

УДК 621.316

О. І. Грачова, д. т. н., проф.; А. В. Шагідуллін**ВПЛИВ УРАХУВАННЯ ОПОРІВ КОНТАКТНИХ З'ЄДНАНЬ
НИЗЬКОВОЛЬТНИХ КОМУТАЦІЙНИХ АПАРАТІВ**

Стаття присвячена проблемі впливу основних схемних і режимних параметрів устаткування й цехових мереж, що впливають на значення еквівалентного опору низьковольтних мереж промислових підприємств. Розглянуто умови, за яких неврахування опорів контактних з'єднань комутаційних апаратів не призводить до значної похибки під час визначення еквівалентного опору мережі 0,4 кВ.

Ключові слова: *низьковольтні мережі, комутаційні апарати, автоматичний вимикач, магнітний пускач, еквівалентний опір.*

До складу енергосистеми входить кілька тисяч ліній електропередачі напругою до 1000 В. Такі мережі є найважливішою ланкою в системі електропостачання промислових підприємств. Унаслідок їхньої великої розгалуженості й довжини мережі низької напруги мають досить високі втрати електроенергії [1], тому в умовах зростання вартості електричної енергії актуальним є підвищення вірогідності розрахунків втрат у цих мережах [2,3].

Для точнішого визначення втрат електроенергії доцільно застосовувати спеціалізовані моделі [4], параметри яких легко формувати окремо для кожної конкретної цехової мережі. Під час складання таких моделей усі лінії радіальної цехової мережі замінюють однією еквівалентною лінією.

Як відомо, еквівалентний опір схеми цехової мережі є визначальним параметром для розрахунку втрат електроенергії [5] отже, і витрат електроенергії [6]. Втрати електроенергії, зумовлені квадратом ефективного струму й еквівалентним опором схеми, є одним із найважливіших показників, що характеризують економічність роботи мереж [7]. Визначення значення втрат із мінімально можливою похибкою необхідно для розв'язування задач, що постають під час планування витрат електроенергії й експлуатації цехових мереж [8]. Під час планування електроспоживання й оцінювання втрат як основної характеристики схеми з різним набором кількості й типу апаратів, установлених на лінії, використовують еквівалентний опір усього кола [3].

Для оцінювання міри впливу основних чинників, що визначають еквівалентний опір цехової мережі, дослідимо параметри схеми електропостачання ділянки механічного цеху з перевагою радіальних ліній (рис. 1).

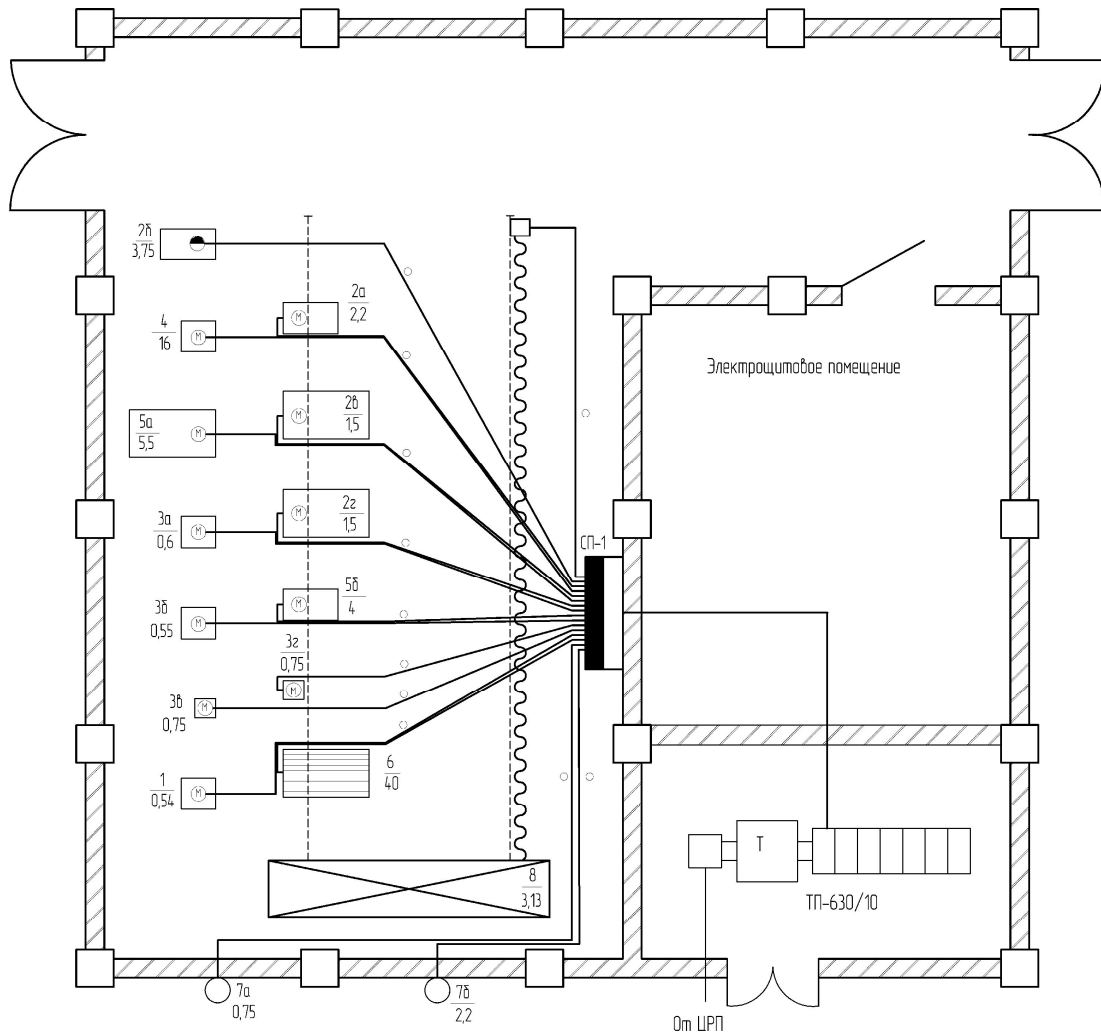


Рис. 1. Радіальна схема електропостачання ділянки механічного цеху, де

1 – настільний свердлильний верстат; 2в – універсально-фрезерний верстат; 2г – універсально-фрезерний верстат; 3а – токарський верстат; 3б – токарський верстат; 3в – токарський верстат; 3г – токарський верстат; 5а – компресор; 5б – компресор; 6 – настільний свердлильний верстат; 2а – універсально-фрезерний верстат; 2б – універсально-фрезерний верстат; 4 – настільний свердлильний верстат; 7а – вентилятор; 7б – вентилятор; 8 – кран-балка електрична опорна; Л1-Л16 – кабельні лінії від розподільного щита до споживача; СП-1 – щит розподільний; Т – трансформатор; ТП – трансформаторна підстанція; ЦРП – центральний розподільний пункт

Еквівалентний опір радіальної мережі визначають за виразом [9]:

$$R_{\text{екв}} = \frac{\sum_{i=1}^n r_{i,20} \cdot l_i [1 + \alpha(\theta_{i,нр} - 20^\circ)] + \sum_{i=1}^m r_{i,ан}}{n}, \quad (1)$$

де $r_{i,ан}$ – опір контактних з'єднань, установлених на лінії низьковольтних комутаційних апаратів; l_i – довжина лінії, м; $r_{i,20}$ – питомий опір 1 м провідника за температури 20°C , мОм/м; α – температурний коефіцієнт збільшення опору матеріалу провідника лінії, для міді дорівнює $0,0044 \text{ 1/}^\circ\text{C}$, для алюмінію – $0,0042 \text{ 1/}^\circ\text{C}$; n – кількість приймачів електроенергії; m – кількість апаратів у схемі.

Температуру нагрівання струмопровідної жили визначають за виразом [10]:

$$\theta_{\text{пр}} = k_3^2 \cdot (T_{\text{доп}} - \theta_{\text{окр}}) + \theta_{\text{окр}}, \quad (2)$$

де k_3^2 – середньоквадратичний коефіцієнт завантаження лінії; $T_{\text{доп}}$ – допустима температура жили кабелю, яку визначають за довідковими даними; $\Theta_{\text{пр}}$ – температура жили провода, що змінюється залежно від температури середовища й завантаження лінії, $^{\circ}\text{C}$; $\Theta_{\text{окр}}$ – температура навколишнього середовища.

Для визначення еталонного еквівалентного опору поелементно знаходять втрати потужності в кожній лінії [11] ділянки радіальної мережі ΔP_i

$$R_3 = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta P_i}{3I_{\text{сум}}^2} = \frac{\sum_{i=1}^n I_{i,p}^2 \left\{ r_{i,20} \cdot l_i [1 + \alpha(\Theta_{i,пр} - 20^{\circ})] + \sum_{i=1}^N r_{i,ап} \right\}}{I_{\text{сум}}^2}, \quad (3)$$

де $I_{i,p}$ – розрахунковий струм i -ої ділянки мережі, А; $I_{\text{сум}}$ – сумарний струм n -ої кількості електроприймачів, А; N – кількість апаратів на лінії.

На рис. 2 представлена динаміка зміни значення еквівалентного опору ділянки цехової мережі, представленої на рис. 1, за умови врахування й неврахування таких параметрів, як:

- нагрівання провідників струмом навантаження $\Theta_{\text{пр}}$;
- опору комутаційних апаратів $r_{i,ап}$;
- k_3^2 – середньоквадратичний коефіцієнт завантаження лінії.

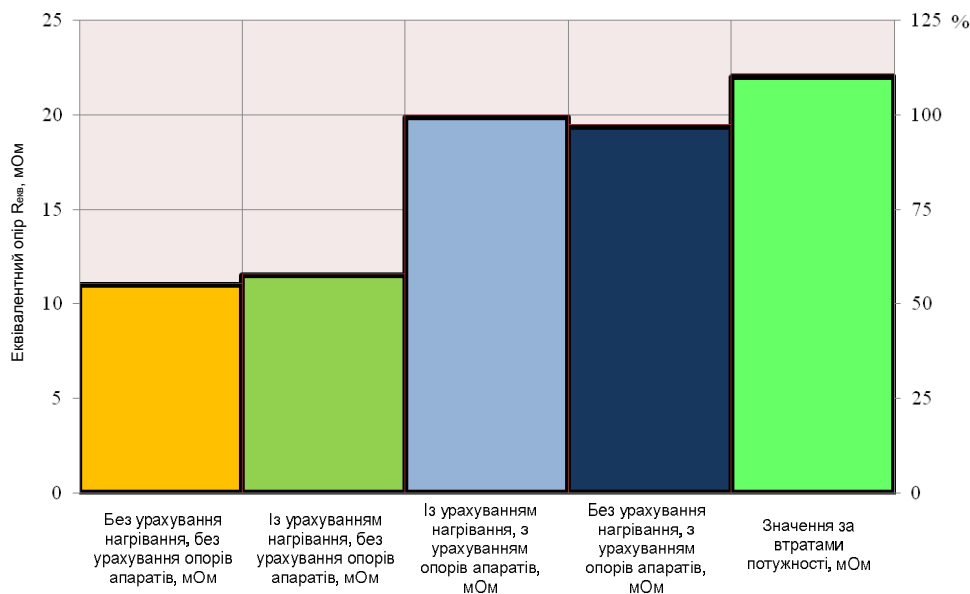


Рис. 2. Значення еквівалентного опору ділянки цехової мережі з урахуванням впливу основних параметрів устаткування

Еквівалентний опір радіальної мережі без урахування опору комутаційних апаратів визначають [12] за виразом:

$$R_{\text{екв}} = \frac{\sum_{i=1}^n r_{i,20} \cdot l_i}{n} [1 + \alpha(\Theta_{i,пр} - 20^{\circ})] \quad (4)$$

За результатами проведених досліджень, встановлено співвідношення в еквівалентному опорі радіальної мережі опору контактних з'єднань низьковольтних апаратів і опору ліній залежно від кількості приймачів електроенергії, приєднаних до розподільного пристрою (рис. 3).

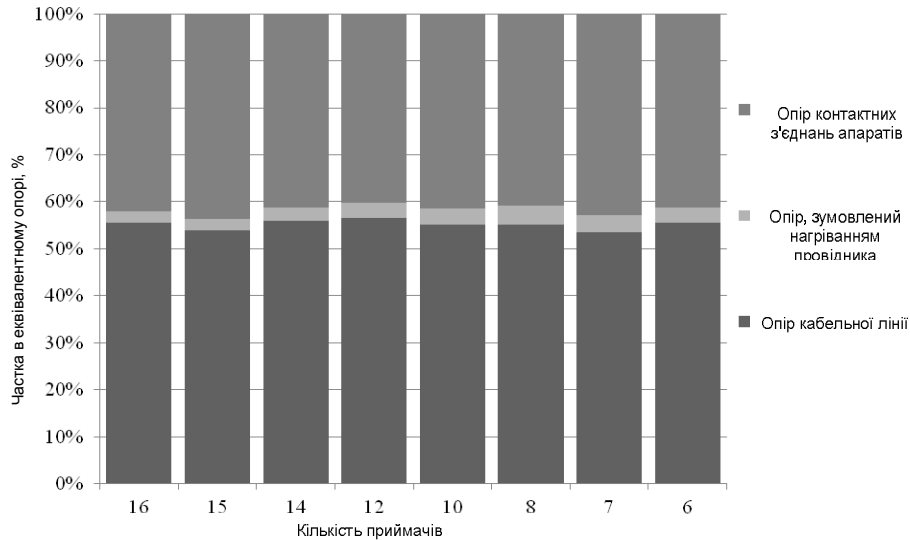


Рис. 3. Співвідношення в еквівалентному опорі радіальної мережі опору контактних з'єднань низьковольтних апаратів і опору ліній з урахуванням нагрівання провідників

Як показали дослідження [12,13], під час розрахунку еквівалентного опору в лініях цехових мереж необхідно враховувати вплив нагрівання провідників, зумовленого проходженням струму навантаження й температурою навколишнього середовища [14,15]; опорів контактних систем комутаційних апаратів і їхнього числа, тому що цехові лінії містять безліч послідовно з'єднаних вузлів із контактними з'єднаннями, і опір апаратів можна порівняти з опором лінії; а також необхідно враховувати середньоквадратичний коефіцієнт завантаження ліній мережі k_s^2 , що дозволяє знизити погрішність обчислення еквівалентного опору, а отже, підвищити точність обчислення значення втрат електроенергії в цехових мережах низької напруги.

Залежності еквівалентного опору радіальної мережі від кількості приймачів, під'єднаних до одного силового пункту (розподільного пристрою), а також залежності від кількості паралельно під'єднаних силових пунктів з однаковою кількістю приймачів електроенергії представлені на рис. 4.

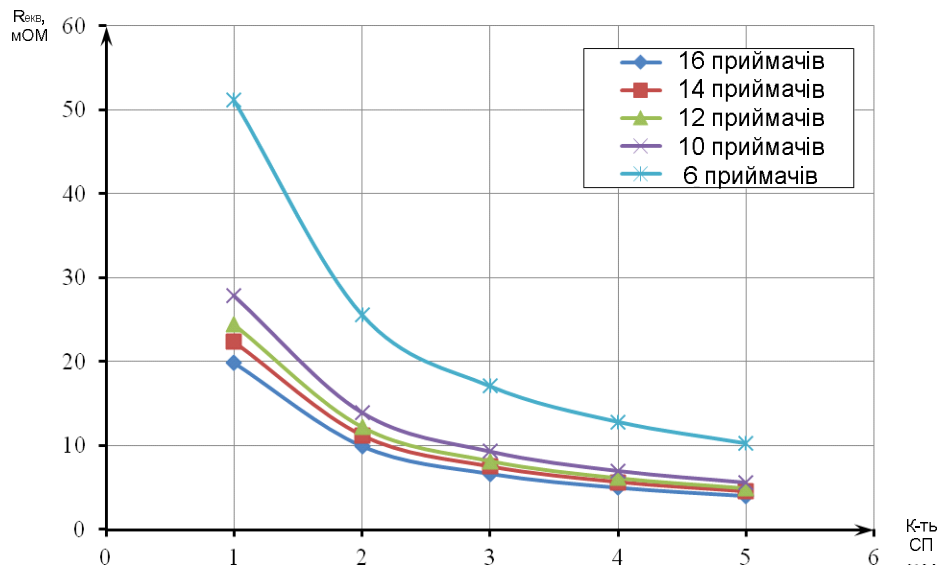


Рис. 4. Залежність еквівалентного опору мережі від кількості паралельно під'єднаних силових пунктів

За результатами досліджень, проаналізовано й визначено умови врахування/неврахування опору комутаційних апаратів для різних схем радіальних цехових мереж із такими параметрами, що змінюються:

- кількість приймачів електроенергії 6 – 10;
- довжина лінії 5 – 200 м;
- переріз лінії 2,5 – 240 мм²;
- кількість комутаційних апаратів на лінії: 1 автоматичний вимикач; 1 автоматичний вимикач і 1 магнітний пускач; 2 автоматичних вимикачі й 1 магнітний пускач.

Результати врахування/неврахування опору комутаційних апаратів наведені на рис. 5, 6, де АВ – кількість автоматичних вимикачів, МП – магнітних пускачів, установлених на лінії.

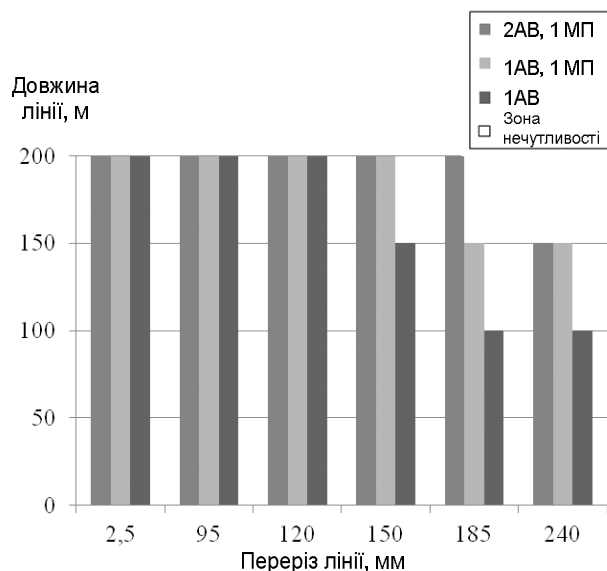


Рис. 5. Зона врахування опору комутаційних апаратів в еквівалентному опорі цехової мережі з 6 радіальними лініями

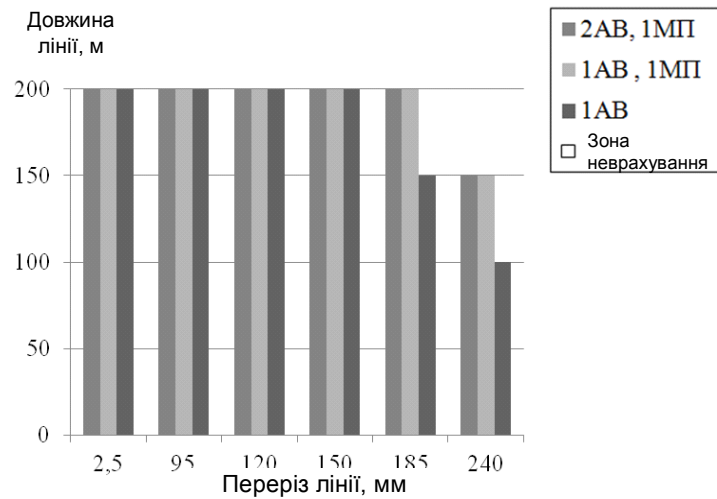


Рис. 6. Зона врахування опору комутаційних апаратів в еквівалентному опорі цехової мережі з 10 радіальними лініями

Отже, визначення еквівалентного опору за виразом (4) для варіантів устаткування схем, що не потрапляють у зону врахування опорів контактів, призведе до різниці меншою за 5% порівняно з урахуванням опорів комутаційних апаратів у еквівалентному опорі. Наведені номограми спрощують алгоритм визначення еквівалентного опору низьковольтних мереж для різних схем.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Федоров О. В. Некоторые особенности структуры систем внутрицехового электроснабжения / О. В. Федоров // Надежность и безопасность энергетики. – 2015. – № 3 (30). – С. 30 – 33.
2. Грачева Е. И. Определение потерь электроэнергии в цеховых сетях напряжением до 1000 В / Е. И. Грачева, В. В. Шевченко // Промышленная энергетика. – 2001. – № 10. – С. 33 – 35.
3. Грачева Е. И. Определение сопротивлений контактных соединений низковольтных коммутационных аппаратов / Е. И. Грачева, В. В. Шевченко // Промышленная энергетика. – 2002. – № 1. – С. 42 – 43.
4. Шпиганович А. Н. Аспекты расчетов параметров электротехнических установок по условиям подобия / А. Н. Шпиганович // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2008. – № 2. – С. 232 – 235.
5. Федоров А. А. Основы электроснабжения промышленных предприятий / А. А. Федоров, В. В. Каменева. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 472 с.
6. Gasperic S. Energy losses in low voltage distribution network / S. Gasperic // Proceedings of the 2011 3rd International Youth Conference on Energetics (IYCE). IEEE Conference Publications. – 2011. – P. 1 – 5.
7. Шпиганович А. А. Анализ влияния вероятностных параметров электрооборудования на эффективность функционирования систем электроснабжения / А. А. Шпиганович // Вести вузов Черноземья. – 2013. – № 2. – С. 25 – 32.
8. Федоров О. В. Приоритетные отрасли новых технологических укладов : Монография // О. В. Федоров, Б. Я. Татарских, А. М. Якушева. – М : КНОРУС, 2016. – 280 с.
9. Грачева Е. И. Потери электроэнергии в низковольтных сетях: монография / Е. И. Грачева. – Казань : Казан. гос. энерг. ун-т, 2004. – 128 с.
10. Справочник по проектированию электрических сетей / [под ред. Д. Л. Файбисовича]. – М. : Изд-во НЦ ЭНАС, 2005. – 320 с.
11. Dickert J. Residential load models for network planning purposes / J. Dickert, P. Schegner // P2010 Modern Electric Power Systems. IEEE Conference Publications. – 2010. – P. 1 – 6.
12. Шагидуллин А. В. Расчет эквивалентного сопротивления радиальных схем при вычислении потерь электроэнергии / А. В. Шагидуллин, Е. И. Грачева, А. Н. Хаерова // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2014. – № 9. – С. 10 – 16.
13. Шагидуллин А. В. Расчетно-экспериментальное исследование сопротивлений контактных систем автоматических выключателей / А. В. Шагидуллин, Е. И. Грачева, А. В. Рыбакова // Электрика. – 2013. – № 3. – С. 20 – 25.

14. Правила устройства электроустановок. 7-е изд. [Электронный ресурс] / Министерство энергетики Российской Федерации, 2003. – Режим доступа : <https://www.elec.ru/files/2016/11/02/PUE-novredaktsijaelek.pdf>.

15. Федотов А. И. Учет нагрева элементов цеховых сетей при определении потерь электроэнергии / А. И. Федотов, О. В. Наумов // Изв. вузов. Проблемы энергетики. – 2004. – № 5 – 6. – С. 86 – 92.

Стаття надійшла до редакції 07.03.2018 р.

Стаття пройшла рецензування 14.03.2018 р.

Грачова Олена Іванівна – д. т. н., професор Федеральної державної бюджетної освітньої установи вищої освіти «Казанський державний енергетичний університет», e-mail: grachieva.i@bk.ru.

Шагідулін Андрій Владиславович – старший викладач Федеральної державної бюджетної освітньої установи вищої освіти «Казанський державний енергетичний університет», e-mail: shagidullinav@gmail.com.

Федеральна державна бюджетна освітня установа вищої освіти «Казанський державний енергетичний університет».