

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В умовах сьогодення енергетична безпека України значною мірою залежить від ефективності розробки енергетичних ресурсів власних родовищ. Вугілля для України є одним з основних енергоносіїв, який до того ж можливо видобувати у необхідній для внутрішніх потреб кількості. Разом з тим багато вугільних шахт внаслідок різних причин працюють неефективно.

Основними чинниками, що впливають на ефективність функціонування гірничо-видобувних підприємств, є: застарілість основних фондів, завищення номінальних параметрів обладнання електричних мереж; відсутність інформаційного супроводу експлуатації електроустаткування систем підземного електропостачання (СПЕП) шахт. Наведені фактори є особливо актуальними для парку пересувних дільничних підземних підстанцій (ПДПП), складові якого за строком експлуатації значно перевищують регламентований і є застарілими. Це прямо вказує на неефективне використання їх ресурсу за таким параметром, як навантажувальна здатність і суттєве завищення номінальної потужності трансформаторів. Проте, закладений за рахунок такого завищення надмірний запас надійності жодним чином не виправдовує себе через відсутність інформаційного забезпечення режимів експлуатації ПДПП, що не дозволяє обґрунтовано визначати відпрацьований та залишковий ресурс їх роботи.

Виходячи з наведеного, існує гостра необхідність проведення комплексних наукових досліджень, спрямованих на розкриття причин перевищення встановлених для трансформаторних підстанцій строків експлуатації.

Таким чином, **наукова задача** дисертаційної роботи полягає у підвищенні ефективності експлуатації вибухобезпечних підстанцій шляхом встановлення закономірностей комплексного впливу факторів оточуючого середовища, нестационарного навантаження, технічних обмежень і технологічних особливостей роботи струмоприймачів (СП) основних дільниць на використання навантажувальної здатності та відпрацювання ресурсу їх трансформаторів в умовах вугільних шахт. Поставлена задача є актуальною і потребує вирішення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження за темою дисертації виконано відповідно до планів науково-дослідних робіт Державного ВНЗ «Національний гірничий університет»: «Розробка ресурсо- і енергозберігаючих технологій та устаткування підприємств гірничо-металургійного і паливно-енергетичного комплексу України» (держреєстраційний № 0109U002809), «Створення новітніх систем енергозабезпечення, поглибленого моніторингу та контролю енергоефективності гірничих машин і комплексів вугільних шахт» (держреєстраційний № 0112U000873).

Мета і задачі досліджень. Основна мета досліджень полягає у забезпеченні ресурсо- та енергозбереження шляхом підвищення ефективності

використання навантажувальної здатності вибухобезпечних пересувних підстанцій основних технологічних дільниць вугільних шахт.

Для досягнення мети поставлено і вирішено наступні **задачі дослідження:**

- дослідити режими роботи і виявити причини перевищення строків експлуатації трансформаторних підстанцій підземної системи електропостачання;

- визначити умови вилучення та ефективного використання резервів потужності трансформаторів ПДПП;

- дослідити та встановити закономірність впливу факторів оточуючого середовища у місці встановлення підстанції на навантажувальну здатність трансформатора;

- обґрунтувати необхідність моніторингу режимів роботи пересувних вибухобезпечних підстанцій, встановити показники та вимоги щодо його виконання;

- удосконалити математичну модель визначення теплового стану обмоток сухого трансформатора при різкозмінному навантаженні в оперативному режимі;

- розробити технологію визначення оптимально доцільної потужності трансформаторів основних гірничих дільниць та обґрунтувати склад вихідної інформації для її реалізації;

Об'єктом дослідження виступають режими навантаження вибухобезпечних трансформаторних підстанцій основних технологічних дільниць вугільних шахт.

Предметом дослідження є закономірності впливу параметрів режимів навантаження ПДПП та кліматичних факторів на навантажувальну здатність та ресурс їх роботи.

Методи дослідження. Для вирішення наукових задач використано: елементи теорії ймовірності та математичної статистики – при аналізі вибірок графіків електричних навантажень; методи теорії техноценозів – для визначення закономірностей рангових та видових розподілів параметрів обладнання; математичне моделювання – при удосконаленні математичної моделі визначення теплового стану обмоток сухого трансформатора та встановлення закономірності впливу факторів оточуючого середовища вугільних шахт на навантажувальну здатність підстанцій.

Основні наукові положення та результати, їх новизна

Наукові положення:

1. Допустиме завантаження трансформаторів вибухобезпечних підстанцій вугільних шахт лінійно залежить від температури оточуючого середовища та є показниковою функцією від швидкості повітряного струменю в місці їх установки.

2. Парк дільничних підстанцій вугільних шахт Західного Донбасу представляє собою техноценоз, видова структура якого відповідає оптимальній, проте за встановленою потужністю трансформаторів не є такою внаслідок неможливості вилучення існуючого резерву трансформаторної потужності через технічні обмеження за якістю електроенергії при напрузі 660 В, що

вимагає впровадження більш високого рівня напруги для електропостачання гірничих комплексів з метою забезпечення структурних змін парку підстанцій і підвищення ефективності використання його складових.

Наукові результати дослідження:

1. Уперше встановлено універсальну залежність допустимого завантаження вибухобезпечної підстанції від умов шахтного середовища – температури і швидкості повітряного струменя у виробці, що надає можливість підвищити ефективність використання підстанцій за їх навантажувальною здатністю.

2. Запропоновано математичну модель визначення теплового стану та відпрацьованого ресурсу обмоток вибухобезпечної підстанції, яка, на відміну від існуючих, в оперативному режимі враховує реальний різкозмінний графік навантаження, вплив факторів оточуючого середовища та зміну омичного опору обмоток від їх поточної температури.

3. Доведено, що через різноманіття гірничотехнічних умов різних родовищ корисних копалин неможливо використовувати єдину розрахункову модель визначення навантажень для вибору потужності ПДПП. Тому для реалізації ефективної технології експлуатації вибухобезпечного устаткування запропоновано алгоритм оперативного моніторингу, що дозволить виконувати перетворення статичних розрахункових моделей навантажень в адаптивні відповідно до конкретних умов експлуатації устаткування.

4. Встановлено, що своєчасна заміна підстанції застарілої серії більш сучасною аналогічної потужності є доцільною, а економічний ефект збільшується при наближенні завантаження трансформатора до номінального та зростанні числа годин використання максимального навантаження (T_M) за умови додатної різниці втрат потужності в обмотках існуючого та встановлюваного трансформатора; у випадку встановлення ПДПП меншої потужності, зростання завантаження існуючого трансформатора та значення T_M призводить до зменшення економічного ефекту від заміни підстанцій, якщо відношення втрат потужності в обмотках базової та встановлюваної ПДПП є меншим квадрату кроку дискретизації їх номенклатурної шкали.

5. Встановлено, що ефективним заходом, який надає можливість використовувати резерви ПДПП за навантажувальною здатністю й одночасно дозволяє забезпечити необхідні режимні параметри для СП гірничих ділянок, є переведення їх на більш високий рівень напруги, тобто 1140 В.

Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, запропонованих у роботі, підтверджується: коректністю допущень і початкових умов, прийнятих у математичних моделях, їх відповідністю завданням моделювання та умовам експлуатації вибухобезпечних підстанцій; результатами зіставлення теоретичних і експериментальних досліджень; позитивним досвідом впровадження результатів роботи.

Практичне значення одержаних результатів полягає в наступному:

1. Алгоритм оперативного визначення поточного стану вибухобезпечних підстанцій, що базується на використанні математичної моделі оцінки теплового режиму та відпрацьованого ресурсу їх трансформаторів, нові залежності навантажувальної здатності ПДПП від кліматичних факторів (температури і швидкості повітря в гірничих виробках) створюють модельне й інформаційне забезпечення технології підвищення ефективності експлуатації підстанцій.

2. Положення щодо складності вилучення наявних резервів потужності трансформаторів для СПЕП дільничних мереж напругою 660 В і умов Західного Донбасу та обмеження використання навантажувальної здатності основного устаткування підземних електричних мереж є додатковим аргументом на користь переведення потужних гірничих комплексів на більш високу номінальну напругу.

3. Запропоновані принципи інформатизації процесу експлуатації підстанцій дозволяють підвищити технічний рівень їх обслуговування, надійності та безпеки; провести дослідження адекватності існуючої методики вибору потужності ПДПП і внести обґрунтовані рекомендації з перетворення статичних моделей розрахунку електричних навантажень в адаптивні у відповідності до конкретних умов експлуатації.

Результати дисертаційної роботи у вигляді математичної моделі оцінки впливу факторів оточуючого середовища на навантажувальну здатність трансформаторів вибухобезпечних підстанцій впроваджено у ДП «УкрНДІВЕ» (розробник) для використання при виборі потужності ПДПП та при розробці рекомендацій з експлуатації даного обладнання в специфічних умовах оточуючого середовища. Результати проведених досліджень можуть бути використані у якості математичного та модельного забезпечення об'єктно-орієнтованої підсистеми, як складової будь-якої системи енергомоніторингу й управління електропостачанням гірничих машин і установок.

Особистий внесок здобувача полягає у формулюванні мети та основних завдань досліджень, зборі, обробці та аналізі інформації щодо режимів роботи вибухобезпечних підстанцій основних технологічних дільниць, розробці математичної моделі оцінки впливу факторів оточуючого середовища на навантажувальну здатність трансформаторів, удосконаленні та адаптації математичної моделі розрахунку їх поточного теплового стану в оперативному режимі, що, в цілому, дозволило вирішити науково–практичну задачу підвищення ефективності використання вибухобезпечних підстанцій за навантажувальною здатністю в умовах вугільних шахт.

Апробація результатів дисертації. Основні матеріали і результати, отримані в дисертаційній роботі, доповідались і були схвалені на науково-технічних конференціях: Перша науково-технічна конференція студентів, аспірантів і молодих учених НГУ «Наукова весна – 2010» (м. Дніпропетровськ, 2010 р.); Міжнародна конференція «Форум гірників – 2011» (м. Дніпропетровськ, 2011 р.); Четверта науково-технічна конференція студентів, аспірантів і молодих учених НГУ «Наукова весна – 2013» (м.

Дніпропетровськ, 2013 р.); Міжнародна науково-технічна конференція викладачів, аспірантів і студентів «Сучасні проблеми систем електропостачання промислових та побутових об'єктів» (м. Донецьк, 2013 р.); Перша науково-технічна конференції студентів, аспірантів і молодих учених «Молодь: наука та інновації» (м. Дніпропетровськ, 2013 р.).

Публікації. Основні положення і результати роботи опубліковані у 12 друкованих працях, з них: 7 – статті у фахових виданнях (з них 2 – у виданнях, які включено до міжнародної наукометричної бази Scopus), 5 – матеріали наукових конференцій.

Структура й обсяг дисертації. Дисертація складається з: вступу, п'яти розділів, висновків, списку літературних джерел з 71 найменувань на 8 сторінках, додатку на 1 сторінці. Загальний обсяг дисертації – 162 сторінок, з яких: основний текст – 139 стор., рисунків – 26 (з них 3 – на 3 повних сторінках), таблиць – 35 (з них 3 – на 3 повних сторінках).

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету, основні наукові та практичні задачі дослідження, визначено об'єкт і предмет дослідження. Викладено наукові положення, що виносяться на захист, сформульовано наукові результати та практичну цінність роботи. Показано рівень апробації результатів роботи, кількість публікацій за темою й особистий внесок автора.

У першому розділі проаналізовано використання ПДПП в умовах вугільних шахт. Виконано оцінку технічного оснащення шахтного електрообладнання на предмет організації контролю електроспоживання та режимів роботи підземних струмоприймачів. Розглянуто існуючі методи та моделі на предмет можливості їх застосування для оцінки й контролю фактичних режимів роботи і поточного стану вибухобезпечних підстанцій.

Встановлено, що строки експлуатації ПДПП для шахт Західного Донбасу значно перевищують регламентовані (15 років), що вказує на неефективне використання їх ресурсу за навантажувальною здатністю. Невідповідність закладених параметрів реальним показникам, що спостерігаються в експлуатації, викликається недостатнім врахуванням факторів, які мають безпосередній вплив на процес відпрацювання ресурсу обладнанням. До таких факторів слід віднести наступні: режим роботи трансформатора за навантаженням (добовий графік, тривалість та значення перевантажень, завантаження за реактивною потужністю), температура обмоток, умови оточуючого середовища в місці встановлення підстанції. Відсутність інформаційного забезпечення процесів експлуатації не дозволяє обґрунтовано визначати відпрацьований та ймовірний залишковий ресурс роботи ПДПП, що диктує необхідність ведення моніторингу режимів роботи об'єкту за навантаженням.

Дослідженню експлуатаційних і теплових режимів роботи ПДПП в умовах вугільних шахт присвячені наукові праці видатних вчених та розробників даного виду обладнання: Ю. І. Герасимова, Г. Б. Фрідмана, А. Н. Селіщева,

Е. П. Михайленка, А. І. Плетньова, Р. Г. Беккера, В. В. Шилова, В. М. Грушка, І. Я. Чернова, О. П. Ковальова, В. Т. Заїки, К. М. Маренича, М. О. Нагорного, Є. А. Сороки.

Опис теплових моделей силових сухих трансформаторів, що зустрічається в літературі, досить спрощений або ж навпаки такий, що вимагає наявності значного обсягу важкодоступних специфічних вихідних даних.

Аналіз існуючих моделей з розрахунку теплового режиму роботи шахтних трансформаторів дозволив встановити наступне:

- відсутня можливість оцінки теплового стану конструктивних елементів підстанції при нестационарному графіку навантаження в режимі реального часу;
- прийняті допущення і початкові умови недостатньо обґрунтовані;
- не враховується вплив факторів оточуючого середовища в місці установки підстанції на температурний режим роботи підстанції, що має негативний вплив на точність розрахунку за існуючими методиками.

Для усунення вказаних недоліків існує потреба у проведенні комплексного дослідження та обґрунтуванні заходів щодо вилучення наявних резервів потужності трансформаторів ПДПП й ефективного використання їх навантажувальної здатності у процесі експлуатації з метою уникнення суттєвого недовантаження та надмірного необґрунтованого терміну служби.

Одним з підходів до вирішення проблеми ефективної та безпечної експлуатації даного обладнання є застосування методів і технологій аналізу його поточного стану, що повинні базуватись на відповідному математичному і технічному забезпеченні. Для ПДПП на сьогодні такі технології відсутні, тому їх розробка є актуальною.

У другому розділі виконано дослідження рівня завантаження вибухобезпечних підстанцій основних технологічних дільниць, проаналізовано фактори впливу на ефективність використання навантажувальної здатності ПДПП та обґрунтовано умови і шляхи вилучення існуючих резервів потужності трансформаторів.

Встановлено, що для режимів роботи ПДПП характерно дуже низьке завантаження їх трансформаторів. Доведено, що для більшості досліджених підстанцій в аналогічних умовах за завантаженням доцільно встановити ПДПП на ступінь меншої потужності або використовувати меншу їх кількість.

На рисунку 1 наведено гістограму зміни ймовірності завантаження ПДПП суміжних типорозмірів за рівнями для видобувної дільниці. При застосуванні ПДПП меншого типорозміру обладнання використовується у більшій відповідності до своїх номінально встановлених параметрів, проте при експлуатації матимуть місце режими систематичних перевантажень, що вимагає вивчення можливостей ізоляції трансформаторів витримувати їх без зменшення номінального строку служби при досить змінному графіку навантаження СП технологічних дільниць.

Вагомою причиною недовикористання навантажувальної здатності трансформаторів є значні похибки з визначення розрахункового навантаження дільниць за методом коефіцієнту попиту.

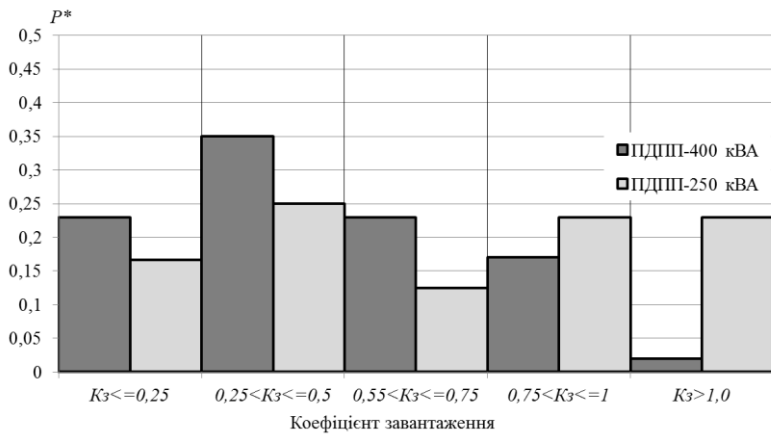


Рис. 1. Зміна ймовірності завантаження для підстанцій суміжних типорозмірів видобувної дільниці за рівнями для найбільш завантаженої доби:
 ■ – ПДПП – 400 кВ·А;
 □ – ПДПП – 250 кВ·А

Експериментально-розрахунковим методом отримано закономірність комплексного впливу факторів оточуючого середовища, а саме температури і швидкості повітряного струменю у місці встановлення вибухобезпечної підстанції, на навантажувальну здатність її трансформатора у вигляді математичної моделі наступного вигляду:

$$K_{з.доп} = -0,005 \cdot T_{ос.реал} + 1,187 \cdot 1,08^{V_{стр}}, \quad (1)$$

де $T_{ос.реал.}$, $V_{стр}$ – фактичні значення відповідно температури і швидкості повітряного струменю в місці встановлення підстанції.

Встановлено, що перехід на ПДПП з трансформаторами меншої на ступінь потужності може стати критичним для комбайнових та конвеєрних двигунів у пусковому та перевантажувальному режимах за рівнем напруги на їх затискачах. Проведені розрахунки режиму напруги для системи електропостачання напругою 660 В і гірничотехнічних умов Західного Донбасу показали складність вилучення наявних резервів навантажувальної здатності трансформаторів, так як при використанні ПДПП меншого типорозміру не забезпечуються необхідні рівні напруги у пусковому та перевантажувальному режимах для двигунів потужних СП дільниць (рис. 2,а). Застосування більш високого рівня напруги, наприклад 1140 В, надає можливість використати резерви навантажувальної здатності підстанцій та забезпечити вимоги за рівнями напруги у СП (рис. 2,б).

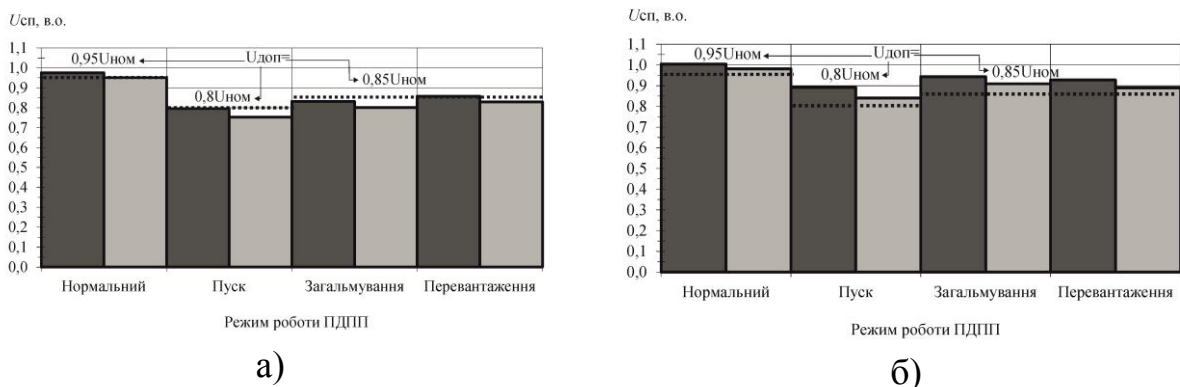


Рис. 2. Рівні напруги на затискачах двигуна комбайна для ПДПП суміжних типорозмірів у характерних режимах роботи при:

а) $U_{ном} = 660$ В; б) $U_{ном} = 1140$ В; ■ – ПДПП-400/6; □ – ПДПП-250/6; ... – $U_{доп}$

У третьому розділі удосконалено та адаптовано до вибухобезпечних підстанцій математичну модель оцінки відпрацювання ресурсу ізоляції обмоток їх трансформаторів в оперативному режимі, розроблено алгоритм моніторингу режиму роботи ПДПП.

Контроль відпрацьованого ресурсу трансформатора запропоновано проводити за поточним фактичним його завантаженням. Для цього удосконалено математичну модель розрахунку температурного стану найбільш нагрітої точки (ННТ) обмоток трансформатора та відповідного зносу їх ізоляції в режимі реального часу непрямим методом за поточним різкозмінним навантаженням, яке є характерним для СП підстанцій технологічних дільниць. Експериментально-розрахунковим шляхом для підстанцій типу КТПВ встановлено залежності:

- перевищення температури найбільш нагрітої точки обмотки над температурою корпусу;
- перевищення температури корпусу в найбільш нагрітому місці над температурою охолоджуючого середовища.

Запропонована модель враховує такі фізичні процеси, як: зміна «навантажувальних» втрат потужності в обмотках залежно від поточного значення їх середньої температури при нестационарному навантаженні, вплив факторів оточуючого середовища в місці установки підстанції.

Модельний опис нагріву обмоток в нестационарному режимі навантаження базується на переліку доступних вихідних даних: типорозмір підстанції; постійна часу нагріву трансформатора τ , год; паспортні втрати потужності в режимі холостого ходу ΔP_{xx} і короткого замикання $\Delta P_{кз}$, кВт; $T_{oc,real}$ та $V_{стп}$ у місці установки підстанції; поточне навантаження трансформатора.

За виразом (1) розраховується $K_{з,дон}$.

Фактичний коефіцієнт завантаження, враховуючи вплив факторів оточуючого середовища:

$$K_{з,факт} = K_{з,i} / K_{з,дон},$$

де $K_{з,i}$ – поточний коефіцієнт завантаження трансформатора.

Розрахунок температури ННТ обмотки за вихідними даними:

- визначаються експоненційні коефіцієнти кожного інтервалу навантаження

$$A_i = e^{t_i/\tau}$$

- розраховується перевищення температури корпусу в найбільш нагрітому місці над температурою оточуючого середовища:

$$\theta_{K_{iy}} = \theta_{K_{(ном)}} \left(\frac{1 + b \cdot \xi_{i-1} \cdot K_{з,факт}^2}{1 + b} \right)^m,$$

де $\xi = 1 + 0,00393 \cdot (K_{тср} \cdot \mathcal{G}_{i-1} - 115)$ – коефіцієнт зміни омичного опору обмоток для розрахункової температури; $\theta_{K_{(ном)}}$ – перевищення температури корпусу в найбільш нагрітому місці при номінальному навантаженні (визначається за

експериментальними даними досліджень теплових полів підстанцій для граничних умов по нагрівостійкості застосованого класу ізоляції);

m – показник степеню сумарних втрат при розрахунку перевищення температури корпусу в найбільш нагрітому місці;

- визначається перевищення температури корпусу в найбільш нагрітому місці над температурою оточуючого повітря в кінці кожного i -го інтервалу:

$$\theta'_{\kappa_i} = \frac{1}{A_i} \left(\theta_0 + \sum_{i=1}^x \theta_{\kappa_{iy}} (A_i - A_{i-1}) \right),$$

де $\theta_0 = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$ – початкове перевищення температури трансформатора над температурою оточуючого середовища;

- розраховується перевищення температури обмотки над температурою корпусу в найбільш нагрітому місці:

$$\Delta\theta_{обi} = \Delta\theta_{об(ном)} (K_i^2 \cdot \xi_{i-1})^n,$$

де n – показник степеню коефіцієнта завантаження при розрахунку перевищення температури обмотки; $\Delta\theta_{об(ном)}$ – перевищення температури ННТ обмотки над температурою корпусу при номінальному навантаженні (за експериментальними дослідженнями);

- перевищення температури обмотки в ННТ над температурою оточуючого середовища при коефіцієнті завантаження $K_{з.факт}$:

$$\theta_{обi} = \theta_{\kappa_{iy}} + \Delta\theta_{обi};$$

- визначається температура обмотки трансформатора:

$$\mathcal{G}_{обi} = \theta_{обi} + \mathcal{G}_{ос.ТУ},$$

де $\mathcal{G}_{ос.ТУ}$ - температура оточуючого середовища, згідно технічних умов, $^\circ\text{C}$;

- розраховується значення відносного (L) та добового (H) зносу ізоляції:

$$L_i = 2^{(\mathcal{G}_{об.i} - \mathcal{G}_n) / \Delta},$$

$$H = \sum_{i=1}^{576} L_i \cdot \Delta t$$

де Δ – постійна, що приймається рівною 10°C ; $\Delta t = 2,5$ хв.

Реалізація запропонованого підходу є можливою за наявності інформації про поточне навантаження трансформатора в оперативному режимі, що потребує застосування мікроконтролерного блоку, встановленого всередину підстанції.

Розроблений алгоритм моніторингу стану ПДПП за поточним навантаженням приведено на рисунку 3. Інформатизація процесів експлуатації підстанцій та створення відповідної бази даних за режимами їх роботи додатково дозволять провести дослідження адекватності існуючої методики розрахунку електричних навантажень для вугільних шахт і внести обґрунтовані рекомендації з її коригування у відповідності до конкретних умов експлуатації.

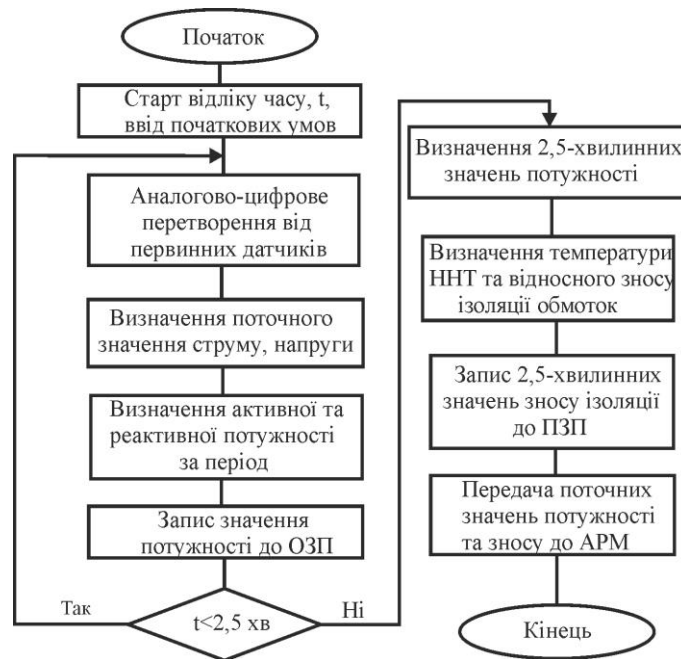


Рис. 3. Алгоритм оцінки поточного стану ПДПП

У четвертому розділі проаналізовано існуючу структуру парку ПДПП з точки зору теорії оптимальної побудови техноценозів, а також обґрунтовано технологічний підхід до оцінки очікуваного навантаження пересувних дільничних підземних підстанцій для підвищення ефективності їх використання за навантажувальною здатністю.

Обґрунтовано, що парк ПДПП вугільної шахти утворює техноценоз, оскільки його особини (окремі ПДПП) мають слабкі зв'язки, а взаємопов'язаність техноценозу визначається кінцевою метою – забезпеченням електричною енергією технологічних дільниць шахти і стійкої роботи системи електропостачання.

Ранговий аналіз техноценозу «Парк ПДПП» вугільної шахти з використанням техноценологічного підходу дозволив оцінити структуру і стан виділеного ценозу та вказати заходи щодо забезпечення його сталого функціонування. У таблиці 1 приведено дані щодо парку підстанцій для типової шахти Західного Донбасу.

Відповідно до першої процедури оптимізації, найкращий стан техноценозу визначається виразом (2):

$$0,5 \leq \beta \leq 1,5, \quad (2)$$

де β – показник ступеню апроксимуючої кривої рангового видового розподілу.

Таблиця 1 – Табличний ранговий розподіл техноценозу

Ранг	Вид ПДПП	Кількість особин, N_{oc}	Видоутворюючий параметр, $S_{ном.т}$, кВ·А
1	ПДПП-400	42	400
2	ПДПП-250	12	250
3	ПДПП-630	8	630
4	ПДПП-160	7	160

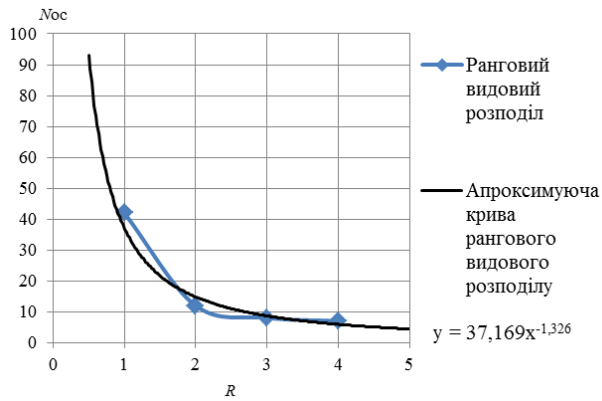


Рис. 4. Ранговий видовий розподіл техноценозу

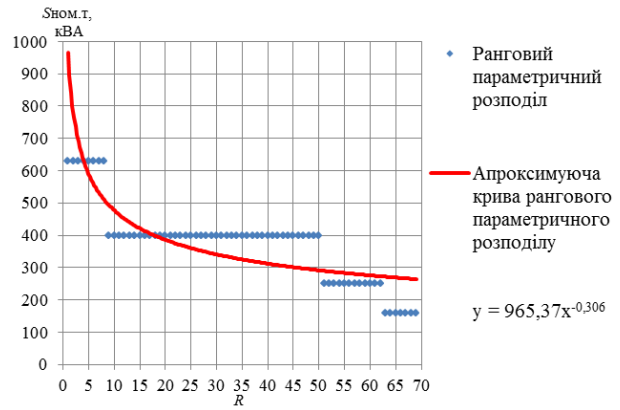


Рис. 5. Ранговий параметричний розподіл техноценозу

На основі проведеного рангового аналізу встановлено: видова структура парку ПДПП для шахт Західного Донбасу переважно відповідає оптимальній ($\beta = 1,326$), що свідчить про достатність існуючого номенклатурного ряду трансформаторних підстанцій, які серійно виготовляються. Немає необхідності в його розширенні. Проте за видоутворюючим параметром (номінальною потужністю трансформатора) для створення оптимального парку підстанцій для випадку, що розглядається, існує необхідність зменшення їх кількості з потужністю 400 кВ·А за рахунок відповідного збільшення чисельності ПДПП з номінальною потужністю 250 і 160 кВ·А, що узгоджується з висновками щодо необхідності заміни більшості підстанцій на ступінь меншими типорозмірами з позицій їх фактичного завантаження в процесі експлуатації.

Аналіз методів розрахунку електричних навантажень СП вугільних шахт показав, що адекватність урахування реальних гірничотехнічних і технологічних умов конкретного родовища є основним чинником, що впливає на точність розрахунку електричних навантажень. В умовах відсутності інформаційного масиву даних про режими експлуатації технологічного обладнання для конкретного родовища попередню оцінку очікуваного розрахункового навантаження доцільно визначати за питомими витратами електричної енергії на виконання операцій по основним виробничим дільницям (видобуток, проходка, конвеєрний транспорт).

Даний підхід ґрунтується на використанні залежностей питомої витрати електричної енергії від технологічних параметрів, що характеризують окрему виробничу дільницю. Так, для видобувних дільниць це швидкість переміщення комбайна, для прохідницьких – середня швидкість просування підготовчої виробки, для конвеєрного транспорту – вантажопотік.

На рисунку 6 наведено порядок вибору потужності ПДПП за питомими витратами електричної енергії на прикладі видобувних дільниць.

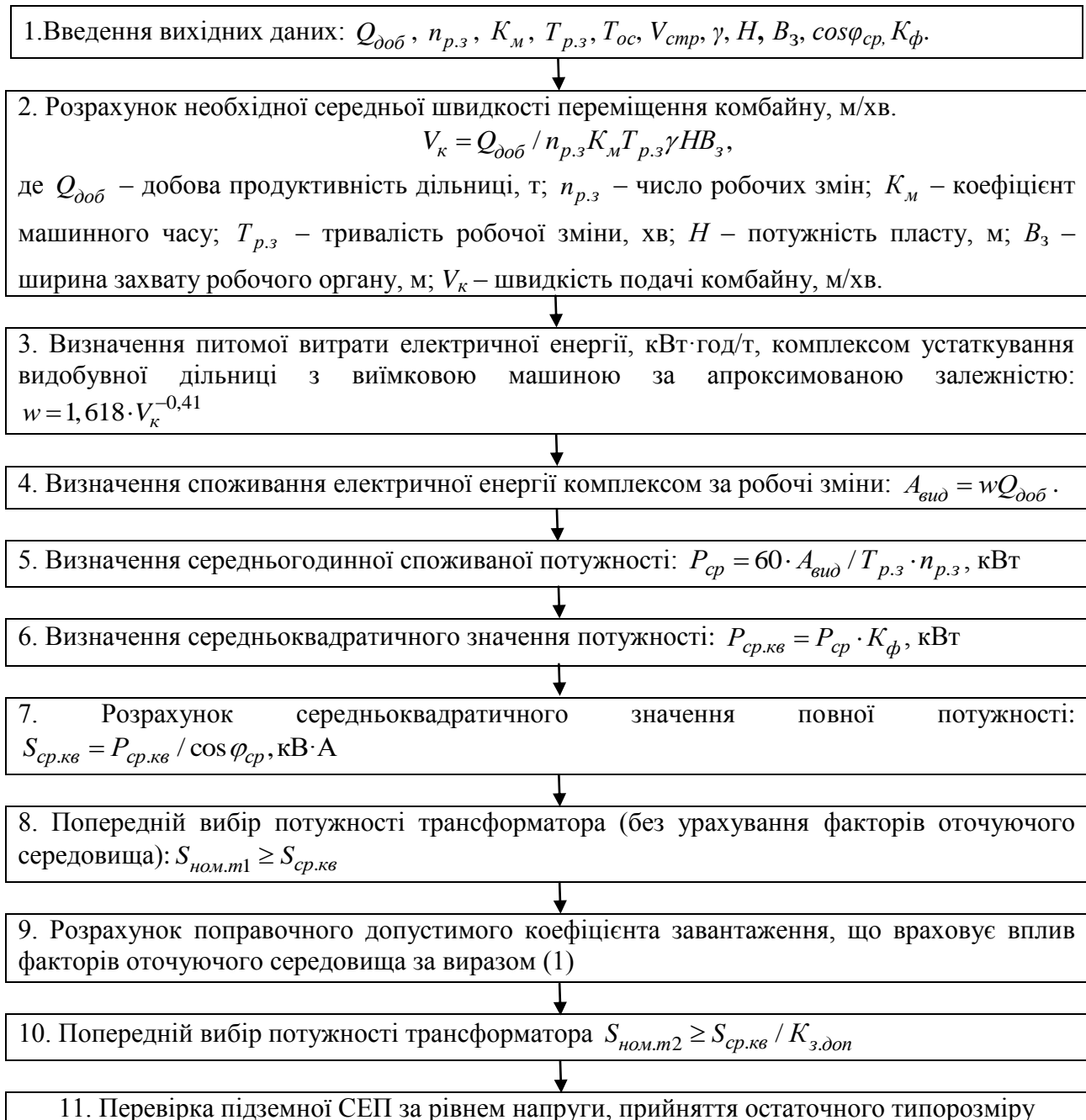


Рис. 6. Порядок вибору потужності ПДПП видобувних дільниць

Підвищити ефективність використання ПДПП за навантажувальною здатністю можливо шляхом попереднього урахування впливу факторів оточуючого середовища та введення відповідного коригуючого коефіцієнту допустимого завантаження $K_{з.доп}$ у кінцеву формулу методу коефіцієнту попиту:

$$S_{ном.т} \geq S_{т.розр} / K_{з.доп},$$

де $S_{ном.т}$, $S_{т.розр}$ – відповідно номінальна та розрахункова потужність трансформатора, кВ·А.

У розділі 5 запропоновано заходи щодо реалізації технології ресурсо- та енергозбереження вибухобезпечних підстанцій шляхом впровадження розроблених алгоритмів та моделей до складу інтелектуальної системи контролю за ефективністю електровикористання гірничих машин і комплексів у вигляді відповідної підсистеми компонентів математичного і технічного забезпечення. Встановлено економічну доцільність своєчасної заміни ПДПП.

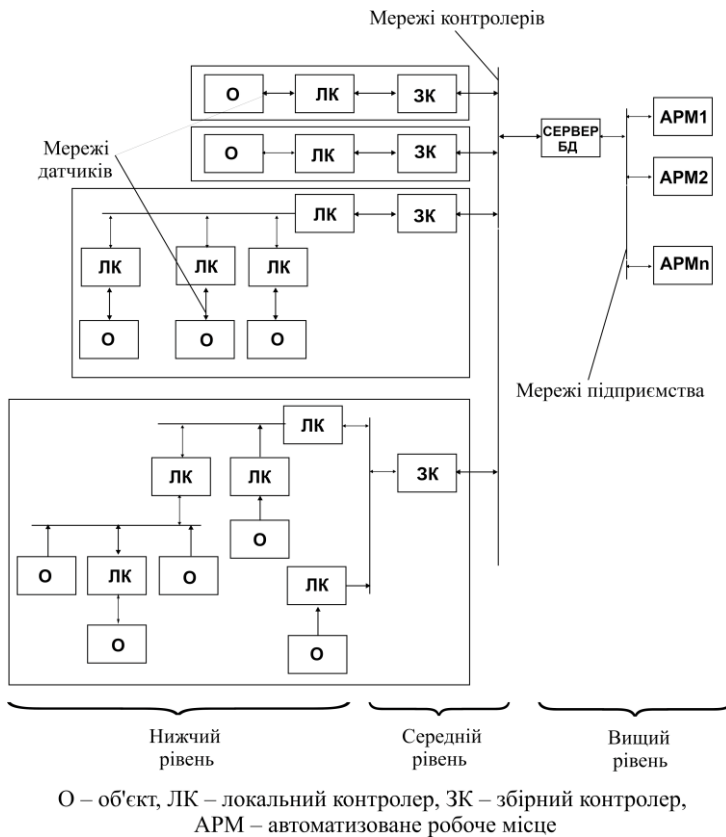


Рис. 7. Архітектура системи енергоконтролю та управління

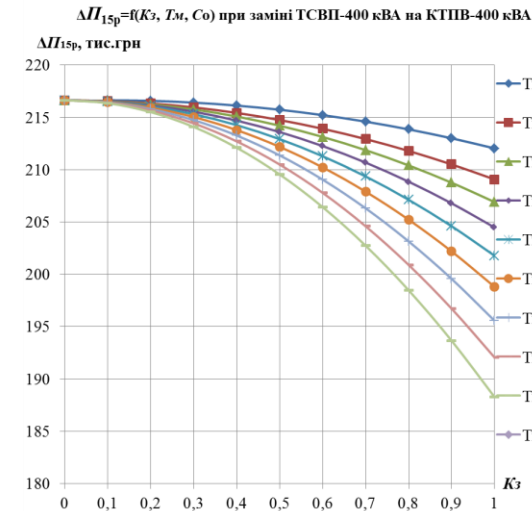
Проаналізовано економічний ефект від реалізації запропонованих заходів для трьох можливих випадків заміни ПДПП:

- 1) своєчасна заміна підстанції за регламентованим строком служби аналогічним типорозміром більш сучасної серії (рис. 8, а);
- 2) заміна підстанції застарілої серії суміжним (на ступінь меншої потужності) типорозміром більш сучасної серії (рис. 8, б);
- 3) обґрунтоване застосування підстанції типорозміру на ступінь меншої потужності однієї серії (рис. 8, в).

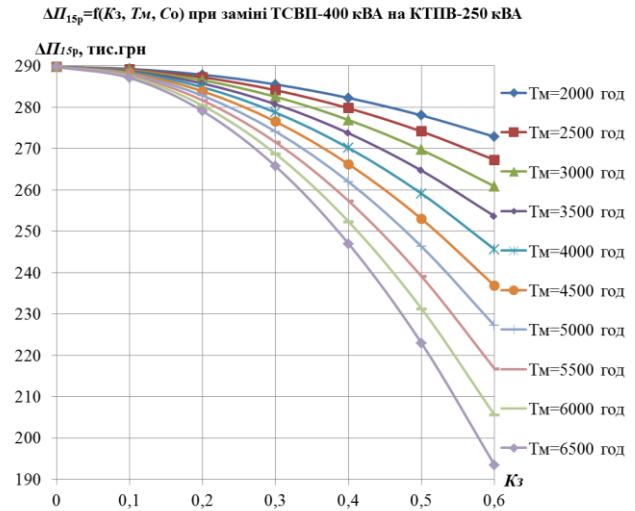
Економічний ефект, що може бути досягнутий при заміні ПДПП для перших двох випадків, полягає у порівнянні різниці вартості втрат електричної енергії при роботі підстанції протягом розрахункового періоду (15 років). Для третього випадку додатковий економічний ефект становитиме різниця вартості суміжних типорозмірів підстанцій.

Для виконання функцій, закладених у систему, до її складу повинні входити необхідне устаткування і пристрої. Відповідно до їх призначення і застосування в системі виділено три різних за складом апаратно-орієнтовані рівня (рис. 7). Обладнання нижчого рівня повинно містити недорогі програмовані мікроконтролери (локальні контролери), обладнання середнього рівня – контролери більш високого рівня, а також модулі прийому та передавання інформації; на верхньому рівні мають бути сервер і декілька персональних комп'ютерів з АРМ.

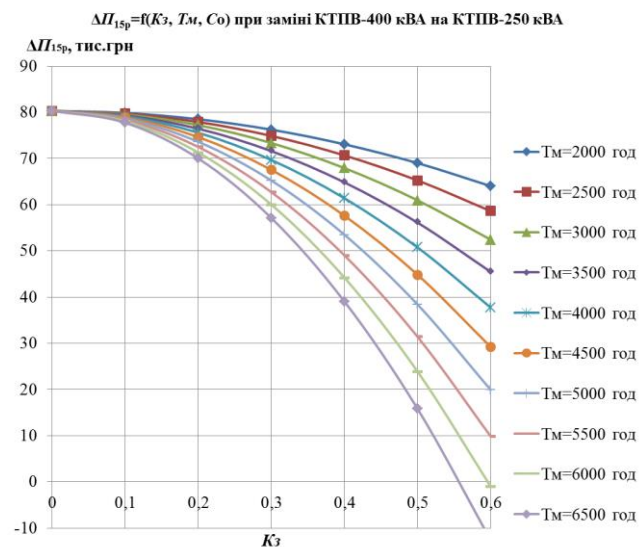
Завищення встановленої потужності трансформаторів на один ступінь викликає подорожчання окремої ПДПП у 1,2–1,68 рази, а всього парку підстанцій – в середньому у 1,35 рази, що для такого промислового об'єкта, як вугільна шахта є досить суттєвим показником, враховуючи значну кількість ПДПП (60–80 штук), що знаходяться в роботі на технологічних ділянках.



а)



б)



в)

Рис. 8. Залежності різниці вартості втрат електричної енергії від параметрів K_z , T_M , C_0 при застосуванні ПДПП:

а) однакових типорозмірів різних серій: ТСВП-400 кВ·А і КТПВ-400 кВ·А;

б) суміжних типорозмірів різних серій: ТСВП-400 кВ·А і КТПВ-250 кВ·А;

в) суміжних типорозмірів однієї серії: КТПВ-400 кВ·А і КТПВ-250 кВ·А

ВИСНОВКИ

У дисертації, яка є завершеною науковою роботою вирішено наукову задачу, що полягає у встановленні закономірностей комплексного впливу факторів оточуючого середовища, різкозмінного навантаження, технічних обмежень і технологічних особливостей роботи СП основних ділянок на використання навантажувальної здатності та відпрацювання ресурсу вибухобезпечних підстанцій для підвищення ефективності їх експлуатації в умовах вугільних шахт.

Основні висновки і результати роботи полягають у наступному:

1. Встановлено, що строки експлуатації вибухобезпечних підстанцій в умовах вугільних шахт значно перевищують регламентовані заводом-виробником через неефективне використання трансформаторів за навантажувальною здатністю. Це спричинено значними похибками при визначенні електричних навантажень на етапі вибору потужності ПДПП, неврахуванням факторів безпосереднього впливу на їх навантажувальну здатність.

2. Обґрунтовано, що парк підстанцій вугільних шахт представляє собою техноценоз, видова структура якого відповідає оптимальній (умови шахт Західного Донбасу), що свідчить про достатність існуючого номенклатурного ряду трансформаторних підстанцій. За видоутворюючим параметром (номінальна потужність трансформатора) структура парку ПДПП не відповідає оптимальній, що вимагає її поступової зміни.

3. Вилучення наявних резервів потужності трансформаторів для СПЕП напругою 660 В й умов Західного Донбасу є в більшості випадків неможливим, оскільки не забезпечуються необхідні рівні напруги в пусковому та перевантажувальному режимах для двигунів потужних струмоприймачів дільниць. Виконані дослідження показали, що ефективним заходом, який дає можливість використовувати резерви ПДПП за навантажувальною здатністю й одночасно дозволяє забезпечити необхідні режимні параметри для СП гірничих дільниць, є переведення підземної системи електропостачання вугільних шахт даного регіону на більш високий рівень напруги, наприклад 1140 В.

4. Встановлено закономірність впливу температури та швидкості повітряного струменю в місці установки підстанції на її навантажувальну здатність у вигляді коефіцієнту допустимого завантаження трансформатора в поточному режимі, який слід використовувати при виборі потужності трансформатора за існуючою методикою та при визначенні фактичного завантаження трансформатора в оперативному режимі, що призведе до підвищення ефективності використання підстанцій за навантажувальною здатністю.

5. Відсутність інформаційного забезпечення режимів роботи ПДПП не дає змоги обґрунтовано судити про їх відпрацьований ресурс. Запропонований алгоритм моніторингу поточного стану ПДПП на основі модельного підходу щодо визначення температури ННТ обмотки дозволяє реалізувати поставлені задачі з підвищення ефективності використання навантажувальної здатності трансформаторів шахтних підстанцій, а також створює умови для виконання інформаційного супроводу процесів експлуатації кожного унікального устаткування. Інформатизація процесу експлуатації підстанції надасть можливість провести дослідження адекватності існуючої методики розрахунку електричних навантажень для вугільних шахт у конкретних умовах експлуатації, і виконувати перетворення статичних моделей в адаптивні.

6. Обґрунтовано, що підвищити ефективність використання дільничних ПДПП за навантажувальною здатністю при застосуванні існуючої методики розрахунку електричних навантажень можливо шляхом введення коригуючих коефіцієнтів на вплив факторів оточуючого середовища для всіх технологічних

дільниць, а також за рахунок урахування непрямой компенсації реактивної потужності для дільниць конвеєрного транспорту в разі застосування перетворювача частоти для живлення двигунів конвеєра.

7. Розроблений алгоритм розрахунку очікуваного навантаження основних технологічних дільниць за питомими енерговитратами, заснований на комплексному врахуванні планових показників, технологічної та технічної характеристики родовища і застосованого обладнання, впливу факторів оточуючого середовища, технічних обмежень і вимог, що пред'являються до підземної системи електропостачання, надасть змогу більш обґрунтовано виконувати вибір потужності трансформаторів ПДПП, що сприятиме підвищенню ефективності їх використання за навантажувальною здатністю.

8. Встановлено, що проста заміна ПДПП застарілої серії більш сучасною з економічної точки зору є доцільною, а економічний ефект зростає при наближенні навантаження трансформатора до номінального. При обґрунтованому застосуванні ПДПП на ступінь меншої потужності економічний ефект при наближенні навантаження трансформатора базового типорозміру до номінального навпаки зменшується та залежить від числа годин використання максимального навантаження струмоприймачами дільниць. Так, при зростанні значення T_m економічний ефект у випадку простої заміни ПДПП однакових типорозмірів різних серій виробництва збільшується за умови додатної різниці паспортних втрат потужності в обмотках базового та встановлюваного трансформатора, а для випадків застосування суміжних типорозмірів зростання значення T_m призводить до зменшення економічного ефекту від заміни підстанції, що пояснюється відмінністю коефіцієнтів навантаження трансформаторів та відповідною від'ємною різницею втрат потужності в їх обмотках.

Основні наукові положення та результати опубліковані в наступних роботах:

Наукові статті:

1. Луценко, І.М. Проблема раціонального використання навантажувальної здатності трансформаторів шахтних вибухозахищених підстанцій / І.М. Луценко, Г.Г. Півняк, В.Т. Заїка // Гірнична електромеханіка та автоматика. – 2010. – № 84. – С. 3–9.

2. Луценко, І.М. Формування парку вибухозахищених трансформаторних підстанцій вугільних шахт / І.М. Луценко, Г.Г. Півняк, В.Т. Заїка // Уголь України. – 2011 – №6. – С. 20–23.

3. Луценко, І.М. Принципи удосконалення парку вибухозахищених трансформаторних підстанцій вугільних шахт / І.М. Луценко, В.Т. Заїка // Наукові праці ДонНТУ. – Електротехніка і енергетика – 2011. – № 11. – С. 167–169.

4. Луценко, І.М. Заходи з підвищення ефективності використання підземних вибухозахищених трансформаторних підстанцій / І.М. Луценко, Г.Г. Півняк, В.Т. Заїка // Науковий вісник Національного гірничого університету – 2012. – №4. – С. 121–128 (включено до міжнародної наукометричної бази Scopus).

5. Луценко, И.Н. Экспериментальное исследование теплового состояния взрывозащищенного трансформатора рудничной подстанции мощностью 1000 кВ·А в различных режимах / И.Н. Луценко, Е.А. Сорока // Гірнична електромеханіка і автоматика: Наук. – техн. зб. – 2012. – № 88 – С. 6–11.

6. Луценко, І.М. Оцінка впливу факторів оточуючого середовища на навантажувальну здатність трансформаторів пересувних вибухобезпечних підстанцій вугільних шахт / І.М. Луценко // Взрывозащищенное электрооборудование: Сб. науч. тр. УкрНИИВЭ. – Донецк: ООО «АИР», 2013. – С. 32–42.

7. Луценко, І.М. Нова парадигма використання навантажувальної здатності вибухозахисного устаткування систем електропостачання вугільних шахт / І.М. Луценко, Г.Г. Півняк, В.Т. Заїка // Науковий вісник Національного гірничого університету – 2014. – №1. – С. 77–84 (включено до міжнародної наукометричної бази Scopus)

Матеріали конференцій:

8. Луценко, І.М. Спосіб ресурсозбереження в розподільних електричних мережах. / І.М. Луценко, С.С. Котенко // Матеріали першої науково-технічної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених НГУ «Наукова весна – 2010» (м. Дніпропетровськ, 2010 р.).

9. Lutsenko, I. Ways of effective and reliable exploitation ensuring of explosion-proof transformer substations. / I. Lutsenko, V. Zaika // Materials of the international scientific and technical conference «Forum of Mining Engineers – 2011». – Vol. 4. – pp. 44–47 (Dnipropetrovsk, 2011).

10. Луценко, І.М. Дослідження впливу факторів оточуючого середовища на навантажувальну здатність трансформаторів пересувних вибухобезпечних підстанцій. / І.М. Луценко, Т.Ю. Остроуменко // Матеріали четвертої науково-технічної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених НГУ «Наукова весна – 2013» (м. Дніпропетровськ, 2013 р.).

11. Луценко, І.М. Підвищення ефективності використання вибухобезпечних підстанцій видобувних ділень вугільних шахт. / І.М. Луценко, В.Т. Заїка // Сучасні проблеми систем електропостачання промислових та побутових об'єктів: зб. наук. праць міжнародної наук.-техн. конф. викладачів, аспірантів і студентів – Донецьк – 2013. – С. 40–41.

12. Луценко, І.М. Дослідження завантаження вибухобезпечних підстанцій технологічних ділень за реактивною потужністю в умовах вугільних шахт. / І.М. Луценко, В.М. Прокуда, В.Б. Калінніков // Матеріали першої науково-технічної конференції студентів, аспірантів і молодих учених «Молодь: наука та інновації» (м. Дніпропетровськ, 2013 р.).

У роботах, написаних у співавторстві, особистий внесок полягає в наступному: [1] – проаналізовано особливості експлуатації вибухобезпечних трансформаторних підстанцій в умовах вугільних шахт; [2, 4] – встановлено умови підвищення ефективності використання навантажувальної здатності вибухобезпечних підстанцій, обґрунтовано вимоги до моніторингу поточного стану даного електрообладнання; [3] – обґрунтовано необхідність інформаційного забезпечення процесу експлуатації ПДПП; [5] – проаналізовано

тепловий стан сухого трансформатора вибухобезпечного виконання в різних режимах навантаження; [7] – запропоновано алгоритм вибору потужності шахтних ПДПП за питомими витратами електроенергії та технологічними показниками основних дільниць; проведено дослідження структури парку ПДПП вугільних шахт Західного Донбасу з точки зору теорії техноценозів.

АНОТАЦІЯ

Луценко І. М. Підвищення ефективності використання навантажувальної здатності трансформаторів вибухобезпечних підстанцій вугільних шахт. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.03 – Електротехнічні комплекси та системи. – Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», – Дніпропетровськ. – 2014.

У дисертаційній роботі вирішено важливу наукову задачу, що полягає в обґрунтуванні заходів з підвищення ефективності експлуатації вибухобезпечних підстанцій шляхом встановлення закономірностей комплексного впливу факторів оточуючого середовища, нестационарного навантаження, технічних обмежень і технологічних особливостей роботи СП основних дільниць на використання навантажувальної здатності та відпрацювання ресурсу їх трансформаторів в умовах вугільних шахт.

Встановлено закономірність впливу факторів оточуючого середовища у місці установки вибухобезпечної підстанції на навантажувальну здатність її трансформатора у вигляді математичної моделі.

Запропоновано математичну модель оцінки теплового стану обмоток, яка враховує реальний графік навантаження, вплив факторів оточуючого середовища та зміну омичного опору обмоток від температури в оперативному режимі роботи трансформатора, що дозволяє адекватно визначати температуру ННТ обмоток, оцінювати реальний знос їх ізоляції.

Проаналізовано існуючий парк ПДПП з точки зору теорії оптимальної побудови техноценозів, що дозволило оцінити структуру і стан виділеного ценозу та вказати заходи щодо забезпечення його стійкого функціонування.

Доведено економічну доцільність своєчасної заміни вибухобезпечних ПДПП як за регламентованим строком служби, так і з позицій підвищення ефективності використання їх навантажувальної здатності.

Ключові слова: вибухобезпечна підстанція, навантажувальна здатність, вугільна шахта, ресурсозбереження, енергомоніторинг, система підземного електропостачання.

АННОТАЦИЯ

Луценко И. Н. Повышение эффективности использования нагрузочной способности трансформаторов взрывобезопасных подстанций угольных шахт. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы. – Государственное ВУЗ «Национальный горный университет», – Днепропетровск. – 2014.

В диссертационной работе решена важная научная задача, которая заключается в обосновании мероприятий по повышению эффективности эксплуатации взрывобезопасных подстанций путем установления закономерностей влияния факторов окружающей среды, нестационарной нагрузки, технических ограничений и технологических особенностей работы токоприемников основных участков на использование нагрузочной способности и отработку ресурса их трансформаторов в условиях угольных шахт.

Проанализированы особенности использования подземных передвижных взрывобезопасных подстанций в условиях угольных шахт. Установлено, что сроки эксплуатации ПУПП для шахт Западного Донбасса значительно превышают регламентированные.

Выполнены исследования уровня загрузки взрывобезопасных подстанций основных технологических участков, проанализированы факторы, влияющие на эффективность использования нагрузочной способности ПУПП, обоснованы условия и пути извлечения существующих резервов мощности трансформаторов.

Установлена закономерность влияния факторов окружающей среды в месте установки взрывобезопасной подстанции, а именно температуры и скорости воздушной струи, на нагрузочную способность ее трансформатора в виде математической модели.

Предложена математическая модель оценки теплового состояния обмоток, которая учитывает реальный график нагрузки, влияние факторов окружающей среды и изменение омического сопротивления обмоток от температуры в оперативном режиме работы трансформатора, что позволяет адекватно определять температуру ННТ обмоток, оценивать реальный износ их изоляции, отработанный и прогнозируемый остаточный ресурс работы изоляционной системы.

Проанализирован существующий парк ПУПП с точки зрения теории оптимального построения техноценозов, что позволило оценить структуру и состояние выделенного ценоза и указать необходимые мероприятия по обеспечению его устойчивого функционирования.

Обоснован технологический подход к оценке ожидаемой нагрузки передвижных участков подземных подстанций и повышения эффективности их использования по нагрузочной способности. Разработан алгоритм расчета ожидаемой нагрузки основных технологических участков по удельным энергозатратам, основанный на комплексном учете плановых показателей, технологической и технической характеристике месторождения, применяемого оборудования, влияния факторов окружающей среды, технических ограничений и требований, предъявляемых к подземной системе электроснабжения.

Предложенные мероприятия относительно ресурсо- и энергосбережения взрывобезопасных подстанций могут быть использованы в виде подсистемы компонентов математического и технического обеспечения в составе интеллектуальной системы мониторинга горных машин и комплексов.

Установлена экономическая целесообразность своевременной замены взрывобезопасных ПУПП как по регламентированному сроку службы, так и с позиций повышения эффективности использования их нагрузочной способности.

Ключевые слова: взрывобезопасная подстанция, нагрузочная способность, угольная шахта, ресурсосбережение, энергомониторинг, система подземного электроснабжения.

SUMMARY

Lutsenko I.M. Increase of the efficiency of explosion-proof transformer substations loading ability use in coal mines. – Manuscript.

The thesis for getting a scientific degree of the Candidate of Technical Sciences on specialty 05.09.03 – Electrotechnical complexes and systems. – State Higher Educational Institution «National Mining University», Dnipropetrovsk, Ukraine, 2014.

The dissertation is devoted to the research of the major scientific challenge to justify measures for the explosion-proof substations exploitation efficiency increase by establishing patterns of the complex influence of environmental factors, unsteady loads, technical restrictions and technological features of mining areas power equipment on the transformers loading ability and lifetime resource use in coal mines conditions.

The dependence of transformer loading ability from the environmental factors complex influence at the site of substation installation is established as mathematical model form.

A mathematical model for the windings temperature state evaluating is offered. It takes into account the actual loading mode, environmental factors influence and windings resistance changes in the transformer operational mode, which allows to determine adequately windings temperature, to assess the real insulation deterioration.

The existing park of explosion-proof substation is analyzed in the terms of technocenosis optimal building theory, which allows specifying measures for its stable operation ensuring.

The economic feasibility of the explosion-proof substation replacing both regulated lifetime, and from the standpoint of their loading ability efficiency increase is established.

Keywords: explosion-proof substation, loading ability, coal mine, resource saving, energy monitoring, underground power supply system.