

7. **Физический** энциклопедический словарь. ГСИ. Глав. ред. Веденский Б. А., Вул Б. М. Т. 3. Литосфера — Пимезоны. М.: Советская энциклопедия, 1963.

8. **Энрико Ферми**. Термодинамика. Харьков: Изд-во Харьк. ун. Харьков, 1969.

9. **Вонсовский С. В.** Магнетизм. Магнитные свойства диа-, ферро-, антиферро и ферромагнетиков. М.: Наука, 1971.

10. **Методы** получения и измерения низких и сверхнизких температур: Справочник / Под. ред. Б. И. Веркина. Киев: Наукова Думка, 1987.

11. **ГОСТ 8.030—2013**. ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений магнитной индукции, магнитного потока, магнитного момента и градиента магнитной индукции.

12. **ГОСТ 8.231—84**. ГСИ. Государственный первичный эталон и государственная поверочная схема для средств измерений магнитного момента и магнитной восприимчивости.

13. **ГОСТ 8.188—85**. ГСИ. Государственный специальный эталон и государственная поверочная схема для средств измерений магнитной индукции постоянного поля в диапазоне от 2 до 10 Тл при температурах от 4,2 до 300 К и в диапазоне 0,1—2 Тл при температурах от 4,2 до 77 К.

14. **ГОСТ 8.624—2006**. ГСИ. Термометры сопротивления из платины, меди и никеля. Методика поверки.

15. **ГОСТ 8.558—2009**. ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений температуры.

Дата принятия 16.06.2014 г.

519.233.5:532.57

Сравнительная оценка режимов регулирования теплотребления

В. П. ЧИПУЛИС

Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН,
Владивосток, Россия, e-mail: chipulis@vira.dvo.ru

Рассмотрены вопросы сравнительной оценки режимов теплотребления, соответствующих различным вариантам настройки регулирующего оборудования. Решение задачи сравнительной оценки основано на построении регрессионной модели объекта. Приведен метод оценки для конкретного потребителя тепловой энергии.

Ключевые слова: регулирование теплотребления, сравнительная оценка, регрессионная модель.

The problems of comparative assessment of the heat consumption modes corresponding to the different adjustment versions of regulating equipment have been considered. The solution to the problem of comparative assessment is based on the creation and use of the object regression model. A method of assessment and its illustration for a specific object — the consumer of thermal energy — is presented.

Key words: regulation of heat consumption, comparative assessment, regression model.

В последние годы наблюдается интенсивный процесс установки приборов учета и регулирования в тепловых узлах потребителей тепловой энергии. Приборы учета позволяют потребителю экономить денежные средства, так как нормативное теплотребление превышает фактическое (измеренное). Разница между этими значениями определяет эффективность приборного учета теплоты.

Однако установка приборов учета напрямую не связана с энергосбережением, хотя и дает стимулы для проведения соответствующих мероприятий. Один из наиболее эффективных путей повышения энергоэффективности в теплоэнергетической сфере связан с установкой регулирующего оборудования для исключения (или по крайней мере существенного ограничения) излишков потребляемой объектами тепловой энергии [1, 2]. Существуют два принципиально разных

способа регулирования теплотребления — количественный и качественный. В России принят качественный способ регулирования в системах централизованного теплоснабжения. Суть его заключается в том, что количество потребляемой теплоты регулируется на теплоисточнике (ТЭЦ, котельной) путем изменения температуры теплоносителя в зависимости от температуры наружного воздуха в соответствии с нормативным температурным графиком теплоисточника. При этом расход теплоносителя в тепловом узле у каждого потребителя должен оставаться постоянным в течение всего отопительного сезона. В зарубежных странах используют количественный способ регулирования, который осуществляется в тепловом узле. При этом способе температура теплоносителя поддерживается постоянной, а количество потребляемой теплоты дозируется в результате изменения

расхода теплоносителя (в соответствии с температурой наружного воздуха) с использованием регулирующего оборудования у потребителей.

Практика учета тепловой энергии в России показывает, что качественный способ регулирования нередко осуществляется со значительными отклонениями от нормы, что связано как с занижением температуры теплоносителя в холодное время года, так и с ее превышением в периоды межсезонья. Поэтому потребители часто решают свои проблемы за счет установки регулирующего оборудования в тепловом узле и (или) на отопительных приборах внутри помещений. Результатом этого является совмещение качественного и количественного способов регулирования. Для того чтобы оценить эффективность такого смешанного способа и разумно управлять процессом регулирования, необходимо определить вклад каждого из способов в общий результат, причем желательно оценивать вклад с использованием понятных, отражающих определенный содержательный смысл критериев. Это исследование проведено в [3].

Современные регуляторы предоставляют пользователю большие возможности реализовать различные режимы теплоснабжения путем многочисленных настроек. Однако далеко не очевиден первоначальный выбор конкретной конфигурации настроечных параметров и тот результат, к которому она приведет. Поскольку первоначально конфигурацию выбирают интуитивно, то она, как правило, не является оптимальной. Качество настройки регуляторов можно достоверно оценить лишь путем анализа результатов измерений параметров теплоснабжения. Если результаты анализа свидетельствуют о неудовлетворительном варианте настройки, то необходимо провести корректировку настроечных параметров, затем выполнить очередной этап анализа, и так далее до тех пор, пока не будет получен приемлемый результат. При этом возникает задача сопоставления различных режимов теплоснабжения, соответствующих различным вариантам настройки регуляторов. Эта же задача актуальна, например, и для случая реализации двух режимов регулирования теплоснабжения — в ночное и дневное вре-

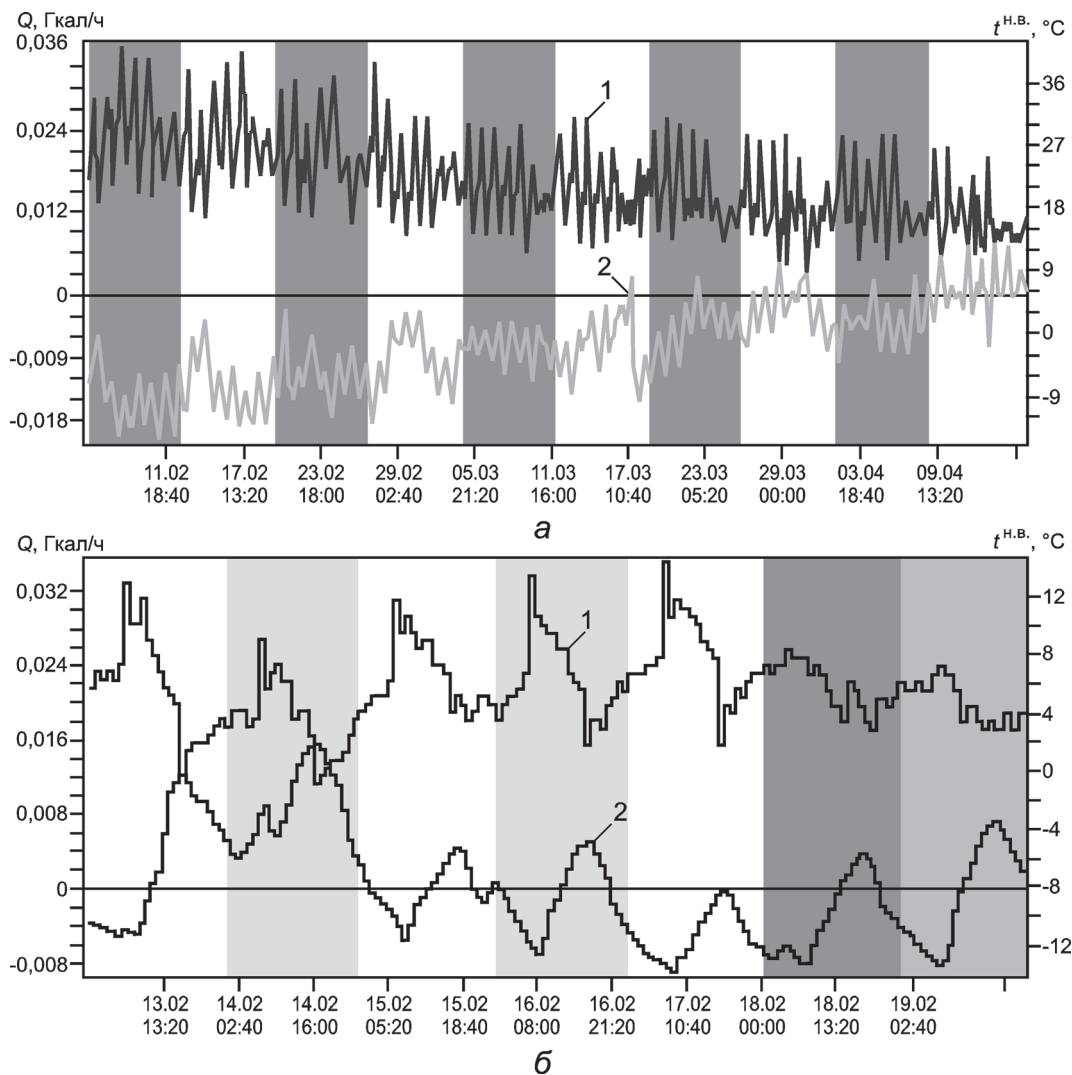


Рис. 1. Графики среднечасовых значений потребляемой тепловой энергии Q (кривая 1) и температуры наружного воздуха $t_{н.в.}$ (кривая 2) на временных интервалах 06.02.2012—15.04.2012 (а) и 12.02.2012—20.02.2012 (б)

мя. В данной работе сделана попытка формализации процесса сравнительной (количественной) оценки режимов регулирования теплопотребления.

Постановка задачи. Сопоставление двух режимов регулирования R_1, R_2 может быть выполнено путем сравнения двух величин — Q_1 и Q_2 (Q_1, Q_2 — количество тепловой энергии, потребленной объектом P_1 с режимом регулирования R_1 и объектом P_2 с режимом регулирования R_2 , соответственно). В идеальном случае для решения задачи необходимо иметь два абсолютно одинаковых объекта, находящихся в одинаковых условиях с одинаковым регулирующим оборудованием, которое на первом объекте обеспечивает режим регулирования R_1 , на втором R_2 . Однако реализация такого варианта практически исключается. Поэтому в качестве одного из объектов сравнения рассмотрим реальный объект P_1 и используем результаты измерений этого объекта на определенном интервале времени, а в качестве другого — виртуальный (модельный) объект P_2^M и сформируем его предполагаемые результаты измерений на том же интервале времени. Для этого создадим его регрессионную модель, отображающую зависимость потребляемой тепловой энергии от температуры наружного воздуха. В дальнейшем режим R_1 реального объекта будем называть базовым.

Метод решения. Для решения задачи важны результаты измерений двух параметров — тепловой энергии Q и температуры наружного воздуха $t^{H.B.}$. Естественным источником информации для их получения являются архивы тепловых счетчиков приборов учета тепловой энергии, устанавливаемые на объектах. Эти архивы содержат, в частности, среднечасовые значения измеряемых параметров, которые используем в приведенном ниже примере.

Предположим, что существуют последовательности измеренных среднечасовых значений тепловой энергии $\Pi(P_1) = Q_{1,1}, Q_{1,2}, \dots, Q_{1,n}$ и температуры наружного воздуха $T(P_1) = t_{1,1}^{H.B.}, t_{1,2}^{H.B.}, \dots, t_{1,n}^{H.B.}$ для объекта с режимом регулирования R_1 на временном интервале S_1 продолжительностью n часов, а также последовательности $\Pi(P_2) = Q_{2,1}, Q_{2,2}, \dots, Q_{2,m}$ и $T(P_2) = t_{2,1}^{H.B.}, t_{2,2}^{H.B.}, \dots, t_{2,m}^{H.B.}$ для объекта с режимом регулирования R_2 на временном интервале S_2 продолжительностью

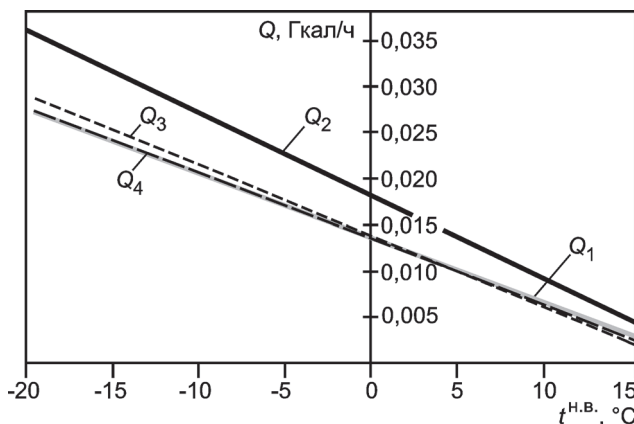


Рис. 2. Зависимости потребляемой тепловой энергии от температуры наружного воздуха для рабочего Q_2 и нерабочего Q_1 (Q_3, Q_4) времени

m часов. Последовательности $\Pi(P_1), T(P_1)$ и $\Pi(P_2), T(P_2)$ относятся к различным интервалам времени (поскольку объект не может одновременно работать в двух режимах регулирования), однако для простоты обозначений нумерация среднечасовых значений (второе значение нижнего индекса после запятой) в обоих случаях ведется одинаково, начиная с единицы.

Потребление тепловой энергии объектом с режимом регулирования R_1 на интервале времени S_1 определяется суммированием измеренных среднечасовых значений $Q_{1,i}$ в последовательности $\Pi(P_1)$, т. е.

$$Q_1(S_1) = \sum_{i=1}^n Q_{1,i}. \quad (1)$$

Для ответа на вопрос, каково было бы потребление тепловой энергии, если бы объект работал на интервале времени S_1 с режимом регулирования R_2 , построим регрессионную модель объекта P_2^M [4]. Для этого, аппроксимировав

результаты измерений $Q_{2,i}$ и $t_{2,i}^{H.B.}$ на интервале времени S_2 , определим зависимость тепловой энергии от температуры наружного воздуха для объекта с режимом регулирования R_2 :

$$Q_2 = at^{H.B.} + b. \quad (2)$$

Аппроксимация линейной функцией вполне правомочна, поскольку любой способ регулирования ориентирован на поддержание линейной зависимости тепловой энергии от температуры наружного воздуха. При этом, естественно, значение критерия Пирсона, определяющего степень достоверности аппроксимации, должно быть близким к единице: $R_2 \approx 1$.

Далее, подставив в (2) значения $t_{1,1}^{H.B.}, t_{1,2}^{H.B.}, \dots, t_{1,n}^{H.B.}$ температуры наружного воздуха из временного интервала S_1 , вычислим последовательность $Q_{2,1}^M, Q_{2,2}^M, \dots, Q_{2,n}^M$ предполагаемых среднечасовых значений тепловой энергии для виртуального объекта P_2^M , работающего в режиме регулирования R_2 на интервале S_1 . Просуммировав вычисленные значения $Q_{2,i}^M$,

получим теплопотребление виртуального объекта P_2^M на временном интервале S_1 :

$$Q_2^M(S_1) = \sum_{i=1}^n Q_{2,i}^M.$$

Абсолютную и относительную разности в теплопотреблении объекта для двух режимов регулирования R_1, R_2 на временном интервале S_1 вычислим по формулам

$$\Delta_{1,2} = Q_1(S_1) - Q_2^M(S_1); \quad (3)$$

$$\delta_{1,2} = \left| 100 \cdot \left[Q_1(S_1) - Q_2^M(S_1) \right] / Q_1(S_1) \right|.$$

Если $\Delta_{1,2}$ положительна, то режим регулирования R_2 экономичнее R_1 , если $\Delta_{1,2}$ отрицательна, то предпочтение следует отдать режиму R_1 . При этом, очевидно, должны сохра-

няться комфортные условия, критерием которых является близость температуры воздуха внутри отапливаемых помещений к нормативному значению. Заметим, что все современные регуляторы включают настройки для поддержания внутри помещений задаваемой пользователем температуры. Значение $\delta_{1,2}$ показывает в процентах экономию в теплоснабжении (если $\Delta_{1,2} > 0$) или потери (если $\Delta_{1,2} < 0$) при переходе от режима R_1 к режиму R_2 .

Предложенный подход может быть использован (при незначительной модификации) для сравнения теплоснабжения объекта с регулирующим оборудованием, настроенным на конкретный режим регулирования, и без него.

Пример. Рассмотрим решение задачи сравнения режимов регулирования теплоснабжения. На рис. 1, а приведе-

ны графики измеренных среднечасовых значений тепловой энергии (кривая 1) и температуры наружного воздуха (кривая 2) на временном интервале 06.02.2012—15.04.2012 для одного из корпусов ОАО «Радиоприбор» (г. Владивосток). Цветом выделены недели. Для иллюстрации результатов измерений и их обработки использована информационно-аналитическая система СКУТЕР [5]. Система регулирования на базе погодного регулятора ОВЕН ТРМ32 настроена на поддержание двух режимов теплоснабжения — режима R_1 для нерабочего времени (суббота, воскресенье, а также время с 0:00 до 5:40 и с 15:40 до 24:00 в рабочие дни) и режима R_2 рабочего времени (5:40—15:40 в рабочие дни). Естественно, режим R_1 является более экономным, чем режим R_2 , что было достигнуто сдвигом на 5 °C в меньшую сторону температурного графика (зависимости температуры теплоносителя от температуры наружного воздуха) в нерабочее время по отношению к рабочему. Аппроксимацией показанных на графиках среднечасовых значений Q и $t^{н.в}$ объекта построены зависимости потребляемой объектом тепловой энергии от температуры наружного воздуха для четырех временных выборок из интервала 06.02.2012—15.04.2012. Выборка Q_1 включает субботы, воскресенья, а также нерабочее время всех рабочих дней (0:00—5:00; 17:00—24:00), Q_2 — рабочее время с 7:00 до 15:00 всех рабочих дней, Q_3 — субботы и воскресенья, Q_4 — нерабочее время рабочих дней (0:00—5:00; 17:00—24:00):

$$Q_1 = (-0,748t^{н.в} + 13,073) \cdot 10^{-3}, R^2 = 0,93;$$

$$Q_2 = (-0,901t^{н.в} + 17,596) \cdot 10^{-3}, R^2 = 0,94;$$

$$Q_3 = (-0,717t^{н.в} + 12,947) \cdot 10^{-3}, R^2 = 0,92;$$

$$Q_4 = (-0,772t^{н.в} + 13,188) \cdot 10^{-3}, R^2 = 0,93.$$

В приведенных зависимостях единицы измерения тепловой энергии — гигакалории, температуры — градусы Цельсия. Зависимость Q_1 характеризует работу объекта с режимом регулирования R_1 , Q_2 — с режимом R_2 , зависимости Q_3 , Q_4 — с режимом R_1 . Для нерабочего времени взяты три выборки данных, поскольку число переходных процессов от

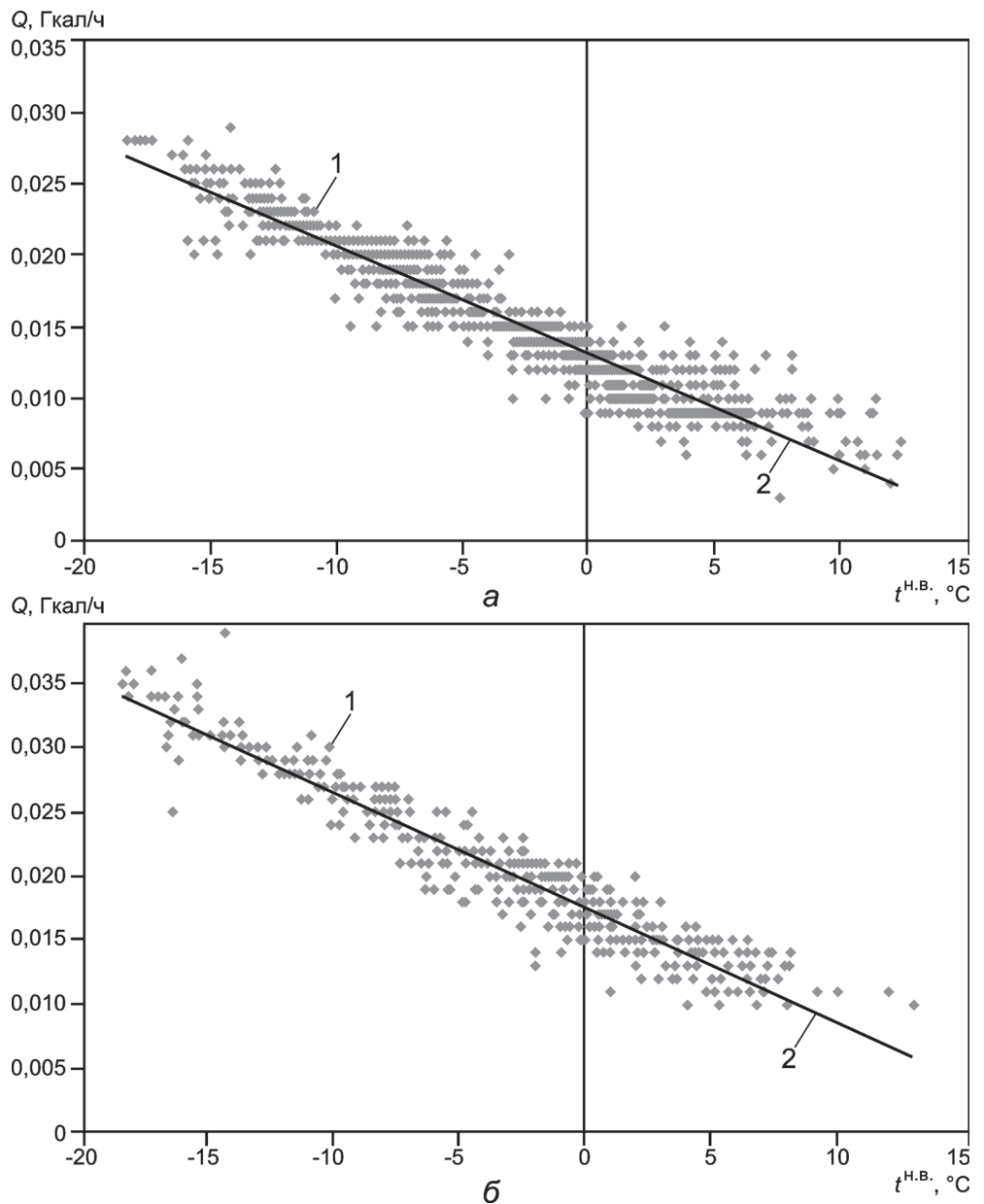


Рис. 3. Распределение 1 среднечасовых значений потребляемой тепловой энергии Q от температуры наружного воздуха $t^{н.в}$ и тренд 2 зависимости Q от $t^{н.в}$ для нерабочего (а) и рабочего (б) времени

одного режима регулирования к другому для этих выборок различно и необходимо было понять, насколько сильно они влияют на результаты аппроксимации и затем исключить это влияние. Для этой цели из рассмотрения исключены среднечасовые значения, связанные с переключением режимов регулирования в 5:40 и 15:40. Переходные процессы в эти часы существенно размывают картину зависимости тепловой энергии от температуры наружного воздуха и значительно понижают значение критерия Пирсона, поэтому их логично не включать в выборки результатов измерений при аппроксимации.

На рис. 2 приведены графики четырех зависимостей тепловой энергии, из которых следует, что три зависимости для работы объекта с режимом регулирования R_1 весьма близки друг другу и существенно отличаются от зависимости, характерной для режима регулирования R_2 . Это подтверждает достоверность аппроксимации результатов измерений. Распределение значений потребляемой тепловой энергии Q

от температуры наружного воздуха $t^{н.в.}$ и тренды зависимостей Q от $t^{н.в.}$ для рабочего и нерабочего времени приведены на рис. 3, а, б, соответственно.

В дальнейшем будем анализировать только две зависимости — Q_1 и Q_2 .

Сравнительный анализ режимов регулирования. Выполним сравнительный анализ режимов R_1 , R_2 на недельном интервале времени с 0:00 13.02.2012 (понедельник) до 24:00 19.02.2012 (воскресенье). Примем в качестве базового режим регулирования R_1 нерабочего времени. В табл. 1 представлены результаты измерений $Q_{1,i}$ и $t^{н.в.}$ для базового режима регулирования R_1 , а также вычисленные с исполь-

зованием выражения (2) значения $Q_{2,i}^M$ тепловой энергии виртуального объекта в предположении, что в нерабочее время выполнялся режим регулирования R_2 . Во втором столбце табл. 1 приведены часы для выборки S_1 нерабочего времени анализируемой недели.

Таблица 1

Результаты измерений Q_1 и $t^{н.в.}$ для режима регулирования R_1 и вычисленные значения Q_2^M виртуального объекта с режимом R_2

Дата	Временной интервал, ч	Q_1 , Гкал/ч	$t^{н.в.}$, °С	Q_2^M , Гкал/ч	Дата	Временной интервал, ч	Q_1 , Гкал/ч	$t^{н.в.}$, °С	Q_2^M , Гкал/ч
13.02.12	00—01	0,021	–10,9	0,0274	15.02.12	00—01	0,019	–6,8	0,0237
13.02.12	01—02	0,023	–11,1	0,0276	15.02.12	01—02	0,020	–7,9	0,0247
13.02.12	02—03	0,022	–11,2	0,0277	15.02.12	02—03	0,021	–8,7	0,0254
13.02.12	03—04	0,023	–11,3	0,0278	15.02.12	03—04	0,021	–9,0	0,0257
13.02.12	04—05	0,022	–11,6	0,0281	15.02.12	04—05	0,021	–9,4	0,0261
13.02.12	17—18	0,015	–1,1	0,0186	15.02.12	17—18	0,021	–5,7	0,0227
13.02.12	18—19	0,015	–2,1	0,0195	15.02.12	18—19	0,020	–5,7	0,0227
13.02.12	19—20	0,015	–2,4	0,0198	15.02.12	19—20	0,018	–7,0	0,0239
13.02.12	20—21	0,015	–2,5	0,0198	15.02.12	20—21	0,019	–8,4	0,0252
13.02.12	21—22	0,016	–3,1	0,0204	15.02.12	21—22	0,021	–9,0	0,0257
13.02.12	22—23	0,017	–4,0	0,0212	15.02.12	22—23	0,021	–9,3	0,0260
13.02.12	23—24	0,018	–4,4	0,0216	15.02.12	23—24	0,020	–8,6	0,0253
14.02.12	00—01	0,017	–5,2	0,0223	16.02.12	00—01	0,018	–8,1	0,0249
14.02.12	01—02	0,019	–6,1	0,0231	16.02.12	01—02	0,020	–8,5	0,0253
14.02.12	02—03	0,019	–6,3	0,0233	16.02.12	02—03	0,021	–9,1	0,0258
14.02.12	03—04	0,019	–5,9	0,0229	16.02.12	03—03	0,021	–10,0	0,0266
14.02.12	04—05	0,017	–5,3	0,0224	16.02.12	04—05	0,021	–10,6	0,0272
14.02.12	17—18	0,012	1,3	0,0164	16.02.12	17—18	0,018	–5,2	0,0223
14.02.12	18—19	0,013	0,3	0,0173	16.02.12	18—19	0,018	–6,0	0,0230
14.02.12	19—20	0,014	–0,5	0,0180	16.02.12	19—20	0,017	–6,8	0,0237
14.02.12	20—21	0,014	–1,2	0,0187	16.02.12	20—21	0,020	–7,7	0,0245
14.02.12	21—21	0,015	–2,9	0,0202	16.02.12	21—22	0,021	–9,3	0,0260
14.02.12	22—23	0,016	–5,1	0,0222	16.02.12	22—23	0,022	–10,1	0,0267
14.02.12	23—24	0,018	–6,1	0,0231	16.02.12	23—24	0,021	–10,9	0,0274

Дата	Временной интервал, ч	Q_1 , Гкал/ч	$t^{н.в.}$, °C	Q_2^M , Гкал/ч	Дата	Временной интервал, ч	Q_1 , Гкал/ч	$t^{н.в.}$, °C	Q_2^M , Гкал/ч
17.02.12	00—01	0,023	–11,4	0,0279	18.02.12	18—19	0,018	–6,3	0,0233
17.02.12	01—02	0,023	–11,9	0,0283	18.02.12	19—20	0,017	–6,8	0,0237
17.02.12	02—03	0,023	–12,2	0,0286	18.02.12	20—21	0,021	–8,0	0,0248
17.02.12	03—04	0,024	–12,8	0,0291	18.02.12	21—22	0,021	–9,6	0,0262
17.02.12	04—05	0,024	–13,1	0,0294	18.02.12	22—23	0,020	–10,0	0,0266
17.02.12	17—18	0,020	–8,6	0,0253	18.02.12	23—24	0,021	–10,3	0,0269
17.02.12	18—19	0,019	–8,8	0,0255	19.02.12	00—01	0,022	–11,0	0,0275
17.02.12	19—20	0,021	–9,7	0,0263	19.02.12	01—02	0,021	–11,2	0,0277
17.02.12	20—21	0,021	–10,6	0,0272	19.02.12	02—03	0,021	–11,4	0,0279
17.02.12	21—22	0,022	–11,3	0,0278	19.02.12	03—04	0,022	–12,1	0,0285
17.02.12	22—23	0,023	–12,1	0,0285	19.02.12	04—05	0,021	–12,6	0,0290
17.02.12	23—24	0,023	–12,3	0,0287	19.02.12	05—06	0,021	–12,9	0,0292
18.02.12	00—01	0,024	–12,8	0,0291	19.02.12	06—07	0,023	–13,1	0,0294
18.02.12	01—02	0,023	–13,0	0,0293	19.02.12	07—08	0,024	–13,4	0,0297
18.02.12	02—03	0,024	–13,0	0,0293	19.02.12	08—09	0,023	–13,2	0,0295
18.02.12	03—04	0,024	–12,6	0,0290	19.02.12	09—10	0,023	–12,2	0,0286
18.02.12	04—05	0,026	–12,5	0,0289	19.02.12	10—11	0,021	–9,8	0,0264
18.02.12	05—06	0,025	–12,7	0,0290	19.02.12	11—12	0,018	–8,5	0,0253
18.02.12	06—07	0,025	–13,1	0,0294	19.02.12	12—13	0,020	–7,7	0,0245
18.02.12	07—08	0,025	–13,6	0,0299	19.02.12	13—14	0,020	–6,6	0,0235
18.02.12	08—09	0,023	–13,5	0,0298	19.02.12	14—15	0,018	–5,3	0,0224
18.02.12	09—10	0,024	–12,3	0,0287	19.02.12	15—16	0,017	–4,4	0,0216
18.02.12	10—11	0,023	–11,2	0,0277	19.02.12	16—17	0,018	–4,0	0,0212
18.02.12	11—12	0,021	–10,5	0,0271	19.02.12	17—18	0,017	–3,5	0,0208
18.02.12	12—13	0,020	–9,7	0,0263	19.02.12	18—19	0,017	–4,3	0,0215
18.02.12	13—14	0,020	–8,6	0,0253	19.02.12	19—20	0,019	–5,0	0,0221
18.02.12	14—15	0,018	–7,9	0,0247	19.02.12	20—21	0,017	–5,8	0,0228
18.02.12	15—16	0,022	–7,3	0,0242	19.02.12	21—22	0,019	–6,4	0,0234
18.02.12	16—17	0,021	–6,6	0,0235	19.02.12	22—23	0,019	–6,9	0,0238
18.02.12	17—18	0,020	–6,0	0,0230	19.02.12	23—24	0,020	–7,2	0,0241

Воспользовавшись (1) и значениями $Q_{1,i}$ из табл. 1, определим теплотребление объекта с режимом регулирования R_1 на выборке S_1 :

$$Q_1(S_1) = \sum Q_{1,i} = 2,168 \text{ Гкал.}$$

Просуммировав значения $Q_{2,i}^M$ из табл. 1, получим теплотребление виртуального объекта с режимом регулирования R_2 на этой же временной выборке S_1 :

$$Q_2^M(S_1) = \sum Q_{2,i}^M = 2,718 \text{ Гкал.}$$

Абсолютная и относительная разности в теплотреблении с режимами регулирования R_1 и R_2 на выборке часов нерабочего времени составили:

$$\Delta_{1,2} = Q_1(S_1) - Q_2^M(S_1) = -0,55 \text{ Гкал;}$$

$$\delta_{1,2} = \left| 100 \cdot \frac{Q_1(S_1) - Q_2^M(S_1)}{Q_1(S_1)} \right| = 25,3 \text{ \%}.$$

Режим R_1 нерабочего времени более экономный, чем режим R_2 , что подтверждает отрицательный знак у $\Delta_{1,2}$.

Значение $\delta_{1,2} = 25,3\%$ показывает, что замена режима R_1 на R_2 приведет (на выборке S_1) к повышению теплопотребления на 25,3 % или введение режима нерабочего времени позволит сэкономить 25,3 % тепловой энергии на выборке S_1 . Если рассматривать недельную экономию, то более естественно относить абсолютную разность $\Delta_{1,2}$ к суммарному недельному теплопотреблению объекта на выборке S_1 с режимом R_1 и на выборке S_2 с режимом R_2 . Теплопотребление объекта на выборке S_2 с режимом R_2 определяется суммированием столбцов для Q_2 по табл. 2. С учетом этого экономия от введения режима нерабочего времени (по отношению к функционированию в одном режиме R_2) за анализируемую неделю на временной выборке часов из S_1 и S_2 составит

$$\delta_{1,2} = \left| 100 \cdot \left[Q_1(S_1) - Q_2^M(S_1) \right] / \left[Q_1(S_1) + Q_2(S_2) \right] \right| = 17,3\%.$$

Таблица 2

Теплопотребление объекта на выборке S_2 с режимом регулирования R_2

Дата	Временной интервал, ч	Q_2 , Гкал/ч	Дата	Временной интервал, ч	Q_2 , Гкал/ч
13.02.12	07—08	0,028	15.02.12	11—12	0,027
13.02.12	08—09	0,028	15.02.12	12—13	0,027
13.02.12	09—10	0,031	15.02.12	13—14	0,024
13.02.12	10—11	0,027	15.02.12	14—15	0,024
13.02.12	11—12	0,025	16.02.12	07—08	0,029
13.02.12	12—13	0,023	16.02.12	08—09	0,028
13.02.12	13—14	0,021	16.02.12	09—10	0,028
13.02.12	14—15	0,021	16.02.12	10—11	0,028
14.02.12	07—08	0,021	16.02.12	11—12	0,026
14.02.12	08—09	0,023	16.02.12	12—13	0,026
14.02.12	09—10	0,024	16.02.12	13—14	0,023
14.02.12	10—11	0,022	16.02.12	14—15	0,022
14.02.12	11—12	0,022	17.02.12	07—08	0,029
14.02.12	12—13	0,018	17.02.12	08—09	0,031
14.02.12	13—14	0,019	17.02.12	09—10	0,030
14.02.12	14—15	0,019	17.02.12	10—11	0,030
15.02.12	07—08	0,028	17.02.12	11—12	0,029
15.02.12	08—09	0,029	17.02.12	12—13	0,028
15.02.12	09—10	0,028	17.02.12	13—14	0,027
15.02.12	10—11	0,026	17.02.12	14—15	0,026

Примечание. В выражении (3) $\Delta_{1,2}$ является пессимистической характеристикой экономии за анализируемый недельный интервал времени, получаемой при введении режима нерабочего времени. Это объясняется тем, что при вычислении $\Delta_{1,2}$ из рассмотрения были исключены по четы-

ре часа, связанных с переходными процессами после переключения режимов регулирования, в каждом из пяти рабочих дней, т. е. исключены 20 из 168 ч. Причем десять из этих исключенных часов объект работал в экономном режиме регулирования R_1 , в результате чего абсолютная недельная экономия превысит значение $\Delta_{1,2}$ выражения (3).

Абсолютная и относительная экономии, вычисленные за весь период измерений с 06.02.2012 по 14.04.2012, составивший 10 нед, равны соответственно $\Delta_{1,2} = 5,285$ Гкал, $\delta_{1,2} = 22,3\%$.

Следует отметить, что значение $\delta_{1,2}$ растет с увеличением температуры наружного воздуха. Это вполне объяснимо, так как регулирование связано с ограничением теплопотребления, а его возможности увеличиваются с ростом температуры наружного воздуха. Поскольку температура наружного воздуха в течение восьми из десяти анализируемых недель была в среднем ниже температуры за неделю, то и относительная экономия за весь период превышает недельную экономию.

Выводы. Достоверность количественной оценки эффекта, получаемого при регулировании теплопотребления, важна, поскольку в зависимости от величины эффекта принимаются те или иные существенно отличающиеся друг от друга инженерные решения, связанные с повышением энергоэффективности. Обычно для конкретного регулирующего оборудования приводят интервальные оценки ожидаемого эффекта. При этом они основаны, как правило, на сравнении тепловой энергии, потребляемой объектом с регулирующим оборудованием и без него, для различных периодов времени и, как следствие, для разных погодных условий и температурного графика источника теплоты. Предложенный подход ориентирован на сопоставление объектов, находящихся в одинаковых условиях, вследствие чего можно достичь значительное повышение адекватности получаемых оценок.

Литература

1. Andrei H. e. a. Measurement data analysis of power quality and energy efficiency for residential loads sector // Proc. Int. Conf. Power Energy Systems (ICPES 2012). Hong Kong, 2012. V. 13. P. 56—63.
2. Freire R. Z. e. a. Predictive controllers for thermal comfort optimization and energy savings // Energy and Buildings. 2008. V. 40. N. 7. P. 1353—1365.
3. Виноградов А. Н., Чипулис В. П. Анализ эффективности процессов регулирования теплопотребления // Датчики и системы. 2006. № 3. С. 18—23.
4. Чипулис В. П. Оценка достоверности результатов измерений в теплоэнергетике // Измерительная техника. 2005. № 5. С. 53—58; Chipulis V. P. Evaluation of the Reliability of the Results of Measurements in Thermal Power Engineering // Measurement Techniques. 2005. V. 48. N. 5. P. 497—505.
5. Бабенко В. Н. и др. Платформа для проектирования информационно-аналитических систем мониторинга и анализа объектов теплоэнергетики // Коммерческий учет энергоносителей: Матер. 25-й междунар. науч.-практ. конф. СПб.: Борей-Арт, 2007. С. 280—292.

Дата принятия 23.06.2014 г.