УДК 621.311

І.М. Луценко, канд. техн. наук., Є.В. Кошеленко, П.С. Циган, Д.О. Кузнецов
(Україна, Дніпро, Державний вищий навчальний заклад "Національний гірничий університет")

ПРОБЛЕМИ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ РОЗПОДІЛЬЧИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ 6-10 КВ МІСТ

Анотація. Мета. *Обґрунтування впливу взаємозв'язків технічних та економічних факторів на ефективність роботи розподільчих електричних мереж 6-10 кВ міст.* ***Наукова новизна*** *полягає у встановленні закономірностей між технічними та економічними факторами впливу параметрів режимів роботи кабельних ліній, комутаційного і захисного електрообладнання мереж на економічність їх спорудження та ефективність експлуатації.* ***Практична цінність*** *полягає у зниженні капітальних та експлуатаційних витрат в міські розподільчі електричні мережі за умови раціонального вибору параметрів основних елементів та врахуванні взаємовпливу їх характеристик.* ***Результати.*** *Аналіз факторів впливу на вибір провідникових елементів розподільчих електричних мереж показав, що прийняття раціонального перерізу кабелів та відповідна ефективність капіталовкладень в електричну мережу суттєво залежить від точності врахування особливостей параметрів навантаження та технічного стану мережі й функціональності комутаційно-захисного обладнання.*

Ключові слова:

Аннотация. Цель. *Обоснование влияния взаимосвязей технических и экономических факторов на эффективность работы распределительных электрических сетей 6-10 кВ городов.* ***Научная новизна*** *заключается в установлении закономерностей между техническими и экономическими факторами влияния параметров режимов работы кабельных линий, коммутационного и защитного электрооборудования сетей на экономичность их сооружения и эффективность єксплуатации.* ***Практическая ценность*** *заключается в снижении капитальных и эксплуатационных затрат в городские распределительные электрические сети при условии рационального выбора параметров основных элементов и учете взаимовлияния их характеристик.* ***Результаты.*** *Анализ факторов влияния на выбор проводниковых элементов распределительных электрических сетей показал, что принятие рационального сечения кабелей и соответствующая эффективность капиталовложений в электрическую сеть существенно зависит от точности учета особенностей параметров нагрузки, технического состояния сети и функциональности коммутационно-защитной оборудования.*

Ключевые слова:

Abstract. Purpose. *Substantiation of the of technical and economic factors influence on the distribution electric networks 6-10 kV efficiency of operation in conditions of urban areas.* ***The scientific originality*** *consists in establishing patterns between technical and economic factors influence of the cable lines', switching and protective electrical equipment operation modes parameters on the efficiency of their construction and exploitation.* ***The practical value*** *is to reduce capital and operating costs for the urban distribution electric networks, provided that the parameters of the main elements are rationally chosen and their characteristics interact with each other.* ***Findings.*** *Analysis of factors that influence on choice of conductor elements in electrical distribution networks showed that the adoption of the rational cable size and the corresponding efficiency of investments in the electrical network substantially depend on the accuracy of taking into account the characteristics of the load parameters, network technical state and the functionality of switching- protective equipment.*

Keywords:

Загальні аспекти функціонування розподільчих електричних мереж 6-10 кВ міст

Забезпечення надійного та якісного електропостачання споживачів, контроль за електроспоживанням, забезпечення експлуатації енергетичного обладнання, проведення своєчасного і якісного його ремонту, технічне переозброєння і реконструкція енергетичних об'єктів, забезпечення працездатності електричних мереж, задоволення інтересів споживачів, економічних і соціальних потреб за рахунок передачі електроергії споживачам регіону є основними пріоритетами для обслуговуючого персоналу міських еле-

ктромереж. Забезпечення належної надійності і гнучкості живлення кожного споживача досягається шляхом застосування досить простих, надійних і дешевих схем, як правило, магістральних петльових.

ТП окремих відповідальних споживачів, у яких навантаження електроприймачів першої категорії становить понад 100 кВт передбачаються двосекційними з підключенням до різних половин петльових мереж. Всі РП, як правило, укомплектовані камерами типу КСО заводського виконання.

Для живлення ланцюгів вимірювальних приладів і автоматики в основному на РП встановлені трансформатори напруги. На всіх РП передбачений АВР. Для споживачів 0,4 кВ першої категорії надійності електропостачання застосовується двопроменева схема живлення з АВР на стороні 0,4 кВ споживача.

Стосовно забезпечення надійності електропостачання споживачі міських районів відносяться в основному до II і III категорій, за винятком насосних станцій, що забезпечують водопостачання, що відносяться до I категорії по безперебійності електропостачання.

Характерні проблеми міських електричних мереж:

- обладнання підстанцій є застарілим і має наступні незадовільні показники:
- об'єкти мають підвищені експлуатаційні витрати;
- низька надійність комутаційної апаратури (рубильники, вимикачі навантаження, запобіжники);
- встановлені трансформатори з високими значеннями втрат потужності;
- широка номенклатура кабельно-провідникової продукції різних марок та типорозмірів, що часто виходять з ладу та потребують значних витрат на відновлення роботи.
- розвиток районів і зростання навантаження приєднаних споживачів;
- необґрунтовано завищені номінальні параметри захисного і комутаційного устаткування приєднань 0,4 кВ, що відходять;
- недостатня уніфікація обладнання;
- низька надійність електропостачання споживачів і підвищена ймовірність відмов обладнання.

У районах багатоповерхової забудови мережі виконані, як правило, кабелями, по петльовим схемами. Із загальної довжини мереж 6-10 кВ кабельні лінії становлять близько 80%. Центральне місце в структурі енергетичних об'єктів, що знаходяться на обслуговуванні мереж займають підстанції 10 / 0,4 кВ та 6 / 0,4 кВ та КЛ-6(10) кВ зв’язку між ними.

Порівняння експлуатаційних характеристик кабелів з різними видами ізоляції наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Порівняння експлуатаційних характеристик кабелів з різними видами ізоляції [1]

Найменування показника	**Величина показника для кабелів**		
	З ізоляцію зі зшитого поліетилену	**З ізоляцію із поліетилену та полівінилхлоридного пластику**	**З паперовою пропитаною ізоляцією**
Тривало допустима температура нагріву жил , (°С)	90	90	70
Тривало допустимі струмові навантаження *,(%), при прокладці: в повітрі	173	100	116
в землі	125	100	108
Допустимий нагрів жил в аварійному режимі (не більше 8 годин на добу і 1000 годин за термін служби), (°С)	130	80	100
Максимально допустима температура при токах короткого замикання, (°С)	250	130…160	200
Мінімальна температура при прокладці без попереднього підігріву, (°С)	+15…-15	+15…-15	0
Різниця рівнів на трасі прокладки, (м)	Не обмежено	Не обмежено	15

Постановка задач дослідження

При розгляді економічно обґрунтованих перспективних принципів побудови електричних мереж важливе значення має питання уніфікації вибору основних параметрів мереж (наприклад, перетин проводів і жил кабелів).

При цьому можуть бути відзначені два основних типи науково-технічних напрацювань:

а) впорядкування шкал основних параметрів (наприклад, перетин проводів і жил кабелів);

б) уніфікація застосовуваних параметрів або характеристик мережевих споруд.

Видається обґрунтованим розуміти під уніфікацією параметрів електричних мереж застосування (використання) обмеженої кількості основних параметрів електрообладнання (зі складу наявних в стандартній шкалі) при досить широкому діапазоні зміни вихідної інформації.

Природно, при розробці методик і конкретних рекомендацій по уніфікації параметрів електричних мереж слід мати на увазі економічно доцільні або, в ідеальному випадку, оптимальні рішення.

У зв'язку з економічною значимістю та актуальністю проблеми розробки методик уніфікації параметрів електричних мереж представляється необхідним розглядати «широку», «глибоку» і в певних завданнях - «комплексну» уніфікацію. Глибока уніфікація передбачає застосування досить обмеженої кількості параметрів зі складу наявних в стандартизованої шкалою (наприклад, 1-3 перетинів жил кабелів 0,38-10 кВ з числа 8-10 перетинів, зазвичай використовуваних при проектуванні) [2];

Глибока уніфікація параметрів характерних РЕМ є основним перспективним і економічно виправданим принципом виконання і розвитку міських електричних мереж. Практичне застосування такого методу формування мереж дозволяє найбільшою мірою підвищити ефективність виробничих процесів, електромонтажних робіт по експлуатації міських мереж, що, в кінцевому підсумку, веде і до підвищення надійності електропостачання.

Задача дослідження полягає у обґрунтуванні та врахуванні факторів впливу на ефективність режимів роботи й структури електричної мережі для підвищення точності вибору параметрів кабельних ліній з позицій їх уніфікації та ефективності використання в умовах міських електричних мереж 6-10 кВ м. Дніпра.

Номенклатурний ряд КЛ-6,10 кВ міських електричних мереж представлений переважно типорозмірами 95, 120, 150, 185, 240 мм^2. Уніфікація кабельних ліній полягає у зменшенні номенклатури складського резерву кабелів та в обґрунтуванні доцільних й ефективних типорозмірів КЛ до застосування.

Тип застосованого кабелю залежить від таких параметрів:

- щільність навантаження;
- відстань від фідерів підстанцій до трансформаторних підстанцій міських електричних мереж;
- можливі режими роботи міських електричних мереж;
- умови термічної стійкості у аварійних режимах;
- умови за втратами напруги у міських електричних мережах у нормальних та післяаварійних режимах роботи мережі.

Особливості розрахунку електричних мереж 6-10 кВ

В процесі проектування та експлуатації електрична мережа повинна задовольняти вимогам економічності. Досягається це шляхом наближення вищої напруги до споживачів електроенергії, раціональною побудовою мережі, застосуванням уніфікованих або типових рішень для спрощення монтажно-налагоджувальних робіт, мінімального утримання складського резерву тощо.

Поряд з критерієм економічності до електричних мереж пред'являються вимоги:

- надійність роботи;
- можливість зростання навантажень (запас пропускної та навантажувальної здатності електроустаткування).

Крім зазначених вимог до мережі при її проектуванні та монтажі, повинні враховуватися **умови:**

- навколишнього середовища (температура, агресивність, особливості прокладання трас повітряних і кабельних ліній);
- ступінь відповідальності установки;
- вимоги технічної естетики.

При проектуванні розподільної мережі міст здійснюють вибір окремих її елементів таким чином, щоб забезпечити економічність і надійність роботи мережі в нормальних і післяаварійних режимах. Одним з важливих питань при цьому є вибір переріз проводів і жил кабелів з урахуванням ряду технічних і економічних факторів. Серед технічних факторів, що впливають на вибір переріз, відзначимо такі:

- нагрівання від тривалого виділення теплоти розрахунковим струмом;
- нагрівання від короткочасного виділення теплоти струмом КЗ;
- втрати напруги в жилах кабелів або проводах повітряної лінії від струму навантаження (у нормальному і післяаварійному режимах);
- механічна міцність - стійкість до механічного навантаження.

Вплив і врахування цих факторів при проектуванні повітряних і кабельних ліній не однакові. Відповідно до ПУЕ [3] вибір економічно доцільного перерізу роблять за так званою економічною щільністю струму.

Технічні й економічні умови в процесі розрахунку дають різні перерізи для однієї і тієї ж лінії. Остаточно вибирають переріз, що задовольняє всім вимогам, тобто обрані перерізи повинні забезпечувати допустимі відхилення напруги, стійкість до дії струмів коротких замикань.

Вибір перерізів проводів та жил кабелів напругою вище 1 кВ здійснюється:

а) за економічною щільністю струму (j_e);

б) за нагрівом максимальним струмом форсованого режиму.

Вибраний переріз провідника перевіряється за умовами:

- захисту від дії струмів коротких замикань*;*
- по втраті напруги в елементі мережі*:*

Щорічні експлуатаційні витрати складаються з відрахувань на амортизацію, поточний ремонт, обслуговування і вартості втрат електроенергії. Ці відрахування зростають зі збільшенням перерізу проводів і кабелів, тому що при цьому зростають капітальні вкладення. Сума зазначених складових річних приведених витрат матиме мінімум при так званому економічно доцільному перерізі $S_{ек}$. Економічна щільність струму нормується ПУЕ залежно від матеріалу провідника і конструкції лінії (кабельна або повітряна). Розрахунок перерізів проводів за j_e здійснюється залежно від річного числа годин використання максимального навантаження $T_м$ електроустановок.

Економічно доцільний переріз визначають через розрахунковий струм лінії $I_р$ і економічну щільність струму j_e за співвідношення:

$$S_{ек} = \frac{I_м}{j_{ек}},$$

де $I_м$ – розрахунковий струм нормального режиму роботи електроустановки, А; j_e – нормоване значення економічної щільності струму, А/мм^2, для заданих умов роботи, вибране по табл. 1.3.36 ПУЕ.

Таблиця 1.3.36 [3]

Економічна щільність струму

Провідники	**Економічна щільність струму, А/мм^2, при числі годин використання максимуму навантаження в год**		
	більше 1000 до 3000	більше 3000 до 5000	більше 5000
Кабелі з паперовою і проводи з гумовою та полівінілхлоридною ізоляцією з жилами:			
мідними	3,0	2,5	2,0
алюмінієвими	1,6	1,4	1,2
Кабелі з гумовою і пластмасовою ізоляцією з жилами:			
мідними	3,5	3,1	2,7
алюмінієвими	1,9	1,7	1,6

Переріз, отриманий в результаті зазначеного розрахунку, округляється до найближчого стандартного перерізу. Розрахунковий струм приймається для нормального режиму роботи, тобто збільшення струму в післяаварійних і ремонтних режимах мережі не враховується.

Збільшення кількості ліній або ланцюгів за умовами надійності електропостачання з метою задоволення економічної щільності струму виконується на основі техніко-економічного розрахунку. При цьому, щоб уникнути збільшення кількості ліній або ланцюгів допускається двократне перевищення нормованих значень, наведених в табл. 1.3.36 [3].

Критичний аналіз переваг та недоліків методів вибору КЛ

Існує бачення, що вибір перерізів за економічною щільністю струму не відповідає мінімуму приведених витрат, тому що j_e нормується за рядом припущень:

- перерізи, обчислені за формулою, безперервні, у дійсності ж вони дискретні;
- економічна щільність струму нормується ПУЕ у вигляді дискретних значень, тому що вона встановлена для деякого діапазону числа годин використання максимуму, насправді ж ця щільність є безперервною функцією;
- коефіцієнти відрахувань від капітальних вкладень при нормуванні j_e приймалися однаковими для різних випадків, хоча в дійсності вони неоднозначні для виконання мереж, що відрізняються;

- вартість втрат електроенергії змінюється в часі, крім того, вона неоднакова для різних районів країни.

Уникнути зазначених недоліків формалізованого використання в розрахунках $j_е$ можна шляхом знаходження оптимальних перерізів дротів і кабелів за уточненими показниками. При цьому користуються двома способами вибору перерізів:

- за приведеними витратами, обумовленими для кожного варіанта. В інженерній практиці для цього застосовують метод економічних інтервалів, що враховує всі фактори, в тому числі дискретність перерізів і нелінійність залежності *К*л= f(S) [4].

- за уточненим значенням економічної щільності струму, обумовленим розрахунком для конкретних умов. Такий підхід застосовується також при виборі перерізів струмопроводів на промислових підприємствах.

Досвід використання розглянутих методів вибору перерізів кабельних розподільних мереж 6-10 кВ дозволяє відзначити наступне: при виборі перерізів кабелів за нагріванням, термічною стійкістю і економічністю визначальним є переріз, обраний за умовою термічної стійкості до струмів КЗ. У зв'язку з цим вибір перерізів кабелів 6-10 кВ за економічними умовами не вимагає високої точності розрахунків і може здійснюватися за допомогою економічної щільності струму відповідно до ПУЕ.

Визначення факторів впливу на вибір перерізу кабельних ліній 6-10 кВ

Для аналізу факторів впливу виконаємо вибір перерізу кабельних ліній для двотрансформаторної підстанції з трансформаторами типу ТМ-630/6. Завантаження трансформаторів у нормальному режимі β = 0,7. Кабелі, що живлять міські ТП, мають бути підключені до різних шин ГЗП (РП) за вимогами резервування у післяаварійному режимі. Від ГЗП (РП) до міських ТП кабелі 6(10) кВ прокладаються, як правило, в траншеї (в землі).

Переріз кабелю 6(10) кВ вибирається за економічною густиною струму (див. табл. 1.3.36 [3]):

$$S_e = I_{н.р} / j_e ,$$

де $I_{н.р}$ – струм нормального режиму роботи, А; $j_е$ – економічна густина струму, А/мм^2.

<u>Фактор 1.</u> Значення $j_е$ залежить від річного числа годин використання максимуму навантаження, яке для міських електричних мереж може знаходитись в двох діапазонах: 3000-5000 год або більше 5000 год. Тобто, характеристика ГЕН споживачів впливає на вибір перерізу КЛ.

Так, наприклад при значенні Тм у діапазоні 3000-5000 год $j_е$ становить 1,4 А/мм^2, а для Тм>5000 год $j_е$ = 1,2 А/мм^2 для кабелів з паперовою просоченою ізоляцією.

1. Визначаємо струм трансформатора в нормальному режимі роботи:

$$I_{н.р.т} = \frac{\beta_{н.р} S_{нт}}{\sqrt{3} U_н} = \frac{0,7 \cdot 630}{\sqrt{3} \cdot 6} = 42,4 \text{ А},$$

де $\beta_{н.р}$ – завантаження трансформатора в нормальному режимі роботи.

Тоді економічно доцільний переріз буде:

$$S_e = \frac{42,4}{1,4} = 30,3 \text{ мм}^2.$$

Найближчий стандартний переріз складає 35 мм^2. Приймаємо кабель з паперовою пропитаною ізоляцією марки ААШв-3×35, $I_{доп}$ = 110 А.

2. Перевіряємо кабель по нагріву в післяаварійному режимі (при виході з ладу іншого кабелю і живлення навантаження по одному кабелю):

$$I_{ав} \le I'_{доп} ,$$

де $I_{ав}$ – струм післяаварійного режиму, А; $I'_{доп}$ – допустимий струм, А.

$$I'_{доп} = k_1 k_2 k_3 I_{доп} ,$$

де k_1 = 1 – коефіцієнт, який враховує температуру навколишнього середовища (вважаємо, що температура ґрунту не відрізняється від нормальної=15°С); k_2 = 0,92 – коефіцієнт, який враховує число поруч прокладених у землі кабелів (прокладається, як правило 1-2 кабелі в одній траншеї); k_3 – коефіцієнт, який

враховує допустиме перевантаження у післяаварійному режимі. При початковому завантаженні *I*рн/*I*доп = 42,4/110 = 0,4 коефіцієнт k_3 = 1,25 (6 годин на добу протягом 5 діб) [3].

Таблиця 1.3.26 [3].

Поправочний коефіцієнт на кількість працюючих кабелів, що лежать поруч у землі (у трубах або без труб)

Відстань між кабелями в світлі, мм	**Коефіцієнт при кількості кабелів**					
	1	***2***	**3**	**4**	**5**	**6**
100	1,00	0,90	0,85	0,80	0,78	0,75
200	*1,00*	***0,92***	0,87	0,84	0,82	0,81
300	*1,00*	*0,93*	0,90	0,87	0,86	0,85

$$I'_{доп} = 1 \cdot 0,92 \cdot 1,25 \cdot 110 = 126,5 \text{ А}$$

Струм в післяаварійному (форсованому) режимі дорівнює:

$$I_{ав} = 1,4 S_{нт} / (\sqrt{3} U_{вн}) = 1,4 \cdot 630 / (\sqrt{3} \cdot 6) = 85 \text{ А};$$

85<126,5 (А) – вірно

<u>Фактор 2.</u> На вибір перерізу кабеля у нормальному режимі роботи і його перевірку за форсованим режимом роботи впливає початковий (попередній) режим роботи, який, згідно ПУЕ диференціюється завантаженням до 0,6*I*ном та 0,8*I*ном. Таким чином, визначення та прийняття доцільного попереднього завантаження також має бути обґрунтованим.

3. Перевіряємо кабелі на термічну стійкість при протіканні струмів короткого замикання. Умова перевірки:

$$F_{\min} \le F,$$

де $F_{\min}$ – мінімальний переріз провідника, що відповідає вимозі його термічної стійкості при короткому замиканні, мм^2.

$$F_{\min} \le \frac{I_\infty \sqrt{t_{відк} + T_a}}{C},$$

де I_∞ – струм КЗ, А; $t_{відк}$ – час протікання струму КЗ, с; T_a – постійна часу затухання аперіодичної складової струму КЗ, рівна для розподільчих мереж напругою 6-10 кВ 0,01 с; *C* – постійна, що визначається в залежності від заданої ПУЕ кінцевої температури нагріву жил і напруги. Для кабелів з паперовою пропитаною ізоляцією при напрузі 6 (10) кВ *C* = 98 (100) А·с$^{-1/2}$/мм^2.

Величину струму КЗ визначаємо по заданій потужності КЗ $S_{кз}$ на шинах джерела живлення (для прикладу прийнято $S_{кз}$ = 180 МВА):

$$I_\infty = \frac{S_{кз}}{\sqrt{3} U_н} = \frac{180}{\sqrt{3} \cdot 6} \times 10^3 = 17320 \text{ А}$$

.

Згідно ПУЕ час дії струму КЗ складається з часу дії основного релейного захисту даного ланцюга $t_{рз}$ і повного часу відключення вимикача $t_{відк.в}$. Якщо прийняти, що кабелі підключено до РП ГЗП через вакуумні вимикачі типу ВР з ВМП з повним часом відключення вимикача $t_{відкл.в}$ = 0,055 с. Час дії релейного захисту приймаємо рівним $t_{рз}$ = 0,01 с (мінімальний час спрацювання захисту), тоді:

$$t_{відк} = t_{рз} + t_{відк.в} = 0,01 + 0,055 = 0,065 \text{ с};$$

$$F_{\min} = \frac{17320 \cdot \sqrt{0,065 + 0,01}}{98} = 48,4 \text{ мм}^2;$$

48,4 < 35 (мм^2) – умова не виконується.

В цьому випадку, остаточно слід приймати живлення кожного трансформатора ТП кабелями з перерізом 50 мм^2.

Якщо ж прийняти, що кабелі підключено до РП ГЗП через маломасляні вимикачі типу ВМП з повним часом відключення вимикача $t_{відкл.в}$ = 0,1 с. Час дії релейного захисту приймаємо рівним $t_{рз}$ = 0,01 с (мінімальний час спрацювання захисту), тоді:

$$t_{відк} = t_{рз} + t_{відк.в} = 0,01 + 0,1 = 0,11 \text{ с};$$

$$F_{\min} = \frac{17320 \cdot \sqrt{0,1 + 0,01}}{98} = 58,6 \text{ мм}^2;$$

58,6 < 35 (мм^2) – умова не виконується.

Фактор 3. Таким чином, на вибір типорозміру КЛ впливає перевірка на термічну дію струму КЗ. Окрім значень потужності КЗ на шинах 6-10 кВ та відповідних розрахункових струмів суттєве значення має характеристика часу спрацювання застосованого комутаційного та захисного обладнання, його вимикаюча спроможність. З приведених розрахунків випливає, що за однакових параметрів режимів роботи мереж, застарілість обладнання викликає необхідність завищення параметрів їх основних елементів, а відповідно і вартості системи в цілому, неефективному використанні навантажувальної здатності елементів тощо.

Фактор 4. Перевірка мережі за втратою напруги в її елементах також є важливою в плані прийняття доцільного типорозміру КЛ.

Висновки

При виборі перерізів кабелів за нагріванням, термічною стійкістю і економічністю визначальним є переріз, обраний за умовою нагрівання допустимим струмом та термічною стійкістю до струмів КЗ. У зв'язку з цим вибір перерізів кабелів 6-10 кВ за економічними умовами не вимагає високої точності розрахунків і може здійснюватися за допомогою економічної щільності струму відповідно до ПУЕ.

Аналіз факторів впливу на вибір провідникових елементів розподільчих електричних мереж показав, що на прийняття раціонального перерізу кабелю суттєвий вплив має з однієї сторони режим роботи споживачів, а саме такий показник, як число годин використання максимального навантаження ($T_м$), який необхідно і доцільно враховувати, залежно від типу та сукупності характерних споживачів; з іншої сторони – сучасність та функціональність застосованого комутаційного та захисного електроустаткування. Тобто, ефективність капіталовкладень в кабельну мережу залежить від точності врахування особливостей параметрів навантаження та технічного стану мережі й функціональності комутаційно-захисного обладнання.

Встановлені фактори зумовлюють необхідність більш детального дослідження їх впливу на техніко-економічні показники роботи розподільчих електричних мереж з оцінкою потенціалу енергоресурсозбереження та врахуванням ефективності використання номінальних параметрів устаткування.

Список літератури

1. Справочник кабельно-проводниковой продукции. Режим доступа: http://www.yuzhcable.info/

2. **Сборник трудов Международной научно-технической конференции «Современное состояние и перспективы развития энергетики», в 2 томах. - Ташкент, ТашГТУ им. Беруни, 2011. Т1 - 246 с., Т2 – 241 с.** 3. Анализ унификации параметров распределительных электрических сетей. Режим доступа: **http://www.alobuild.ru/sovremennoye-sostoyaniye-i-perspektivi-razvitiya-energetiki/analiz-unificacii.php**

3. Правила устройства электроустановок. – Х.: Изд-во «Форт», 2009. – 704 с.

4. Розрахунки електричних мереж систем електропостачання: Навч. посібник / Г.Г. Півняк, Г.А. Кігель, Н.С. Волотковська; За ред. акад. Г.Г. Півняка. – 3-тє вид., перероб. і доп.- Д.: Національний гірничий університет, 2006. – 216 с.

Рекомендовано до друку д-ром техн. наук, проф. Випанасенко С.І.

УДК 621.31

В.Д.Трифонов, Д.В.Трифонов, канд-ти техн. наук, О.Р.Ковальов, І.Б.Кольцов, В.В.Бердник
(Україна, Дніпро, Державний вищий навчальний заклад "Національний гірничий університет")

ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПІДЗЕМНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ

Анотація. *Підвищення енергоефективності на вугільних шахтах можливо за рахунок удосконалення технологічних процесів, а також завдяки застосуванню спеціальних засобів, серед яких найбільш ефективним є зниження втрат електроенергії шляхом компенсації реактивної потужності. З цією метою у споживачів електричної енергії встановлюють пристрої компенсації реактивної потужності (ПКРП). Коректний вибір та техніко-економічне обґрунтування раціонального розподілу ПКРП в РПП–6 кВ значно розвантажує усю електричну мережу. Запропонована економіко-математична модель визначення раціональних значень потужності ПКРП на підземних розподільчих пунктах 6 кВ з урахуванням однакових потужностей вибухобезпечних ПКРП.*

Ключові слова: *економіко-математична модель, компенсації реактивної потужності, підземні розподільчі пункти.*

Аннотация. *Повышение энергоэффективности угольных шахт возможно за счет усовершенствования технологических процессов, а также благодаря применению специальных мероприятий, среди которых наиболее эффективным является снижение потерь электроэнергии за счет компенсации реактивной мощности. С этой целью у потребителя электрической энергии устанавливают устройства компенсации реактивной мощности (УКРМ). Корректный выбор и технико-экономическое обоснование рационального распределения УКРМ в РПП–6 кВ существенно разгружает всю электрическую сеть. Предложена экономико-математическая модель определения рациональных значений мощности УКРМ на подземных распределительных пунктах 6 кВ с учетом одинаковых мощностей взрывобезопасных УКРМ.*

Ключевые слова: *экономико-математическая модель, компенсация реактивной мощности, подземные распределительные пункты.*

Abstract: *Energy efficiency optimization of coal mines, as a result of technological advance and of special measures being taken, among which the most effective is the reduction of power losses by compensating the reactive power, is considered. For this purpose, a reactive power compensation device (RPCD) is installed at the electrical energy consumer. The correct choice and feasibility study of rational distribution of RPCD in the 6 kV PDC significantly help un load the entire network. To determine the rational values of power RPCD at underground distribution centers of 6 kV, with respect to the identical power of explosion-proof RPCD, an economical and mathematical model is proposed.*

Keywords: *economical and mathematical model, reactive power compensation, underground distribution centers*

Стан питання. Сучасні вугільні шахти – потужні високо механізовані гірничодобувні підприємства зі складним електротехнічним господарством. Вони характеризуються значним різноманіттям технологічних процесів, які істотно впливають на ефективність використання електроенергії. Підвищення енергоефективності на вугільних шахтах можливо за рахунок удосконалення технологічних процесів, а також завдяки застосування спеціальних засобів, серед яких найбільш ефективним є зниження втрат електроенергії шляхом компенсації реактивної потужності. З цією метою у споживачів електричної енергії встановлюють пристрої компенсації реактивної потужності (ПКРП). Це значно розвантажує усю електричну мережу від цієї складової. Однак такі пристрої мало використовуються за часом.

Для умов вугільних шахт підвищення ефективності підземних електричних мереж, якщо припустити їх коректний вибір, можливо тільки завдяки більш високого коефіцієнта використання за часом, який за стверджуваннями багатьох науковців становить нині 0.6…0.75 [1]. Більш високий коефіцієнт використання мають ПКРП напругою 6 кВ, що підключають у розподільних пунктах 6 кВ (РПП – 6 кВ). Однак застосування рудникових вибухобезпечних високовольтних конденсаторних батарей у схемах електропостачання вугільних шахт з установленням їх в РПП – 6 кВ потребує техніко-економічного обґрунтування.