УДК 621.316.11.3

РЕАЛІЗАЦІЯ КЕРУВАННЯ ЕНЕРГОПОТОКАМИ ПІДЗЕМНИХ СПОЖИВАЧІВ У ЗАЛІЗОРУДНІЙ ШАХТІ

ВЛАСЮК В.П. аспірант, Національного університету «Криворізький національний університет», Кривий Ріг, Україна, e-mail: Email_Valentin@ua.fm, ORCID: 0000-0003-3202-8967

Мета роботи.. *Удосконалити можливості роботи з алгоритму керування електро енергопотоками для мінімізації рівнів споживання електроенергії у електроенергетичній системі залізорудної шахти, до якої входять підземні споживачі.*

Методи дослідження. *Під час проведення дослідження застосовані методи: нечіткої редукції атрибутів грубої множини, скорочення атрибутів при швидкому розрахунку, K – середніх, базисна платформа Hadoop.*

Отримані результати. *Проведено розгляд та описано методологію реалізації алгоритму мінімізації рівнів споживання електроенергії для підземних споживачів залізорудної шахти. Розроблено та удосконалено реалізацію алгоритму Канопі з використанням функції швидкого розрахунку. Проведено розподіл на класи з використанням методу K – середніх та його реалізації у базисній платформі Hadoop. Побудовано ефективно функціонуючий і удосконалений алгоритм для керування джерелами з застосуванням мінімізації обсягів споживання електроенергії у підземних споживачах залізорудної шахти. Ключовою перевагою, для впровадження у практичне застосування даного алгоритму є його гнучкість у роботі: проявляється у забезпеченні кількох варіантів вирішення на відміну від типових математичних методів, де пропонується лише один його варіант розв'язку для визначення послідовності вирішення поставлених завдань та задач. Даний алгоритм дозволить використовувати його з множинними методами розрахунку ключових енергетичних параметрів, що допоможе зменшити надлишковий обсяг даних розрахунку обсягів враховуючи невизначеність обсягів енергоспоживання у підземних споживачів та уникнути зайвих розрахункових операцій у розгалуженій структурі даних з кількома розв'язками з чіткою їх систематизацією.*

Наукова новизна. *Проведено удосконалення практичної реалізації алгоритму функціонування, що дозволяє підвищити точність та ефективність розрахунків за рахунок усунення надлишкових рівнів споживаної потужності у підземних споживачів залізорудної шахти.*

Практична цінність. *Дане дослідження слід застосувати для превентивної оцінки та аналізу розрахованих обсягів по зменшенню рівнів споживаної потужності та їх систематизації за допомогою методів з розгалуженою структурою даних для підземних споживачів залізорудної шахти. Окреслено два можливі шляхи подальшого розвитку та удосконалення стану енергетики та енергетичного обладнання на гірничих підприємствах (в особливості на залізорудній шахті).*

Ключові слова: алгоритм Сапору, платформа Hadoop, керування енергопотоками, підземні споживачі, smart grid, залізорудна шахта.

I. ВСТУП

У сьогоденні виникає необхідність удосконалити розвиток значно застарілих матеріально – технічних пристроїв електроенергетичного спрямування, що особливо проглядається у підземних споживачів залізорудної шахти, що додатково продиктовано й економічним зростанням. Це має місце у кожному гірничо – металургійному підприємстві, і напряму пов'язано зі збільшенням обсягів енергоспоживання даної категорії споживачів.

Саме тому, створюється необхідність підвищення вимог при розробці алгоритму функціонування електроенергообладнання закуплених обсягів електроенергії у енергопостачальника та їх співставлення з обсягами енергоспоживання у підземних споживачах залізорудної шахти.

По перше, це поступове нарощення обсягів потужностей, розширення кількісного та якісного складу енергетичного й електротехнічного обладнання, а також спів еквівалентне збільшення об'ємів видобутку сировини або ресурсів.

Другий шлях є інноваційним, надає можливості для економічного зростання гірничих підприємств (у тому числі й шахт) зберігаючи при цьому реальний обсяг видобутку первинних енергоносіїв, видозмінюється лише структура ресурсоспоживання за рахунок активного впровадження сучасне енергозберігального обладнання з передовими технологіями (відслідковування обсягів спожитої електроенергії відомі фірми ABB, Schneider Electric), автоматизації уже наявного енергообладання, у тому числі й впровадження відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) і т. д.

Дана робота акцентує увагу саме на другому шляху поставленої наукової задачі.

Даний розвиток обумовлено, з одного боку - нагальними потребами енергоринку, на котрому є взає-

© Власюк В.П., 2024
DOI 10.15588/1607-6761-2024-1-1

модія між виробниками та споживачами електроенергії, а з іншого боку наявні технічні можливості її вирішення, використавши сучасні комп'ютерні та комунікаційні технології.

II. АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Математичній реалізації алгоритмів мінімізації рівнів споживання електроенергії підземними споживачами електроенергії у залізорудній шахті у сьогоденні присвячений цілий пласт публікацій. Однак дані публікації не містять уніфікованих положень про побудову алгоритмів мінімізації у обсягах споживання електроенергії залізорудними шахтами. Слід відмітити, що вони не дозволять досить точно побудувати алгоритм мінімізації рівнів споживання електроенергії залізорудною шахтою. У роботах [1] – [3] було показано наступне: розглянуто перелік сучасних проблем, що стосуються промислових підприємств та інших об'єктів бюджетної сфери; проаналізовані переваги використання приладів обліку і контролю за обсягами споживання електроенергії; розроблена функціонуюча імітаційна модель аналізу процесами управління енергоресурсами металургійного підприємства при реалізації теоретико – методологічних положень енергозбереження; розкриті особливості інформаційної взаємодії агентів у мультиагентній системі, що дозволяє проводити детальний аналіз проектів з метою виявлення раціональності його впровадження на підприємстві, надання можливостей реалізації гнучкого управління ресурсами; розроблено багаторівневу модель енергоспоживання металургійного підприємства, що дозволяє оцінити ефективність відібраних до реалізування енергозберігаючих проектів, визначити частку кожного енергоресурсу у загальному потоці; визначити та оцінити енергоємність окремого виробництва з усього підприємства; оцінити раціональність та ефективність існуючої на підприємстві структури енергоспоживання; прогнозувати очікувані рівні енерговитрат при зміні технології виробництва, сортаменту і якості продукції різних технологій і обладнання з точки зору енергоефективності; оптимальність в управлінні потоками енергоносіїв з урахуванням зміни умов виробництва; розроблена логістика формування можливостей підвищення електроенерогоефективності видобутку залізорудної сировини гірничорудними підприємствами; окреслено шляхи застосування автоматизованих керованих електроенергетичних комплексів, в систему електропостачання котрих покладено розподілену генерацію електроенергії.

Зважаючи на раніше розглянуті роботи з математично реалізації алгоритмів мінімізації рівнів споживання електроенергії підземними споживачами електроенергії у залізорудних шахтах у них не досить чітко не поставлено акцент на розробленні та впровадженні методик для мінімізації обсягів споживаної потужності для її підземних споживачів з покращенням їх роботи з точки зору мінімізації піків та коливань у цілому, що дозволить уточнити профіль потужності у внутрішньопідстанційній мережі.

Порівнюючи наявний у попередніх роботах аналіз приведених алгоритмів присутнє тяжіння до інтелектуального аналізу даних тільки для одного методу вирішення поставлених наукових задач, на відміну від даного підходу заснованого на новому алгоритмові масового аналізу даних, що дозволяє підвищити точність розрахунків, а також усунить надлишкові набори даних для аналізу, що пришвидшить розрахунок і ефективність його роботи та допоможе урізноманітнити можливості застосувати множинні методи з розгалуженою структурою аналізу даних та систематизувати їх.

III. МЕТА РОБОТИ

Мінімізація рівнів споживання електроенергії було досягнуто шляхом розгляду нового підходу у алгоритмі керування електро енергопотоками та споживанні електроенергії у електроенергетичній системі залізорудної шахти, до складу якої входять підземні споживачі.

IV. ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНОГУ МАТЕРИАЛУ І АНАЛІЗ ОТРИМАННИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Виникнення питань пов'язаних з енергоефективними рівнями споживання електроенергії та оптимізації її витрат виникали ще у 60 – 80 роках минулого століття. Оскільки розвиток наявної, ще тогочасної ресурсної та технологічної бази напівпровідникових елементів знаходився на достатньо низькому рівні (особливо актуальним було для підприємств гірничо – металургійного циклу виробництва), що вважали постановку даних питань не гостро необхідною. Електроенергія у споживачів, що відносяться до гірничо – металургійного циклу виробництва у їх мережах надходить з централізованої електричної мережі, а також від розподілених джерел енергії (РДЖЕ). При цьому споживання електроенергії з місцевої електромережі повинно бути мінімальним, згідно поставленої наукової задачі раніше, що обов'язково визначається економічними та екологічними вимогами.

Розглянемо на прикладі залізорудної шахти, що постачається електроенергією від центральної електричної мережі, так і від розподілених відновлювальних джерел енергії (див. рис.1).

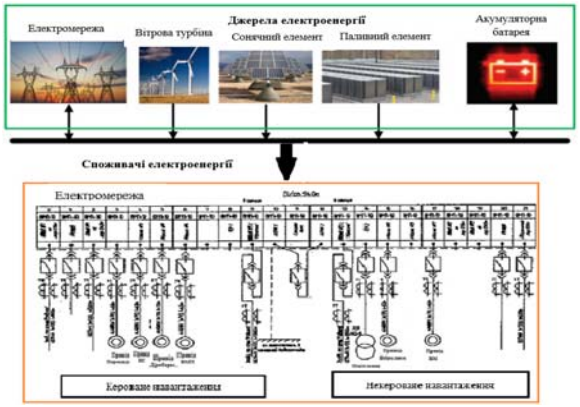

Рисунок 1. Реалізація схеми електропостачання

Коректність функціонування без збоїв для алгоритму мінімізації рівнів споживання для підземних споживачів, слід провести додатковий аналіз енергоспоживання для блоків електроенергетичного обладнання залізорудної шахти (сюди входить: насосні станції, дробарки, опрокиди, вібролюки, внутрішнє шахтне обладнання, вентилятори місцевого провітрювання, навантажувальні та бурильні машини), щоб забезпечити енергозбереження та скоротити відповідні обсяги споживання енергії.

Використаємо наукову методологію поділу на дві частини.

Перша її частина: визначає сталість значень у контрольних робочих параметрах обсягів споживання електроенергії для блоків у залізорудній шахті для типових умов її навантаження (номінальне) в основу котрого, уже покладемо модернізований алгоритм K – середніх.

У другій частині: використовуємо опорні вектори, щоб визначити коефіцієнти чутливості для різних робочих параметрів чистих обсягів споживання електроенергії з різними умовами навантаження залізорудної шахти (номінальне або аварійне).

Даний метод аналізу є: "нечіткої редукції атрибутів грубої множини" додатково до нього додамо ще й "метод редукції мінімалістичних властивостей", зменшення складності у наборі даних.

Застосування моделі віртуальної електростанції є досить сучасною та інноваційною технологією для енергосистеми залізорудної шахти, що може ефективно працювати у процедурі керування складовими частинами традиційної та відновлювальної енергетики, щоб досягти раціональності у розподілі наявних обсягів електроенергії для умов обмеженості та змінності обсягів доступних ресурсів (відсутності сонця, вітру або різке збільшення активності і т. і.).

Не забуваймо й про впровадження у віртуальну електростанцію диспетчерської інформаційної системи та розподіленої системи управління, що зберігає величезні обсяги даних по спожитим та резервним обсягам електроенергії у електростанціях даного типу.

Впровадження у математичну модель нечітких та грубих множин "знижує" обсяги наборів даних та зменшує значення їх атрибутів, використовуючи уже аналогічні переваги до сформованого масиву даних, що заснований на нечіткості та впорядкованості.

Верхні та нижні апроксимаційні множини для нечіткої грубої множини визначаємо наступним чином [4] – [19]:

$$u.\underline{P}X(F_i)\inf\max\{1-uF_{i(x)},u_x(x)\},\forall i \quad (1)$$

$$u\overline{P}X(F_i)=\inf\max\{1-uF_{i(x)},u_x(x)\},\forall i \quad (2)$$

де U – непорожня область, а F_i - клас еквівалентності рішення $F_i \in U/P=\{F_1,F_2,...,F_n\}$.

Не чітка позитивна область математичної моделі для нечітких та грубих множин визначається наступним чином:

$$u_{pos_{p(Q)}}(x)=\sup_{X\in U/P}^{u\overline{P}X(x)} \quad (3)$$

де P – є умовним атрибутом, а Q – атрибут рішення.

Дана формула відображає здатність умовного означення та охарактеризувати ознаку рішення. Згідно з відповідними визначеннями для нечіткої позитивної області, ступінь залежності атрибутів моделі нечітких та грубих множин визнають так:

$$\gamma_p(Q)=\frac{u_{pos_{p(Q)}}(x)}{u}=\frac{\sum_{x\in u} u_{pos_{p(Q)}}(x)}{u} \quad (4)$$

Метою математичного методу редукції атрибутів є пошук найпростішого набору характеристик умовного атрибуту до атрибуту рішення, а потім видалення надлишкового умовного атрибуту.

Алгоритм скорочення атрибутів QuickReduct є класичним математичним методом, котрий використовується для досягнення мети даної статті. Він є легким для вивчення завдяки своїй швидкодії та простоті пошуку.

Його принцип роботи лежить у виборі порожньої множини R, а потім додаванні до множини R, тих атрибутів, які збільшують коефіцієнти залежності $\gamma_p(D)$, допоки $\gamma_p(D)$ не досягне свого максимального значення.

Блок – схема алгоритму редукції атрибутів виглядає наступним чином (див. рис. 2).

$R \leftarrow \{\}, \gamma_{best} \leftarrow 0, \gamma_{prev} \leftarrow 0$
Do
$T \leftarrow R$
$\gamma_{prev} \leftarrow \gamma_{best}$
$\forall x \in \{C - R\}$
$if\ \gamma_{R \cup \{X\}}(D) > \gamma_T(D)$
$\quad T \leftarrow R \cup \{x\}$
$\quad \gamma_{best} \leftarrow \gamma_T(D)$
$R \leftarrow T$
$until\ \gamma_{best} = \gamma_{prev}$
$return\ R$

Рисунок 2. Зовнішній вигляд алгоритму скорочення атрибутів QuickReduct

Реалізація алгоритму Canopy

Даний алгоритм використовує масив даних, що виконує розподіл точок вхідних даних на кілька кластерів, які перекривають один одного за допомогою додаткового математичного методу вимірювання відстані між ними, а точки у Canopy обчислюються методом з високою точністю розрахунків.

Визначення 1 алгоритму Canopy: Є заданий набір даних $F = \{f_i | i = 1,2,...,n|\}, if \forall x_i \in F$, або $c_i \left| \exists \left| x_i - c_j \right| \right| \le D_1, c_j \subseteq F, i \ne j$, тоді множина x_i має назву множини Canopy, c_j є центральною точкою покриття Canopy, і D_1 є напівдіаметром набору Canopy.

Визначення 2. Центральна точка Canopy: Є заданий набір даних $F = \{f_i | i = 1,2,...,n|\}, if \forall x_i \in F$ або $c_n \left| \exists \left| x_i - c_n \right| \right| \le D_1, D_2 \prec D_1, c_n \subseteq F, i \ne n$ тоді c_n ,буде множиною довільного набору точок Canopy.

Визначення K – середніх, нагадує класичний алгоритм навчання без нагляду, що базується на методах кластеризації розділів. Після випадкового вибору k точок у наборі вихідних даних, початкові значення цих точок приймаються за центр кожного кластеру. Потім обчислюється відстань між нецентральними точками даних та центром кожного кластеру, і точки даних, що відносяться до найближчого до них кластеру.

Після згрупування точок, виконується обчислення середнього значення кожного кластеру й знову обриється центральна точка кожного кластеру. Даний процес буде повторюватись до того часу, поки цільова критеріальна функція не стане збіжною.

Критеріальна функція визначається наступним чином:

$$E = \sum_{i=1}^{k} \sum_{x \in C_i} (x - \overline{x_i})^2 \quad (5)$$

де E – сума квадратів Евклідових відстаней між кожною точкою даних та відповідним центром кластеру, x – точка у просторі даних, а $\overline{x_i}$ - середнє арифметичне для кожного кластеру.

Використовуючи критеріальну функцію, згенеровані кластери будуть максимально компактними, тоді як різні кластери можуть бути максимально незалежними.

Підрахунок кількості кластерів, що обчислюються за допомогою K – середніх, у даній роботі використовується дисперсійна функція (сума середніх квадратів), що переводить у векторну форму дані у K – середніх.

Окрім того вибрані k точки даних розглядаються як центри векторів, а через розрахункові формули визначаються наступним чином:

$$\overrightarrow{x_i} = \frac{1}{|C_i|} \sum_{\vec{x} \in C_i} \vec{x} \quad (6)$$

$$\mathrm{RSS_k} = \sum_{\vec{x} \in C_i} \left| x - \overline{x_i} \right|^2 \quad (7)$$

$$\mathrm{RSS} = \sum_{k=1}^{k} \mathrm{RSS_k} \quad (8)$$

$\mathrm{RSS_k}$ - є відстанню між кожною точкою даних у класі k та відповідним центром, і RSS – являє собою суму $\mathrm{RSS_k}$ для усіх k класів.

Функції Hadoop Distributed File System (HDFS) та MapReduce є головними та складають відповідну основу для цієї платформи.

Перша – виконує операції по збереженню масивів для великого обсягу даних (дані опрацьовуються переважно у режимі реального часу); друга - займається опрацюванням та обчисленням накопичених обсягів масивів даних.

Дана платформа демонструє надвисоку пропускну здатність та автоматично повертає функціонування алгоритму у коректну роботу у разі збоїв функціонування (характеризується відмовостійкісттю).

Для підземних споживачів у залізорудній шахті він успішно застосовується для опрацювання й роботи з великими обсягами даних (сюди входить: обсяг споживання електроенергії, ккд енергосистеми шахти, реактивна потужність, cosφ, tgφ і т. п.).

Основними функціями даного фреймворку є: мапування та редукція. Блоки даних вводяться і виводяться: у вигляді "ключ, значення". Вихідні значення блоків даних обчислюємо за допомогою незалежної і паралельної функції Map, а потім дані вихідні значення впорядковуємо і об’єднуємо.

Результатами виконання даних операцій є ключові значення певних величин, які при ранжуванні їх значень беруться, як вхідні значення функції Reduc, що поступово сортуються по зменшенню їх значень і виводяться.

Обчислювальний процес функції MapReduce по-

казано на рисунку 3:

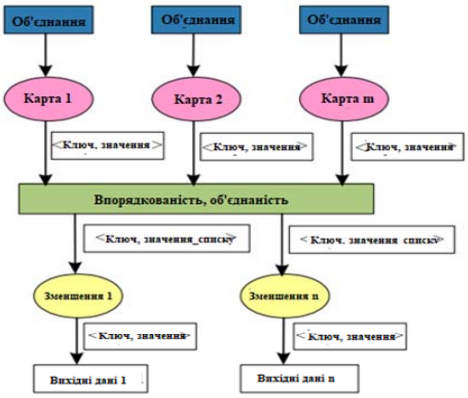

Рисунок 3. Алгоритм обчислювального процесу при застосуванні функції MapReduce

Алгоритм зображений на рисунку 3 потребує використання алгоритму FMK (удосконалений алгоритм K – means математичним методом нечіткої грубої множини при застосуванні функції MapReduce), щоб отримати еталонне значення контрольованого експлуатаційного параметру за оптимальних умов, що буде тісно пов'язаний з витратою електроенергії підземними споживачами у залізорудній шахті.

Даний алгоритм працює наступним чином: скорочується кількість атрибутів для кожного параметру роботи, використовується для цього модель побудована з застосуванням бази математичного методу нечітких та грубих множин.

Після того, як "атрибути - кандидати" були скорочені, розраховується найпростіший набір атрибутів (таким чином модель перетворюється у модель програмування) функції MapReduce, що реалізує паралельну обробку уже для покращеного алгоритму K – середніх. Потім визначається центральна точка оптимального кластеру для кожного операційного параметру окремо.

Опишемо реалізацію покращеного алгоритму FMK для K – середніх:

1. Створюємо таблицю рішень для обсягів використання енергії підземними споживачами залізорудної шахти. Розглядаємо різні фактори, що можуть вплинути на обсяги її споживання, розділяємо умови її експлуатації відповідно до зовнішніх умов, наприклад: електричного навантаження, вологості і температури робочого приміщення.

Береться норма споживання електроенергії у якості атрибуту рішення, а контрольовані робочі параметри, які мають тісний зв `язок з першими, як атрибути умови.

2. Уточнюється нечітка функція незалежності відповідно до атрибутів кожного параметру та перетворює дані параметри у набір нечітких даних.

3. Зменшуються експлуатаційні параметри, які впливають на витрату електроенергії, за допомогою методу QuickReduct. Після обчислення найпростішого набору атрибутів обчислюється важливість кожного атрибуту умови для норми витрати енергії.

4. На етапі переходу від функції Map до алгоритму Canopy перетворюється найпростіший набір атрибутів у формі "ключ - значення" та надсилаються дані значення ключів до функції m у Map. Потім обчислюється поріг відстані для кожної точки даних і порівнюються відстані з D1 і D2. Після того, як вони будуть класифіковані, ці екземпляри за допомогою ітерацій додаються до набору у алгоритм Canopy безпосередньо.

5. У третьому рекуренті алгоритму Canopy об'єднуються та обчислюються результати етапу Map і сформовується множина Q; далі обробляється множина Q за допомогою алгоритму Canopy.

Повторюються наведені вище кроки доти, доки набір даних не стане порожнім, а потім отримуємо кластер K та його центральну точку, яку візьмемо за вхідне значення системи для удосконалення алгоритму K – середніх.

6. На етапі переходу від функції Map до алгоритму K – середніх перетворюється на скорочений новий набір даних у форму "ключ - значення" і надсилається він до m у функції Map.

Обчислюється відстань між даними кожного вузлу та центрами кожного кластеру, а потім відносимо ці вузли до найближчого до них кластеру. Обчислюємо типи кожного кластеру та виводимо їх у вигляді "ключ - значення".

7. Функцію Combine використовуємо для поділу вихідного значення функції Map, а потім об'єднуємо дані, що належать до одного кластеру. Підсумовуємо відповідні розмірності даних в одному кластері та підраховуємо кількість об'єктів даних.

Обчислені результати виводимо у вигляді "ключ - значення". "Ключ" – це тип кластеру, тоді як "значення" – відповідна розмірність даних і накопичена кількість об'єктів даних.

8. На етапі Reduce K – means отримуємо вихідне значення функції Combine, після чого проводимо аналіз суми відповідної розмірності даних у кожному кластері, а також загальну кількість об'єктів даних. Таким чином, буде отримано нові центри для кластерів, і проведено новий цикл ітерації до тих пір, поки дана функція не стане східною.

9. Аналіз чутливості до загальних обсягів енергоспоживання підземних споживачів залізорудної шахти виконаємо за допомогою машини опорних векторів (SVM).

Чутливість енергоспоживання підземних машин та електротехнічних комплексів у залізорудній шахті відноситься до категорії змінного обсягу енергоспоживання, що викликано відхиленням значення робочого параметру від еталонного або проектного значення.

Розрахувавши часткову похідну швидкості

споживання електроенергії для кожного параметру, а потім отримання характеристики відгуку, слід проаналізувати та підтвердити чутливість кожного робочого параметру до рівнів споживання енергії.

Створимо вибіркову сукупність для дослідження у наступному вигляді:

$\overrightarrow{D_1} = \{(\overrightarrow{x_1}, z_1), (\overrightarrow{x_2}, z_2), ..., (\overrightarrow{x_i}, z_i), ...(\overrightarrow{x_n}, z_n)\}$ для підземних споживачів електроенергії параметри обсягів споживання та експлуатації: $\overrightarrow{x_i} = \{z_{i1}, z_{i2}, ...z_{ij}, ..., z_{im}\}^T$ є векторами впливу на і – й елемент даної сукупності, i=1,2…,n, n – є кількість вибірок, j=1,2…,m, m – є кількістю відповідних робочих параметрів.

Наступним кроком є встановлення функції математичного опису обсягів споживання електроенергії підземними споживачами залізорудної шахти й кожного її експлуатаційного параметру у слідуючому вигляді:

$$z = f(x) = f(x_1, x_2, ..., x_i, ..., x_n) \quad (9)$$

У даному випадку низький простір відображається у вигляді високого простору і таким чином буде уже створено лінійну регресійну модель, де на її базі буде побудована математична модель для обсягів споживання електроенергії підземними споживачами залізорудної шахти її експлуатаційних параметрів:

$$z = f(x) = \sum_{i=1}^{k} (a_i - a_i^*) k(x_i, x) + b \quad (10)$$

де a_i і a_i^* - будуть множники Лагранжа, а $k(x_i, x)$ буде функцією його ядра.

Розрахунок коефіцієнту чутливості до норми споживання обсягів підземними споживачами залізорудної шахти буде розраховано з врахуванням лінійної функції ядра згідно формули: $k(x_i, x) = x_i^T x$:

$$f(x) = \sum_{i=1}^{k} \sum_{j=1}^{m} (a_i - a_i^*) x_{ij} + b \quad (11)$$

Обчислення часткової похідної для рівняння (8) і отримуємо впливовий параметр x_j обсягів споживання електроенергії для підземних споживачів залізорудної шахти:

$$\frac{\partial_f(x)}{\partial_x} = \sum_{i=1}^{n} (a_i - a_i^*) x_{ij} \quad (12)$$

Значення параметру $\frac{\partial_f(x)}{\partial_x}$ безпосередньо вказує на коефіцієнт чутливості норми обсягів споживання підземними споживачами залізорудної шахти до параметру x_j, на основі котрого можна побудувати алгоритм до аналізу чутливості споживання електроенергії при електропостачанні підземних споживачів залізорудної шахти:

$$\Delta z = \sum_{j=1}^{m} [\sum_{i=1}^{n} [(a_i - a_i^*) x_{ij}] \Delta x_j \quad (13)$$

Ефективність методів математично – аналітичного програмування для планування спожитих та залишкових обсягів електроенергії для підземної електроенергетичної системи залізорудної шахти з урахуванням невизначеності їх точності значень і складності у реалізації є необхідною та достатньою умовою для побудови справно та без збоїв функціонуючого алгоритму.

Алгоритм керування джерелами і підземними споживачами електроенергії залізорудної шахти наведено на рисунку 4.

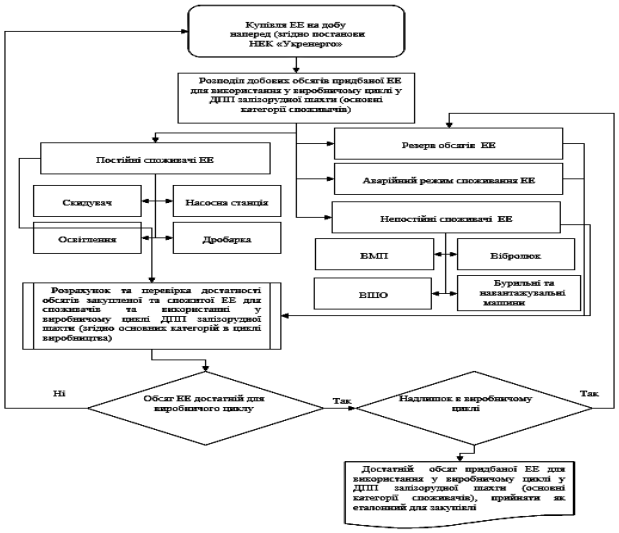

Рисунок 4. Алгоритм обчислювального процесу при застосуванні функції MapReduce

Алгоритм функціонує наступним чином:

Відбувається закупівля певних обсягів електроенергії на добу наперед з похибкою врахування ±5%, далі відбувається розподіл усіх добових обсягів придбаної електроенергії на добу наперед для виробничого циклу залізорудної шахти (постійні та непостійні), залишкові обсяги придбаної електроенергії від доби наперед у свою чергу мать розподіл на резервні, аварійні, непостійні.

До категорії постійних споживачів згідно даного алгоритму (див. рисунок 4) належать: скидувач, насосна станція, вентилятори місцевого провітрювання, дробарка.

Подальший розподіл обсягів електроенергії перекидається на непостійних споживачів, котрі включають: освітлення, вібролюк, внутрішньо шахтне обладнання, бурильні та навантажувальні машини.

Наступною дією та перевіркою у даному алгоритмі є розрахунок та перевірка обсягів закупленої та спожитої електроенергії для споживачів та використанні у виробничому циклі залізорудної шахти на добу наперед (згідно з визначеним раніше розподілом у основні категорії у циклі виробництва).

Далі накладається умовний блок з перевіркою на достатність обсягів закупленої електроенергії на добу наперед для здійснення усього виробничого циклу для залізорудної шахти (якщо відповідь "так" – увесь залишок надлишків після усіх проходжень робочого циклу на залізорудній шахті) направляємо у резервні обсяги електроенергії й переходимо до блоку відповідального за прийняття даного обсягу електроенергії (враховуючи основні категорії споживачів) за еталонний для подальших її закупівель на майбутнє, якщо "ні" – повертаємось до першого блоку для закупівлі ще обсягів на добу наперед з урахуванням раніше зазначених у даному алгоритмі раніше.

Зазначимо, що кожна ітерація даного алгоритму розглядається, як серія певної послідовності початкових рішень. Основними перевагами для даного алгоритму є: гнучкість, а також спосіб роботи, оскільки вони забезпечують кілька варіантів вирішення на користь того, щоб визначити послідовність вирішення, як це виконується у типових математичних методах.

Дані підходи дозволяють системі енергетичного менеджменту (СЕМ) приєднаної до мережі живлення залізорудної шахти, покращити її роботу з точки зору мінімізації піків та коливань в обсягах спожитої електроенергії, а також профілю потужності, що має обмін з внутрішньопідстанційною мережею.

По – перше, даний метод функціонування в алгоритмі керування енергопотоками виконує попередню обробку контрольованих операційних параметрів на основі теорії нечітких і грубих множин.

По – друге, алгоритм K – середніх покращується алгоритмом Canopy, та реалізується новий паралельний алгоритм кластеризації, має назву FMK – середніх.

Даний алгоритм дозволяє отримати еталонне значення для контрольованого експлуатаційному параметру за оптимальних умов, що тісно пов’язаний з витратою електроенергії у залізорудній шахті.

Слід ураховувати, що даний метод враховує чутливість кожного параметру до споживання електроенергії при різних робочих навантаженнях у залізорудній шахті на основі векторної технології.

Практична реалізація роботи даного алгоритму представлена на рис. 5

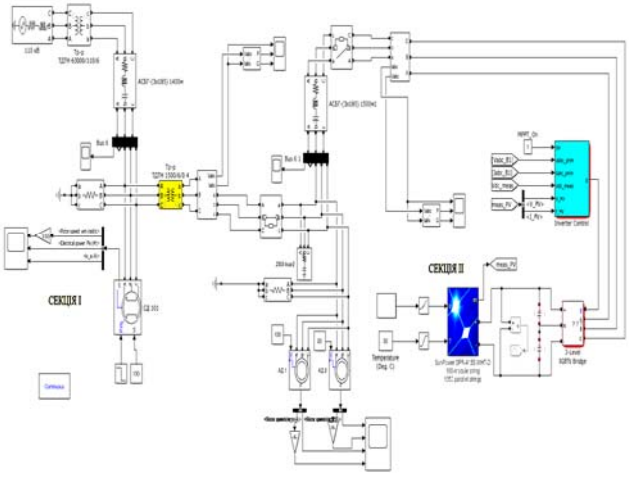

Рисунок 5. Модель керування енергопотоками залізорудної шахти з мінімізацією рівнів споживання електроенергії підземними споживачами

Осцилограми відпрацювання автоматизованої моделі залізорудної шахти з мінімізацією рівнів споживання електроенергії підземними споживачами дивись рис. 6–8.

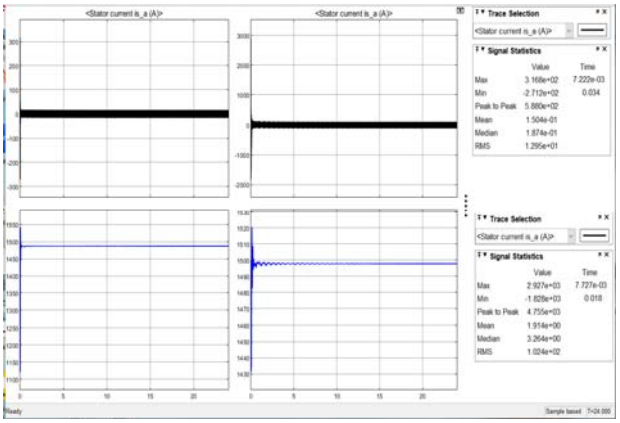

Рисунок 6. Графіки керування електроенергопотоками з урахуванням підвищеної ефективності функціонування енергосистеми залізорудної шахти і її підземних споживачів

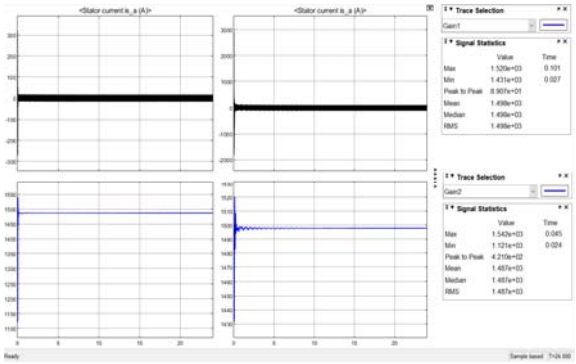

Рисунок 7. Графіки енергетичних параметрів від схеми живлення залізорудних споживачів і її підземних споживачів з врахуванням алгоритму мінімізації рівнів споживання

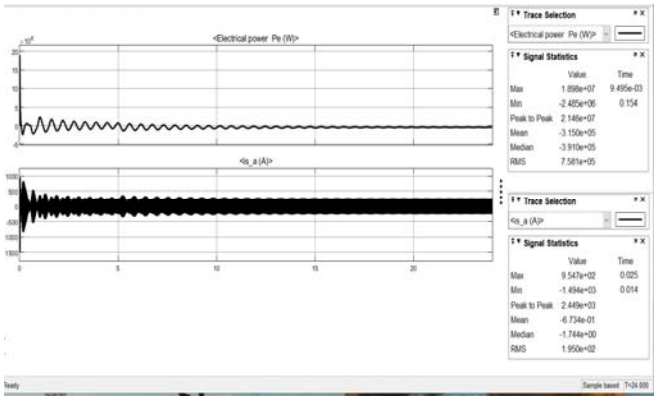

Рисунок 8. Графіки роботи шахтної мережі з урахуванням алгоритму мінімізації споживання енергії її підземними споживачами

У результаті проведення моделювання при застосуванні нового підходу у реалізації алгоритму керування електроенергопотоками при споживанні електроенергії у електроенергетичній системі залізорудної шахти з її підземними споживачами значення обсягів її споживання виявились вищими на 0,5%, що знаходиться у межах допустимої похибки при застосуванні апаратних засобів моделювання на кшталт Matlab Simulink. Даний крок надає рекомендаційні поради, стосовно оптимізації та налагодження енергоблоків електричних споживачів у залізорудній шахті [4] – [19].

ВИСНОВКИ

У роботі детально розглянуто та описано методологію реалізації алгоритму мінімізації рівнів споживання електроенергії у підземних споживачів залізорудної шахти, в основу якого покладено реалізацію алгоритму Canopy з функцією QuikReduct, розподілення на класи за допомогою методу K – середніх та їхньої реалізації у базисній платформа Hadoop.

Чутливість енергоспоживання машин та електротехнічних комплексах у залізорудній шахті відноситься до категорії змінного обсягу електроенергії, що викликане відхиленням значення робочого параметру від еталонного або проектного значення.

Виконано побудову практичного функціонування алгоритму для керування джерелами і мінімізацією обсягів споживання електроенергії підземними споживачами залізорудної шахти.

Розглянуто методологію роботи автоматизованої моделі залізорудної шахти з мінімізацією її рівнів споживання у підземних споживачах.

Основними перевагами для даного алгоритму є: гнучкість, а також спосіб роботи, оскільки він забезпечує кілька варіантів вирішення на користь, визначення послідовності вирішення, як це виконується у типових математичних методах.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

[1] Олійник Ю.С. (2016). Управління енергозбереженням та енергоспоживанням на промислових та господарських підприємствах. *Research gate*, 1, 88-89.

[2] Кійко, С.Г., Дружинін, Є.А., Прохоров, В.О. (2020). Модель планування енергоспоживання металургійного підприємства. *Системи управління, навігації та зв'язку*, 1, 59, 27-32. doi: 10.26906/SUNZ.2020.1.027.

[3] Сінчук, О.М., Купін А.І., Сінчук І.О., Барановська М.Л., Будніков К.І. До розробки алгоритму енергоефективного керування електроенергетичним комплексом з розділеною генерацією електричної енергії в умовах залізорудних шахт, 2021. *Вісник Криворізького національного університету*, 53, с. 118-126, doi: 10.31721/2306-5451-2021-1-53-118-126.

[4] Соловей О.І., Ситник О.О., Розен В.П. та ін. Техніко – економічні розрахунки систем електропостачання промислових підприємств. 2012,Черкаси. ЧДТУ, 251.

[5] Журахівський А.В., Жежеленко І.В. Оптимізація електроенергетичних систем. 2000, Львів, Маріуполь. Видавництво Приазовського державного технічного університету ISSN 1997-9266, 109.

[6] Boyd, J (2013). An internet – inspired electricity Grid. *Spectrum IEEE,* 1, 12-13.

[7] Huang, A., Heydt G., Dale, S., & Crow M. (2008). Energy internet – future renewable electric delivery and management (FREEDM) systems. *IEEE Power Electronics Society News letter,* 4, 8-9.

[8] Denysiuk, S., Sokolovskyi, P. (2018). Analysis of the variable generation function on the step of transition to intellectual networks Smart Grid. *Electrification of transport,* 15, 31-42.

[9] Denysiuk S., Tarhonskyi V., Artemiev M. (2018). Local electrical energy systems with active consumer: methods of consumption and algorithm of their functioning. *Power engineering: economics, technique, ecology,* 3, 7-22.

[10] Strzelecki R., Benysek G. 2010. Power Electronics in Smart Electrical Energy Networks. *Springer,* 414.

[11] Fu, P., Wang, N.L., Wang, L.G., Morosuk, T., Tsatsaronic, G.B. (2016). Performance degradation diagnosis of thermal power plants: A method bases on advanced exergy analysis.*Energy Convers Management,* 130, 219-229. CrossRef.

[12] Arora, P., Varshney, S. (2016). Analysis of K – Means and K – Medoids algorithm for big data. *Procedia Computer Sciencce,* 78, 507-512. CrossRef.

[13] Gerhard, Z., Usman, H., Max, B., & Thomas, L. (2015). Sanitation and analysis of operation data in energy systems. *Energies,* 8, 12776-12794.

[14] Hadayeghparast, S., Soltani Nejad, Farsangi, A., & Shayanfar, H. (2019). Day – ahead stochastic multi – objective economic/emission operational scheduling of a large scale virtual power plant. *Energy,* 172,

630-646.

[15] Lukovic, S., Kaitovic, I., Bondi, U. (2015). Adopting system engineering methodology to virtual power systems design flow. *Faculty of Informatics - University of Lugano,* 4, 1-8.

[16] Quian, J., Wang , P.H., Li, L. (2007). Application of clustering algorithm in target – value analysis for boiler operating parameter. *Proceeding CSEE,* 27, 71-74.

[17] Brand, E.L., Vosloo, V., Mathnews E. (2015). Automated energy efficiency – syproject identification in the gold mining industry. *Proceeding of the 13th Conference on the Industrial and Commercial use of Energy,* 17-22. DOI: 10.1109/ICUE.2015.7280241.

[18] Thillainathan, L., Dipti, S., Vanessa, K.W. (2014). Demand side management of smart grid: Load shifting and incentives. *Journal of Renewable and Sustainable Energy,* 6 (03), 31-36.

[19] Moslem, U., Mohd F.R., Syahirah A.H. & Tan, C.K. (2018). A review on peak load shaving strategies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* 82, 3323-3332.

Стаття надійшла до редакції 11.04.2024

IMPLEMENTATION OF ENERGY FLOW CONTROL OF UNDERGROUND CONSUMERS IN AN IRON ORE MINE

VLASYUK V.P. postgraduate student, Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, Ukraine

Purpose. *To enhance the capabilities of the power flow control algorithm to minimize the level of electricity consumption in the electric power system of an iron ore mine, this includes underground consumers.*

Methodology. *The research was conducted using the following methods: fuzzy attribute reduction of a coarse set, attribute reduction by QuickReduct, K-means, and the Hadoop platform.*

Findings. *The article considers and describes the methodology for implementing an algorithm for minimizing the levels of electricity consumption for underground consumers of an iron ore mine. An algorithm implementation of the Kanopy algorithm using the fast calculation function has been developed and improved.*

Classification using the K-means method and its implementation in the basic Hadoop platform was carried out. An efficiently functioning and improved algorithm for source control has been built to minimize the volume of electricity consumption in underground consumers of an iron ore mine. The key advantage of this algorithm for practical application is its flexibility in operation: it provides several solution options, unlike typical mathematical methods, where only one solution option is offered to determine the sequence of solving the tasks and problems. This algorithm will allow its use with multiple methods for calculating key energy parameters, which will help reduce the excessive amount of data for calculating volumes given the uncertainty of energy consumption by underground consumers and avoid unnecessary calculation operations in a branched data structure with several solutions with a clear systematization.

Originality. *The paper improves the practical implementation of the functioning algorithm, which allows increasing the accuracy and efficiency of calculations by eliminating excessive levels of power consumption by underground consumers of an iron ore mine.*

Practical value. *This research should be applied to the preventive assessment and analysis of the calculated volumes for reducing power consumption levels and their systematization using methods with a branched data structure for underground consumers of an iron ore mine. Two possible ways of further development and improvement of the state of energy and power equipment at mining enterprises (especially at an iron ore mine) are outlined.*

Keywords: *Canopy algorithm, Hadoop platform, energy flow management, underground consumers, smart grid, iron ore mine.*

REFERENCES

[1] Olijnik Ju.S. (2016). Upravlinnja energozberezhennjam ta energospozhivannjam na promislovih ta gospodars'kih pidpriємstvah. Research gate, 1, 88-89. UDK 621.311.

[2] Kijko, S.G., Druzhinin, Є.A., Prohorov, V.O. (2020). Model' planuvannja energospozhivannja metalurgijnogo pidpriємstva. Sistemi upravlinnja, navigaciї ta zv'jazku, 1, 59, 27-32. doi: 10.26906/SUNZ.2020.1.027.

[3] Sinchuk, O.M., Kupin A.I., Sinchuk I.O., Baranovs'ka M.L., Budnikov K.I. Do rozrobki algoritmu energoefektivnogo keruvannja elektroenergetichnim kompleksom z rozdilenoju generacієju elektrichnoї energiї v umovah zalizorudnih shaht, 2021. Visnik Krivoriz'kogo nacional'nogo universitetu, 53, s. 118-126, doi: 10.31721/2306-5451-2021-1-53-118-126.

[4] Solovej O.I., Sitnik O.O., Rozen V.P. ta in. Tehniko – ekonomichni rozrahunki sistem elektropostachannja promislovih pidpriємstv. 2012,Cherkasi. ChDTU, 251.

[5] Zhurahivs'kij A.V., Zhezhelenko I.V. Optimizacija elektroenergetichnih sistem. 2000, L'viv, Mariupol'. Vidavnictvo Priazovs'kogo derzhavnogo tehnichnogo universitetu ISSN 1997-9266, 109.

[6] Boyd, J (2013). An internet – inspired electricity Grid. *Spectrum IEEE,* 1, 12-13.

[7] Huang, A., Heydt G., Dale, S., & Crow M. (2008). Energy internet – future renewable electric delivery and management (FREEDM) systems. *IEEE Power Electronics Society News letter,* 4, 8-9.

[8] Denysiuk, S., Sokolovskyi, P. (2018). Analysis of the variable generation function on the step of transition to intellectual networks Smart Grid. *Electrification of transport,* 15, 31-42.

[9] Denysiuk S., Tarhonskyi V., Artemiev M. (2018). Local electrical energy systems with active consumer: methods of consumption and algorithm of their functioning. *Power engineering: economics, technique, ecology,* 3, 7-22.

[10] Strzelecki R., Benysek G. 2010. Power Electronics in Smart Electrical Energy Networks. *Springer,* 414.

[11] Fu, P., Wang, N.L., Wang, L.G., Morosuk, T., Tsatsaronic, G.B. (2016). Performance degradation diagnosis of thermal power plants: A method bases on advanced exergy analysis.*Energy Convers Management,* 130, 219-229. CrossRef.

[12] Arora, P., Varshney, S. (2016). Analysis of K – Means and K – Medoids algorithm for big data. *Procedia Computer Sciencce,* 78, 507-512. CrossRef.

[13] Gerhard, Z., Usman, H., Max, B., & Thomas, L. (2015). Sanitation and analysis of operation data in energy systems. *Energies,* 8, 12776-12794.

[14] Hadayeghparast, S., Soltani Nejad, Farsangi, A., & Shayanfar, H. (2019). Day – ahead stochastic multi – objective economic/emission operational scheduling of a large scale virtual power plant. *Energy,* 172, 630-646.

[15] Lukovic, S., Kaitovic, I., Bondi, U. (2015). Adopting system engineering methodology to virtual power systems design flow. *Faculty of Informatics - University of Lugano,* 4, 1-8.

[16] Quian, J., Wang , P.H., Li, L. (2007). Application of clustering algorithm in target – value analysis for boiler operating parameter. *Proceeding CSEE,* 27, 71-74.

[17] Brand, E.L., Vosloo, V., Mathnews E. (2015). Automated energy efficiency – syproject identification in the gold mining industry. *Proceeding of the 13th Conference on the Industrial and Commercial use of Energy,* 17-22. DOI: 10.1109/ICUE.2015.7280241.

[18] Thillainathan, L., Dipti, S., Vanessa, K.W. (2014). Demand side management of smart grid: Load shifting and incentives. *Journal of Renewable and Sustainable Energy,* 6 (03), 31-36.

[19] Moslem, U., Mohd F.R., Syahirah A.H. & Tan, C.K. (2018). A review on peak load shaving strategies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* 82, 3323-3332.