

# ТЕХНОЛОГІЇ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

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: Zaika\_VT@ukr.net

## ЗАХОДИ З ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПІДЗЕМНИХ ВИБУХОБЕЗПЕЧНИХ ТРАНСФОРМАТОРНИХ ПІДСТАНЦІЙ

**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: Zaika\_VT@ukr.net

## MEASURES TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF USE OF UNDERGROUND EXPLOSION-PROOF TRANSFORMER SUBSTATIONS

**Мета.** Встановлення та обґрунтування основ ефективного використання вибухобезпечних комплектних пересувних підстанцій (КТП) вугільних шахт.

**Методика.** Методика досліджень навантажувальної здатності КТП ґрунтується на теорії зносу ізоляції трансформаторів та комплексному врахуванні стохастичності процесів нагріву за рахунок використання реальних реалізацій навантажень, зміни впливу факторів оточуючого середовища, а також технічних обмежень та нормативних вимог щодо якості електроенергії у вибійних струмоприймачів.

**Результат.** Результати досліджень вказують, що ефективне використання трансформаторів вибухобезпечних підстанцій за навантажувальною здатністю для шахт Західного Донбасу є можливим при неодмінному врахуванні поправок на умови оточуючого середовища в місцях їх встановлення та переведенні живлення видобувних комплексів на напругу 1140 В. Доведено, що для цього потрібен моніторинг режиму роботи кожної підстанції з інтервалом осереднення навантаження на рівні 2,5 хвилин. Отримані результати дозволять ефективно використовувати КТП, виконувати їх заміну за поточним станом, а не за відмовою, що, у кінцевому рахунку, надасть можливість формувати раціональний парк пересувних КТП.

**Наукова новизна.** Встановлено універсальну залежність впливу факторів оточуючого середовища на навантажувальну здатність трансформаторів КТП, та виявлені умови вилучення наявних резервів потужності вибухобезпечних КТП вугільних шахт.

**Практична значимість.** Отримані залежності та виявлені умови 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 комплексів та розробити принципи розрахунку електричних навантажень для даного виду устаткування й конкретних умов експлуатації.

**Ключові слова:** вибухобезпечна комплектна трансформаторна підстанція, навантажувальна здатність, умови оточуючого середовища, знос ізоляції, 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 й 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).

© Півняк Г.Г., Заїка В.Т., Луценко І.М., 2012

Наведений перелік факторів є особливо актуальним для вибухобезпечних комплектних трансформаторних підстанцій (КТП), які за строком експлуатації значно перевищують регламентований (15 років), чим, з різних причин, зумовлюється збільшення ймовірності відмов даного обладнання й виникнення аварій, а разом з тим – простоїв технологічних комплексів та нанесення збитків 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.** Дослідження підземної системи електропостачання та реального завантаження її елементів виконані в роботах [1, 2]. У них вказано на завищення номінальних параметрів устаткування, проте не обґрунтовано можливостей та заходів з вилучення потенційних резервів. У роботах проф. Селіщева А.М. встановлено вплив умов оточуючого середовища (температури повітря та швидкості повітряного струменю) в місці встановлення підстанції на теплові показники режимів роботи КТП, а в [3] приведений приклад урахування впливу умов оточуючого середовища на перевантажувальну здатність вибухобезпечних КТП, проте застосування результатів обмежується конкретними умовами, розглянутими в статті. У [4] піднято питання ефективного використання трансформаторів КТП і уникнення прийняття завищеної потужності шляхом урахування поправки на температуру оточуючого середовища, проте відсутній зв'язок з реальними режимами їх роботи.

Для усунення вказаних недоліків існує потреба у проведенні комплексного дослідження з обґрунтування заходів щодо вилучення наявних резервів потужності трансформаторів КТП та ефективного використання їх навантажувальної здатності у процесі експлуатації.

**Мета роботи.** Встановити та обґрунтувати основи ефективного використання вибухобезпечних підстанцій вугільних шахт.

**Основна частина.** Завантаження діючих КТП. Надмірне перевищення встановленого строку експлуатації може виникати з двох причин: перша – це невідповідність діючого устаткування фактичним навантаженням, тобто прийняття КТП завищеної, у порівнянні з проектом, потужності, друга – велика похибка в бік завищення, притаманна методиці вибору потужності трансформаторів за коефіцієнтом попиту  $K_n$ . В обох випадках трансформатори КТП будуть хронічно недовантажені.

Для прикладу на рис. 1 приведений реальний коефіцієнт завантаження ( $K_z$ ) трансформатора дільничної підстанції серії ТСШВ з номінальною потужністю 400 кВ·А (графік 1), побудований на добовому розрізі за результатами досліджень [1].

По основній осі ординат приведено коефіцієнт завантаження  $K_{z1}$  для встановленої підстанції 400 кВ·А, по допоміжній осі –  $K_{z2}$ , для трансформатора на ступінь меншої потужності (250 кВ·А).

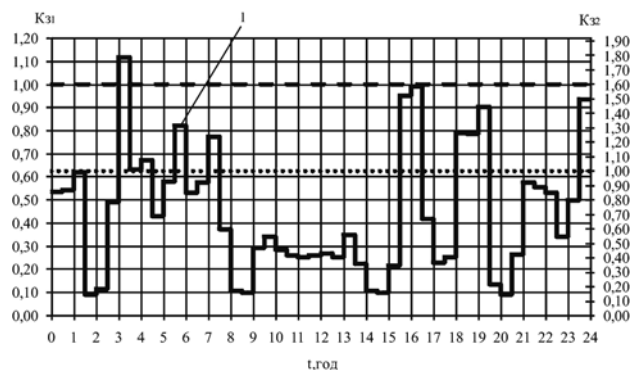


Рис. 1. Завантаження трансформатора (1) на добовому розрізі без урахування умов оточуючого середовища: --- – номінальний  $K_z$  для КТП – 400 кВ·А; ..... – номінальний  $K_z$  для КТП – 250 кВ·А

Розрахунки показують, що середній коефіцієнт завантаження  $K_{z,ср}$  за добу для даного випадку становить 0,52 (таблиця). Більш широке порівняння відповідності потужності діючих на гірничих дільницях КТП [2] з потужністю підстанцій, розрахованою для тих же дільниць за існуючою методикою (таблиця) дозволяє зробити наступний висновок.

Таблиця

Порівняння розрахункової та встановленої потужностей трансформаторів КТП для гірничих дільниць

Дільниця	$\Sigma P_{ном}$ , кВт	$K_n$	$\cos \varphi$	$S_{т.р}$ , кВ·А	$S_{т.но}$ , кВ·А	Реальний коефіцієнт завантаження		
						$K_{z,ср}$	$K_{z,макс}$	
808 лава	544,2	0,52	0,6	378	400	0,33	0,85	
812 лава	543	0,52	0,6	381	400	0,52	1,12	
814 лава	КТП №1	350,5	0,59	0,6	275	400	0,2	0,55
	КТП №2	185,5	0,77		191	400	0,15	0,46
Проходка гор. 140 м	322,2	0,77	0,7	282,3	400	0,36	0,99	
Проходка гор. 300 м	222	0,93	0,7	236,6	630	0,3	0,45	

Розрахована за існуючою методикою потужність трансформаторів лише для деяких розглянутих дільниць відповідає розрахунковій.

Проте реальні дані (середній за добу  $K_{z,ср}$  та максимальний  $K_{z,макс}$  коефіцієнти завантаження) свідчать про невідповідність і надмірне завищення потужності трансформаторів як через нехтування існуючою дискретністю шкали (таблиця, проходка гор. 300 м), так і значними похибками з визначення розрахункового навантаження дільниць за методом коефіцієнта попиту.

Вказане свідчить про дійсно неефективне використання наявної навантажувальної здатності трансформаторів на вугільних шахтах і необхідність пошуку шляхів використання такого резерву. Насамперед, це вивчення можливостей ізоляції трансформаторів КТП при досить змінному навантаженні струмоприймачів (СП) технологічних дільниць витримувати перевантаження без зменшення номінального строку

служби, тобто використання навантажувальної здатності трансформаторів.

*Навантажувальна здатність трансформаторів КТП.* Такий показник як знос ізоляції обмоток трансформатора доцільно використовувати в якості індикатора відпрацьованого та залишкового ресурсу машини, так як саме ресурс ізоляційної системи, за близького до номінального режиму навантаження, буде обумовлювати строк служби підстанції. Роботі трансформатора в режимі зі змінним навантаженням, представленому на рис. 1, відповідає також змінний графік температури найбільш нагрітої точки (ННТ) обмотки. За номінального довготривалого навантаження температура ННТ для КТП серії ТСШВ не повинна перевищувати 180 °С, що характерно для ізоляції класу нагрівостійкості „Н”. Суттєве недовантаження буде викликати повільне старіння ізоляції і, відповідно, термін експлуатації буде значно подовжуватися, що є неефективним використанням закладеного ресурсу навантажувальної здатності трансформаторів КТП і капіталовкладень у дане обладнання. За режимів роботи з перевантаженнями, характерних для випадку, що наведений на рис. 1 для КТП – 250 кВ·А, процеси старіння ізоляції при перевищенні номінальної температури ізоляції відповідного класу нагрівостійкості будуть пришвидшуватися, а строк служби трансформатора – зменшуватися.

Залежність середнього строку служби ізоляції від температури може бути представлена показовою функцією вигляду

$$V = Ae^{-av} ,$$

де  $A$  і  $a$  – деякі постійні;  $v$  – температура ізоляції в найбільш нагрітій точці обмотки.

Строк служби ізоляції при номінальній температурі, відповідно класу нагрівостійкості (у даному випадку  $v_{ном} = +180^\circ\text{C}$ ), визначається

$$V_{ном} = Ae^{-av_{ном}} .$$

Відносний строк служби та відносний знос ізоляції відповідно будуть

$$V_* = \frac{V}{V_{ном}} = e^{-a(v-v_{ном})} ;$$

$$L_* = \frac{V_{ном}}{V} = e^{a(v-v_{ном})} .$$

При розрахунках зручно перейти від основи  $e$  до основи 2. Тоді вираз відносного зносу отримає наступний вигляд

$$L_* = 2^{a(v-v_{ном})/0,693} = 2^{(v-v_{ном})/\Delta} . \quad (1)$$

Постійну  $\Delta$  приймають рівною 10°С, так як для процесів старіння ізоляції сухих шахтних трансформаторів із природним повітряним охолодженням справедливим є „десятиградусне правило” Монтзінгера, згідно з яким, при зростанні температури ізоляції обмотки на кожні 10 °С понад номінальну, відносний знос збільшується, а строк служби зменшується в 2 рази.

Для розглянутої характерної доби, враховуючи поправки на завантаження при врахуванні умов оточуючого середовища, було отримано графік зміни температури ННТ обмотки (рис. 2) та розраховано знос ізоляції при роботі в такому режимі.

Для даного режиму відносний сумарний знос ізоляції, розрахований за формулою (1) для 30-хвилинних інтервалів часу, за добу становить  $L_{*250} = 1,1$  від номінального, що вказує на ефективне використання електрообладнання за навантажувальною здатністю. Для порівняння, для встановленої КТП потужністю 400 кВ·А цей показник становить  $L_{*400} = 0,0033$ .

Таким чином, оптимізація парку вибухобезпечних КТП додатково викликається необхідністю максимально можливої відповідності терміну експлуатації обладнання, регламентованому заводом-виробником строку служби.

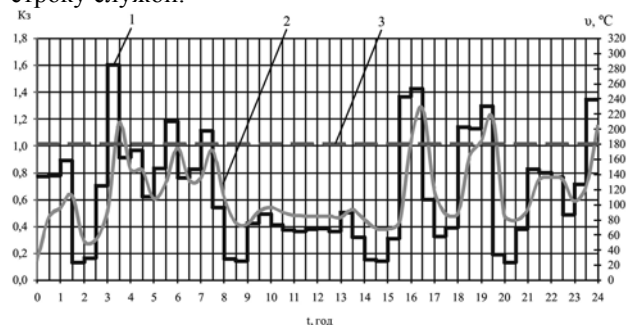


Рис. 2. Коефіцієнт завантаження трансформатора (1) та зміна температури ННТ обмотки (2) для КТП – 250 кВ·А по відношенню до номінальних параметрів (3) при врахуванні умов оточуючого середовища

Своєчасне оновлення парку машин, забезпечення попередження неочікуваного виходу з ладу, прогнозування вірогідного залишкового безаварійного ресурсу роботи обладнання стане можливим лише за наявності інформації щодо експлуатаційних режимів КТП протягом часового проміжку використання даного електрообладнання.

Накопичення інформації щодо електроспоживання та відпрацьованого ресурсу для конкретного об’єкту дозволить створити реальну сучасну базу даних, що буде практично корисно для експлуатаційних служб та важливо для науки. Аналіз сучасних режимів роботи струмоприймачів типових дільниць і формування їх електричних навантажень матиме за мету подальше обґрунтоване уточнення й можливе корегування їх методів розрахунку та вибору відповідної КТП. Таким чином, будемо мати максимально узгоджену номінальну потужність трансформатора.

*Формування раціонального парку КТП.* Аналіз існуючого номенклатурного ряду вибухобезпечних КТП (до 1000 кВ·А) дозволяє стверджувати, що підстанції суміжних типорозмірів, при середньому коефіцієнті завантаження нижче 0,6 (табл. 1), доцільно замінювати КТП на ступінь меншої потужності, так як крок дискретизації ряду потужностей трансформаторів КТП становить 1,6. При цьому трансформатори КТП будуть пра-

цювати з навантаженням, максимально наближеним до номінального. На рис. 1 за допоміжною шкалою можна простежити завантаження трансформатора  $K_{32}$  меншого типорозміру. Відзначаємо те, що мають місце режими роботи із систематичними перевантаженнями, тривалість і амплітуда яких повинна задовольняти обмеженням [5]. Навантаження, що перевищує номінальне, викликає прискорений знос ізоляції обмоток і являє собою деякий ступінь ризику при відсутності чіткого обґрунтування можливості роботи обладнання за даних умов. Режим перенавантаження трансформатора призводить до перевищення допустимих значень температур ізоляції обмоток та інших конструктивних частин трансформатора. Таким чином, зі збільшенням струму навантаження та температури виникає небезпека передчасної відмови. Така небезпека може виникнути миттєво або стати наслідком загального погіршення технічного стану трансформатора протягом багатьох років. Стандарт передбачає одночасне обмеження навантажувальної здатності за короткочасними й довготривалими впливами факторів перевантаження. Таблиці, приведені в ньому, відповідають прогнозованій довговічності кремній-органічної ізоляції за механічними властивостями в залежності від часу, температури та рівня перевантаження, у той час як обмеження граничних температур найбільш нагрітої точки встановлюються, зважаючи на безпеку миттєвої відмови.

Дані перевантаження, враховуючи технологічні особливості роботи основних дільниць вугільних шахт, частково компенсуються режимами з пониженим електроспоживанням. Зіставлення фактичних коефіцієнтів завантаження  $K_{32}$  (КТП – 250 кВ·А) (рис. 1) з вимогами за величиною перевантаження показав, що вони не задовольняються, так як  $K_{32\max} = 1,79$  (у проміжку часу 3:00 – 3:30), що більше, ніж допустимий коефіцієнт перевантаження  $K_{\text{пер,доп}} = 1,7$ . Амплітуда інших перевантажень задовольняє встановленим обмеженням, проте їх сукупна тривалість на добовому проміжку перевищує значення, при якому буде зберігатися нормальне скорочення строку служби КТП за зносом ізоляції обмоток. За таких умов заміна КТП – 400 кВ·А на КТП – 250 кВ·А є недоцільною.

Для вирішення даного протиріччя було проаналізовано можливі шляхи зниження величини перевантажень. Так у роботі [3] показано, що підвищення навантажувальної здатності трансформаторів можливе при врахуванні умов роботи КТП у місці їх установки. До факторів, що впливають на навантажувальну здатність, відносяться умови оточуючого середовища: температура повітря та швидкість повітряного струменю. Так, вимоги [5] пред'являються для КТП, що працюють при гранично допустимих умовах оточуючого середовища, згідно з ГОСТ 15150-69 при температурі  $T_{oc} = 35$  °С. Швидкість повітряного струменю в місці установки КТП взагалі не враховується ( $V_{\text{нов,с}} = 0$  м/с). Проте на практиці такі показники не відповідають дійсності. По-перше, згідно з [6], температура  $T_{oc}$  на робочих місцях не повинна перевищувати 26 °С. Аналіз схем живлення СП дільниць показав, що підстанції знаходяться в безпосередній близь-

кості до виробок у складі енергопоїздів, тобто для них є справедливим  $T_{oc} \leq 26$  °С. По-друге, згідно з нормованими значеннями, швидкість повітряного струменю у виробках має бути на рівні  $V_{\text{нов,с}} = 0,25 - 2$  м/с, тобто  $V_{\text{нов,с}} > 0$  м/с. До того ж, експериментальні дослідження, виконані в роботах проф. Селищева А. М., вказують, що в місці встановлення КТП швидкість повітряного струменю коливається в межах 1,5–6 м/с.

Спираючись на експериментальні графічні залежності перевищення температури обмоток із кремній-органічною ізоляцією трансформаторів вибухозахищених підстанцій від навантаження [3, (рис. 1)], без зовнішнього обдуву ( $V_{\text{нов,с}} = 0$  м/с) і при швидкості повітряного струменю  $V_{\text{нов,с}} = 3,5$  м/с, було встановлено вплив факторів оточуючого середовища на навантажувальну здатність КТП. Проведені розрахунки для ННТ обмотки дозволили отримати рівняння залежності допустимого коефіцієнта завантаження трансформатора КТП від умов оточуючого середовища

$$K_{3,\text{доп}} = -0,0057 \cdot T_{oc,\text{реал}} + 1,182 \cdot 1,07^{V_{\text{нов,с}}},$$

де  $T_{oc,\text{реал}}$  – реальна температура оточуючого середовища;  $V_{\text{нов,с}}$  – реальна швидкість повітряного струменю.

Враховуючи вказані вище фактори, у конкретних умовах оточуючого середовища можливо додатково навантажити трансформатори КТП. Наприклад, для випадку, що розглядається, при виконанні встановлених норм [6] і забезпеченні на робочих місцях  $T_{oc} = 26$  °С і  $V_{\text{нов,с}} = 1$  м/с, будемо мати коефіцієнт допустимого навантаження  $K_{3,\text{доп}} = 1,12$ , тобто експериментальні значення  $K_3$  (рис. 1) необхідно розділити на розрахований  $K_{3,\text{доп}}$ . Отримані результати будуть більш адекватними (рис. 2), так як враховуватимуть вплив реальних умов оточуючого середовища на навантажувальну здатність трансформаторів КТП. Це дозволить виконати вимоги [5] як за величиною перевантаження, так і за його тривалістю на добовому проміжку, тобто можливість заміни КТП за навантажувальною здатністю буде обґрунтованою.

На рис. 3 представлена гістограма зміни ймовірності завантаження за рівнями для видобувної дільниці з КТП суміжних типорозмірів.

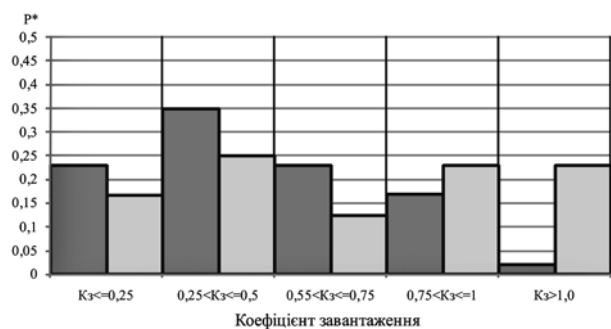


Рис. 3. Зміна ймовірності завантаження підстанцій видобувної дільниці за рівнями для найбільш завантаженої доби: ■ – КТП – 400 кВ·А; □ – КТП – 250 кВ·А

З наведеної гістограми видно, що режим роботи КТП меншого типорозміру є більш доцільним, так як суттєво зменшується тривалість заниженого навантаження, а обладнання використовується в більшій відповідності до своїх номінально встановлених параметрів. Проте, при заміні КТП більшого типорозміру на менший виникає також ряд труднощів, пов'язаних із технічними обмеженнями для підземної системи електропостачання напругою 660 В.

**Технічні обмеження.** Попередні дослідження [7] показали, що перехід на КТП із трансформаторами меншої на ступінь потужності стає критичним для комбайнових та конвеєрних двигунів у пусковому та перевантажувальному режимах за рівнями напруги на їх затискачах (рис. 4).

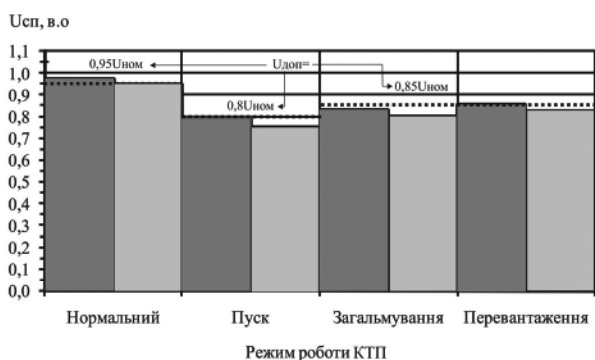


Рис. 4. Рівні напруги на затискачах двигуна комбайна для КТП суміжних типорозмірів у характерних режимах роботи при  $U_{ном} = 660$  В: ■ – КТП – 400 кВ·А; □ – КТП – 250 кВ·А; ... –  $U_{доп}$

На рис. 4 видно, що необхідні рівні напруги ( $U_{доп}$ ) не забезпечуються в окремих режимах навіть для встановлених КТП. Це зумовлюється, переважно, надмірною довжиною низьковольтних кабельних ліній і, відповідно, втратами напруги в них. За існуючої технології відпрацювання вугільних пластів (довгими стовпами) з комбайною виїмкою, довжинах лав, що досягають 300 м, для низьковольтної підземної системи електропостачання напругою 660 В, вилучення наявних резервів потужності трансформаторів КТП є неможливим.

Оскільки основними технічними обмеженням, що не дозволяють використати резерви потужності КТП, є забезпечення пускових і перевантажувальних моментів двигунів гірничих машин і установок, була розглянута можливість їх усунення за рахунок підвищення номінальної напруги електричної мережі. Розрахунки показали, що перехід на напругу 1140 В забезпечує необхідні рівні напруги ( $U_{доп}$ ) у характерних режимах роботи СП (рис. 5). Таким чином, дослідження, виконані для умов Західного Донбасу, показали, що єдиним заходом, який надає можливість використовувати резерви КТП за навантажувальною здатністю й одночасно знімає проблему забезпечення необхідних рівнів напруги в пусковому та перевантажувальному режимах для двигунів потужних СП, є переведення підземної системи електропостачання

вугільних шахт даного регіону на більш високий рівень напруги, наприклад 1140 В.

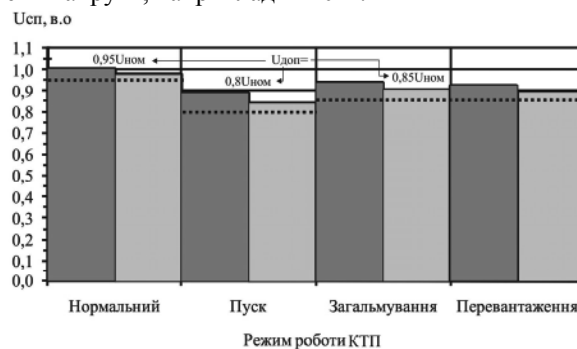


Рис. 5. Рівні напруги на затискачах двигуна комбайна для КТП суміжних типорозмірів у характерних режимах роботи при  $U_{ном} = 1140$  В: ■ – КТП – 400 кВ·А; □ – КТП – 250 кВ·А; ... –  $U_{доп}$

Іншою вимогою для забезпечення ефективного та безпечного використання КТП є виконання обґрунтованого моніторингу їх поточного технічного стану за режимом навантаження.

**Моніторинг поточного технічного стану КТП.** Ідея контролю навантаження кожної окремої трансформаторної підстанції в реальному часі випливає з положення про унікальність кожного потужного об'єкта на гірничих роботах, що вимагає визначити навантажувальну здатність конкретної підстанції для конкретних умов роботи. Такий підхід дає можливість приймати обґрунтовані рішення щодо додаткового навантаження або адресну заміну на більш чи менш потужну пересувну підстанцію, тобто забезпечити прийняття рішень за станом устаткування, а не за його відмовою.

Моніторинг режимів роботи КТП повинен відповідати конкретно визначеним вимогам: оперативність – надання інформації в режимі реального часу (on-line); неперервність – інформація щодо електроспоживання КТП повинна надходити постійно з визначеним інтервалом часу осереднення, що забезпечить необхідну точність контролю; інтелектуальна обробка інформації – автоматичний аналіз даних, розрахунок за математичними моделями, обробка та видача результату за контрольованими параметрами. Контрольованим параметром, що визначає відпрацьований строк служби КТП, у даному випадку є знос ізоляції обмоток трансформатора, який визначається за поточним навантаженням КТП, якому відповідає певна температура ізоляції обмоток.

Отже, для ефективного використання трансформаторного обладнання необхідно мати своєчасну та достовірну інформацію щодо електроспоживання в режимі реального часу, тобто проводити моніторинг режимів навантаження.

Для забезпечення необхідної точності моніторингу режимів роботи КТП, з точки зору використання ресурсу її ізоляції за зносом, слід визначитися з інтервалом часу осереднення збору необхідної інформації.

Зважаючи на те, що постійна часу обмотки  $\tau_{обм}$  для трансформаторів становить 5–10 хв, то отримання не-

обхідної точності відновлення графіка температури ННТ за навантаженням КТП, згідно з теоремою Котельникова, буде забезпечуватися при періодичності зняття відповідних контрольних вимірів з інтервалом часу, що не перевищує половини  $\tau_{обм}$ . За проведеними дослідженнями шуканий інтервал складає 2,5 хв. При цьому похибка при перерахунку відпрацьованого строку служби буде знаходитися у межах 1% у бік завищення, що є допустимим і одночасно створює деякий запас надійності, так як отримуємо заздалегідь дещо більше значення зносу ізоляції у процесі інформаційного забезпечення режимів експлуатації об'єкту.

*Схеми живлення струмоприймачів.* Аналіз схем електропостачання шахт Західного Донбасу показав, що переважна більшість КТП технологічних дільниць отримують живлення за ланцюговими схемами від одного комплектного розподільчого пристрою (КРП). У цьому випадку неможливо отримати параметри роботи окремої КТП на рівні КРП, так як неможливо в даних умовах виконати розподілення енергопотоків від роботи окремої підстанції.

Для вирішення задачі необхідно збільшити глибину контролю, а саме, отримувати інформацію щодо енергоспоживання на рівні КТП. Іншим обмеженням, що виникає при цьому, є недостатня кількість первинних датчиків струму та напруги у складі КТП. Через це неможливо виконати обчислення потужностей за стандартними схемами підключення вимірювальних приладів.

Обґрунтування способу поглиблення енергоконтролю до рівня КТП, для вирішення задач підвищення енергоефективності гірничих машин і комплексів з використанням лише наявних первинних датчиків та спеціального програмного методу, що дозволяє отримувати інформацію щодо електроспоживання за обмеженої кількості первинних датчиків, виконано в роботі [8]. Реалізація цього підходу потребує встановлення у КТП окремого мікроконтролерного блоку, наприклад на базі контролера PIC виробництва Microchip. Інститут УкрНДІВЕ також веде розробки із впровадження таких мікроконтролерних засобів у розподільчий пристрій низької напруги із закладенням у нього виконання функцій комплексного захисту, управління й контролю для шахтних підстанцій [9]. Застосування даних засобів разом з інтелектуальною обробкою інформації дозволить закладати і вирішувати задачі ефективності використання та прогнозування залишкового ресурсу роботи для кожної окремої КТП в умовах вугільних шахт.

**Висновки.** Системне дослідження навантажувальної здатності вибухобезпечних КТП дозволяє зробити наступні висновки.

1. Навантажувальна здатність трансформаторів вибухобезпечних КТП суттєво залежить від температури оточуючого середовища та швидкості повітряного струменю в місці їх встановлення. Залежність поправочного коефіцієнта допустимого навантаження  $K_{з, доп}$  від даних факторів, отримана для ННТ обмотки, є лінійною. Введення в розрахунок відповідної поправки на фактори оточуючого середовища дозволяє

знижити амплітуду та тривалість систематичних перевантажень, характерних для роботи КТП меншого типорозміру, та задовольнити обмеження нормативного документу за даними показниками.

2. Вилучення наявних резервів потужності трансформаторів, для існуючих СПЕП напругою 660 В й умов Західного Донбасу, є неможливим, так як не забезпечуються необхідні рівні напруги в пусковому та перевантажувальному режимах для двигунів потужних струмоприймачів дільниць. Виконані дослідження показали, що ефективним заходом, який надає можливість використовувати резерви КТП за навантажувальною здатністю й одночасно дозволяє забезпечити необхідні пускові та перевантажувальні моменти для СП гірничих дільниць, є переведення підземної системи електропостачання вугільних шахт даного регіону на більш високий рівень напруги, наприклад 1140 В.

3. Для вирішення задач контролю відпрацьованого та прогнозування залишкового ресурсів необхідно отримувати інформацію щодо електроспоживання на рівні окремої КТП з інтервалом осереднення навантаження, що не перевищує 2,5 хвилини. Це дозволить достатньо точно відслідковувати зміну температури ННТ обмотки при змінних графіках електричних навантажень, характерних для режимів роботи гірничих дільниць вугільних шахт, та визначати відповідний знос ізоляції обмоток трансформаторів.

4. Накопичення інформації з навантаження КТП відповідних дільниць надасть можливість створити сучасну базу даних за режимами роботи вибухобезпечних підстанцій та розробити принципи розрахунку електричних навантажень для даного виду устаткування та конкретних умов експлуатації.

#### Список літератури / References

1. Система учета и контроля расхода электроэнергии для угольных шахт / [Г.Г. Пивняк, В.В. Ткачев, В.Т. Заика и др.] // Промышл. энергетика.– 1992.– №7.– С. 19–21.

Pivnyak, G.G., Tkachev, V.V., Zaika, V.T., Shishatskiy, A.A., Nadtochiy, V.V. and Razumnyy, Yu.T. (1992), "System of electric power charge assessment and control for coal mines", *Promyshlennaya energetika*, no. 7, pp. 19–21.

2. Пивняк Г.Г. Экспериментальные исследования навантаженности электромережного оборудования с целью підвищення ефективності систем підземного електропостачання / Г. Г. Пивняк, 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 with the aim of underground power supply system effectiveness increase", *Visnyk VTU, Vinnytsia*, no. 6, pp. 26–32.

3. Перегрузочная способность взрывобезопасных трансформаторных подстанций / И.Я. Чернов, В.В. Шилов, В.М. Грушко, В.Л. Кузнецов // Взрывозащищенное электрооборудование: Сб. науч. тр. УкрНИИВЭ. – Донецк: ООО „АИР“, 2011. – С. 42–46.

Chernov, I.Ya, Shilov, V.V., Grushko, V.M. and Kuznetsov, V.L. (2011), "Overload capacity of the explosion-proof transformer substations", *Vzryvozashchishchennoe*

*elektrooborudovanie, UkrNIIVE Scientific collected articles*, ООО „AIR“, Donetsk, Ukraine, pp. 42–46.

4. Нагорный М.А. Метод определения нагрузки трансформатора для электроснабжения угледобывающих участков по его фактическому тепловому состоянию / М.А. Нагорный, А.П. Ковалев, Л.И. Колесник // Взрывозащищенное электрооборудование: Сб. науч. тр. УкрНИИВЭ. – Донецк: ООО „Юго-Восток, ЛТД“, 2001. – С. 113–119.

Nagornyy, M.A., Kovalev, A.P. and Kolesnik, L.I. (2001), “Technique of transformer load capacity determination by its factual heat state for mining areas power supply”, *Vzryvozaschischennoe elektrooborudovanie, UkrNIIVE Scientific collected articles*, ООО “Yugo-Vostok, Ltd.”, Donetsk, Ukraine, pp. 113–119.

5. Трансформаторы рудничные силовые взрывобезопасные. Общие технические условия: ГОСТ 15542–79. – [Действующий с 1982.01.01.], [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.gosthelp.ru/gost/gost14588.html>.

*Transformatory rudnichnye silovye vzryvobezopasnye. Obschie tekhnicheskie usloviya* [Flame-Proof Mine Power Transformers. General Specifications], GOST 15542-79, [valid since January 1, 1982], available at: <http://www.gosthelp.ru/gost/gost14588.html>.

6. Державні санітарні правила та норми „Підприємства вугільної промисловості“: ДСП 3.3.1.095-2002. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0498-03>.

*Derzhavni sanitarni pravyla ta normy “Pidpriemstva vuhilnoi promyslovosti”* [State Sanitary Regulations and Norms “Coal Industry Enterprises”], DSP 3.3.1.095-2002, available at: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0498-03>

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

Pivniak, H.H., Zaika, V.T. and Lutsenko, I.M. (2011), “Formation of the reserve of the explosion-proof transformer substations in coal mine”, *Uhol Ukrainy*, no.6, pp. 20–23.

8. Заїка В.Т. Способи поглиблення енергоконтролю гірничих машин / В.Т. Заїка, Г.М. Бажін, А.С. Румянцев // Вісник Приазовського державного технічного університету – 2008. – Вип. 18. – С. 27–30.

Zaika, V.T., Bazhin, H.M. and Rumiantsev, A.S. (2008), “Methods of increase of depth of power control of mining machines”, *Visnyk Pryazovskoho derzhavnoho tekhnichnoho universytetu*, no. 18, pp. 27–30.

9. Савицкий А.В. Основные направления совершенствования комплексной защиты взрывозащищенных трансформаторных подстанций / А.В. Савицкий // Взрывозащищенное электрооборудование: Сб. науч. тр. УкрНИИВЭ. – Донецк: ООО „АИР“, 2009. – С. 94–103.

Savitskiy, A.V. (2009), “Main directions of complex protection upgrading for explosion-proof transformer substations”, *Vzryvozaschischennoe elektrooborudovanie, UkrNIIVE Scientific collected articles*, ООО “AIR”, Donetsk, Ukraine, pp. 94–103.

**Цель.** Установление и обоснование основ эффективного использования взрывобезопасных комплектов подвижных подстанций (КТП) угольных шахт.

**Методика.** Методика исследований нагрузочной способности КТП основывается на теории износа изоляции трансформаторов и комплексном учете стохастичности процессов нагрева за счет использования реальных реализаций нагрузок, изменения влияния факторов окружающей среды, а также технических ограничений и нормативных требований относительно качества электроэнергии у забойных токоприемников.

**Результат.** Результаты исследований указывают, что эффективное использование трансформаторов взрывобезопасных подстанций по нагрузочной способности для шахт Западного Донбасса является возможным при обязательном учете поправок на условия окружающей среды в местах их установки и переводе питания добывающих комплексов на напряжение 1140 В. Доказано, что для этого необходим мониторинг режима работы каждой подстанции с интервалом осреднения нагрузки на уровне 2,5 минут. Полученные результаты позволяют эффективно использовать КТП, выполнять их замену по текущему состоянию, а не по отказу, что, в конечном счете, предоставит возможность формировать рациональный парк подвижных КТП.

**Научная новизна.** Установлена универсальная зависимость влияния факторов окружающей среды на нагрузочную способность трансформаторов КТП, и выявлены условия извлечения имеющихся резервов мощности взрывобезопасных КТП угольных шахт.

**Практическая значимость.** Полученные зависимости и выявленные условия использования нагрузочной способности позволяют 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 комплексов и разработать принципы расчета электрических нагрузок для данного вида оборудования и конкретных условий эксплуатации.

**Ключевые слова:** взрывобезопасная комплектная трансформаторная подстанция, нагрузочная способность, условия окружающей среды, износ изоляции, оптимальный парк, мониторинг

**Purpose.** The determination and substantiation of the explosion-proof factory-assembled mobile transformer substations (TS) effective use in a coal mine.

**Methodology.** The methodology of TS load capacity is based on the transformer insulation deterioration theory and heat processes randomness complex accounting due to real load data use, variation of environmental factors influence, technical restrictions and standard requirements concerning electric power quality for mining complexes.

**Findings.** The findings showed that for Western Donbass region coal mines the TS effective use by its load capacity becomes available due to taking into ac-

count the environmental conditions and use 1140 voltage level for mining complexes power supply. The necessity of operating mode monitoring providing with the averaging interval of the 2.5 minute has been proved. These findings allow us to use TS effectively and to replace them for the reason of factual state deterioration before the equipment failure happens. This will provide an opportunity to form the TS park rationally.

**Originality.** The universal dependence of TS load capacity on environmental factors influence has been established. Conditions for existing power reserves of the explosion-proof TS load capacity extraction have been determined.

**Practical value.** Received dependences and determined conditions of TS load capacity use will allow assessing factual and forecasting residual life of e substation. It will be useful for optimal TS park forming in coal mine and up-to-date data bases concerning mining complexes operation modes implementation. It will allow developing principles of electric loads calculations for this equipment type and specific exploitation conditions.

**Keywords:** *explosion-proof factory-assembled transformer substation, load capacity, environmental conditions, insulation deterioration, optimal park, monitoring*

*Рекомендовано до публікації докт. техн. наук Ю.Т. Разумним. Дата надходження рукопису 05.07.12.*

УДК 622.62-83:621.33

Е.И. Хованская, канд. техн. наук, доц.,  
Ю.А. Папаика, канд. техн. наук,  
А.Г. Лысенко

Государственное высшее учебное заведение „Национальный горный университет“, г. Днепропетровск, Украина,  
e-mail: hovansky@omp.dp.ua

## ИСКРОБЕЗОПАСНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПРИ ОТКАТКЕ БЕСКОНТАКТНЫМИ ЭЛЕКТРОВОЗАМИ

Ye.I. Khovanskaya, Cand. Sci. (Tech.), Assoc. Prof.,  
Yu.A. Papaika, Cand. Sci. (Tech.),  
A.G. Lysenko

State Higher Educational Institution “National Mining University”, Dnipropetrovsk, Ukraine,  
e-mail: hovansky@omp.dp.ua

## SAFETY OF ELECTRIC CHAINS DURING THE USE OF CONTACTLESS ELECTRIC LOCOMOTIVES

**Цель.** Целью данной работы является оценка параметров, оказывающих влияние на искробезопасность проводников, расположенных в подземной выработке.

**Методика.** Методика исследований основана на теории электротехники при использовании способов высокочастотной передачи энергии на электровоз.

**Результат.** Результаты работы показывают, что характеристики искробезопасных зон изменяются в зависимости от ряда факторов, в том числе режима работы тяговой сети и расположения проводников в выработке. Искробезопасность посторонних проводников в зоне действия тяговой сети может быть достигнута при учете параметров прокладки рельсов и кабелей тяговой сети. Получены зависимости для определения искробезопасного шага транспозиции для двухпутевой и однопутевой выработок, отличающихся выражением для определения взаимной индукции, которые могут быть использованы при любом взаимном расположении кабелей тяговой сети и посторонних проводников. Полученные результаты являются основой для построения алгоритмов расчета искробезопасного шага транспозиции при двухпутевой и однопутевой выработках.

**Научная новизна.** Значения искробезопасного шага транспозиции для горных выработок транспорта с индуктивной передачей энергии определяются при учете режимных параметров тяговой сети; определены условия, при которых обеспечивается искробезопасность.

**Практическая значимость.** Полученные зависимости определения искробезопасного шага позволяют определить безопасные для эксплуатации зоны расположения посторонних проводников в поле влияния тяговой сети подземного транспорта.

**Ключевые слова:** *транспорт с индуктивной передачей энергии, тяговая сеть, посторонние проводники, искробезопасность*

**Актуальность работы.** Угольная отрасль является приоритетной для энергетики Украины. Одним из крупных потребителей электроэнергии на угольных шахтах считается подземный транспорт. Современные шахты широко используют конвейерный транспорт,

однако рельсовый транспорт остается востребованным, в частности, при транспортировании людей, вспомогательных материалов, оборудования. Одним из перспективных направлений в развитии рельсового транспорта является применение высокочастотных электровозов, обеспечивающих безискровой токосъем. Научную школу, ведущую разработки