

ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ В ЖИЛЫХ ДОМАХ С ЭЛЕКТРООТОПЛЕНИЕМ

Е.Л. Файда, Л.Ф. Файда**, В.В. Варганов**

*г. Челябинск, *ЮУрГУ, **ООО предприятие «Прибор»*

OPTIMIZATION OF ELECTRIC POWER SUPPLY SYSTEMS IN DWELLINGS WITH ELECTRIC HEATING

Faida E.L., Faida L.F.**, Varganov V.V.**

*Chelyabinsk, *South Ural State University, ** "Pribor", JSC*

Предложен способ определения основных параметров нагрузок, формируемых бытовыми электроприемниками. Приведены сравнительные расчеты эффективности сглаживания графика нагрузки для различного числа обогревателей. Для ограниченной максимальной нагрузки квартирного ввода определены допустимые теплопотери помещений и оптимальная мощность электрообогревателей.

Ключевые слова: электроотопление, системы электроснабжения, жилые дома.

The way of detecting the key parameters of the loadings formed by home collectors is offered. The comparative calculation of efficiency of leveling of the load diagram for different number of heaters is presented. The admissible heat loss of rooms and optimal power of electric heaters are defined for limiting the peak load of the apartment input.

Keywords: electric heating, electric power supply systems, dwellings.

В жилых домах с электрическим отоплением из-за значительной мощности обогревателей резко возрастает нагрузка систем электроснабжения, в том числе и квартирных вводов. Однако, учитывая большую тепловую инерционность объектов регулирования, одновременно со стабилизацией температуры в помещениях легко можно решать вопросы выравнивания графика энергопотребления. В ряде случаев это позволяет перейти на электроотопление квартир без какого-либо увеличения максимальной нагрузки их ввода. Для этого необходимо регулировать число одновременно включенных обогревателей в зависимости от величины текущей нагрузки [1, 2].

Для оптимизации нагрузки при электроотоплении необходимо определить закон электропотребления всех остальных (прочих) бытовых электроприемников. При большом числе бытовых электроприемников закон распределения нагрузки P_6 квартирного ввода согласуется с нормальным [3], плотность распределения которого

$$f(P_6) = \frac{1}{\sigma_6 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(P_6 - \bar{P}_6)^2}{2\sigma_6^2}}, \quad (1)$$

где \bar{P}_6 и σ_6 – среднее значение и среднеквадратическое отклонение нагрузки квартирного ввода соответственно.

Основные параметры нормального закона распределения: \bar{P}_6 и σ_6 могут быть определены по нормативным табличным данным удельных максимальных (расчетных) нагрузок на одну квартиру жилого дома [4]. Теоретически при большом числе ($N \rightarrow \infty$) квартир за счет несовпадения максимумов нагрузок удельные нагрузки $P_{6 \text{ max уд}}(N \rightarrow \infty) = \bar{P}_6$. Однако за счет влияния одновременно действующих факторов, например праздничные дни, нагрузки даже при $N \rightarrow \infty$ несколько варьируют и среднеквадратичное их отклонение не равно нулю [3]:

$$\sigma_{6N}(N \rightarrow \infty) = 0,1N\bar{P}_6. \quad (2)$$

При нормированном отклонении t_λ значения максимальных нагрузок могут быть определены по соответствующим выражениям:

для одиночной квартиры

$$P_{6 \text{ max уд}}(1) = \bar{P}_6 + t_\lambda \sigma_6, \quad (3)$$

для N квартир

$$P_{6 \text{ max уд}}(N) = \bar{P}_6 + t_\lambda \left(0,1\bar{P}_6 + \frac{\sigma_6}{\sqrt{N}} \right). \quad (4)$$

Значения удельных максимальных нагрузок в зависимости от числа квартир приведены в [4]. Из совместного решения уравнений (2)–(4) можно найти значения основных параметров нормального закона распределения:

$$\bar{P}_6 = \frac{\sqrt{N}P_{6\max\text{ уд}}(N) - P_{6\max\text{ уд}}(1)}{(1+0,1t_\lambda)\sqrt{N}-1}, \quad (5)$$

$$\sigma_6 = \frac{(1+0,1t_\lambda)P_{6\max\text{ уд}}(1) - P_{6\max\text{ уд}}(N)}{[(1+0,1t_\lambda)\sqrt{N}-1]t_\lambda} \sqrt{N}. \quad (6)$$

В расчетах за максимальную (расчетную) нагрузку на вводе в квартиру (без электроотопления) принимают $P_{6\max} = P_{6\max\text{ уд}}(1)$.

Например, для квартир с электрическими плитами мощностью 8,5 кВт согласно табличным данным [4] $P_{6\max\text{ уд}}(1) = 10$ кВт, $P_{6\max\text{ уд}}(1000) = 1,19$ кВт. При $t_\lambda = 3$ основные параметры нормального закона распределения составят $\bar{P}_6 = 0,7$ кВт; $\sigma_6 = 3,1$ кВт.

При регулировании максимума нагрузки квартирного ввода необходимо, чтобы нагрузка в любое время не превышала установленного P_{\max} , значение которого должно удовлетворять неравенству $P_{\max} \geq P_{6\max}$. Наибольший интерес представляет наименьшее значение максимальной нагрузки $P_{\max} = P_{6\max}$. Обозначим через $F(P_{6\max})T$ время, за которое P_6 принимает все свои значения в диапазоне мощностей от 0 до ∞ . Здесь

$F(P_{6\max}) = \int_0^{P_{6\max}} f(P_6) dP_6$ – функция распределения. Тогда длительность интервала времени, в течение которого значения P_6 попадают в диапазон мощностей $(P_{6\max} - (m+1)P_0) \leq P_6 \leq (P_{6\max} - mP_0)$, где P_0 – установленная мощность обогревателя, $m = 1, 2, \dots, M$ – число одновременно включенных обогревателей, определяется как $\frac{F(P_{6\max} - mP_0) - F(P_{6\max} - (m+1)P_0)}{F(P_{6\max})} T$.

Для произвольного числа M обогревателей баланс энергий теплопоступлений и теплопотерь, когда на каждом интервале времени непрерывно включено максимально допустимое число обогревателей, можно представить как

$$MF(P_{6\max} - MP_0)T + \sum_{m=1}^{M-1} m[F(P_{6\max} - mP_0) - F(P_{6\max} - (m+1)P_0)]T = \frac{P_{\text{пот}}}{P_0} F(P_{6\max})T, \quad (7)$$

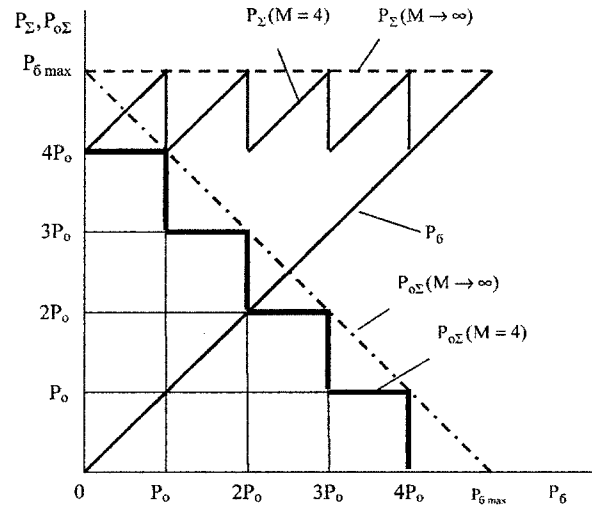
где $P_{\text{пот}}$ – мощность теплопотерь.

Выражение (7) преобразуется к одному из видов:

$$P_{\text{пот}} = \frac{\sum_{m=1}^M F(P_{6\max} - mP_0)}{F(P_{6\max})} P_0, \quad (8)$$

$$P_{\text{пот}} = \frac{\sum_{m=1}^M F(mP_0)}{F(P_{6\max})} P_0. \quad (9)$$

На рисунке приведены графики зависимости суммарной мощности обогревателей $P_{o\Sigma}(P_6)$ и нагрузки квартирного ввода $P_\Sigma = P_6 + P_{o\Sigma}$ для числа обогревателей $M = 4$ и $M \rightarrow \infty$ при $P_{\max} = P_{6\max}$.



Графики нагрузок при $P_{\max} = P_{6\max}$

Как следует из графиков (см. рисунок), единичная мощность обогревателей

$$P_0 = \frac{P_{6\max}}{M+1}. \quad (10)$$

Чем меньше установленная мощность каждого обогревателя и чем больше их число, тем лучше удастся сгладить график нагрузки квартирного ввода.

Выражения (9) и (10) позволяют определить допустимые теплопотери помещений $P_{\text{пот}}$ в зависимости от числа обогревателей M . Определим крайние значения теплопотерь, которые соответствуют наименьшему и наибольшему числу обогревателей: $M=1$ и $M \rightarrow \infty$. Полученные результаты сведены в таблицу, по данным которой можно сделать следующие выводы. При большом числе обогревателей по сравнению с одиночным допустимые теплопотери помещений увеличиваются почти в четыре раза при неизменной максимальной мощности квартирного ввода. Следует заметить, что при регулировании мощности квартирного ввода при $M \rightarrow \infty$ закон распределения потребляемой мощности $P_{o\Sigma}$ обогревателями, как и закон распределения мощности прочих бытовых электроприемников, согласуется с нормальным с основными параметрами $\bar{P}_{o\Sigma} = P_{6\max} - \bar{P}_6$, $\sigma_{o\Sigma} = \sigma_6$, $r_{6o} = -1$, где $\bar{P}_{o\Sigma}$ и $\sigma_{o\Sigma}$ – среднее значение и среднеквадратическое отклонение мощности обогревателей соответственно, r_{6o} – коэффициент корреляции мощности бытовых электроприемников и мощности обогревателей.

Соотношение установленной мощности
обогревателей и теплопотерь помещений

при $P_{\max} = P_{\text{б max}}$ и $F(P_{\text{б max}}) = 1$

| | $MP_{\text{о}}/P_{\text{б max}}$ | $P_{\text{пот}}/P_{\text{б max}}$ | $MP_{\text{о}}/P_{\text{пот}}$ |
|------------------------|----------------------------------|---|--|
| $M=1$ | 0,5 | 0,25 | 2,0 |
| $M \rightarrow \infty$ | 1,0 | $1 - \bar{P}_{\text{б}}/P_{\text{б max}}$ | 1, если $P_{\text{б max}} \gg \bar{P}_{\text{б}}$ |

На рисунке приведены графики нагрузок для обогревателей с одинаковой установленной мощностью. При этом наибольшее изменение нагрузки квартирного ввода при регулировании мощности электроотопления с увеличением числа обогревателей снижается в $M+1$ раз. Однако еще более сглаженный график нагрузки можно сформировать при том же числе обогревателей и с той же их общей установленной мощностью, если значения единичных мощностей обогревателей образуют геометрическую прогрессию со знаменателем, равным 2.

Полученные результаты применимы и для оптимизации систем электроснабжения индивидуальных домов с электроотоплением, а также при использовании в качестве теплогенераторов одно- и многоступенчатых электрических котлов.

Выводы

1. Увеличение числа обогревателей при снижении их единичной мощности позволяет сформировать более сглаженный график нагрузки квартирного ввода и за счет этого увеличить теплоступления при ограниченной максимальной нагрузке квартирного ввода.

2. Полученные выражения позволяют при заданной максимальной нагрузке квартирного ввода

для произвольного числа обогревателей определить их единичную мощность и допустимые теплопотери помещений.

3. Предложен простой способ определения основных параметров нагрузки квартирного ввода по нормативным данным удельных расчетных нагрузок, что может быть использовано для оптимизации систем электроснабжения на стадии проектирования.

Литература

1. Пат. 2259022 Российская Федерация, МПК⁷ Н 05 В 1/02, Н 02 J 13/00, G 05 D 23/19. Способ управления группой электронагревательных устройств / Л.Ф. Файда, С.А. Соболев, Е.Л. Файда. – № 2004107224; заявл. 10.03.04, опубл. 20.08.05, Бюл. №23.
2. Пат. 2249287 Российская Федерация, МПК⁷ Н 02 J 13/00, G 05 D 23/19. Способ управления группой электронагревательных устройств / Л.Ф. Файда, С.А. Соболев, Е.Л. Файда. – № 2003115996; заявл. 28.05.03, опубл. 20.08.03, Бюл. №9.
3. Тульчин, И.К. Электрические сети и электрооборудование жилых и общественных зданий / И.К. Тульчин, Г.И. Нудлер. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 480 с.
4. Свод правил по проектированию и строительству СП 31-110-2003. Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий (одобрен и рекомендован к применению постановлением Госстроя РФ от 26 ноября 2003 г., № 194).
5. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В.Е. Гмурман. – М.: Высшая школа, 1977. – 479 с.

Поступила в редакцию 22.01.2011 г.

Файда Евгений Леонидович. Кандидат технических наук, доцент кафедры систем электроснабжения, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск. Область научных интересов – электроснабжение жилых домов с электрическим отоплением. Контактный телефон: 8 (351) 265-87-65.

Faida Eugeny. Candidate of Science (Engineering), an assistant professor of the Electric Drives and Automation of Industrial-Scale Plant Department of South Ural State University, Chelyabinsk. Research interests: electric power supply of dwellings with electric heating. Tel: 8 (351) 265-87-65.

Файда Леонид Фимович. Кандидат технических наук, технический директор ООО «Прибор», г. Челябинск. Область научных интересов – преобразовательная электротехника и электроснабжение жилых домов с электрическим отоплением. Контактный телефон: 8 (351) 231-06-49.

Faida Leonid. Candidate of Science (Engineering), engineering director of “Pribor”, JSC, Chelyabinsk. Research interests: converting electrical engineering and electric power supply of dwellings with electric heating. Tel: 8 (351) 231-06-49.

Варганов Виталий Викторович. Аспирант кафедры ЭПА, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск. Область научных интересов – преобразовательная электротехника и электроснабжение жилых домов с электрическим отоплением. Контактный телефон: 8 (351) 722-65-48.

Varganov Vitaly. A post-graduate student of the Electric Drives and Automation of Industrial-Scale Plant Department of South Ural State University, Chelyabinsk. Research interests: converting electrical engineering and electric power supply of dwellings with electric heating. Tel: 8 (351) 722-65-48.