



УДК 697.343

© Ю. В. Хоничев, С. А. Псаров, Е. В. Шумилин, 2008

## ОСОБЕННОСТИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФАКТИЧЕСКОГО ПОТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С ОТКРЫТЫМ ВОДОРАЗБОРОМ

*Хоничев Ю. В.* – канд. техн. наук, доц. завкафедрой «Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция»; *Псаров С. А.* – канд. физ.-мат. наук, доц. кафедры «Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция»; *Шумилин Е. В.* – преп. кафедры «Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция» (ТОГУ)

С целью определения фактического расхода теплоносителя через системы отопления и вентиляции потребителей в распределительной сети методом последовательных отключений экспериментально исследована зависимость расхода теплоносителя от величины горячего водоразбора. Показано, что вычисление отдельных коэффициентов зависимостей с использованием среднечасовых архивов данных счетчиков вместо мгновенных значений позволяет существенно увеличить точность определения фактических расходов. Предложены расчетные формулы для определения фактического расхода теплоносителя через системы отопления и вентиляции и погрешности вычислений.

In order to determine the actual consumption of heat-transfer agent through the heating and ventilation systems of consumers in the flux-distribution systems with the use of successive disconnections the dependence of that consumption on hot water consumption has been experimentally investigated. It is shown that the use of average hour data of heat meters instead of their instantaneous values in calculating particular coefficients makes it possible to establish the actual consumption much more accurately. Design equations for the establishment of the actual consumption of the heat-transfer agent and errors are given.

Проблема определения фактических расходов в распределительной сети трубопроводов является актуальной задачей и востребована как минимум при решении двух важнейших прикладных задач. Первая задача – наладка распределительной сети системы тепло-, водо-, пароснабжения. Вторая задача – определение фактических расходов

энергоносителя при проведении энергетического обследования (энергоаудита).

Возможны следующие варианты определения фактических расходов распределительной сети тепловодоснабжения: 1 – инструментальный с врезкой в трубопровод, 2 – инструментальный с помощью накладных расходомеров, 3 – метод температурной волны (или химической добавки), 4 – определение расходов по головному счетчику методом отключения абонентов.

По первому способу в трубопроводы всех абонентов осуществляется врезка расходомеров, балансировочных кранов (с возможностью присоединения вторичного прибора-расходомера), напорных трубок, диафрагм и т. п. Способ достаточно высокочастотен, не является экспрессным и в практике энергоаудита и наладки распределительной сети применяется редко.

Для реализации второго способа используются накладные расходомеры, имеющие такие достоинства, как портативность и небольшие затраты времени для подготовки и проведения измерений. Но, помимо высокой стоимости (для приборов серии Portaflow фирмы Micronics Ltd от 5 до 10 тыс. долл.), портативные ультразвуковые расходомеры имеют ряд существенных недостатков:

- высокая чувствительность способа измерения к состоянию наружной и внутренней поверхности трубопроводов (для трубопроводов с большим сроком эксплуатации характерно существенное загрязнение, особенно внутренней поверхности);

- высокая чувствительность к точности позиционирования накладных датчиков на трубопроводе;

- жесткие геометрические требования к установке ультразвуковых датчиков на трубопровод (необходимы протяженные прямолинейные участки трубопроводов в тепловых узлах зданий).

В совокупности влияние данных факторов приводит либо к значительному неконтролируемому увеличению погрешности измерения, либо к потере сигнала, т. е. невозможности проведения измерения [1]. Наш опыт применения прибора Portaflow 300 свидетельствует о том, что в более чем 80 % случаев выполнение измерения на действующих трубопроводах было невозможно по причине потери сигнала из-за больших отложений на внутренней стенке трубопроводов. Таким образом, для эффективного решения указанных выше задач данный способ также малопригоден.

Определение фактических расходов на ответвлении по третьему варианту – с помощью температурной волны – не применяется в распределительных сетях в связи с высокой погрешностью за счет размытия волны и необходимостью наличия длинных участков трубопрово-



да. Представляет интерес определение расходов на участке методом «химической волны» (введение химической добавки в сетевую воду до измерительного участка). Однако энергоснабжающая организация, как правило, не согласовывает возможность использования данного способа.

В связи с упомянутыми трудностями в настоящее время при решении задачи наладки распределительной сети теплоснабжения измерение фактических расходов теплоносителя практически не проводится. Настройка по существу сводится к расчету сопротивлений участков сети и дросселирующих устройств, последующей установке дросселирующих устройств на трубопроводах и контролю «нормализации» расходов. Поясним более подробно.

Основной задачей наладки распределительной сети, например, системы теплоснабжения, является обеспечение расчетных расходов у потребителей. В рамках исходных параметров гидравлической сети (давление, располагаемый напор, расчетный суммарный расход теплоносителя) наладчик производит гидравлический расчет всех ответвлений распределительной сети на пропуск требуемых расходов теплоносителя каждого потребителя. Дисбаланс по потерям давления ответвлений потребителей представляет собой расчетный перепад давления для подбора дросселирующих устройств (диафрагм, балансировочных устройств). После того, как наладочные мероприятия определены, они реализуются путем врезки в трубопроводы тепловых пунктов потребителей. Измерение расходов теплоносителя в этой процедуре, как правило, не предусматривается. Соответствие фактического расхода воды расчетному определяется косвенно, по перепаду температур воды в системе теплоснабжения. Последующая нормализация расходов, т. е. более тонкая регулировка по приведению расходов теплоносителя потребителей к расчетным достаточно длительна (более 15 дней) и трудоемка [2]. Кроме того, косвенная методика не гарантирует равенство фактического и расчетного расходов при наличии: разрегулировки системы отопления у потребителей (очень частое явление), ошибок проектирования и монтажа, нарушений температурного графика и др. В отличие от водяных систем теплоснабжения для наладки систем пароснабжения и холодного водоснабжения косвенные методики вообще отсутствуют.

Четвертый вариант определения фактических расходов в распределительной сети тепловодоснабжения возможен при наличии головного счетчика, установленного на границе раздела распределительной сети для нескольких потребителей. Как правило, это заводские системы теплоснабжения, пароснабжения, водоснабжения, корпоративные системы теплоснабжения, распределительные сети микрорайонов и т. п.

Способ заключается в определении расходов и давлений на головном приборе учета при отключении потребителей. Измеренные таким образом расходы потребителей затем пересчитываются в фактические по специальной методике. Данный способ, в основном, лишен перечисленных выше недостатков по первому, второму и третьему вариантам, обладает высокой экспрессностью, в связи с чем является перспективным и требует детальной разработки.

Наибольшие сложности в использовании данного метода возникают при измерениях в системах теплоснабжения с открытым водоразбором. Основной особенностью гидравлического режима открытых систем теплоснабжения является уменьшение расхода в обратной линии по сравнению с подающей. Разность расходов воды подающей и обратной линии равна сумме горячего водоразбора и утечек теплоносителя в системе теплоснабжения. Водоразбор оказывает сильное влияние как на расход теплоносителя через систему отопления, так и на расход в подающей и обратной линиях, который показывает узел учета тепловой энергии. Очевидно, что при проведении экспериментов по определению расхода на отопление всех объектов можно полностью отключить горячее водоснабжение на этих объектах. В этом случае расходы теплоносителя в подающей и обратной линии равны между собой и равны расходу, который показывает узел коммерческого учета. Однако, во-первых, получить нулевой водоразбор иногда не удается из-за наличия утечек в сети, во-вторых, вопрос о зависимости расхода теплоносителя в системе отопления от водоразбора в сети останется нерешенным, в-третьих, отключение горячего водоснабжения на некоторых объектах невозможно или нежелательно. Поэтому разработка методики определения расходов теплоносителя на отопление без отключения горячего водоснабжения является важной для решения поставленных задач.

Решение задачи проведено на примере ветви распределительной сети студенческого городка ТОГУ. Сеть включает в себя узел учета тепловой энергии, выполненный на базе теплосчетчика КМ-5, и распределительные трубопроводы, к которым подключены 12 зданий с помощью 14 тепловых пунктов, в том числе два субабонента ТСЖ «Аспирант» и комплекс «Политенцентр». Субабоненты имеют собственные узлы учета потребляемой тепловой энергии. Остальные потребители – общежития, гараж, гостиница, а также встроенно-пристроенные объекты социальной инфраструктуры.

На рис. 1 показаны мгновенные расходы теплоносителя в подающей и обратной линиях в зависимости от водоразбора в сети. Данные были получены с 12:00 до 13:00 13.12.2007 на головном узле учета тепловой энергии и узле учета ТСЖ «Аспирант».

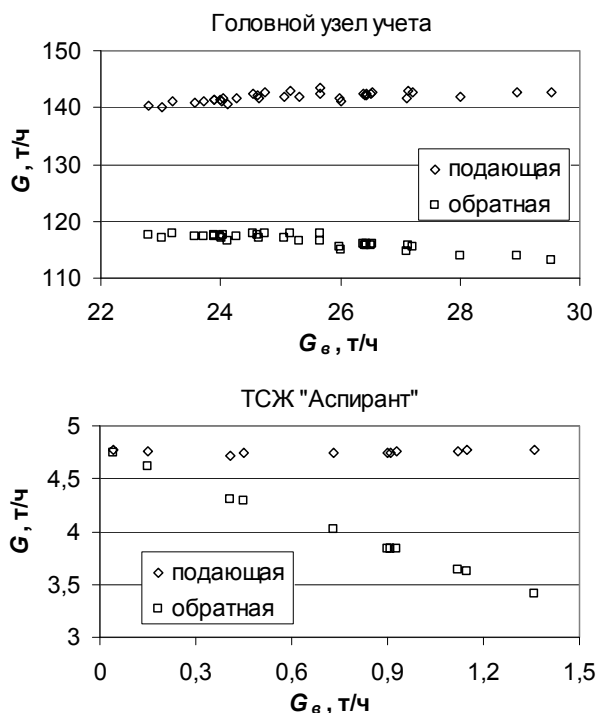


Рис. 1. Мгновенные расходы теплоносителя  $G$  в подающей и обратной линиях в зависимости от водоразбора в сети  $G_e$

На рис. 1 видно, что расход теплоносителя в подающей линии ТСЖ «Аспирант» практически не зависит от величины водоразбора. Это свидетельствует о малых величинах сопротивлений транзитных линий между счетчиком и потребителем и отсутствии утечек в системе отопления. Мгновенные расходы подающей и обратной линии головного узла учета имеют достаточно большую погрешность и большой разброс по величине горячего водоразбора. Поэтому при определении потокораспределения теплоносителя необходимо предполагать, что расход воды на горячее водоснабжение может изменяться случайным образом и оказывать влияние на расход воды через систему отопления. В этом случае определение расходов на отдельном объекте при помощи головного узла учета требует дополнительных исследований и предположений относительно зависимости расхода теплоносителя от водоразбора в сети.

Рассмотрим, каким образом зависит расход теплоносителя на отопление от остальных параметров сети. Разветвленная тепловая сеть может быть заменена тепловой сетью с одним абонентом, имеющим

некоторое эквивалентное сопротивление. Для сети с одним абонентом можно записать следующее уравнение [3]:

$$\Delta P = S_n (G_o + \beta G_g)^2 + S_o G_o^2 + S_{ob} (G_o - (1 - \beta) G_g)^2, \quad (1)$$

в котором  $\Delta P$  – потеря давления в сети,  $G_o$  – расход теплоносителя на отопление при нулевом водоразборе,  $G_g$  – расход теплоносителя на горячее водоснабжение,  $\beta$  – доля водоразбора из подающей линии,  $S_n$ ,  $S_o$ ,  $S_{ob}$  – сопротивления подающей линии, системы отопления (включая дросселирующие вставки, водоструйный элеватор и т. д.), обратной линии. Из уравнения (1) видно, что при постоянном перепаде давления в сети расход теплоносителя на отопление зависит от абсолютной величины водоразбора и доли водоразбора из подающей линии.

При отсутствии водоразбора введем расчетные значения перепада давления и расхода теплоносителя:

$$\Delta P_p = S G_{o,p}^2, \quad (2)$$

где  $S = S_n + S_o + S_{ob}$  – суммарное сопротивление сети. Разделим уравнение (1) на уравнение (2) и введем безразмерные величины:  $\Delta p = \Delta P / \Delta P_p$ ,  $s_i = S_i / S$ ,  $g_o = G_o / G_{o,p}$ ,  $g_g = G_g / G_{o,p}$ :

$$\Delta p = s_n (g_o + \beta g_g)^2 + s_o g_o^2 + s_{ob} (g_o - (1 - \beta) g_g)^2. \quad (3)$$

Расход теплоносителя подающей линии через узел учета тепловой энергии равен  $g = g_o + \beta g_g$ . Решая уравнение (3) относительно  $g_o$ , получим:

$$g = \left( \beta + \frac{(1 - \beta) s_{ob} - \beta s_n}{s} \right) g_g + \sqrt{g_g^2 \left( \frac{(1 - \beta) s_{ob} - \beta s_n}{s} \right)^2 - g_g^2 \left( \frac{(1 - \beta)^2 s_{ob} + \beta^2 s_n}{s} \right) + \frac{\Delta p}{s}}. \quad (4)$$

Проанализируем уравнение (4). На рис. 2 приведена зависимость относительного расхода теплоносителя через узел учета тепловой энергии от величины относительного водоразбора, рассчитанная с использованием уравнения (4) при  $s_n = s_{ob} = 0,15$ ,  $\Delta p = 1$ ,  $\beta = 0 \div 1$ ,  $g_g = 0 \div 0,4$ . Эти значения являются типичными для теплоснабжения жилых и общественных зданий. Видно, что зависимость является практически линейной для всех значений  $\beta$ . Для  $\beta = 0$  и 1 на рис. 2 показаны аппроксимирующие расчет прямые, их уравнения и коэффициенты корреляции. Свободный член в уравнениях прямых представляет собой расход теплоносителя при нулевом водоразборе  $g_o$  и подлежит определению. Отличие  $g_o$ , полученного с помощью линейной аппроксимации, от истинного расхода на отопление (при  $g_g = 0$ ) составляет 0,24 %. По-



этому аппроксимация экспериментальных данных на рис. 1 линейными зависимостями является достаточно точной и обоснованной.

Таким образом, для определения потокораспределения методом отключения достаточно получить выборки (подобно приведенной на рис. 1) значений расходов в подающем и обратном трубопроводах, когда все потребители включены, и когда отключены один или несколько потребителей. По всем полученным выборкам расхода в подающем трубопроводе и водоразбору построить линейные регрессии. Свободный член этой регрессии равен расходу на отопление при нулевом водоразборе  $g_o$ .

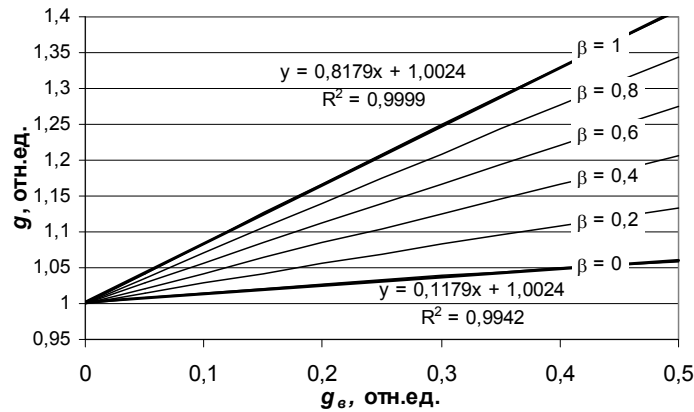


Рис. 2. Зависимость относительного расхода теплоносителя через узел учета тепловой энергии от величины относительного водоразбора при  $s_n = s_{об} = 0,15$ ,  $\Delta p = 1$  для различных  $\beta$

Погрешности угла наклона  $a$  и расхода на отопление при нулевом водоразборе  $g_o$  линейной регрессии можно оценить по известным формулам [4], которые для удобства анализа запишем в виде:

$$\sigma_a = \frac{\sigma}{\sigma_{g\beta} \sqrt{n-1}} \quad \sigma_{g_o} = \sqrt{\frac{\sigma^2}{n} + g_{вср}^2 \sigma_a^2}, \quad \text{где} \quad (5)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n (g_i - g_o - a g_{\beta i})^2, \quad \sigma_{g\beta}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (g_{\beta i} - g_{вср})^2, \quad g_{вср} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n g_{\beta i}.$$

Здесь индекс  $i$  соответствует  $i$ -му измерению,  $n$  – число измерений. По данным на рис. 1 для головного узла учета (35 точек) были получены значения  $a = 0,32 \pm 0,16$  и  $g_o = 134,7 \pm 4,9$  т/ч. Такая погрешность является недопустимо высокой для сетей с количеством потребителей, превышающем 2–3. Средний расход потребителей равен отношению полного расхода в сети на их количество, поэтому для сети из 20 потребителей указанная погрешность  $g_o$  будет составлять почти 100 %. Основ-

ную долю погрешности  $g_o$  составляет второе слагаемое в (5), поэтому уменьшение погрешности  $a$  приведет к почти пропорциональному уменьшению погрешности  $g_o$ . Согласно (5) уменьшение погрешности  $a$  можно достичь двумя способами: либо увеличив количество экспериментальных точек, либо увеличив  $\sigma_{g\theta}$ . Для уменьшения погрешности в 10 раз необходимо увеличить количество точек до 3500, поэтому первый способ практически нереализуем. Увеличение  $\sigma_{g\theta}$ , т. е. включение в аппроксимацию периодов наибольшего и наименьшего водоразбора, можно легко осуществить, используя часовые архивы узла учета. Остановимся на этом более подробно.

На рис. 3 показаны среднечасовые расходы теплоносителя на отопление и горячее водоснабжение в зависимости от величины водоразбора для двух значений располагаемого перепада давления в сети (1–3) и трех различных значений сопротивления потребителей (3–5). Увеличение сопротивления распределительной сети эквивалентно отключению одного или нескольких потребителей.

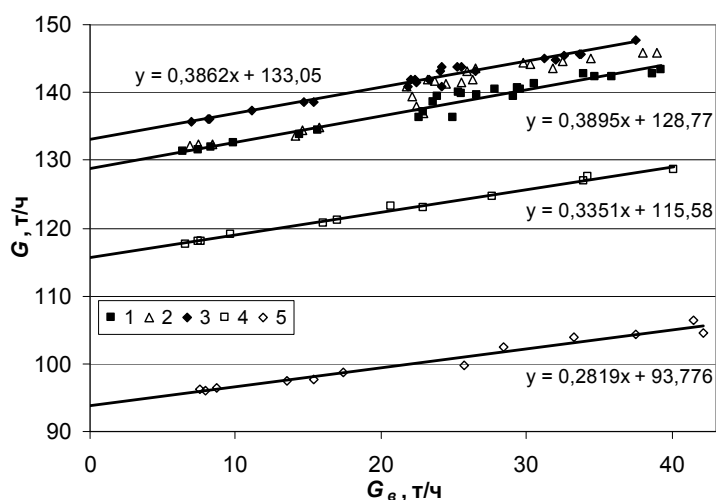


Рис. 3. Среднечасовые расходы теплоносителя в подающей линии, зафиксированные на узле учета тепловой энергии в зависимости от величины водоразбора для двух значений перепада давления в сети (1–3) и трех различных значений сопротивления потребителей (3–5)

Данные 1–3 получены 11, 12, и 13.12.2007 соответственно. На рис. 3 видно, что 12.12.2007 произошло постепенное увеличение располагаемого перепада давления в тепловой сети, что привело к увеличению расхода теплоносителя. Расход на отопление 13.12.2007 по сравнению с 11.12.2007 увеличился на 4,28 т/ч при суммарной погрешности 0,92 т/ч. Однако уменьшение угла наклона прямой с  $0,3895 \pm 0,0191$  до





$0,3862 \pm 0,0173$  незначительно и находится в пределах погрешности измерений.

Приведенные выше значения погрешностей  $g_o$  и  $a$  показывают, что использование часовых архивов расхода теплоносителя позволяет почти в 10 раз увеличить точность вычисления  $a$ . Рассматривая  $a = 0,3862 \pm 0,0173$  как заданное, значение  $g_o = 132,82$  т/ч по данным рис. 1 можно получить с точностью 0,80 т/ч (0,60 %) по следующим формулам:

$$g_o = g_{cp} - g_{всп}a, \quad g_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n g_i. \quad (6)$$

Рассмотрим теперь зависимость расхода воды в подающей линии от водоразбора при увеличении сопротивления сети. Увеличение сопротивления систем отопления потребителей было проведено с 14.12.2007 по 27.12.2007 и обеспечивалось частичным закрытием шаровых кранов на обратной линии. После увеличения сопротивление потребителей сохранялось постоянным в течение 1–2 дней. Полученные за этот период среднечасовые архивы использовались для обработки. На рис. 3 показаны среднечасовые архивы данных узла коммерческого учета тепловой энергии, полученные с 20:00 16.12.2007 до 7:00 17.12.2007 (данные 4) и с 20:00 18.12.2007 до 7:00 19.12.2007 (данные 5). Данные за все остальные дни качественно не отличаются от приведенных, поэтому не показаны. Период с 20:00 до 7:00 очень удобен для анализа, т. к. включает часы наибольшего и наименьшего водоразбора, и в этот период минимальна вероятность изменения параметров сети (открытия и закрытия кранов на подающей и обратной линии, ремонтных работ и т. д.).

Данные 3–5 на рис. 3 показывают, что увеличение сопротивления сети (отключение потребителей) приводит к существенному изменению угла наклона прямых. Поэтому при отключении потребителей значение  $a$ , используемое для вычисления  $g_o$ , должно быть пересчитано в зависимости от сопротивления сети.

Пренебрегая в подкоренном выражении в уравнении (4) квадратичными членами по сравнению с  $\Delta p/s$ , получим более простое уравнение

$$g = \left( \beta + \frac{(1-\beta)s_{об} - \beta s_n}{s} \right) g_0 + \sqrt{\frac{\Delta p}{s}}, \quad (7)$$

которое тем не менее описывает указанные выше особенности изменения расхода теплоносителя в сетях с открытым водоразбором. Действительно, согласно (7) при изменении давления в сети изменяется только расход теплоносителя на отопление, а угол наклона прямой остается постоянным. При увеличении сопротивления сети (отключении

одного или более объектов) изменится не только расход на отопление, но и угол наклона прямой. При  $0 \leq \beta < 0,5$  угол наклона при отключении потребителей уменьшится, при  $0,5 < \beta \leq 1$  – увеличится.

Увеличение сопротивления потребителей (см. рис. 3) было проведено в момент, когда горячее водоснабжение почти всех потребителей осуществлялось из обратной линии. Поэтому увеличение сопротивления потребителей привело к уменьшению расхода теплоносителя на отопление и наклона прямой.

Учитывая равенство  $\Delta p = s g_o^2$ , уравнение (7) можно переписать в виде:

$$g = a g_e + g_o, \quad (8)$$

$$a = \beta + ((1 - \beta) s_{об} - \beta s_n) \frac{g_o^2}{\Delta p}. \quad (9)$$

Из уравнения (8) видно, что угол наклона прямой  $a$  зависит от значения коэффициента  $\beta$  и сопротивлений подающей и обратной линии, которые необходимо знать для введения поправок. Линейные аппроксимации данных на рис. 3 позволяют получить значения  $a$  и  $g_o$  для всех значений сопротивлений систем отопления потребителей, которые устанавливались с 14.12.2007 по 27.12.2007. Используя линейную аппроксимацию экспериментальной зависимости  $a$  от  $g_o^2$  (уравнение (9)) и полагая  $s_n = s_{об}$ , в принципе можно получить значения  $\beta$  и  $s_n$ . Эта зависимость и аппроксимирующая данные прямая показаны на рис. 4. Значение коэффициента  $\beta$  оказалось равным 0,2 (свободный член уравнения на рис. 4),  $s_n = 0,175/(1 - 2\beta)$ .

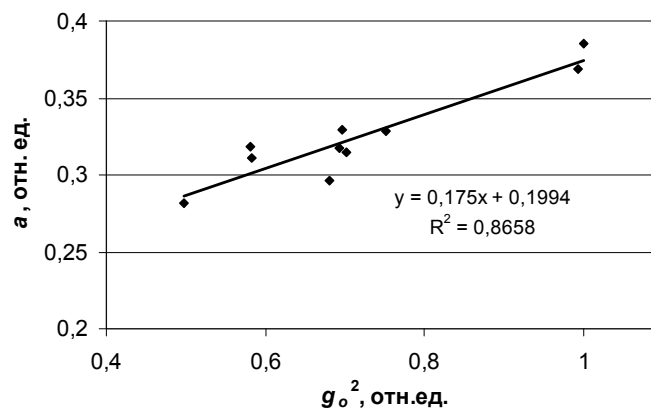


Рис. 4. Зависимость угла наклона прямой расхода теплоносителя от относительного расхода теплоносителя на отопление



Однако значительно лучше установить водоразбор только из подающей или обратной линии для всех абонентов до начала эксперимента. Следует отметить, что  $\beta = 1$  или  $\beta = 0$ , возможно, не удастся получить в случае наличия в системе отопления утечек, которые могут быть локализованы в любом месте сети и оказывать существенное влияние на значение  $\beta$ . Тем не менее, влияние  $\beta$  на значение  $a$  будет максимально уменьшено. Для водоразбора только из обратной или подающей линии имеем:

$$a = s_{об} \frac{g_o^2}{\Delta p} \quad \text{при } \beta = 0, \quad (10)$$

$$a = 1 - s_n \frac{g_o^2}{\Delta p} \quad \text{при } \beta = 1. \quad (11)$$

Поэтому для определения сопротивления транзитных линий  $s_n$  или  $s_{об}$  достаточно по среднечасовым архивам узла учета, когда все абоненты включены, определить  $a$ ,  $g_o$  и рассчитать  $s_{об}$  или  $s_n$  по формуле (10) или (11). При отключении потребителей значение  $a$  необходимо уточнять по тем же формулам с использованием нового значения  $g_o$ . Так как  $a$  и  $g_o$  взаимосвязаны, их значения необходимо находить последовательными приближениями. Используя значение  $a$ , полученное в момент когда все абоненты включены, по данным узла учета рассчитывается  $g_o$  по формуле (6). С помощью найденного значения  $g_o$  по формулам (10) или (11) уточняется значение  $a$  и снова рассчитывается  $g_o$ . Процесс продолжается до тех пор, пока величина поправки  $g_o$  на каждом шаге не станет много меньше его погрешности.

На основании вышеизложенного можно предложить следующую последовательность определения потокораспределения теплоносителя между потребителями без отключения горячего водоснабжения.

Необходимо для всех потребителей установить водоразбор только из подающей или обратной линий.

Через сутки после установки  $\beta$ , используя часовые архивы узла учета за эти сутки, необходимо рассчитать  $a$  и  $g_o$  с помощью линейной регрессии. Далее по формуле (10) или (11) рассчитать значение сопротивления транзитных линий.

После отключения одного или нескольких потребителей необходимо собрать выборку показаний расхода теплоносителя в подающем трубопроводе и значений водоразбора. Используя процесс итерации, описанный выше, рассчитать расход теплоносителя на отопление  $g_o$  при отключении данных абонентов.

По полученным значениям расхода теплоносителя на отопление при последовательном отключении объектов можно определить распределение теплоносителя по объектам с помощью различных мето-

дик, например, с помощью поэтапного нахождения гидравлических характеристик участков системы теплоснабжения [5].

В заключение отметим, что наличие узла учета тепловой энергии, даже одного общего для нескольких энергопотребляющих объектов, существенно расширяет возможности энергоаудитора для объективного анализа состояния объекта и разработки энергосберегающих мероприятий, уменьшает количество предположений и допущений, которые приходится делать из-за отсутствия нужных данных. В данной работе было показано, что распределение теплоносителя по объектам с помощью головного узла учета можно с достаточной точностью проводить без отключения горячего водоснабжения. Предложен способ увеличения точности измерений с использованием среднечасовых архивов данных счетчиков тепловой энергии. Получены расчетные формулы для определения расхода теплоносителя на отопление и погрешности получаемых значений, которые позволяют произвести планирование эксперимента и определить объем данных, необходимый для обеспечения требуемой точности. Данные формулы подтверждены экспериментально для объектов, имеющих долю горячего водоразбора от 0 до 40% полного расхода теплоносителя.

#### Библиографические ссылки

1. *Гришанова И. А.* Накладные и врезные расходомеры в коммерческом учете: желаемое или действительное // *Коммерческий учет энергоносителей.* СПб., 2006.
2. *Фаликов В. С.* Энергосбережение в системах тепловодоснабжения зданий. М., 2001.
3. *Соколов Е. Я.* Теплофикация и тепловые сети. М., 2001.
4. *Кобзарь А. И.* Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. М., 2006.
5. *Шумилин Е. В.* Задачи потокораспределения в системе теплоснабжения предприятия при энергетическом обследовании // *Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного комплекса.* Хабаровск, 2007.