виконаних досліджень можливо запропонувати наступну модель системи управління електричною мережею з використанням геоінформаційних систем. Вона може мати наступний вигляд. У конкретній енергопостачальній компанії, на базі прийнятої для АСУТП електричної мережі операційної платформи і системи управління БД, приймається середовище робо-

ти геоінформаційної системи. Далі на основі наявної картографічної інформації обираються карти з нанесенням на них об'єктів електричної мережі в необхідних масштабах і заповнюється БД по цих об'єктах.

Для підсистеми АСУТП електричними мережами, що відповідає за задачі виробничо-технічного управління, на першому етапі впровадження геоінформаційних систем вирішуються питання, пов'язані з експлуатацією ЛЕП і підстанцій у повному обсязі. При цьому геоінформаційній системі передаються завдання виробничо-технічної служби, включаючи завдання з видачі технічних умов на приєднання споживачів до мереж компаній, про умови проходження максимуму навантаження, умови компенсації реактивної потужності тощо. На цьому етапі вирішуються також питання взаємодії цієї підсистеми з іншими підсистемами АСУТП енергетичними об'єктами, ув'язка структури БД, питання роботи в обчислювальній мережі (локальній чи корпоративній). Потім розробляються правила ведення і супроводу даних, їх оновлення і зберігання. На цьому ж етапі вирішуються питання зв'язку та обміну інформацією з іншими ієрархічними рівнями управління і обміну інформацією (при необхідності) з іншими підприємствами електричних мереж (включаючи магістральні мережі), вирішуються питання взаємодії з аналогічними системами інших підрозділів підприємства (наприклад, відділу головного механіка, бухгалтерії, відділу техніки безпеки тощо).

На наступному етапі геоінформаційні технології застосовуються для графічного відображення на картографічній основі рішення завдань оперативно-диспетчерського управління (наприклад, відображення відключених приєднань, трансформаторів, споживачів і так далі) і контролю за виконанням умов енергоспоживання та інших контролюючих заходів.

Наявність відповідних БД дозволить, з урахуванням мережі телекомунікації, отримувати інформацію для будь-якого ієрархічного рівня управління про будь-який об'єкт управління з точною прив'язкою його до географічних координат, а також отримувати інформацію про стан об'єктів, що належать іншим підрозділам виробничої діяльності. При цьому проектні рішення будуть оперативно відображатися в БД експлуатуючих організацій, які, у свою чергу, зможуть видавати завдання на проектування на загальній картографічній основі з достовірною технологічною інформацією.

Для вищих ієрархічних рівнів управління (наприклад, для диспетчерських управлінь енергетичними системами України) застосування геоінформаційних технологій дозволить отримати оперативну інформацію про стан об'єктів електричних мереж і районів електричних мереж в цілому на більших масштабах, у розмірі регіонів, що цікавлять, або для всієї Украї-

ни. Інформація для цих рівнів може бути отримана по телекомунікаційних інформаційним мережам від підприємств нижчих ієрархічних рівнів управління, що використовують геоінформаційні системи. Особливо наочно проявляються переваги геотехнологій для вищих ієрархічних рівнів управління при їх застосуванні для відображення інформації про масові аварії в мережах, розташуванні аварійних запасів, шляхів їх доставки і тому подібне.

Геоінформаційні технології дозволяють також значно спростити вирішення питань, пов'язаних із спільним рішенням електроенергетичних задач і задач інших галузей економіки, що розташовані у визначеному економічному регіоні. Спільне використання графічної інформації, що належить різним відомствам, дозволить вирішувати такі завдання, як, наприклад, прокладення нових інженерних комунікацій поблизу коридорів проходження ЛЕП, розширення підстанцій, перетин комунікацій різних відомств (ЛЕП і лінії зв'язку, силові кабелі і кабелі зв'язку, траси газопроводів і ЛЕП, перетин ЛЕП і доріг і так далі).

Таким чином, впровадження геоінформаційних технологій у практику експлуатації і розвитку електричних мереж дозволить по-новому вирішувати питання управління електроенергетичними підприємствами, підвищити рівень управління об'єктами електричних мереж і, зрештою, дасть можливість підвищити ефективність функціонування електричних мереж.

Висновки:

1. Пропонується для вирішення завдань проектування, експлуатації й управління електричними мережами систем електропостачання, енергетичних компаній та систем застосовувати геоінформаційні технології. Застосування геоінформаційних технологій дасть можливість використовувати загальну картографічну інформацію для декількох суб'єктів господарювання на визначеній території регіону.

2. Для електроенергетики використання геоінформаційних технологій дасть можливість вирішувати спільно з іншими відомствами (наприклад, з Міністерством надзвичайних ситуацій) такі завдання, як ліквідація наслідків стихійних лих, проведення аварійних відновлювальних робіт, розташування аварійних запасів матеріальних ресурсів, визначення величини сил і засобів для ліквідації аварій.

3. Застосування геоінформаційних технологій дозволить вирішити проблему визначення впливу кліматичних навантажень на об'єкти електричних мереж з урахуванням рельєфу місцевості, здійснити прив'язку метеостанцій по трасі проходження ЛЕП з точним визначенням додаткових механічних навантажень на проводи і траси від ожеледі та вітру, що

дозволить визначити стійкість об'єктів електричних мереж до дії вказаних кліматичних навантажень.

4. Геоінформаційні технології по відношенню до електричних мереж дадуть можливість вирішувати завдання оперативного управління експлуатацією на різних ієрархічних рівнях, дозволять диспетчерам і керівництву отримувати наочну інформацію про об'єкт управління на єдиній топографічній основі. Застосування геоінформаційних технологій надасть можливість підвищити ефективність АСУТП електричними мережами, включаючи задачі автоматизованої системи диспетчерського управління (АСДУ), дозволить працювати на новому технологічному рівні, враховуючи інтереси інших суб'єктів виробництва.

Список літератури / References

1. Сапожников Ф.В. О новых подходах к проблеме технического перевооружения и дальнейшего наращивания энергетических мощностей страны / Сапожников Ф.В., Кузнецов С.К. //Электрика.– 2004.– №2.– С. 3–6.

Sapozhnikov F.V. About the new approach to the problem of modernization and further increase the country's power capacity / Sapozhnikov F.V., Kuznetsov S.K. // *Elektrika*.– 2004.– No.2.– P. 3–6.

2. *Експлуатація електроустановок*: Навч. посібник / [Г.Г. Півняк, А.В. Журахівський, Г.А. Кігель, Б.М. Кінаш, А.Я. Рибалко, Ф.П. Шкрабець, З.М. Бахор]; Під ред. академіка НАН України Г.Г. Півняка.– Дніпропетровськ: НГУ, 2005.– 445 с.

Exploitation of power plants: Tutorial / [H.H. Pivniak, A.V. Zhurakhivskiy, H.A. Kihel, B.M. Kinash, A.Ya. Rybalko, F.P. Shkrabets, Z.M. Bakhor]; Edited by H.H. Pivniak.– Dnipropetrovsk: NGU, 2005.– 445 p.

3. Ключко В.П. К вопросу о применении геоинформационных технологий / Ключко В.П. //Энергетика и электрификация.– 2001.– №2.– С.47–50.

Klyuchko V.P. On the issue of application of geo-information technologies / Klyuchko V.P. // *Energetika i Elektrifikatsiya*.– 2001.– No.2.– P. 47–50.

Функционирование энергетического комплекса характеризуется несбалансированностью структуры генерирующих и нагрузочных мощностей, устарелостью и несовершенством оборудования, в том числе и в контуре оперативного управления, что снижает эффективность его работы. Для достижения необходимого уровня надежности и экономичности работы в определенных условиях предлагается использовать современные устройства мониторинга, оценивания состояния и оптимизации режимов с использованием информационных технологий.

Ключевые слова: *электрические сети, информационные и геоинформационные технологии, диспетчерское управление*

Functioning of the energy complex is characterized by an imbalance of generation and load structure capacity, obsolescence and imperfection of equipment, including in the operating control loop. All of these reduce its effectiveness. To achieve the required level of reliability and efficiency of work in such conditions it is suggested to use modern devices of monitoring, estima-

tion of state and mode optimization using information technologies.

Keywords: *electrical networks, information and geoinformation technologies, supervisory management*

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук Ю.Т. Разумним. Дата надходження рукопису 30.03.11

УДК 519.85:622.349.5:542.61

С.А. Ус¹, канд. фіз.-мат. наук, доц.,
К.С. Іщенко², канд. техн. наук, ст. наук. співроб.,
А.О. Корела¹

1 – Державний вищий навчальний заклад „Національний гірничий університет“, м. Дніпропетровськ, Україна,
e-mail: us-svetlana@yandex.ru

2 – Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, м. Дніпропетровськ, Україна,
e-mail: ishenko_k@i.ua

ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕРВАЛЬНОЇ РЕГРЕСІЙНОЇ МОДЕЛІ В ЗАДАЧІ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО СКЛАДУ ЗАКЛАДНОЇ СУМІШІ

S.A. Us¹, Cand. Sci. (Phys.-Math.), Associate Professor,
K.S. Ishchenko², Cand. Sci. (Tech.), Senior Research Fellow,
A.O. Korela¹

1 – State Higher Educational Institution “National Mining University”, Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: us-svetlana@yandex.ru

2 – N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics of NAN of Ukraine, Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: ishenko_k@i.ua

USE OF INTERVAL REGRESSIVE MODEL FOR THE PROBLEM OF DETERMINING THE OPTIMAL COMPOSITION OF FILL MIXTURE

Розглянуто задачу обґрунтування оптимального складу суміші для закладки виробленого простору. Для її розв’язання в роботі запропоновано оптимізаційну модель, основою якої є рівняння регресії з інтервальними коефіцієнтами. Для розв’язання отриманої задачі використано метод послідовної редукції. Проведено порівняльний аналіз рішень, отриманих за допомогою інтервальної та звичайної моделей.

Ключові слова: *регресія, довірчий інтервал, інтервальна цільова функція, оптимізація, закладна суміш*

Вступ. Згідно зі світовою статистикою, Україна входить у десятку найбільш розвинених країн у галузі атомної енергетики. Тільки розвідані запаси взмозі забезпечити більш ніж на 100-річну потребу АЕС України у природному урані. На сьогоднішній день рівень видобутку урану дозволяє не тільки задовольнити власні потреби, але й експортувати за кордон значні об’єми уранової сировини [1, 2].

Проте, складний процес видобутку урану тягне за собою певні екологічні проблеми (порушення природного рельєфу, поява деформацій земної поверхні в місцях відпрацьованих рудних блоків шахт, утворення величезних наземних радіоактивних сховищ відходів урановидобувного процесу – хвостів, збільшення рівня запиленості місцевості), вирішення яких є пріоритетним для урановидобувних підприємств. Одним із способів вирішення цих проблем є закладка відпрацьованих просторів шахт. Витрати на виконання цих робіт визначаються, насамперед, обраним способом формування штучного масиву, використовуваним обладнанням закладного комплексу, конструкціями ізолюючих перемичок і складом суміші, що утворює твердіючу

закладку. Для виготовлення закладної суміші необхідна наявність різного виду матеріалів: в’язких заповнювачів, мікронаповнювачів, активуючих і пластифікуючих добавок. При цьому підбір складу закладного матеріалу необхідно здійснювати таким чином, щоб домогтися оптимального співвідношення між вартісними і якісними показниками суміші, а також, по можливості, максимально утилізувати відходи промислового виробництва [3].

Як наслідок з цього, визначення оптимального складу суміші, яка використовується для закладки відпрацьованих просторів шахти, на сьогоднішній день є актуальною задачею.

Мета даної роботи – створення нової математичної моделі для обґрунтування оптимального складу суміші з урахуванням експериментальних даних.

Постановка задачі дослідження. На Смолінській шахті у процесі видобутку уранової руди застосовують закладку, що твердіє, і яка складається з в’язких і інертних матеріалів. Як інертний заповнювач для приготування закладної суміші використовуються відходи урановидобувної, металургійної та деревопереробної галузей промисловості, продукти хімічної промисловості, а саме хвости, доменний шлак, лігносульфонати, алюмокалієвий галун, а також доломіто-