

ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ENERGY EFFICIENCY AND ENERGY SAVING

УДК 621.311.01

В.В. Зорин, д-р техн. наук, проф., ORCID 0000-0001-5913-401X,

Ю.М. Мацкевич, магистр, ORCID 0000-0002-1095-3791,

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В СТОЯКАХ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

Разработан метод определения мест установки и мощности батарей конденсаторов на основе данных измерений потерь напряжения на характерных участках схемы электрической сети. Приведен алгоритм расчета таких параметров режима, как потери активной мощности ΔP и реактивной мощности ΔQ в электрической сети 0,38 кВ зданий высотной застройки города. Рассмотрен пример расчета для многоэтажного дома данным методом. Преимуществами предложенного метода определения мест установки и мощности батарей конденсаторов является простота и возможность компенсировать реактивную мощность непосредственно у бытовых потребителей.

Ключевые слова: расчетная схема, параметры режимов, компенсация реактивной мощности, конденсаторные батареи, потери мощности, потери напряжения.

Введение. В настоящее время проблема компенсации реактивной мощности у потребителей является актуальной темой. Стремительное развитие современной техники и технологий обуславливает рост электропотребления в бытовом секторе. При нормальных рабочих условиях все потребители электрической энергии, режим которых сопровождается постоянным возникновением электромагнитных полей (электродвигатели стиральных машин и кондиционеров, блоки питания компьютеров, люминесцентные лампы и т. д.), нагружают сеть как активной, так и реактивной составляющими полной потребляемой мощности. Учитывая высокую плотность коммунально-бытовой нагрузки, постоянное наличие перетоков мощности реактивной составляющей приводит к значительным потерям электроэнергии в распределительных сетях крупных городов [1, 6]. В распределительных сетях коммунально-бытовых потребителей устройства компенсации реактивной мощности применяются недостаточно, хотя по объемам потребления этот сектор уже занимает второе место после промышленности [6].

Объектом исследования в данной работе являются электрические распределительные сети напряжением 0,38 кВ районов города с многоэтажной застройкой.

Целью и задачами данной работы является разработка усовершенствованного метода определения мест установки и мощности батарей конденсаторов на основе данных измерений потерь напряжения на характерных участках схемы электрической сети. В зависимости от модели, метода и критерия оптимизации могут быть получены различные результаты. Для электрических распределительных сетей городов с многоэтажной застройкой целесообразней применить метод выбора места установки батарей конденсаторов в линиях с равномерно распределенной нагрузкой [5]. А так же один из известных способов определения потерь мощности и электроэнергии в сетях 0,38 кВ, который основан на использовании корреляционной связи между потерей напряжения и потерей мощности в сети называется методом коэффициента $K_{мн}$ [3].

Исходные данные для решения поставленной задачи на примере 16-ти этажного жилого дома (рис. 1) с 3-я секциями и с 3-я квартирами на этаже. В квартирах используются электроплиты мощностью 8,5 кВт, $\cos\varphi = 0,8$ и $x_0=0$.

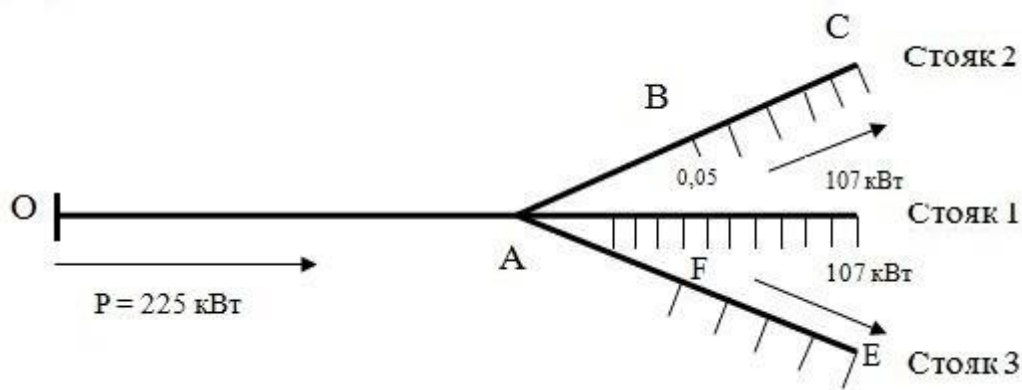


Рисунок 1 – Исходная схема сети 0,38 кВ 16-ти этажного жилого дома

Рассмотрим стояк 1 (рис. 1): общее число квартир $n = 16 \cdot 3 = 48$, удельная нагрузка на квартиру согласно [2] $P_{уд} = 2,23$ кВт/кв., нагрузка $P_I = 2,23 \cdot 48 = 107$ кВт.

Реактивную мощность вычисляем по формуле (1):

$$Q_I = P_I \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (1)$$

$$Q_I = 107 \cdot 0,75 = 80 \text{ кВАр}$$

Полная мощность составит $S_k = \sqrt{107^2 + 80^2} = 133,6$ кВА, $S = 107 - j80$, ток определим по формуле (2):

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} \quad (2)$$

$$I = \frac{133,6}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 203 \text{ А.}$$

Линия стояка 1 выполнена проводом АПВ 4×95 в трубе, для которой активное сопротивление составляет $r_0 = 0,326$ Ом/км.

Стояки 1, 2, 3 общее число квартир $n_{\Sigma} = 48 \cdot 3 = 144$ квартиры, удельная нагрузка на квартиру [2] составит $P_{уд} = 1,56$ кВт/кв., нагрузка $P_{OA} = 1,56 \cdot 144 = 225$ кВт, ток рассчитываем по формуле (3):

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} \quad (3)$$

$$I = \frac{225}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,8} = 428 \text{ А.}$$

От ТП к вводу дома подходит двухцепная КЛ, для которой погонное активное сопротивление составляет $r_0 = \frac{0,326}{2} = 0,163$ Ом/км.

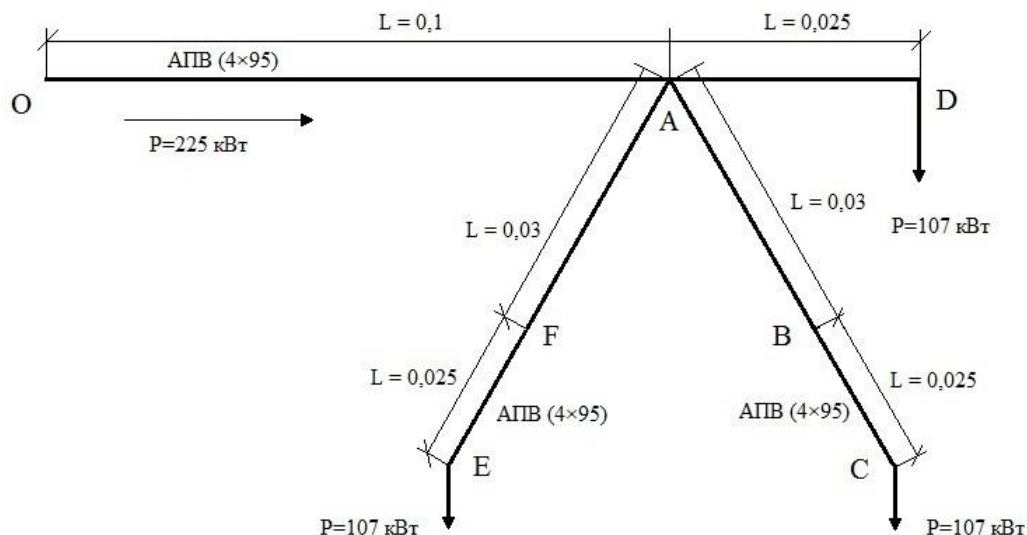


Рисунок 2 – Расчетная схема для определения $\Delta U\%$

Определим потерю напряжения на участке схемы сети OA со сосредоточенной нагрузкой по формуле (4):

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I_i \cdot r_{0i} \cdot l_i}{10 \cdot U_n} \% , \quad (4)$$

где I_i – ток на i -м участке, А;

r_{0i} – погонное сопротивление i -го участка, Ом;

l_i – длина участка, км;

U_n – номинальное напряжение, кВ.

А так же на участках со сосредоточенной нагрузкой AB и AF по формуле (4) (рис. 2).

$$\Delta U_{OA} = \frac{\sqrt{3} \cdot 428 \cdot 0,163 \cdot 0,1}{10 \cdot 0,38} = 3,2\% , \quad \Delta U_{AB} = \Delta U_{AF} = \frac{\sqrt{3} \cdot 203 \cdot 0,326 \cdot 0,03}{10 \cdot 0,38} = 0,9\% .$$

Потерю напряжения на участках BC, AD, FE с равномерно распределенной нагрузкой рассчитываем по формуле (5):

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I_i \cdot r_{0i} \cdot l_i \cdot 0,5}{10 \cdot U_n} . \quad (5)$$

$$\Delta U_{BC} = \Delta U_{AD} = \Delta U_{FE} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_i \cdot r_{0i} \cdot l_i \cdot 0,5}{10 \cdot U_n} , \%$$

$$\Delta U_{BC} = \Delta U_{AD} = \Delta U_{FE} = \frac{\sqrt{3} \cdot 203 \cdot 0,326 \cdot 0,05}{10 \cdot 0,38} \cdot 0,5 = 0,75\% .$$

Получив значения потерь напряжения на участках электрической сети дома, можно перейти к определению потерь активной мощности $\Delta P = f(\Delta U)$, используя соответствующие коэффициенты $K_{м/н}$

(табл. 1) [5]. При этом следует допустить, что реально измеренные потери напряжения в период зимнего максимума $\Delta U_{изм}$ равны расчетным величинам $\Delta U_{расч}$.

Таблица 1 – Значения $K_{м/н}$ и ΔP

№	Характеристика электрической линии	Значение $K_{м/н}$	Значение $\Delta P\%$
1	Сосредоточенная нагрузка в конце ЛЭП при $x_0=0$ и $\cos\varphi=1$	1	$\Delta P\% = K_{м/н} \cdot \Delta U\%$
2	Сосредоточенная нагрузка в конце ЛЭП при $x_0=0$ и $\cos\varphi \neq 1$	$\frac{1}{\cos^2 \varphi}$	$\Delta P\% = \frac{1}{\cos^2 \varphi} \cdot \Delta U\%$
3	Равномерно распределенная нагрузка при $x_0=0$ и $\cos\varphi=1$	0,67	$\Delta P\% = 0,67 \cdot \Delta U\%$
4	Равномерно распределенная нагрузка при $x_0=0$ и $\cos\varphi \neq 1$	$\frac{0,67}{\cos^2 \varphi}$	$\Delta P\% = \frac{0,67}{\cos^2 \varphi} \cdot \Delta U\%$

Определяем потери мощности ΔP_i по измеренным значениям ΔU_i на участках схемы сети дома по формуле (6) и (7):

– для сосредоточенной нагрузки

$$\Delta P_i = \frac{P_i \cdot \Delta U_i \%}{100}, \quad (6)$$

– для участков с равномерно распределенной нагрузкой

$$\Delta P_i = \frac{P_i \cdot K_{м/н} \cdot \Delta U_i \%}{\cos^2 \varphi \cdot 100}. \quad (7)$$

Для участков со сосредоточенной нагрузкой ΔP_i будут равны:

$$\Delta P_{OA} = \frac{225 \cdot 3,2}{100} = 7,2 \text{ кВт}, \quad \Delta P_{AB} = \Delta P_{AF} = \frac{107 \cdot 0,9}{100} = 0,96 \text{ кВт}.$$

Суммарные потери мощности на участках сети дома со сосредоточенной нагрузкой будут равны:

$$\Delta P_{\Sigma \text{сопр}} = 7,2 + 2 \cdot 0,96 = 9,12 \text{ кВт}.$$

Для участков с равномерно распределенной нагрузкой ΔP_i будут равны:

$$\Delta P_{BC} + \Delta P_{AD} + \Delta P_{FE} = 3 \cdot \frac{107 \cdot 0,67 \cdot 0,75}{0,8^2 \cdot 100} = 2,52 \text{ кВт}.$$

Суммарные потери мощности по дому составят:

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{\Sigma \text{сопр}} + \Delta P_{\Sigma \text{распр}} = 9,12 + 2,52 = 11,64 \text{ кВт}.$$

Если учесть, что в расчетах принимались удельные расчетные электрические нагрузки для домов 1 и 2 видов по данным ДБН 2003 года [2], то можно предположить, что потери мощности в сетях высотных зданий существенно выросли в несколько раз и проблема их снижения приобретает все большую актуальность.

Оценка реального положения в действующих сетях свидетельствует о неуклонном росте численности городского населения, насыщение быта электроприборами обусловило ежегодный рост электропотребления городов при опережающем росте потребления реактивной мощности, вызванном ростом мелкодвигательной нагрузки, имеющей длительный либо круглосуточный режим работы, оказывая существенное влияние на понижение $\cos\varphi$ до значений от 0,65 до 0,8 [7]. Следует учесть, что $\cos\varphi$ лифтовых установок составляет 0,6 – 0,7.

В статье предлагается метод компенсации реактивной мощности в стояке жилого многоэтажного дома путем определения оптимальной мощности и мест установки конденсаторов. Для чего стояк с равномерно распределенной нагрузкой разделяем на 4 одинаковых участка (по 4 этажа дома). Получаем магистральную линию с глухим подключением нагрузки. Для расчета потерь напряжения нагрузка присоединяется к середине каждого участка.

Оптимальное распределение конденсаторов Q_{K_i} следует проводить в таком порядке: если $Q_K \leq Q_I$ (самой удаленной нагрузке), то всю Q_Σ следует установить в точке 1. Если $Q_{K\Sigma} > Q_I$, то в точке 1 устанавливаем конденсаторы мощностью Q_I , а остаток $Q_{K\Sigma} - Q_I$ распределяется между остальными точками в том же порядке (рис. 4).

На рис. 3 приведена зависимость ΔP от Q_K/Q при установке Q_{K_i} в 1, 2 и более точках [4].

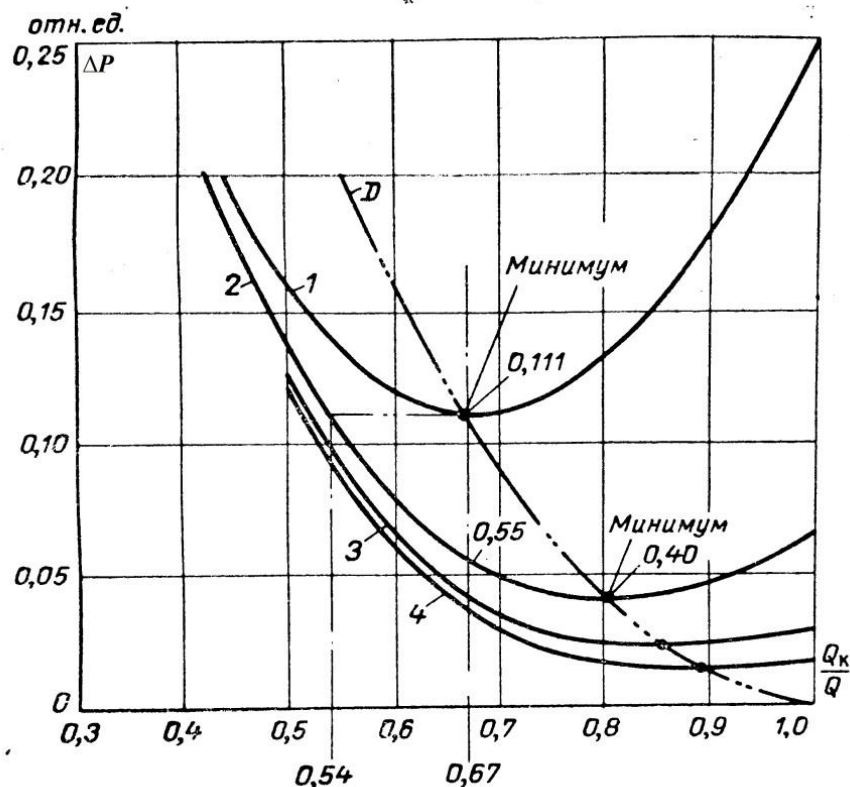


Рисунок 3 – Кривые относительных потерь мощности при различных значениях Q_K/Q при установке в сети батарей конденсаторов

Анализ кривых приводит к следующим выводам: 1. Установка конденсаторов на стояке более чем в двух точках как правило нецелесообразно ввиду незначительной экономии в потерях мощности при переходе двух точек к трем. 2. При установке конденсаторов в одной точке значение Q_K/Q не должно превышать 0,67, а практически 0,6, а в двух точках Q_K/Q должно быть не более 0,7 и снизить относительные потери до 0,055.

Из зависимости, приведенных на рис. 3 определим суммарную мощность батарей конденсаторов и их оптимальное расположение в сети стояка (рис. 4).

$$Q_{K\Sigma} = 0,7 \cdot 80 = 56 \text{ кВАр}$$

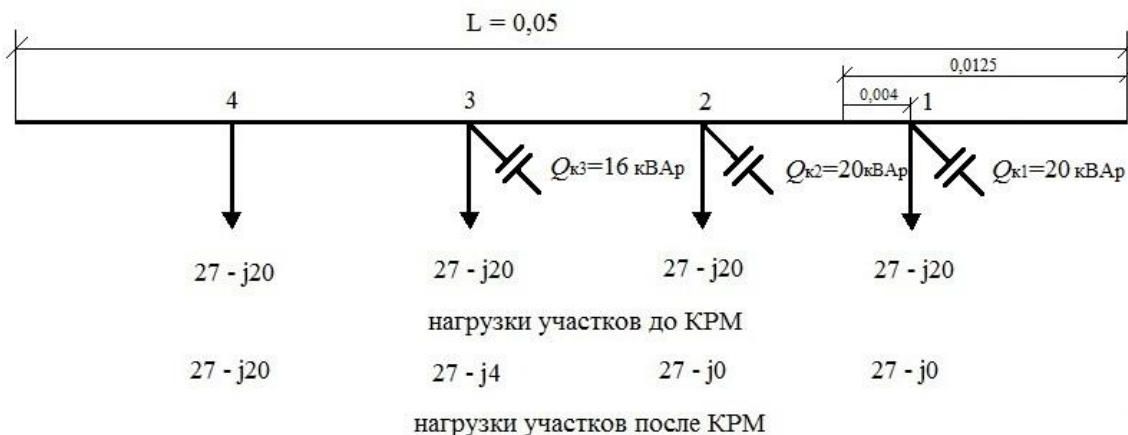


Рисунок 4 – Нагрузка стояков дома до и после КРМ

Определим $\Delta U_i \%$ в стояке дома с равномерно распределенной нагрузкой по формуле (8):

$$\Delta U \%_{\Sigma} = \frac{P \cdot r_0 \cdot l}{10 \cdot U_n^2} \cdot 0,5 \quad (8)$$

$$\Delta U \%_{\Sigma} = \frac{107 \cdot 0,326 \cdot 0,05}{10 \cdot 0,38^2} \cdot 0,5 = 0,6 \%$$

Найдем $\Delta U_i \%$ в магистральной линии, состоящей из четырех участков:

$$1 \quad \Delta U_{12-16} = \frac{27 \cdot 0,326}{1,444} \cdot 0,00625 = 0,038 \%$$

$$2 \quad \Delta U_{8-12} = 0,038 + 2 \cdot 0,038 = 0,114 \%$$

$$3 \quad \Delta U_{4-8} = 0,038 + 4 \cdot 0,038 = 0,19 \%$$

$$4 \quad \Delta U_{0-4} = 0,038 + 6 \cdot 0,038 = 0,266 \%$$

$$\Delta U_{\Sigma} = 0,038 + 0,114 + 0,19 + 0,266 = 0,608 \%$$

Сравним значения суммарных потерь напряжения на стояке дома с равномерно распределенной нагрузкой формула (8) с суммарными потерями напряжения на эквивалентной магистральной линии с 4-мя участками (рис. 4). Как видно из приведенного расчета они оказались одинаковыми ($0,6 \approx 0,608$), то есть магистральная линия является эквивалентной линии с равномерно распределенной нагрузкой. Учитывая, что нагрузки стояков в течении суток переменные, то конденсаторные установки должны быть регулируемые.

Выводы

1. Предложен новый подход решения оптимизационной задачи КРМ в линиях стояков высотных зданий путем эквивалентирования линии с равномерно распределенной нагрузкой в магистральную с глухим подключением нагрузок в центре каждого участка.

2. В эксплуатационной постановке задачи определяется значения $\Delta P_i = f(\Delta U_{изм})$ путем измерения потерь напряжения на каждом участке сети стояка дома, используя коэффициент $K_{м/н}$ (табл. 1).

3. Дальнейшее уменьшение трудозатрат проведения измерений может быть достигнуто путем использования метода случайной выборки, когда измерения проводятся не во всех сетях домов, а только в их части.

4. Чтобы получить ощутимый эффект от КРМ в сетях стояков, следует обследовать больший объем

жилых зданий.

Список использованной литературы

1. Железко Ю. С. Выбор мероприятий по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 176 с.
2. ДБН В.2.5-23:2003. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення. – К.: Мінрегіонрозвитку та будівництва України, 2003. – 131 с.
3. Зорин В. В., Тисленко В. В. Системы электроснабжения общего назначения. – Ч.: ЧГТУ, 2005. – 340 с.
4. Гительсон С. М. Экономические решения при проектировании электроснабжения промышленных предприятий. – М.: Энергия, 1971. – 256 с.
5. Зорин В. В., Докийчук Н. А., Буйный Р. А., Перепеченый В. А. Модели и методы определения потерь мощности и электроэнергии в сетях 0,38 кВ высотных зданий при проектировании и эксплуатации // *ЭНЕРГЕТИКА: економіка, технології, екологія*, №1, 2017. – с. 7-13
6. Лазуренко А. П., Прохоренко Ю. В. Современные методы и устройства компенсации реактивной мощности в бытовых системах электропотребления. – Х.: НТУ "ХПИ", 2011. – № 41–с. 83-87.
7. Говоров Ф. П., Перепеченный В. А., Говоров В. Ф., К вопросу о компенсации реактивной мощности в системах электроснабжения городов // *Енергетика та електрифікація*. – 2007. – №7 – с. 54-58

V. Zorin, Dr. Eng. Sc., Prof.; ORCID 0000-0001-5913-401X

Y. Matskevych, Msc., ORCID 0000-0002-1095-3791,

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

COMPENSATION OF REACTIVE POWER IN THE STANDS HEIGHT BUILDINGS

A method has been developed for determining the locations of installation and power of capacitor banks based on the data of voltage loss measurements at the typical sections of the electric network scheme. An algorithm for calculating such parameters of the regime as the loss of active power ΔP and reactive power ΔQ in the 0.38 kV electric network of high-rise buildings of the city is given. To simplify the calculations, the article takes into account the correlation between the loss of voltage in the electrical network and the loss of power in the elements of the electrical network using the known method $K_{\text{мн}}$. This will greatly simplify the calculations of the losses of active power. Using the values of the power losses from the measured voltage losses during the winter maximum at certain typical sections of the network, the accuracy of the loss calculation can be increased. An example of calculation for a multi-storey house by this method is considered. Advantages of the proposed method for determining the locations and power of capacitor banks are simplicity and the ability to compensate for reactive power directly from domestic consumers.

Keywords: calculation scheme, the parameters of the mode, compensation of reactive power, capacitor banks, power loss, voltage loss.

References

1. Zhelezko Yu.S. Choice of measures to reduce energy losses in electric networks. – М.: Energoatomizdat, 1989. –176p. (Rus.)
2. DBN V.2.5-23:2003. Design of electrical facilities for civil use. – К.: Ministry of Regional Development and Construction of Ukraine, 2003. – 131 p. (Ukr.)
3. Zorin V.V., Tislenko V.V. General Electric Power Supply Systems. – Ch.: ChSTU, 2005. – 340 p. (Rus.)
4. Gitelson S.M. Economic solutions in the design of power supply to industrial enterprises. – М.: Energy, 1971. – 256 p. (Rus.)
5. Zorin V.V., Dokiychuk N. A., Buinyi R.A., Perepechenyi V.A. Models and methods to determine the loss of power and electricity in 0.38 kV urban electric networks in projected and operated high-rise buildings. // *POWER ENGINEERING: Economics, Technique, Ecology*. – 2017. – №1. – p. 7-13 (Rus.)
6. Lazurenko A. P., Prokhorenko Yu. V. Modern methods and devices for reactive power compensation in household power consumption systems. – Kh.: NTU "KhPI", 2011. – № 41 – p. 83-87 (Rus.)
7. Govorov F. P., Perepechenyi V. A., Govorov V. F. On the issue of compensation of reactive power in urban power supply systems // *Power engineering and electrification*. – 2007. – № 7 – p. 54-58 (Rus.)

УДК 621.311.01

В. В. Зорін, д-р техн. наук, проф.; ORCID 0000-0001-5913-401X
Ю. М. Мацкевич, магістр, ORCID 0000-0002-1095-3791,

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ У СТОЯКАХ ВИСОТНИХ БУДІВЕЛЬ

Розроблено метод визначення місць установки і потужності батарей конденсаторів на основі даних вимірювань втрат напруги на характерних ділянках схеми електричної мережі. Наведено алгоритм розрахунку таких параметрів режиму, як втрати активної потужності ΔP і реактивної потужності ΔQ в електричній мережі 0,38 кВ будинків висотної забудови міста. Розглянуто приклад розрахунку для багатопверхового будинку даним методом. Переваги запропонованого методу визначення місць установки і потужності батарей конденсаторів це простота і можливість компенсувати реактивну потужність безпосередньо у побутових споживачів.

Ключові слова: розрахункова схема, параметри режимів, компенсація реактивної потужності, конденсаторні батареї, втрати потужності, втрати напруги.

Надійшла 25.01.2018

Received 25.01.2018

УДК 697.112.2

Р.В. Мордас, магістрант
Л.Н.Лебедь, к.т.н., доцент

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВОГО СТАНУ БУДІВЛІ З
СИСТЕМОЮ ТЕРМОАКТИВНОГО УТЕПЛЕННЯ**

В статті описано нову систему теплозабезпечення, що може використовуватися як для нових будинків, так і для реконструкції старих будівель, де система опалення вже вичерпала свій ресурс і не підлягає відновленню. Розглянуто систему термоактивного утеплення опалення та охолодження, основними перевагами якої є робота з низькотемпературними джерелами теплоти (телові насоси, сонячні колектори та ін.) Запропоновано теплогідравлічну схему роботи даної системи в поєднанні з інноваційним обладнанням. Проведено CFD моделювання температурного режиму поточної частини корпусу теплоенергетичного факультету КПІ ім. Ігоря Сікорського. Отримано температурні поля та розподіли швидкості повітря в приміщенні, витрати теплової енергії для опалення приміщення в двох випадках: до термомодернізації та після її виконання. У зв'язку із збільшеною ефективністю роботи теплових насосів в низькотемпературному режимі маємо різницю у витраті енергії на підтримання температурного стану будівлі в 8 разів. Характерною особливістю даної системи також є можливість роботи в режимі кондиціонування приміщень.

Ключові слова: термоактивні конструкції, термоактивне утеплення, система теплозабезпечення, температурний стан будівель, тепловий насос.

© Р.В. Мордас, Л.Н.Лебедь, 2018