

О.П. ЛАЗУРЕНКО канд. техн. наук., проф., НТУ «ХПІ»;
Г.І. ЧЕРКАШИНА ст. викл., НТУ «ХПІ»

ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ ОБ'ЄМУ РОБОЧОГО БАКУ ЕЛЕКТРИЧНОГО ВОДОНАГРІВАЧА ЄМНІСНОГО ТИПУ

Електричні водонагрівачі є великим резервом в системах керування електричним навантаженням з метою оптимізації режиму роботи систем електропостачання. В статті виконаний розрахунок щодо визначення об'єму робочого баку електричного водонагрівача ємнісного типу в умовах, коли включення установки відбувається один раз на добу у зоні «провалу» споживання енергосистеми та при цьому забезпечується добова потреба у гарячій воді споживачів.

Ключові слова: електричний водонагрівач, споживач-регулятор, вибірка, середньоквадратичне відхилення, дисперсія, довірча вірогідність, похибка, довірчий інтервал.

Вступ Останнім часом спостерігається стрімке зростання рівня споживання електричної енергії у побуті. Таким чином, енергосистема більше не може відноситися до побутових споживачів як до пасивної ланки у своєму складі, враховуючі той факт, що побут характеризується значною нерівномірністю споживання електричної енергії у часі.

У попередніх роботах було виконано класифікацію побутових електроприймачів у тому числі за можливістю керування ними[1]. Аналіз показав, що найбільш поширенішими серед побутових споживачів-регуляторів є електричні водонагрівачі ємнісного типу (ЕВН ЄТ)[2, 3, 4]. Оціночно, загальна встановлена потужність таких електроприймачів по Україні складає на кінець 2013 року 5500 МВт, що є істотною потужністю та резервом керування.

Отже, керування ЕВН ЄТ дає можливість сприймати побутових електроприймачів у якості активного учасника в керуванні режимами енергосистеми. Для отримання такої можливості необхідно визначити необхідні характеристики ЕВН ЄТ для експлуатації у таких умовах.

Метою роботи є визначення об'єму робочого баку ЕВН ЄТ для реалізації можливості управління ним.

Матеріали дослідження. Розрахунок об'єму робочого баку АЕВН проводимо за умови, що ЕВН ЄТ повинен забезпечити потреби в гарячому водопостачанні споживача, працюючи на нагрів один раз на добу у період «провалу» споживання енергосистеми.

Для визначення робочого об'єму баку були виконані вимірювання

© О.П. Лазуренко, Г.І. Черкашина, 2014

на основі яких була зібрана статистична інформація наведена на рис. 1.

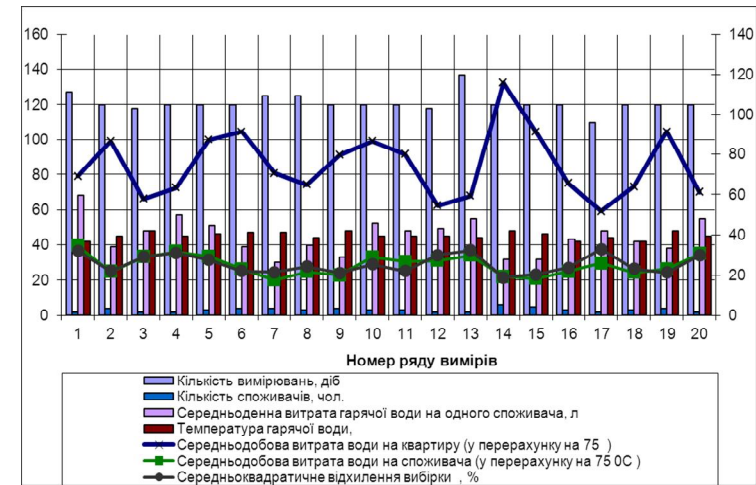


Рис. 1 – Дані вимірювань

Вимірювання проводилися у квартирах, обладнаних лічильниками гарячої води. Температура води вимірювалася інфрачервоним (безконтактним) термометром. Час проведення вимірів з жовтня по квітень.

З 20 об'єктів у яких проживало 63 людини була взята вибірка з 2420 окремих значень витрат. Після чого, було вираховано середньодобову витрату гарячої води на одну людину. Для однозначності даних витрату води було приведено до однієї температури – 75 °C, що відповідає температурі нагріву води у сучасних ЕВН ЄТ.

Розбіжність у 20 об'єктів складає 17,62 – 34,54 л. Середньоарифметичне цих значень – 26,08. Середньоквадратичне відхилення S – 4,23 л. Приймаючи нормальний закон розподілення середніх значень, можна зробити висновок, що 90 % людей витрачають в середньому щоденно від 18,62 до 33,54 л гарячої води при температурі 75 °C.

Оскільки має місце відносно невелика вибірка, представляє (становить) інтерес вибір довірчого інтервалу для середнього значення витрати води при заданому значенні вірогідності. Середні значення усіх вибірок мають середньоквадратичне відхилення S , для яких, в свою чергу, можна знайти середньоквадратичне відхилення σ_m , яке при малій вибірці обчислюється за формулою

$$\sigma_m = \frac{S}{\sqrt{N-1}}$$

де N – загальна кількість вимірів, $N=2420$;
Довірчий інтервал

$$\mu = M \pm t\sigma_m$$

де M – математичне сподівання; t – вірогідність помилки.

Якщо прийняти, що довірна вірогідність складає 95 %, то можна визначити діапазон, у якому розташоване фактичне середнє значення для кожного ряду виміряних величин, рис. 2.

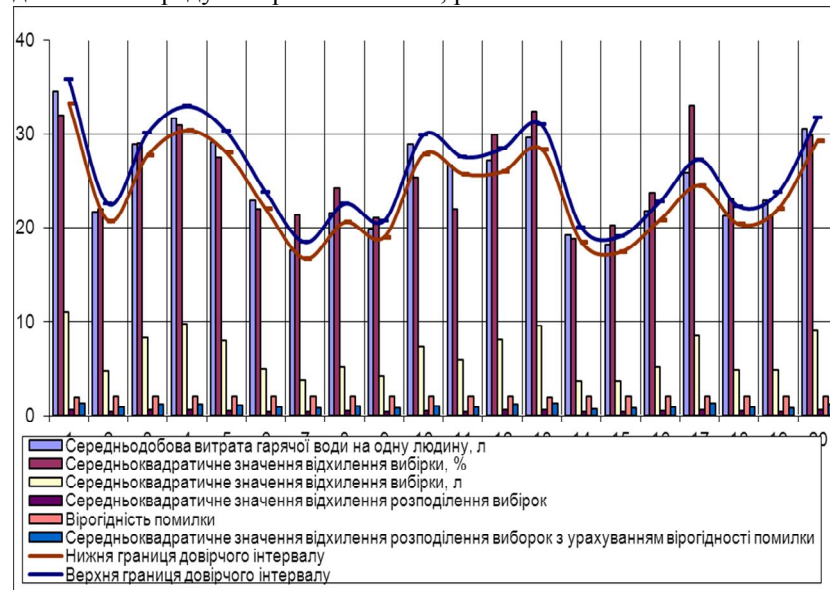


Рис. 2 – Довірчий інтервал для середньодобової витрати води

Довірчий інтервал для середнього значення споживання гарячої води на одну людину при довірчій вірогідності 0,95 складе $\mu = 23,99 - 26,07$.

Не дивлячись на те, що деякі розрахункові діапазони не попадають в довірчий інтервал, можна зробити висновок, що середня витрата гарячої води на одну людину на добу складає 23 – 26 л, при цьому 90 % людей витрачають 18 – 33 л на день і тільки 5 % – вище 35 л.

Для визначення об'єм робочого бака ЕВН ЄТ за основи прийнята середньодобова витрата води 35 л на людину.

Середнє значення кожного ряду вимірів можна розглядати як суму випадкових змінних величин, окремі значення яких нормально розташовуються біля M .

Оскільки для дослідження величин розбіжності є тільки 20 рядів, кожний з яких включає порівняно малі вибірки, то пряме порівняння показаних у рис. 2 середньоквадратичних відхилень з теоретичними значеннями неможливе. Однак по окремим значенням вибірок кожного ряду можна визначити довірчий інтервал для середньоквадратичних відхилень усієї сукупності σ_m . Величину σ_m можна обчислити приблизно, користуючись відповідними значеннями S .

$$\sigma_m = \frac{S}{\sqrt{2N}}$$

де N – кількість вимірів у відповідному ряді (рис. 3, 4).

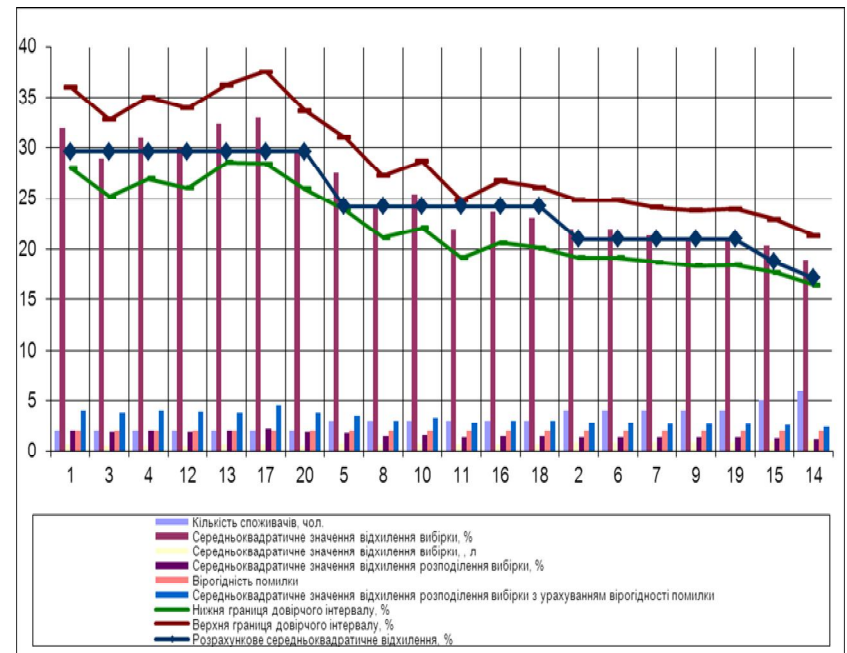


Рис. 3 – Середньоквадратичне відхилення та його довірчий інтервал

Виходячи з закону розподілення параметра t можна визначити вірогідність попадання у діапазон довірчого інтервалу.

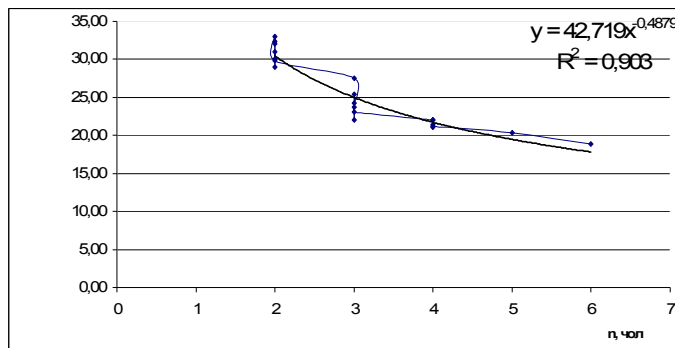


Рис.4 – Залежність середньоарифметичного довірчого інтервалу середньоквадратичних відхилень окремих об'єктів від кількості людей, які обслуговуються 1-м ЕВН ЄТ

На рис. 3 та рис. 4 показані довірчі інтервали для середньоквадратичних відхилень сукупності n (де n – кількість людей на 1 ЕВН ЄТ. Як з'ясувалося, усі значення σ попадають у даний інтервал з вірогідністю 0,95.

Відносна розбіжність сумарної витрати зменшується зі зростанням n . Таким чином, можна припустити, що об'єм ЕВН ЄТ зменшується зі зростанням n . Виходячи з цього, можна статистичним методом знайти значення яке визначає розбіжність витрат води, використовуючи у якості міри будь-яке значення середньоквадратичного відхилення, якщо розподіл розбіжностей є нормальним. З теорії відомо, що залежність між величинами $S_1, S_2 \dots S_x$ різних вибірок $N_1, N_2 \dots N_x$ описується виразом $\frac{S_1}{\sqrt{N_1}}, \frac{S_2}{\sqrt{N_2}} \dots \frac{S_x}{\sqrt{N_x}}$. Передбачається, що функція витрати гарячої води для кожної окремої людини представляє собою нормальний розподіл з середнім значенням μ_x та середньоквадратичним відхиленням σ_x .

Розглядається середня функція розподілення для окремої людини з середнім значенням μ та середньоквадратичним відхиленням σ за умови, що μ та σ є середніми значеннями для μ_x та σ_x . Додавання двох середніх функцій розподілення дає суму $M_2 = 2M_1$.

Однак додавання двох середньоквадратичних відхилень:

$$\sigma_2 = \sqrt{2}\sigma_1$$

Оскільки середньоквадратичне відхилення σ_x розбіжності витрат є функцією від кількості людей, які одночасно забезпечуються гарячою водою, то, обробивши результати вимірів, можна визначити функцію

$$\sigma_x = \sigma_{розр} = \frac{C}{\sqrt{n}}$$

де C – постійна, яка залежить від середньоквадратичних відхилень функції розподілення витрати гарячої води на одну людину (S рис. 3). Для того, щоб не враховувати розбіжність середніх значень, відхилення витрат виражені у процентах від середнього значення.

Методом найменших квадратів знаходимо $C = 42,719\%$, тобто середньоквадратичне відхилення розбіжності витрати води у розрахунку на одну людину складає 42,719 % від найбільш вірогідного середнього значення. Кінцево $\sigma_{розр} = \frac{42,719}{0,5\sqrt{n}}$. Ця функція показана на рис. 1 і на-

звана кривою найвищої вірогідності. Розраховані на її основі теоретичні значення фактично забезпечуваної кількості осіб рис. 3.

При розгляді функцій розподілення добового споживання гарячої води від одного ЕВН ЄТ даного об'єму виявляється, що для будь-якого значення витрати виявляється певна частота. В діапазоні між $(\mu - \sigma)$ та $(\mu + \sigma)$ розташовуються 68 % усіх заміряних витрат, в діапазоні між $(\mu - 2\sigma)$ та $(\mu + 2\sigma)$ вже 95,5 %. Інакше, враховуючи симетричність розподілення частот відносно середнього значення, можна стверджувати, що при нормальному законі розподілення 84 % усіх витрат визначаються величиною $(\mu + \sigma)$, 97,7 % – $(\mu + 2\sigma)$ і тільки 2,3 % діапазоном, який перевищує $(\mu + 2\sigma)$.

Розрахована таким чином гранична умова може бути прийнята для визначення об'єму водонагрівача

$$V = (\mu + 2\sigma)$$

Оскільки при збільшенні розміру установки (при зростанні кількості обслуговуваних осіб) величина σ зменшується (рис. 1), то відносно зменшується також об'єм водонагрівача.

Вище було встановлено, що середнє значення витрати гарячої води для усієї сукупності складає 21 – 23 л та 95 % людей витрачають менше 35 л.

Об'єм робочого бака ЕВН ЄТ

$$V = n \cdot 35 \left(1 + \frac{2\sigma_{розр}}{100}\right)$$

В результаті розрахунків одержані наступні об'єми ЕВН ЄТ

Таблиця 1 – Результати розрахунків

Кількість споживачів	Розрахунковий об'єм ЕВН ЄТ, л	Стандартний об'єм ЕВН ЄТ, що випускається, л[6]
2	112,3	100, 115, 117, 120
3	156,8	150, 160
4	199,8	200
5	241,9	250
6	283,2	280, 295

Висновок. Таким чином, у роботі отримано вираз для визначення об'єму робочого баку ЕВН ЄТ для різної кількості обслуговуваних осіб однією установкою, що дає можливість включати у роботу електричний водонагрівач один раз на добу у зоні «провалу» енергосистеми та при цьому забезпечити добові потреби у гарячій воді споживачів.

Список літератури: 1. *Лазуренко А.П., Лисичкина Д.С., Черкашина Г.И.* Новый подход к классификации потребителей электрической энергии // Материали міжнародної науково-технічної конференції «Новітні технології в електроенергетиці». Харків: ХНАГХ, 2008.-97 с. 2. *Артюх С.Ф., Лазуренко А.П., Черкашина Г.И.* Технико-экономический эффект от выравнивания графика электрической нагрузки за счет бытовых потребителей-регуляторов // Материали міжнародної науково-практичної конференції «Современные научные достижения и их практическое применение (20-22 октября, 2014)». – К.: Знання України, 2014. – 131 [1] с.: іл., табл. – С. 7 – 15. 3. *Маляренко В. А., Щербак И. Е., Колотило И.Д., Лысак Л.В.* Возможности интеграции электроэнергии в системах горячего водоснабжения ЖКХ. / В. А. Маляренко, И. Е. Щербак, И. Д. Колотило, Лысак Л.В. // Энергосбережение: Энергетика: Энергоаудит. 2014. – № 3. – С. 53–57. 4. *Маляренко В. А., И.Е. Нечмоглод, Щербак И. Е., Колотило И.Д.* Неравномерность графика нагрузки энергосистемы и способы ее выравнивания // Світлотехніка та електроенергетика. 2011 – №4. – С. 61 – 66. 5. *Математическая статистика:* Учеб. для вузов / В.Б. Горьянов, И.В. Павлов, Г.М. Цветкова и др.; Под ред. В.С. Зарубина, А.П. Крищенко. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. -424 с. (Сер. Математика в техническом университете; Вып. XVII). 6. Електронний ресурс www.zakazik.ua/products/boiler/1501.html

Bibliography (transliterated): 1. *Lazurenko A.P., Lisichkina D.S., Cherkashina G.I.* Novyy podhod k klassifikacii potrebitel'ej jelektricheskoy jenergii / Материали міжнародної науково-технічної конференції «Новітні технології в електроенергетиці». Kharkiv: HNAGH, 2008.97 Print. 2. *Artjuh S.F., Lazurenko A.P., Cherkashina G.I.* Tehniko-jekonomicheskij jeffekt ot uravnivaniya grafika jelektricheskoy nagruzki za schet bytovyh potrebitel'ej-reguljatorov //

Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Sovremennye nauchnye dostizhenija i ih prakticheskoe primenenie (20-22 oktjabrja, 2014)». – Kyiv. : Znannja Ukraїni, 2014. . 7 – 15. Print 3. *Maljarenko V. A., Shherbak I. E., Kolotilo I.D., Lysak L.V.* Vozmozhnosti integracii jelektrojenergii v sistemah garjachego vodosnabzhenija ZhKH. *Jenergoberezhe-nie Jenergetika Jenergoaudit.* No 3. 2014. 53–57. Print 4. *Maljarenko V. A., I.E. Nechmoglod, Shherbak I. E., Kolotilo I.D.* Neravnomernost' grafika nagruzki jengosistemy i sposoby ee vyravnivaniya. *Svitlo-tehnika ta elektroenergetika.* No. 4. 2011. 61 – 66. Print. 5. *V.B. Gorjainov, I.V. Pavlov, G.M. Cvetkova* *Matematicheskaja statistika:* Ucheb. dlja vuzov Moscow.: Izd-vo MGTU im. N.Je. Baumana, 2001.

Надійшла (received) 11.11.2014