

# РЕГУЛИРОВАНИЕ МАКСИМУМА НАГРУЗКИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ ЖИЛЫХ ДОМОВ С ЭЛЕКТРОТЕПЛОСНАБЖЕНИЕМ

Е.Л. Файда\*, В.В. Варганов\*\*

г. Челябинск,

\*ЮУрГУ

\*\*ООО «Прибор»

**Рассмотрены способы регулирования максимума нагрузки квартирных электрических сетей при электротеплоснабжении домов, позволяющие одновременно с оптимизацией систем электроснабжения решать вопросы оптимизации температурных режимов помещений.**

При регулировании максимума нагрузки в жилых домах с электротеплоснабжением периодически приходится снижать среднее значение мощности электронагревательных приборов, что, естественно, приводит к нежелательному снижению температуры в обогреваемых помещениях. В этих условиях задача системы автоматического регулирования сводится не только к регулированию максимума нагрузки, но и к оптимальному для пользователя (жильца) регулированию температурных режимов в помещениях. Если все помещения являются равнозначными для пользователя, то критерием оптимальности является обеспечение одинакового качества регулирования температурного режима во всех обогреваемых помещениях. Когда помещения являются неравнозначными для пользователя, то критерием оптимальности является обеспечение более высокого качества регулирования температурного режима в наиболее значимых для пользователя помещениях.

Если для жилого дома установлен лимит мощности энергосистем, то контроль и регулирование максимума нагрузки осуществляется или по величине установленного лимита мощности или по среднему значению мощности на получасовом интервале [1]. Если лимит мощности не установлен, то для оптимизации электрических сетей жилого дома регулирование максимума нагрузки осуществляется по величине допустимой мощности или по среднему значению мощности на интервале времени равном, как правило, трем постоянным времени нагрева питающих линий [2].

Одним из эффективных путей регулирования максимума нагрузки многоквартирного дома является поквартирное регулирование максимума нагрузки.

Регулирование максимума нагрузок квартирной сети при управлении температурным режимом в равнозначных помещениях наиболее целесообразно осуществлять за счет отключения нагревательных приборов, находящихся в помещениях с минимальным отклонением температуры от заданного значения [3]. Для реализации этого в каж-

дой квартире 1 (рис. 1), имеющей сеть электроснабжения 2, установлен микропроцессорный блок управления (МБУ) 3, который через линию связи 4 соединен с датчиками температуры 5 и мощности 6. К сети электроснабжения подключены нагревательные (регулируемые) приборы 7 и прочие (нерегулируемые) бытовые электроприемники 8. При этом электронагревательные приборы 7 и датчики температуры 5 размещены в тех помещениях 9, на температуру которых осуществляется воздействие.

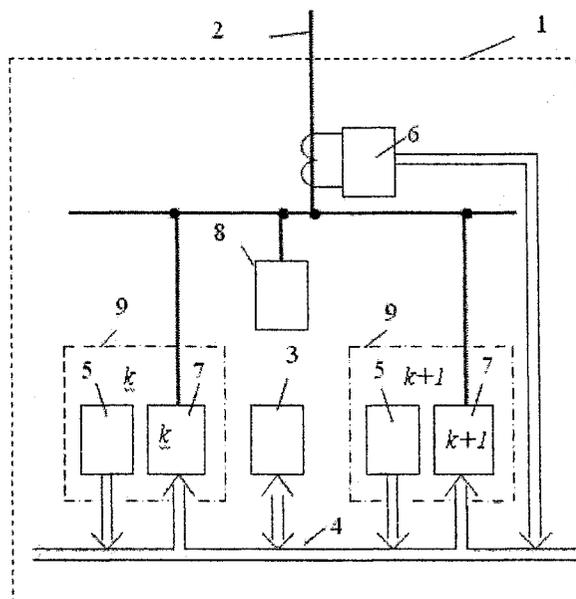


Рис. 1. Структурная схема системы управления нагрузкой квартирной сети для равнозначных помещений

Исходными данными, хранящимися в базе данных МБУ, являются: длительность контролируемого интервала  $T$ , допустимое энергопотребление  $W_T$  на контролируемом интервале, заданные пользователем температурно-временные циклограммы для каждого обогреваемого помещения.

Для регулирования энергопотребления на контролируемом интервале, используется дискретное осреднение графика нагрузок квартирной сети на  $n$  последовательных непересекающихся проме-

жутках времени  $[t_i, t_{i+1}]$ , где  $i=0, 1, 2, \dots, n$  (рис. 2). В контрольные моменты времени  $t_i$  МБУ через линию связи производит опрос всех датчиков температуры. Если температура в помещении выше или равна заданному значению, то через линию связи на электронагревательный прибор, находящийся в этом помещении, с МБУ поступает команда на отключение. Температурный режим данного помещения на промежутке времени  $[t_i, t_{i+1}]$  исключается из общего рассмотрения. Рассматриваются только помещения, в которых температура ниже заданного значения. Для принятия решения о допустимости включения в момент времени  $t_i$  электронагревательного прибора, находящегося в помещении, температура в котором ниже заданного значения, МБУ в соответствии с рабочей программой осуществляет расчет желательной на промежутке времени  $[t_i, T]$  энергопотребления

$$W_{жи} = W_T - W_i,$$

где  $W_i$  - фактическое энергопотребление на промежутке времени  $[t_0, t_i]$ .

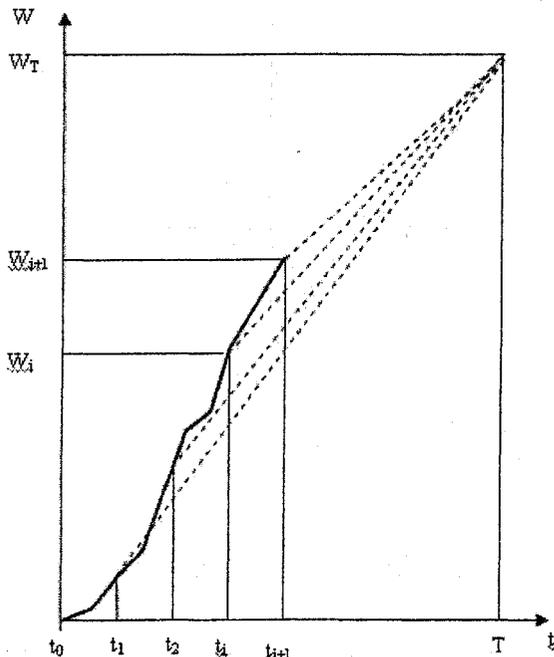


Рис. 2. График нагрузки квартирной сети на контролируемом интервале времени

Если  $W_{жи} \leq 0$ , то с МБУ на все электронагревательные приборы поступает команда на отключение.

Если  $W_{жи} > 0$ , то МБУ определяет величину желательной на промежутке времени  $[t_i, T]$  нагрузки квартирной сети

$$P_{жи} = \frac{W_{жи}}{T - t_i}.$$

Здесь под желательной нагрузкой квартирной сети понимается такая постоянная по величине на промежутке времени  $[t_i, T]$  мощность, потребление которой (на рис. 2 показано пунктиром) обеспечивает

на момент окончания контролируемого интервала времени совпадение фактического энергопотребления с допустимым значением. С выхода датчика мощности МБУ считывает значение фактической нагрузки  $P_i$  в момент времени  $t_i$  и сравнивает его с величиной желательной нагрузки  $P_{жи}$ . Результатом сравнения является одно из неравенств:

$$(P_{жи} - P_i) > 0 \text{ или } (P_{жи} - P_i) \leq 0.$$

Если  $(P_{жи} - P_i) > 0$ , то МБУ формирует команду на поочередное включение электронагревательных приборов в порядке убывания отклонений от заданных значений температуры в обогреваемых ими помещениях.

Приоритет во включении всегда имеет электронагревательный прибор, находящийся в помещении с наибольшим отклонением температуры от заданного значения. После получения команды на включение, независимо от того, был ли данный электронагревательных приборов включен или отключен, он исключается из дальнейшего рассмотрения. При очередном включении каждого электронагревательного прибора, если до этого он был отключен, МБУ проверяет разность между  $P_{жи}$  и  $P_i$ . Если  $(P_{жи} - P_i) \leq 0$ , то МБУ начинает формировать команды на поочередное отключение электронагревательных приборов в порядке возрастания отклонений температуры в обогреваемых ими помещениях. Первым всегда отключается электронагревательный прибор, находящийся в помещении с наименьшим отклонением температуры от заданного значения. После получения команды на отключение, независимо от того, был ли данный электронагревательных приборов включен или отключен, он исключается из дальнейшего рассмотрения. При очередном отключении каждого электронагревательного прибора, если до этого он был включен, МБУ проверяет разность между  $P_{жи}$  и  $P_i$ . Если  $(P_{жи} - P_i) > 0$ ,

то МБУ начинает формировать команды на поочередное включение электронагревательных приборов в порядке возрастания отклонений температуры в обогреваемых ими помещениях и так далее. При совпадении отклонений температуры в нескольких помещениях, приоритет во включении или отключении отдадут электронагревательному прибору, находящемуся в помещении с меньшим номером. Цикл завершается, если исключены из рассмотрения все электронагревательные приборы, а также, если все рассматриваемые электронагревательные приборы при  $(P_{жи} - P_i) > 0$  находятся во включенном состоянии или при  $(P_{жи} - P_i) \leq 0$  находятся в отключенном состоянии.

В табл. 1 приведен пример пошагового управления группой из шести электронагревательных приборов на промежутке  $[t_i, t_{i+1}]$ . Электронагревательные приборы имеют во включенном состоянии различные мощности  $P_k$ , при отключен-

$k$	$\Delta\theta(t_i)$	$p_k(t_i)$	1	2	$\Delta\theta(t_{i+1})$	$p_k(t_{i+1})$	1	2	3	4	5	6
1	0,8	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	<b>0,5</b>
2	0,3	1,0	1,0	<b>0</b>	0,5	0	0	0	0	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>
3	0,7	1,5	1,5	1,5	0,3	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	<b>0</b>	<b>0</b>
4	0,2	2,0	<b>0</b>	<b>0</b>	0,4	0	0	0	0	0	0	<b>2,0</b>
5	0,9	1,5	1,5	1,5	0,2	1,5	1,5	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
6	0,4	1,0	1,0	1,0	0,1	1,0	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
$P_n$		3,1	3,1	3,1		4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
$P$		10,6	8,6	7,6		8,5	7,5	6,0	7,0	7,0	5,5	7,5
$P_{ж}$			8,0							6,5		
$\Delta P$		-2,6	-0,6	0,4		-2,0	-1,0	0,5	-0,5	-0,5	1,0	-1,0

ном состоянии, потребляемая ими мощность равна нулю. Рассматриваемые отклонения температур  $\Delta\theta$ , соответствуют значению фактической температуре ниже заданного значения, а отклонение фактической мощности  $P$  мощности от желаемого значения  $P_{ж}$  определяется выражением  $\Delta P = P_{ж} - P$ . Через  $P_n$  обозначена мощность нерегулируемых электроприемников.

Полужирным шрифтом выделены мощности нагревательных приборов, пошагово исключенных из рассмотрения.

Данный алгоритм работы обеспечивает приоритет в формировании графика нагрузок квартирной сети электронагревательным приборам, находящимся в помещениях с наибольшими отклонениями температуры от заданного значения, что способствует выравниванию температурных отклонений во всех помещениях.

Регулирование максимума нагрузок квартирной сети при управлении температурным режимом в неравнозначных помещениях наиболее целесообразно осуществлять за счет отключения нагревательных приборов, находящихся в менее значимых для пользователя помещениях [4]. Благодаря этому появляется возможность в особо значимых для пользователя помещениях обеспечить более высокое качество регулирования температурного режима. Чтобы обозначить значимость помещений для пользователя каждому помещению присваивается порядковый номер, в соответствии с которым более значимое помещение имеет, например, меньший порядковый номер. Для обеспечения более комфортных условий номера помещений могут изменяться в зависимости от времени суток, а также дня недели. В отличие от способа регулирования при равнозначных помещениях, где контроль энергопотребления ведется на определенном интервале времени, здесь приводится вариант, когда контроль осуществляется только по величине нагрузки. Управление электронагревательными приборами производится таким образом, чтобы в любой контрольный момент времени значение фактической нагрузки квартирной сети не превышало допустимого значения

$$P_d = \frac{W_T}{T}$$

На рис. 3 приведена структурная схема электроснабжения квартиры с неравнозначными для пользователя помещениями. Отличие ее от схемы, приведенной на рис. 1, состоит в том, что каждому обогреваемому помещению квартиры присвоен порядковый номер  $k$ , а датчик мощности измеряет результирующую нагрузку  $P_n$  нерегулируемых электроприемников.

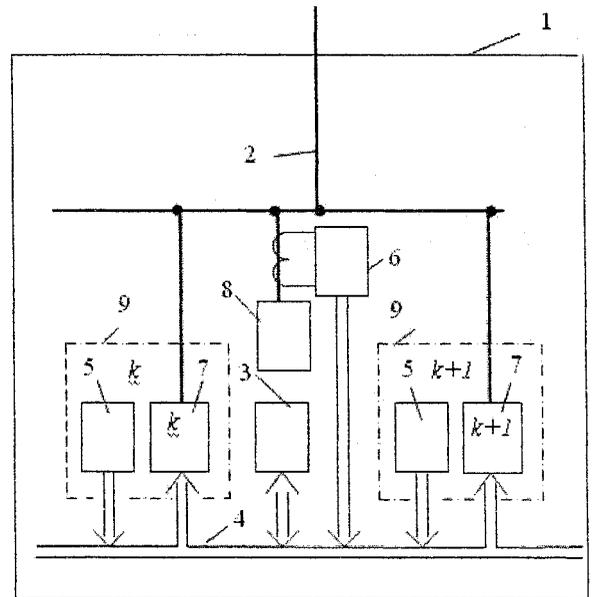


Рис. 3. Структурная схема системы управления нагрузкой квартирной сети для неравнозначных помещений

Исходными данными, хранящимися в базе данных МБУ являются: допустимая мощность  $P_d$  и величина мощности каждого электронагревательного прибора  $p_k$ . Порядковый номер электронагревательного прибора совпадает с порядковым номером помещения, в котором он находится.

В контрольные моменты времени МБУ через линию связи производит опрос датчика мощности и всех датчиков температуры. Отключает электронагревательные приборы тех помещений, в которых температура выше или равна заданному значению и исключает их из дальнейшего рассмотрения до следующего контрольного момента времени.

В соответствии с рабочей программой в МБУ осуществляется расчет допустимого значения ре-

Таблица 2

$k$	$p_k$	$t_i$	1	2	3	4	5	6	7	$t_{i+1}$	1	2	3	4	5	6
1	0,5		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
2	1,0			1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0			1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
3	1,5				1,5	1,5	1,5	1,5	1,5				1,5	1,5	1,5	1,5
4	2,0					2,0	0	0	0					2,0	0	0
5	1,5						1,5	1,5	1,5						1,5	0
6	1,0							1,0	0							1,0
$P_n$		3,1								4,0						
$P_d$		8,0								8,0						
$P_{гр}$		4,9								4,0						
$\Delta P$			4,4	3,4	1,9	-0,1	0,4	-0,6	0,4		3,5	2,5	1,0	-1,0	-0,5	0

зультулирующей мощности группы электронагревательных приборов

$$P_{гр} = P_d - P_n.$$

В первую очередь рассматривается возможность включения электронагревательного прибора, имеющего приоритет во включении, то есть находящегося в помещении с наименьшим порядковым номером. Между значениями  $P_{гр}$  и мощностью  $P_{k\max}$  электронагревательного прибора, находящегося в помещении с наименьшим порядковым номером, определяется разность

$$\Delta P = P_{гр} - P_{k\max}.$$

Если  $\Delta P \geq 0$ , то МБП дает разрешение на включение данного электронагревательного прибора и исключает его из дальнейшего рассмотрения до следующего контрольного момента времени. Корректирует максимально допустимое значение результирующей мощности электронагревательных приборов  $P_{гр}$ : уменьшает ее на величину мощности  $P_{k\max}$  включенного электронагревательного прибора и присваивает ей новое значение

$$\Delta P = P_{гр} - P_{k\max}.$$

Сравнивает скорректированное допустимое значение результирующей мощности электронагревательных приборов с мощностью следующего электронагревательного прибора, к которому переходит приоритет во включении, и так далее. После сравнения мощности последнего электронагревательного прибора алгоритм управления повторяется, начиная со следующего контрольного момента времени.

Если  $\Delta P < 0$ , то электронагревательный прибор, хотя и имеет приоритет во включении, не получает разрешение на включение и исключается из рассмотрения до следующего контрольного момента времени. МБУ переходит к сравнению  $P_{гр}$  с мощностью следующего электронагревательного прибора, к которому переходит приоритет во включении после исключения предыдущего электронагревательного прибора, и так далее. После

сравнения мощности последнего электронагревательного прибора алгоритм управления электронагревательными приборами повторяется, начиная со следующего контрольного момента времени.

В табл. 2 приведен пример пошагового управления группой из шести электронагревательных приборов на промежутке  $[t_i, t_{i+1}]$ . Здесь полагается, что на рассматриваемом промежутке времени значения фактических температур во всех помещениях ниже заданных значений.

Таким образом, в формировании графика электропотребления при регулировании нагрузки квартирной сети в первую очередь всегда участвуют электронагревательные приборы, имевшие приоритет во включении, то есть те электронагревательные приборы, которые находились в более значимых для пользователя помещениях. Такое управление электронагревательными приборами обеспечивает минимальное отклонение температуры от заданного значения в заранее указанных пользователем наиболее важных для него помещениях.

Предложенные способы регулирования максимума нагрузки квартирных сетей при электротеплоснабжении домов позволяют одновременно с оптимизацией систем электроснабжения решать вопросы оптимизации температурных режимов помещений.

### Литература

1. Гордеев В.И. Регулирование максимума нагрузки промышленных электрических сетей. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 184 с.
2. Тульчин И.К., Нудлер Г.И. Электрические сети и электрооборудование жилых и общественных зданий. — М.: Энергоатомиздат, 1990. - 480 с.
3. Патент 2249287 (Российская Федерация). Способ управления группой электронагревательных устройств/Л.Ф. Файда, С.А. Соболев, Е.Л. Файда// Открытия. Изобретения. - 2005. - № 9.
4. Патент 2259022 (Российская Федерация). Способ управления группой электронагревательных устройств/Л.Ф. Файда, С.А. Соболев, Е.Л. Файда// Открытия. Изобретения. - 2005. — №23.

Файда Евгений Леонидович, аспирант кафедры электропривода и автоматизации промышленных установок ЮУрГУ. Выпускник кафедры систем электроснабжения ЮУрГУ 2003 г.

Варганов Виталий Викторович, инженер ООО «Прибор». Выпускник кафедры электропривода и автоматизации промышленных установок ЮУрГУ 2003 г.