

УДК 621.314.213:622.012.2

Г.Г. Півняк, д-р техн. наук, проф.,  
академік НАН України,  
В.Т. Заїка, д-р техн. наук, проф.,  
І.М. Луценко

Державний вищий навчальний заклад „Національний гірничий університет“, м. Дніпропетровськ, Україна,  
e-mail: lutsenkoin@gmail.com, Zaika\_VT@ukr.net

## НОВА ПАРАДИГМА ВИКОРИСТАННЯ НАВАНТАЖУВАЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ ВИБУХОЗАХИЩЕНОГО УСТАТКУВАННЯ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ

Н.Н. Pivniak, Dr. Sci. (Tech.), Professor,  
Acad. of the National Academy of Science of Ukraine,  
V.T. Zaika, Dr. Sci. (Tech.), Professor,  
I.M. Lutsenko

State Higher Educational Institution “National Mining University”, Dnipropetrovsk, Ukraine,  
e-mail: lutsenkoin@gmail.com, Zaika\_VT@ukr.net

## NEW PARADIGM OF THE EXPLOSION-PROOF POWER EQUIPMENT LOADING ABILITIES USE IN COAL MINES

**Мета.** Обґрунтування принципів ресурсо- та енергозбереження за рахунок більш ефективної технології використання навантажувальної здатності вибухозахищеного устаткування вугільних шахт.

**Методика.** Методи статистичного аналізу використані при визначенні ймовірності розподілення завантаження шахтних комплектних трансформаторних підстанцій (КТП), теорія техноценозів – для визначення рангових та видових закономірностей розподілів.

**Результати.** Запропонована нова технологія використання навантажувальної здатності шахтних КТП, що ґрунтується на визначенні розрахункового навантаження КТП гірничих дільниць за питомими витратами електроенергії з подальшим моніторингом стану трансформаторів. Отримана нова залежність, яка довела, що техноценоз „Парк КТП“ вугільних шахт Західного Донбасу за видовою структурою є оптимальним, що свідчить про достатність існуючого номенклатурного ряду трансформаторних підстанцій, які знаходяться в експлуатації, проте за потужністю існує необхідність зменшення кількості КТП з потужністю 400 кВ·А за рахунок відповідного збільшення числа КТП з номінальною потужністю 250 і 160 кВ·А.

**Наукова новизна.** Доведено, що через різноманіття гірничотехнічних умов неможливо використовувати єдину розрахункову модель визначення навантажень для вибору потужності КТП, тому для ефективної експлуатації вибухозахищеного устаткування запропоновано моніторинг, що дозволить виконувати перетворення статичної розрахункової моделі в адаптивну. Уперше встановлено, що немає необхідності в розширенні „Парку КТП“ вугільних шахт з точки зору більш раціонального вибору та підвищення ефективності використання КТП.

**Практична значимість.** Встановлення оптимальності видової структури шахтних КТП дозволить уникнути додаткових витрат у машинобудуванні на розширення шкали їх номінальної потужності для родовищ вугілля з подібними до Західного Донбасу гірничо-геологічними умовами. Нові принципи використання навантажувальної здатності дозволять визначати фактичний та прогнозувати залишковий ресурс КТП для формування на шахті оптимального парку діючих трансформаторів, а також створити сучасні бази даних за режимами роботи гірничих машин і комплексів.

**Ключові слова:** вибухозахищене устаткування, адаптивна модель розрахункових навантажень, ранг, вид, умови оточуючого середовища, оптимальний парк, моніторинг

**Актуальність роботи.** На теперішній час для електроустаткування вугільних шахт характерні такі ознаки:

- застарілість основних фондів і пов'язані з цим підвищені витрати на ліквідацію простоїв, обслуговування та ремонт обладнання;

- завищення номінальних параметрів основного обладнання електричних мереж і, як наслідок, підвищені витрати на його придбання;

- відсутність обґрунтованого інформаційного супроводу експлуатації капіталоемного електроустаткування систем підземного електропостачання шахт (СПЕП).

Наведений перелік факторів є особливо актуальним для вибухозахищених комплектних трансформа-

торних підстанцій (КТП), що за строком експлуатації значно перевищують регламентований (15 років), чим, із різних причин, зумовлюється збільшення ймовірності відмов даного обладнання й виникнення аварій, а разом з тим – простоїв технологічних комплексів та нанесення збитку виробництву. Тому, закладений за рахунок збільшення номінальної потужності, надмірний запас надійності жодним чином не виправдовує себе, у тому числі, через відсутність в умовах експлуатації методів визначення ймовірного залишкового безаварійного ресурсу їх роботи.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Удосконаленню методів вибору параметрів систем електропостачання вугільних шахт, зокрема уточненню методів визначення розрахункових навантажень, присвячені роботи НТУУ „КПІ“, Московського державного гірничого університету, інститутів: ІГС ім. О.О. Скочинського, Центродіпрошахт, Дондіпровуглемаш, УкрНДІВЕ та багатьох інших, але суттєвого зниження встановленої потужності основного електроустьаткування, наприклад, комплектних вибухозахищених трансформаторних підстанцій (КТП), не досягнуто [1]. Про невідповідність і надмірне завищення потужності трансформаторів на шахтах Західного Донбасу свідчать експериментальні дані про середній ( $K_{з,ср}$ ) та максимальний ( $K_{з,макс}$ ) коефіцієнти завантаження для видобувних і ремонтних змін за представницьку кількість діб [2].

Спроби наблизити ефективність використання КТП до оптимального рівня за рахунок зміни (зменшення–збільшення) кроку дискретизації шкали типорозмірного ряду номінальної потужності трансформаторів від 1,4 до 1,6 (1969 р.) і від 1,6 до 1,25 (2010 р.) для вибухозахищених пересувних комплектних трансформаторних підстанцій [3] на даний момент також не підтвержені в широкому масштабі практикою. Викладені положення вказують, що, відносно проблеми, що розглядається, відсутня єдина система поглядів, яка б не тільки пояснювала причини низького використання навантажувальної здатності підземного електроустьаткування, але й показувала шляхи доведення її до оптимального рівня. Тому розкриття вказаних протиріч є актуальною науковою задачею.

**Основна частина.** За даними багатьох досліджень та експериментів для видобувних дільниць (ВД), підготовчих (прохідницьких) дільниць (ПД) та дільниць магістрального конвеєрного транспорту (КТ) було визначено ймовірності  $P^*$  виникнення завантаження КТП певного рівня для характерних діб при існуючому парку КТП (табл. 1).

Інтегральні ймовірності попадання коефіцієнта завантаження до діапазону нижче 0,5 наступні: для ВД – 0,58; для ПД – 0,85; для КТ – 1,0, тобто навіть для найбільш завантаженої доби режими роботи КТП далекі від номінальних, завантаження трансформаторів дуже низьке, а закладений за рахунок завищення номінальної потужності надмірний запас надійності жодним чином не виправдовує себе, у першу чергу, через відсутність інформаційного забезпечення процесів експлуатації КТП, завантаження яких складає

менше 50% та триває 60% часу, що свідчить про дійсно нераціональне використання наявної навантажувальної здатності трансформаторів на шахтах й необхідність використання такого резерву.

Таблиця 1

Ймовірнісний розподіл завантаження парку КТП технологічних дільниць

Інтервал завантаження КТП, $K_z$	$P^*$ за інтервал спостереження при існуючому парку КТП					
	найбільш завантажена доба			найменш завантажена доба		
	ВД	ПД	КТ	ВД	ПД	КТ
$K_z \leq 0,25$	0,23	0,00	0,25	0,67	0,00	0,44
$0,25 < K_z \leq 0,5$	0,35	0,85	0,75	0,10	1,00	0,56
$0,5 < K_z \leq 0,75$	0,23	0,08	0,00	0,15	0,00	0,00
$0,75 < K_z \leq 1,0$	0,17	0,07	0,00	0,08	0,00	0,00
$K_z > 1,0$	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Вагомою причиною нераціонального використання навантажувальної здатності трансформаторів слід вважати значну похибку з визначення розрахункового навантаження дільниць за методом коефіцієнту попиту через неврахування технологічних особливостей режимів роботи струмоприймачів (СП) основних дільниць у конкретних умовах експлуатації. Переваги застосованого методу полягають у простоті та наочності. Але на стадії проектування систем електропостачання вугільних шахт 30-хвилинний максимум виходить, як правило, завищеним для більшості об'єктів на всіх ступенях розподілу електроенергії – від шахти в цілому до окремої технологічної дільниці.

Для визначення розрахункових навантажень очисних і підготовчих вибоїв, а також інших дільниць гірничих робіт, крім методу коефіцієнту попиту, запропонований ряд інших: статистичний, коефіцієнту форми, стійкої потужності.

Оцінюючи методи в цілому, необхідно відзначити наступне:

- статистичні моделі доцільно застосовувати в тих умовах, що послужили базою для їх розробки;
- порушення області застосування більшості методів унеможливує забезпечення розроблених моделей достовірними вихідними даними, що призводить до значних похибок у розрахунках електричних навантажень;
- поступове „старіння“ моделей, а також відсутність урахування в деяких з них зв'язку параметрів моделі з організаційними та гірничотехнічними факторами є джерелами внесення додаткових похибок до розрахунків.

Узагальнюючи вказані положення, можна стверджувати, що жодна з існуючих моделей не є універсальною. Звідси доцільно зробити наступний висновок: не існує конкретної моделі, яка б задовольняла всім вимогам та умовам, тому усунути протиріччя між застосуванням тієї чи іншої моделі й точністю кінцевих результатів можливо, якщо до моделі дода-

ти моніторинг умов експлуатації устаткування, за рахунок чого перетворити статичну розрахункову модель в адаптивну. Такий підхід дозволить вирішити протиріччя стосовно забезпечення достовірними вихідними даними й адекватністю моделі, що надасть змогу максимально наблизити використання навантажувальної здатності капітаоемного вибухозахищеного електроустаткування до оптимального рівня.

**Ранговий аналіз структури парку пересувних підстанцій вугільних шахт.** Одним із способів підвищення ефективності використання навантажувальної здатності КТП вважається зміна кроку дискретизації типорозмірного ряду номінальної потужності трансформаторів. При цьому необхідно зазначити, що відбувалося як укрупнення кроку до 1,6 (переваги отримало машинобудування), так і пропозиції щодо його зменшення до 1,25. На сьогодні крок дискретизації для КТП потужністю до 1000 кВ·А включно становить 1,6. Коливання щодо рекомендацій для його зменшення до 1,25 вказує на необхідність вивчення цієї проблеми з більш загальних, системних позицій.

Розглянемо „життя“ сукупності КТП шахти з позицій теорії техноценозів [4]. Припустимо, що сукупність КТП шахти утворює техноценоз „Парк КТП“, оскільки, у відповідності до постулатів технетики, техноценоз – це обмежена у просторі й часі взаємопов’язана сукупність далі неподільних технічних виробів-особин, об’єднаних слабкими зв’язками. Зв’язки в техноценозах носять особливий характер, що визначається конструктивною, а часто й технологічною незалежністю окремих технічних виробів і різноманітним вирішуваним завданням. Взаємопов’язаність техноценозів визначається єдністю кінцевої мети, що досягається за допомогою загальних систем управління, забезпечення та ін. Таким чином, „Парк КТП“ вугільної шахти утворює техноценоз, оскільки КТП (електроустаткування) мають слабкі зв’язки, а взаємопов’язаність техноценозу визначається кінцевою метою – забезпечення електричною енергією технологічних дільниць шахти та стійкої роботи системи електропостачання.

Розглянемо техноценоз „Парк КТП“ з позицій його стійкості (оптимальності) шляхом виконання рангового аналізу. До показників стійкості можна також віднести кількість КТП, що експлуатуються, середній термін служби КТП, швидкість старіння КТП. Останній показник є дуже важливим, оскільки його високий рівень веде до „вимирання“ КТП, а дуже низький – до неефективного їх використання на розрахунковому проміжку часу.

Щоб підтримувати дані показники оптимальними, слід враховувати та мінімізувати різні негативні впливи, що можуть виникати як у процесі експлуатації (тривалі перевантаження або недовантаження), так і на етапі вибору устаткування (похибки в розрахунках електричних навантажень тощо).

Оптимальність побудови техноценозу „Парк КТП“ перевіряємо на сукупності КТП шахт Західного Донбасу.

У табл. 2 наведено дані щодо існуючої структури парку КТП за кількістю та типорозмірами для типової шахти Західного Донбасу у вигляді рангового розподілу техноценозу, де  $S_{ном.т}$  – номінальна потужність трансформатора.

Таблиця 2

Табличний ранговий розподіл техноценозу

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

Першим кроком аналізу є рангове табулювання статистичних даних і подальша побудова рангового видового розподілу техноценозу (табл. 2, рис. 1). Зазначимо, що під „видом“ мається на увазі КТП певного типорозміру, а видоутворюючим параметром стосовно парку шахтних КТП є номінальна потужність трансформатора, що є основною характеристикою кожного типорозміру. На рис. 1 представлено ранговий параметричний розподіл за видоутворюючим параметром. Розподіл побудовано за вибіркою з 69 КТП („Парк КТП“ шахти „Ім. М.І. Сташкова“). Рис. 1 наочно демонструє структуру й стан виділеного техноценозу.

Після побудови графіків рангових розподілів і апроксимуючих кривих необхідно виконати процедури оптимізації техноценозу з метою поліпшення його функціонування.

Відповідно до першої процедури з [4], найкращий (стійкий чи навпаки) стан техноценозу визначається з апроксимуючого рівняння із співвідношення (1)

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

де  $\beta$  – показник степеню апроксимуючої кривої рангового видового розподілу (рівняння на рис. 1).

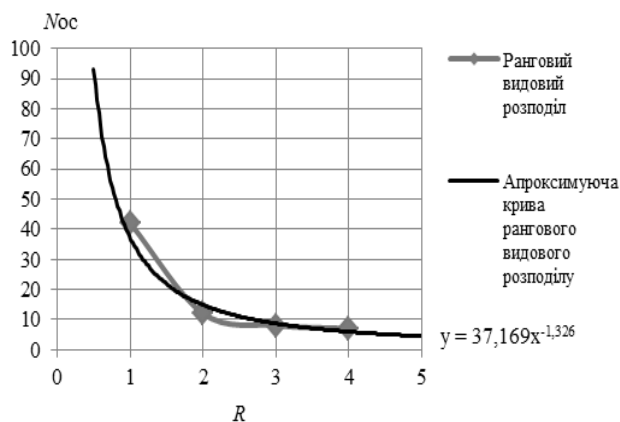


Рис. 1. Ранговий видовий розподіл техноценозу „Парк КТП“ вугільної шахти

У нашому випадку для рангового видового розподілу параметр  $\beta = 1,326$ , що відповідає оптимальному коридору, визначеному співвідношенням (1).

Для того, щоб вказати заходи щодо оптимізації ценозу з метою його сталого функціонування, слід виконати другу процедуру – аналіз рангового параметричного розподілу за видоутворюючим параметром, результати якого наведені на рис. 2. Із рис. 2 встановлюємо, що значення показника  $\beta = 0,306$  належить інтервалу оптимальності відповідно до виразу (1).

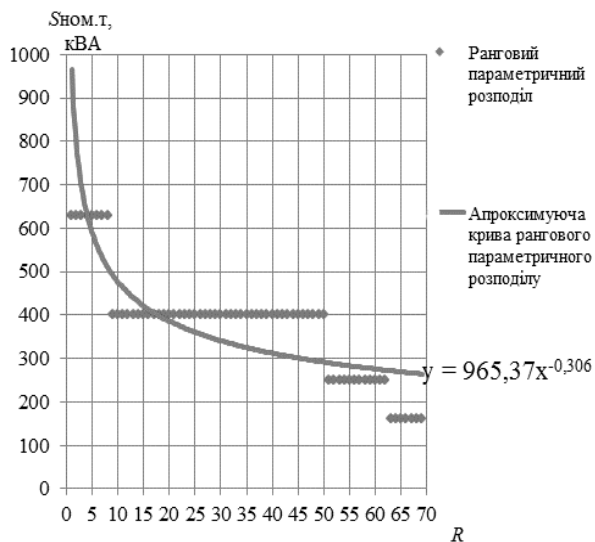


Рис. 2. Ранговий параметричний розподіл техноценозу за видоутворюючим параметром

Для попадання  $\beta$  у даний інтервал необхідно зменшити кількість КТП з потужністю 400 кВ·А за рахунок збільшення кількості КТП з потужністю 250 та 160 кВА.

Проведений аналіз існуючої структури парку вибухозахищених КТП вугільних шахт на оптимальність, а, відповідно, й ефективність його використання, надав змогу зробити певні висновки.

1. Ранговий видовий розподіл для парку дільничних КТП вугільних шахт, у цілому, дозволив встановити, що його видова структура відповідає оптимальній. Це свідчить про достатність існуючого номенклатурного ряду трансформаторних підстанцій, що серійно виготовляються, тобто немає необхідності в його розширенні з точки зору більш раціонального їх вибору та підвищення ефективності використання даного типу обладнання.

2. Ранговий аналіз структури парку КТП за видоутворюючим параметром (номінальна потужність трансформатора) показав, що для створення оптимального парку підстанцій існує необхідність зменшення їх кількості з потужністю 400 кВ·А за рахунок відповідного збільшення чисельності КТП з номінальною потужністю 250, 160 кВ·А. Дане положення узгоджується з висновками, отриманими з наведеного вище аналізу реального завантаження встановлених

трансформаторів та у роботі [2] щодо можливості їх заміни менш потужними для умов типової шахти Західного Донбасу.

**Забезпечення технології підвищення ефективності використання вибухозахищеного устаткування за навантажувальною здатністю.** Повністю усунути недоліки розрахунку електричних навантажень дільничних мереж за існуючою методикою (метод коефіцієнта попиту), шляхом обґрунтованого врахування всіх гірничотехнічних і технологічних факторів, для наявних умов є неможливим. На теперішній час це викликано, перш за все, відсутністю відповідної інформаційної системи, орієнтованої саме на моніторинг електроустаткування, як наслідок, можливостей в отриманні необхідного масиву даних про режими роботи основного й допоміжного технологічного устаткування виробничих дільниць для конкретних умов його експлуатації.

Тому, враховуючи ставлення до моделей розрахунку максимуму навантажень основних гірничих дільниць, дане навантаження для вибору потужності КТП на початковому етапі доцільно визначати за питомими витратами електроенергії [6], виходячи із завдань, що ставляться перед відповідною технологічною ланкою, механізованим комплексом чи установкою за умови використання їх максимальних можливостей за продуктивністю в даних гірничотехнічних умовах. 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 [5]. Зазначимо, що наведені параметри, у свою чергу, залежать від гірничотехнічних умов конкретного родовища, а також ураховують застосовуване устаткування на реалізацію технологічного процесу. Аналіз показав, що Технічні паспорти дільниць, які вводяться в експлуатацію, містять усю інформацію, необхідну для розрахунку даних параметрів і отримання кінцевого результату у вигляді абсолютної витрати електричної енергії за технологічними операціями. До цього слід також урахувати ряд факторів (швидкість повітряного струменю та температуру повітря) [6], що мають місце для умов вугільних шахт, але не охоплені існуючою методикою.

За відсутності універсальної моделі визначення реального навантаження в оперативному режимі, умовою ефективного використання навантажувальної здатності КТП є забезпечення моніторингу режимів їх роботи з метою контролю інтенсивності відпрацювання ресурсу ізоляційної системи на основі модельного підходу до розрахунку зносу ізоляції в оперативному режимі. Для таких цілей авторами запропонована система енергомоніторингу, що забезпечує діагностику обладнання та управління системи підземного електропостачання шахти (СЕУПЕШ). Узгальнена структурна схема СЕУПЕШ наведена на рис. 3.

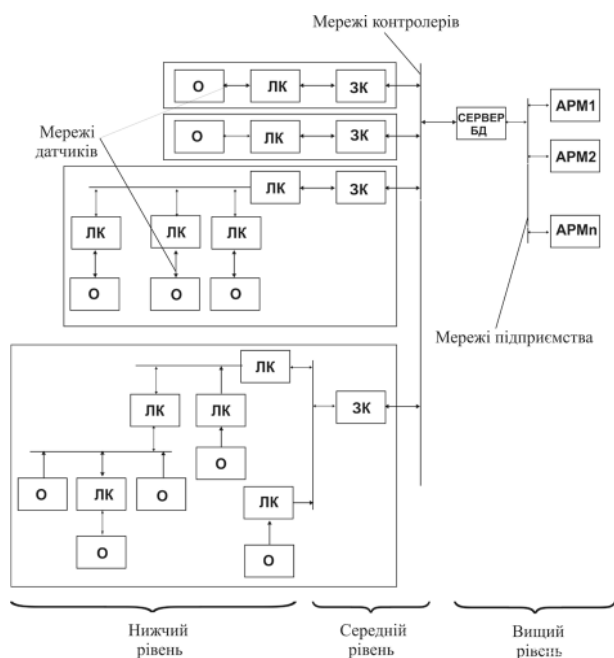


Рис. 3. Узагальнена структурна схема СЕУПЕШ: О – об’єкт; ЛК – локальний контролер; ЗК – збірний контролер; АРМ – автоматизоване робоче місце

Система (рис. 3) створена на базі сучасних комп’ютерних технологій з використанням досвіду та основних ключових моментів і ідей попередніх розробок НГУ – системи автоматизованого управління конвеєрними лініями (САУКЛ) та системи оптимізації електроспоживання на підземних гірничих роботах (КТЗ ЗОЕ).

Ураховуючи наведені вище положення, представимо алгоритм реалізації запропонованої технології вибору потужності КТП на прикладі видобувних дільниць.

Характеристика вихідних даних.

*Технологія ведення очисних та підготовчих робіт.*

Для умов тонких пластів родовищ Західного Донбасу, згідно з [7], переважно, застосовується стовпова система розробки із застосуванням комплексно-механізованої виїмки корисної копалини. Підготовчі операції з проходки виробок здійснюються також комбайновим способом. На шахтах застосовується суцільна конвеєризація для транспортування гірничої маси.

*Характеристики родовища корисної копалини.* До них слід віднести наступні: потужність пласта  $H$ ; щільність вугілля у цілику  $\gamma$ .

*Характеристики основного технологічного обладнання (комбайн, конвеєр):* тип та потужність приводних двигунів, ширина захвату виконавчого органу, швидкість подачі.

*Планові максимальні показники:* видобуток вугілля з лави  $Q_{\text{доб}}$ , т./доб або швидкість підготовки виробок прохідницькими комплексами  $V_{\text{пр}}$ , м/год; тривалість основних та допоміжних операцій щодо реалі-

зації технологічного процесу, графік роботи підприємства.

*Умови оточуючого середовища:* швидкість повітряного струменю  $V_{\text{стр}}$  та температура  $T_{\text{ос}}$  у місці встановлення підстанції.

*Характеристики системи електропостачання:* номінальна напруга СПЕП, довжина високовольтного та низьковольтних кабелів, середньостатистичний коефіцієнт потужності роботи дільниць  $\cos\phi_{\text{ср}}$ , характерний коефіцієнт форми  $K_{\phi}$  графіка електричних навантажень.

Аналіз показав, що всі перераховані вище вихідні дані містяться в технічних паспортах дільниць.

Алгоритм реалізації запропонованої технології вибору потужності КТП на прикладі видобувних дільниць наведений на рис. 4.

Якщо виявиться, що остаточно прийнятий типорозмір більший, ніж  $S_{\text{ном.т2}}$ , або  $S_{\text{ном.т2}} = S_{\text{ном.т1}}$ , то поправка на фактори оточуючого середовища на етапі розрахунку електричних навантажень не впливатиме на вибір номінальної потужності трансформаторів. У цьому випадку, вона має бути неодмінно врахована в повній мірі при визначенні відпрацьованого ресурсу ізоляційної системи при реалізації моніторингу.

Коли ж прийнятий типорозмір відповідає  $S_{\text{ном.т2}}$ , а  $S_{\text{ном.т2}} < S_{\text{ном.т1}}$ , поправка на фактори оточуючого середовища на етапі розрахунку електричних навантажень має, певною мірою, вплив на вибір номінальної потужності трансформаторів.

*Підготовчі дільниці.* Для прохідницьких дільниць порядок оцінки очікуваного навантаження аналогічний видобувним. Приймається, що підготовчі роботи також виконуються шляхом комбайнової проходки виробок. Відмінність полягає в тому, що в якості характерного параметра використовується середня швидкість просування вибою  $V_{\text{в}}$ , м/год, а питома витрата електричної енергії  $w_{\text{нід}}$  прохідницьким комбайном визначається на виїмку  $1 \text{ м}^3$  гірничої породи [5, рис. 2].

Споживання електричної енергії  $A_{\text{нід}}$ , кВт·год/м<sup>3</sup>, підготовчими дільницями протягом часового інтервалу роботи комбайна складає

$$A_{\text{нід}} = w_{\text{нід}} Q_{\text{нід}},$$

де  $Q_{\text{нід}}$  – об’єм пройденої виробки, м<sup>3</sup>.

Для визначення питомих витрат електричної енергії та відповідної середньогодинної споживаної потужності  $S_{\text{ср.кв}}$  приймаємо, що просування вибою є рівномірним. Швидкість просування визначається залежно від планових показників з підготовки виробок та технологічних параметрів роботи устаткування: коефіцієнту машинного часу,  $K_{\text{м}}$ ; коефіцієнту перервності роботи виконавчого органу,  $K_{\text{пр}}$ ; застосованого обладнання та його технічних характеристик; часових показників роботи комплексів (тривалість зміни, кількість змін на добу, кількість робочих діб на місяць).



Рис. 4. Алгоритм реалізації технології вибору потужності КТП видобувних дільниць

Швидкість просування підготовчих виробок може бути визначена наступним чином

$$V_6 = \frac{Q_{нід}}{n_{діб} n_{p.з} T_{p.з} K_M K_{np}}$$

Апроксимація приведеної у [5] залежності питомої витрати електричної енергії, кВт·год/м<sup>3</sup>, дозволяє описати її практично зі 100% достовірністю у вигляді степеневі функції виду

$$w_{нід} = 6,75 \cdot V_6^{-0,788}$$

що є більш зручною для подальшого використання у відповідних розрахунках.

Далі проводиться вибір потужності трансформатора та перевірка прийнятого типорозміру за технічними обмеженнями по напрузі на затискачах двигунів електрообладнання аналогічно з видобувними дільницями.

*Конвеєрний транспорт.* Для магістральних стрічкових конвеєрів визначення питомих витрат електричної енергії на транспортування 1 т. вантажу на відстань 1 км виконується залежно від середньодобового вантажопотоку конвеєра  $G_{mp}$ , т·км, що може бути визначений за звітними даними дільниць або за технологічними параметрами й видобутком вугілля за зміну, визначеним для ВД.

Апроксимація приведеної у [5] залежності питомої витрати електричної енергії на транспортування  $w_{mp}$ , кВт·год/м<sup>3</sup>, дає наступний вираз

$$w_{mp} = 844 \cdot G_{mp}^{-0,863}$$

що є більш зручним для числових розрахунків.

Подальший порядок вибору та перевірки є аналогічним до приведенного вище.

#### Висновки.

1. Методи розрахунку електричних навантажень є „застиглими“ й адекватно працюють, переважно, лише в умовах, для яких вони були отримані. Тобто, ні одна з існуючих моделей не є універсальною. Ні понижуючий розрахунок потужності коефіцієнт  $K = 1,25$ , застосований для існуючої методики, ні розширення номенклатурного ряду КТП не вирішують об’єктивно та цілісно проблему неефективного використання дільничних КТП за навантажувальною здатністю та не усувають факту тотального завищення їх номінальної потужності, так як дані заходи не обґрунтовані з системних позицій. Звідси напрошується наступний висновок: не існує універсальної розрахункової моделі, що задовольняла би всім умовам і вимогам, тому усунути протиріччя між застосуванням тієї чи іншої моделі й точністю кінцевих результатів можливо, якщо до моделі додати моніторинг умов та режимів експлуатації устаткування, за рахунок чого перетворити статичну розрахункову модель в адаптивну. Такий підхід дозволить усунути протиріччя стосовно

вно забезпечення достовірними вихідними даними й адекватністю моделі, а значить надасть можливість максимально наблизити використання навантажувальної здатності капіталоемного вибухозахищеного електроустаткування до оптимального рівня.

2. „Парк КТП“ вугільних шахт представляє собою техноценоз, видова структура якого для умов шахт Західного Донбасу відповідає оптимальній, що свідчить про достатність існуючого номенклатурного ряду трансформаторних підстанцій, тобто немає необхідності в його розширенні з точки зору використання цього заходу для більш раціонального вибору та підвищення ефективності використання КТП. За видоутворюючим параметром структура „Парку КТП“ не відповідає оптимальній. Для вирішення даного протиріччя існує необхідність зменшення кількості КТП з потужністю 400 кВ·А за рахунок відповідного збільшення числа КТП з номінальною потужністю 250 і 160 кВ·А, що узгоджується з результатами аналізу реального завантаження встановлених трансформаторів та рекомендаціями щодо доцільності застосування менш потужних КТП для умов типової шахти Західного Донбасу.

3. Замість спроб розробити більш адекватну модель для уточнення розрахункових навантажень гірничих дільниць, більш реалістичним та сучасним підходом до вибору й ефективної експлуатації підземного електроустаткування є створення єдиної, відкритої, безперервно оновлюваної бази даних про режими роботи й енергетичні показники основних гірничих машин і комплексів, що б забезпечувала вирішення всього спектру електроенергетичних задач за допомогою існуючої бази знань (закономірностей, моделей, алгоритмів, співвідношень тощо) для ефективного використання електроустаткування всього електроенергетичного комплексу вугільної шахти. Прикладом початку реалізації такого підходу є розроблений алгоритм розрахунку очікуваного навантаження основних технологічних дільниць за питомими енерговитратами, заснований на комплексному врахуванні планових показників, характеристик родовища та застосованого обладнання, впливу факторів оточуючого середовища та технічних обмежень і вимог, що пред'являються до підземної системи електропостачання, який надає змогу більш обґрунтовано виконувати вибір потужності трансформаторів КТП та сприяє підвищенню ефективності їх використання за навантажувальною здатністю під час експлуатації.

#### Список літератури / References

1. Півняк Г.Г. Експериментальні дослідження завантаженості електромережного обладнання з метою підвищення ефективності систем підземного електропостачання / Г.Г. Півняк, В.Т. Заїка // Вісник ВТУ. – Вінниця, 1999. – № 6. – С. 26–32.

Pivniak, H.H. and Zaika, V.T. (1999), “Experimental Investigations of Power Network Equipment Load for the Purpose of Underground Power Supply System Effec-

tiveness Increase”, *Visnyk of Vinnitsya Technical Univ.*, Vinnitsya, no. 6, pp. 26–32.

2. Півняк Г.Г. Заходи з підвищення ефективності використання підземних вибухозахищених трансформаторних підстанцій / Г.Г. Півняк, В.Т. Заїка, І.М. Луценко // Науковий вісник Національного гірничого університету – 2012. – Вип. № 4. – С. 121–128.

Pivniak, H.H., Zaika, V.T. and Lutsenko, I.M., (2012), “Measures to Improve the Efficiency of Underground Explosion-Proof Transformer Substations Use”, *Scientific Bulletin of National Mining University*, no. 4, pp. 121–128.

3. Чернов І.Я. Підвищення технічного рівня вибухозахищених пересувних комплектних трансформаторних підстанцій: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.09.01 / І.Я. Чернов // ДВНЗ „Донецьк. нац. техн. ін.-т“. – Донецьк, 2009. – 20 с.

Chernov, I.Ya. (2009), “Increase of Technological Level of Explosion-Proof Movable Complete Transformer Substations”, Abstract of the Cand. Sci. dissertation, Electrical machines and apparatus, Donetsk National Technical Univ., Donetsk, Ukraine.

4. Гнатюк В.И. Закон оптимального построения техноценозов / В.И. Гнатюк // Центр системных исследований. – 2005. – Вып. 29.

Gnatyuk, V.I. (2005), *Zakon optimalnogo postroeniya tehnotsenozov* [Principle of the Technocenosis Optimal Formation], Issue no. 29, TNU, Centr sistemnykh issledovaniy, Moscow, Russia.

5. Енергобаланс вугільних підприємств. Аудит енергоспоживання: СОУ 10.1.00174094.001-2004. – [Чинний з 2004.17.11].

*Enerhobalan svuhilnykh pidpryyemstv. Audyt enerhospozhyvannya* [Energy Balance of Coal Mines. Energy Consumption Audit], SOU 10.1.00174094.001-2004, [Valid since November 17, 2004].

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

Lutsenko, I.M. (2013), “Estimation of the Environmental Factors Influence on the Movable Explosion-Proof Substations Loading Ability in Coal Mines”, *Vzryvozaschischennoe elektrooborudovanie, UkrNIIVE Scientific collected articles, ООО “AIR”, Donetsk, Ukraine*, pp. 32–42.

7. Анализ работы очистных забоев. / А.И. Ильин, И.В. Косарев, Г.В. Андреев [и др.] // Уголь Украины. – 2010. – С. 3–7.

Ilin, A.I., Kosarev, I.V., Andreev, G.V. (2013), “Analysis of the Mining Areas Operation”, *Ugol Ukrainy*, no. 6, pp. 3–7.

**Цель.** Обоснование принципов ресурсо- и энергосбережения за счет более эффективной технологии использования нагрузочной способности взрывозащищенного оборудования угольных шахт.

**Методика.** Методы статистического анализа использованы при определении вероятности распределения загрузки шахтных комплектных трансформаторных подстанций (КТП), теория техноценозов – для определения ранговых и видовых закономерностей распределений.

**Результаты.** Предложена новая технология использования нагрузочной способности шахтных КТП, которая основывается на определении расчетной нагрузки КТП горных участков по удельным расходам электроэнергии с последующим мониторингом состояния трансформаторов. Получена новая зависимость, которая доказала, что техноценоз „Парк КТП“ угольных шахт Западного Донбасса по видовой структуре является оптимальным, что свидетельствует о достаточности существующего номенклатурного ряда трансформаторных подстанций, находящихся в эксплуатации, однако по мощности есть необходимость уменьшения количества КТП с мощностью 400 кВ·А за счет соответствующего увеличения числа КТП с номинальной мощностью 250 и 160 кВ·А.

**Научная новизна.** Доказано, что из-за многообразия горнотехнических условий невозможно использовать единую расчетную модель определения нагрузок для выбора мощности КТП, поэтому для эффективной эксплуатации взрывозащищенного оборудования предложен мониторинг, который позволит выполнять преобразование статической расчетной модели в адаптивную. Впервые установлено, что нет необходимости в расширении „Парка КТП“ угольных шахт с точки зрения более рационального выбора и повышения эффективности использования КТП.

**Практическая значимость.** Установление оптимальности видовой структуры шахтных КТП позволит избежать дополнительных затрат в машиностроении на расширение шкалы их номинальной мощности для месторождений угля с подобными Западному Донбассу горно-геологическими условиями. Новые принципы использования нагрузочной способности позволят определять фактический и прогнозировать остаточный ресурс КТП для формирования на шахте оптимального парка действующих трансформаторов, а также создать современные базы данных по режимам работы горных машин и комплексов.

**Ключевые слова:** взрывозащищенное оборудование, адаптивная модель расчетных нагрузок, ранг, вид, условия окружающей среды, оптимальный парк, мониторинг

**Purpose.** The substantiation of the resources and energy saving principles due to more efficient technology of the explosion-proof power equipment loading ability use in coal mines.

**Methodology.** Methods of the statistical analysis are used for transformer substations load spreading determination; the technocenosis theory is used for rank and kind spreading principles determination.

**Findings.** A new technology of transformer substations loading ability use is offered. It is based on the determination of calculated substation load for mining areas by specific energy consumption and further transformer state monitoring.

A new relation was obtained. It proved that transformer equipment park for Western Donbas mines is optimal from the point of species structure view. It allowed indicating, that the existing nomenclature row of transformer nominal power is satisfied, but the need to reduce the number of 400 kVA-power substations by the corresponding addition of 250 and 160 kVA-power substations is recommended.

**Originality.** It is proved that due to specific mining conditions variety, the use of unified model for power loads calculation is impossible. That is why for the efficient mining power equipment exploitation the monitoring is offered. It will allow transforming every static model to adaptive. It was firstly established, that power transformer park is a technocenosis, which species structure for Western Donbas mining conditions accords to optimal. It indicates, that the existing nomenclature row of transformer nominal power is satisfied, and there is not extension necessity for more rational selection and transformer substations loading ability use efficient increase.

**Practical value.** The determination of optimal species structure for mining power transformers will allow to avoid additional expenses in engineering on Western Donbas mines similar conditions. New principles of loading ability use will allow the determination of factual and forecast remanent substation resource. It will be useful for optimal transformer park forming and up-to-date databases of mining complexes operation modes implementation.

**Keywords:** explosion-proof equipment, adaptive model for loads calculating, rank, species, environmental conditions, optimal park, monitoring

*Рекомендовано до публікації докт. техн. наук Ю.Т. Разумним. Дата надходження рукопису 15.01.14.*