

Метод контроля качества наладки в системах теплоснабжения*И.М. Сапрыкин, ООО «Нижегородтеплогаз», г. Нижний Новгород***Введение**

Наладка системы теплоснабжения является последним завершающим этапом подготовки к началу отопительного сезона.

От качества проведенной наладки зависит степень комфортности в отапливаемых помещениях и экономичная работа источника тепловой энергии.

Автору этой статьи по роду своей деятельности пришлось в последнее время заниматься наладкой систем теплоснабжения от небольших водогрейных котельных, обеспечивающих главным образом отопительную нагрузку. В процессе работы возник ряд вопросов, связанных с оценкой результатов выполнения наладочных мероприятий. В частности, что же является критерием соответствия расчетного и фактического теплогидравлического режима, полученного в результате наладки?

При оснащении узла управления потребительской системы приборами КИП, включая теплосчетчик, соответствие расчетного и фактического режимов проверить несложно, сравнив значения расходов и температур теплоносителя и тепловой нагрузки при текущей температуре наружного воздуха. А как быть в условиях минимальной оснащённости узлов управления приборами КИП или их полного отсутствия?

При отсутствии приборов КИП с некоторой точностью могут быть лишь получены значения температур теплоносителя до и после системы отопления, измеренные, например, контактными термометрами или бесконтактными пирометрами. Какую полезную информацию об объекте можно извлечь, имея два значения измеренных температур теплоносителя и одно значение температуры наружного воздуха на момент измерения?

На первый взгляд можно только констатировать степень отклонения полученных значений температур от расчетных. Если температура теплоносителя в подающем трубопроводе при безэлеваторной схеме подключения потребителя равна или несколько меньше этой же температуры на источнике тепла, то температура в обратном трубопроводе после системы отопления колеблется в широких пределах относительно расчетного значения. При этом обычно принято считать, что завышение температуры «обратки» свидетельствует о завышенном расходе теплоносителя через систему отопления и к такому потребителю нужно «принимать меры». И, наоборот, при низкой температуре теплоносителя после системы отопления данный потребитель обделен теплотой и вниманием со стороны теплоснабжающей организации. На сколько справедливы эти предположения? Как оценить качество наладки и при наличии часто скудной информации получить количественные оценки

реального теплотребления конкретной системы отопления? Ответы на эти вопросы автор в литературе к сожалению не обнаружил.

Ниже изложено мнение автора по затронутой проблеме, полученное в результате анализа небольшой математической модели отапливаемого здания, как единого целого.

Основным методом регулирования отпуска потребителям тепловой энергии, применяемым в настоящее время, является качественный метод. Качественный метод заключается в изменении на источнике тепла температуры теплоносителя, направляемого с постоянным расходом в тепловую сеть, в зависимости от температуры наружного воздуха таким образом, чтобы температура воздуха внутри отапливаемых помещений поддерживалась постоянной.

Постоянство расхода теплоносителя при этом обеспечивается установкой в узлах управления отопительных систем ограничительных дроссельных диафрагм. Диаметры отверстий ограничительных диафрагм определяются исходя из подачи расчетного расхода теплоносителя в зависимости от перепадов напоров перед узлом управления и в системе отопления.

Часто по ряду причин, главным образом ввиду неполной достоверности исходной информации (отклонения от расчетных значений геометрических, гидравлических и тепловых характеристик тепловых сетей и систем отопления), фактические расходы теплоносителя оказываются не соответствующими расчетным и требуют корректировки. Действительно, после установки в узлах управления ограничительных дроссельных диафрагм у некоторых потребителей выявляются отклонения от расчетного режима, выражающиеся в конечном итоге в перетопе или недотопе здания.

Теория

Стационарный процесс (независящий от времени) отопления здания можно описать системой из трех уравнений. При нестационарном процессе имеет место изменение во времени температур теплоносителя в системе теплоснабжения, вызванное изменением погодных условий, изменением тепловой мощности источника тепла, а также транспортным запаздыванием при движении теплоносителя в тепловых сетях. Системы отопления обладают большой тепловой инерцией (постоянная времени зданий $T = 20 \dots 60$ часов). В связи с этим изменения температур теплоносителя в обратном трубопроводе существенно запаздывают в сравнении с изменением температур теплоносителя в подающем трубопроводе.

Первое уравнение. Тепловой поток на компенсацию тепловых потерь зданием:

$$Q = (t_g - t_n) \cdot \Sigma(K_i \cdot F_i)_{зд}, \quad (1)$$

где t_g – температура воздуха в отапливаемом помещении;

t_n - температура наружного воздуха;

$\Sigma(K_i \cdot F_i)_{зд}$ - сумма произведений коэффициентов теплопередачи отдельных ограждающих конструкций здания на их поверхности.

Комплекс можно $\Sigma(K_i \cdot F_i)_{зд}$ выразить через расчетные значения тепловой нагрузки и расчетной разности температур:

$$\Sigma(K \cdot F)_{зд} = p \cdot \frac{Q_p}{\Delta t_p},$$

где p – параметр, характеризующий соответствие фактических суммарных тепловых потерь ограждающими конструкциями здания расчетному значению. Проектное значение параметра $p = 1$. При $p > 1$ фактическая тепловая нагрузка здания превышает проектную. Подстрочные индексы «р» здесь и далее обозначают расчетное значение.

В безразмерном виде уравнение (1) представится:

$$\bar{Q} = p \cdot \frac{t_g - t_n}{\Delta t_p} \quad (2)$$

Второе уравнение. Тепловой поток, выделяемый нагревательными приборами:

$$Q = \left(\frac{\tau_1 + \tau_2}{2} - t_g \right) \cdot \Sigma(K_i \cdot F_i)_{np}, \quad (3)$$

где τ_1 - температура теплоносителя на входе в нагревательный прибор;

τ_2 - то же на выходе;

$\Sigma(K_i \cdot F_i)_{np}$ – сумма произведений коэффициента теплопередачи отдельных нагревательных приборов на их поверхности.

Коэффициент теплопередачи нагревательного прибора не является постоянной величиной и зависит от температурного напора отопительного прибора θ .

$$\theta = \frac{\tau_1 + \tau_2}{2} - t_g$$

$$K_{np} = a \cdot F_{np} \cdot \theta^n, \text{ где}$$

a – постоянная, зависящая от типа прибора, места, способа установки и ряда других факторов;

n – постоянная, также зависящая от типа нагревательного прибора, далее принято $n = 0,25$.

Комплекс $\Sigma(K \cdot F)_{np}$ также можно выразить через расчетные значения тепловой нагрузки и температурного напора:

$$\Sigma(K \cdot F)_{np} = \frac{Q_p}{\theta_p}, \text{ где}$$

$$\theta_p = \frac{\tau_{1p} + \tau_{2p}}{2} - t_{gp}.$$

В безразмерном виде уравнение (3) представится:

$$\bar{Q} = f \cdot \left(\frac{\theta}{\theta_p} \right)^{n+1}, \quad (4)$$

где f – параметр, характеризующий соответствие фактической поверхности нагревательных приборов расчетному значению. Проектное значение параметра $f = 1$.

Третье уравнение. Тепловой поток, сообщаемый теплоносителем нагревательным приборам:

$$Q = c \cdot G \cdot (\tau_1 - \tau_2), \quad (5)$$

где c – теплоемкость теплоносителя;

G – расход теплоносителя.

Расход теплоносителя G можно также выразить через расчетные значения тепловой нагрузки и разности температур теплоносителя:

$$G_p = \frac{g \cdot Q_p}{c \cdot (\tau_{1p} - \tau_{2p})} = \frac{g \cdot Q_p}{c \cdot \Delta\tau_p}$$

где g – параметр, характеризующий соответствие фактического расхода теплоносителя расчетному значению (относительный расход). Проектное значение параметра $g = 1$.

В безразмерном виде уравнение (5) представится:

$$\bar{Q} = g \cdot \frac{\tau_1 - \tau_2}{\Delta\tau_p}, \quad (6)$$

Система уравнений 2, 4, 6 будет выглядеть следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{Q} = p \cdot \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}{\Delta t_p} \\ \bar{Q} = f \cdot \left(\frac{\theta}{\theta_p} \right)^{n+1} \\ \bar{Q} = g \cdot \frac{\tau_1 - \tau_2}{\Delta \tau_p} \end{array} \right.$$

Относительную тепловую нагрузку \bar{Q} целесообразно представить в виде произведения двух сомножителей:

$$\bar{Q} = q_{\text{тек}} \cdot q_{\text{об}}, \quad (7)$$

где $q_{\text{тек}} = \frac{t_{\text{вп}} - t_{\text{н}}}{\Delta t_p}$ - текущая относительная тепловая нагрузка, зависящая только от температуры наружного воздуха при проектных условиях;

$q_{\text{об}} = \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}{t_{\text{вп}} - t_{\text{н}}}$ - обеспеченная относительная тепловая нагрузка для любой температуры наружного воздуха.

При решении системы уравнений относительно температур теплоносителя τ_1 и τ_2 получаются уравнения отопительного температурного графика:

$$\tau_1 = t_{\text{н}} + q_{\text{тек}} \cdot q_{\text{об}} \cdot \left(\Delta t_p + \frac{p \cdot \Delta \tau_p}{2 \cdot g} \right) + \theta_p \cdot \left(\frac{p \cdot q_{\text{тек}} \cdot q_{\text{об}}}{f} \right)^{\frac{1}{n+1}} \quad (8)$$

$$\tau_2 = t_{\text{н}} + q_{\text{тек}} \cdot q_{\text{об}} \cdot \left(\Delta t_p - \frac{p \cdot \Delta \tau_p}{2 \cdot g} \right) + \theta_p \cdot \left(\frac{p \cdot q_{\text{тек}} \cdot q_{\text{об}}}{f} \right)^{\frac{1}{n+1}} \quad (9)$$

При $g = \text{const}$ уравнения 8 и 9 описывают температурный график качественного регулирования отпуска тепла, а в частном случае, при $g = 1$ уравнения 8 и 9 описывают типовой отопительный температурный график.

Суть метода

В системах теплоснабжения, не подвергавшихся наладке, фактические расходы теплоносителя всегда существенно отличаются от расчетных расходов, причем их величина в основном зависит от удаленности конкретного

потребителя от источника тепла. Так у близко расположенных к источнику тепла потребителей расход может достигать $g = 3$, а у наиболее удаленных потребителей может быть и $g < 1$. В этом случае, как следует из уравнения 8, для каждого потребителя требуется свой индивидуальный температурный график, зависящий от конкретного расхода g . Например, при $g = 1$ и $q_{об} = 1$ температурный график должен быть $95/70^\circ\text{C}$, при $g = 2$ соответственно $88,8/76,2$, при $g = 3$ соответственно $86,7/78,3$.

Однако отопительный режим ведется, как правило, по типовым температурным графикам. В этом случае потребители, имеющие $g > 1$, перетапливаются ($q_{об} > 1$), а потребители с $g < 1$ недотапливаются ($q_{об} < 1$) в течение всего отопительного периода.

Теплоотдача нагревательных приборов, как видно из уравнения 3, зависит от средней температуры теплоносителя в приборе. Средняя температура теплоносителя является полусуммой температур теплоносителя и выражается уравнением, полученным из уравнений 8 и 9:

$$\tau_{cp} = t_n + q_{mek} \cdot q_{об} \cdot \Delta t_p + \theta_p \cdot \left(\frac{p \cdot q_{mek} \cdot q_{об}}{f} \right)^{\frac{1}{n+1}} \quad (10)$$

Важно отметить, что в уравнении 10 τ_{cp} не зависит от расхода теплоносителя и однозначно является функцией от t_n и $q_{об}$. Отсюда проистекает важное следствие: на источниках тепла систем теплоснабжения, не прошедших стадии наладки и имеющих фактические расходы теплоносителя в тепловых сетях существенно отличающиеся от расчетных, целесообразно поддерживать температурный график по средней температуре теплоносителя τ_{cp} , а не по τ_1 . Тем самым, по крайней мере, будет снижено влияние расходов при $g > 1$ на перетопы зданий, что позволит снизить «пережог» топлива на источнике тепла.

На практике τ_{cp} легко определить путем измерения температур теплоносителя τ_1 и τ_2 . Тогда из уравнения (10) можно определить обеспеченную относительную тепловую нагрузку $q_{об}$ для конкретной температуры τ_{cp} .

Функция $q_{об}$ при оптимальном обеспечении отапливаемого здания тепловой энергией принимает значение $q_{об} = 1$. Отклонение $q_{об}$ от 1 свидетельствует о перетопе ($q_{об} > 1$) или недотопе ($q_{об} < 1$) здания. При выдерживании на источнике тепла расчетного температурного графика, $q_{об}$ имеет постоянное значение во всем диапазоне температурного графика.

Определение $q_{об}$ по известному значению τ_{cp} из уравнения (10) не удобно из-за наличия дробного показателя степени: $1/(n+1) = 0,8$.

Автором предлагается формула, которая позволяет определять $q_{об}$ по известным значениям τ_{cp} и t_n с достаточной для практических расчетов точностью:

$$q_{об} = \frac{\tau_{ср} - t_n}{q_{тек} \cdot \left[\Delta t_p + \theta_p \cdot \frac{p}{f} \cdot \left(\frac{\theta_p}{\tau_{ср} - t_{сп}} \right)^n \right]} \quad (11)$$

Для конкретной системы теплоснабжения можно составить, используя уравнение (10), специальную расчетную таблицу (пример приведен в таблице 1). С помощью таблицы легко определить обеспеченность того или иного потребителя тепловой энергией при любой текущей температуре наружного воздуха. При составлении таблицы 1 параметры приняты: $p=1$; $f=1$. Пользоваться таблицей несложно, например, при температуре наружного воздуха $t_n = -12^\circ\text{C}$, в результате измерений температур теплоносителя, определено $\tau_{ср} = 57,6^\circ\text{C}$, тогда $q_{об} = 95\%$. По формуле 11 $q_{об} = 94,4\%$.

Таблица 1.

Т нар	$q_{тек}$ %	Относительная обеспеченная тепловая нагрузка $q_{об}$ %										
		75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125
8	20,0	29,6	30,9	32,1	33,4	34,6	35,8	37,0	38,2	39,4	40,6	41,8
4	28,0	33,0	34,7	36,4	38,0	39,7	41,3	42,9	44,5	46,2	47,8	49,3
0	36,0	36,1	38,2	40,3	42,4	44,4	46,5	48,5	50,5	52,6	54,6	56,6
-4	44,0	39,1	41,6	44,1	46,5	49,0	51,4	53,9	56,3	58,7	61,1	63,5
-8	52,0	41,9	44,8	47,7	50,5	53,4	56,2	59,0	61,9	64,6	67,4	70,2
-12	60,0	44,6	47,9	51,1	54,4	57,6	60,9	64,1	67,3	70,4	73,6	76,7
-16	68,0	47,1	50,8	54,5	58,1	61,8	65,4	69,0	72,5	76,1	79,6	83,1
-20	76,0	49,6	53,7	57,8	61,8	65,8	69,8	73,7	77,7	81,6	85,5	89,4
-24	84,0	52,1	56,5	61,0	65,4	69,7	74,1	78,4	82,7	87,0	91,3	
-28	92,0	54,4	59,3	64,1	68,9	73,6	78,3	83,0	87,7	92,4		
-32	100,0	56,7	62,0	67,1	72,3	77,4	82,5	87,6	92,6			

Относительная обеспеченная тепловая нагрузка $q_{об}$, по мнению автора, является обобщенным критерием качества теплоснабжения.

По известному значению $q_{об}$ можно определить второй важный показатель качества теплоснабжения – относительный расход теплоносителя – параметр g .

Относительный расход теплоносителя определяется делением относительной тепловой нагрузки на относительную разность температур теплоносителя $(\tau_1 - \tau_2) / \Delta \tau_p$:

$$g = q_{тек} \cdot q_{об} \cdot \frac{\Delta \tau_p}{\tau_1 - \tau_2} \quad (12)$$

Параметр g при расчетном расходе теплоносителя принимает значение $g=1$. Отклонения g от 1 свидетельствуют о недостаточном расходе $g < 1$ или

избыточном расходе $g > 1$. Параметр g также имеет постоянное значение во всем диапазоне температурного графика.

При $g \neq 1$ требуется корректировка диаметра отверстия ограничительной дроссельной диафрагмы, которая может быть произведена по формуле:

$$d_{кор} = \frac{d_{уст}}{\sqrt{g}} \quad (13)$$

Параметр g может быть определен не только для отдельной системы отопления, но и для системы теплоснабжения в целом.

При отсутствии на котельной расходомеров, фиксирующих расход теплоносителя, относительный расход g может быть определен по формуле:

$$g_{кот} = \frac{\left(q_{тек} \cdot q_{об} + q_{mn} \cdot \frac{\tau_{ср} - t_n}{\tau_{ср.p} - t_{нр}} \right) \cdot \Delta \tau_p}{\Delta \tau_{кот}} \quad (14)$$

где $q_{об}$ – обеспеченная тепловая нагрузка, определенная по $\tau_{ср}$, замеренной на котельной;

q_{mn} – расчетная доля тепловых потерь в тепловых сетях, определенная при $t_{нр}$;

$\Delta \tau_{кот}$ - разность температур теплоносителя на котельной.

По известному значению $q_{об}$ можно оценить усредненную температуру воздуха внутри отапливаемых помещений:

$$t_в = t_n + q_{об} \cdot (t_{ср} - t_n) \quad (15)$$

В практике иногда встречаются случаи, когда системы отопления потребителей имеют суммарную поверхность нагрева отопительных приборов, отличную от проектной, при этом параметр $f \neq 1$. Чаще всего это самовольно установленные дополнительные поверхности нагревательных приборов $f > 1$. При обеспечении температуры теплоносителя в подающем трубопроводе τ_1 по отопительному температурному графику и при пропуске расчетного расхода $g = 1$ здание будет перетапливаться $q_{об} > 1$ во всем диапазоне температур наружного воздуха. При этом температура теплоносителя после системы отопления оказывается всегда ниже, чем по температурному графику. Влияние параметра f на $q_{об}$ и τ_2 приведено в таблице 2.

Таблица 2

f	g	τ_1	τ_2	$q_{об}$	$t_в$
1,0	1,0	95	70	1,0	18
1,1	1,0	95	68,9	1,043	20,2
1,2	1,0	95	67,9	1,082	22,1

Если решить уравнение (8) относительно расхода теплоносителя при заданных по температурному графику τ_1 при $f > 1$ и $q_{об} = 1$, то g окажется существенно меньше 1 (см. табл. 3).

Таблица 3

f	$q_{об}$	τ_1	τ_2	g	$t_в$
1,0	1,0	95	70	1,0	18
1,1	1,0	95	60,4	0,72	18
1,2	1,0	95	52,9	0,6	18

Пропуск столь малых расходов теплоносителя $g < 0.7$ в систему отопления путем изменения диаметра ответвляющейся дроссельной диафрагмы не приемлем, так как существенно нарушается распределение теплоносителя по стоякам системы отопления.

Для таких зданий с системами отопления, имеющими $f > 1$, при условии пропорционального увеличения поверхностей всех нагревательных приборов, требуются индивидуальные температурные графики, которые могут быть сформированы непосредственно в узлах управления путем организации подмеса теплоносителя из обратного трубопровода в подающий. Подмес может быть выполнен известными способами: с помощью элеваторов либо смесительных насосов.

В таблице 4 приведены значения расчетных температурных графиков в зависимости от параметра f и необходимых коэффициентов смешения для формирования этих графиков из графика на источнике тепла 95/70 °С.

Таблица 4

f	g	τ_1	τ_2	Коэф. смешен.	$q_{об}$
1,0	1,0	95	70	0	1
1,1	1,0	90,3	65,3	0,19...0,26	1
1,2	1,0	86,3	61,3	0,35...0,41	1

Коэффициент смешения не является постоянным в течение отопительного сезона и изменяется от меньшего значения при расчетной температуре наружного воздуха до большего при $t_n = +8^\circ\text{C}$.

При недостатке суммарной поверхности установленных нагревательных приборов ($f < 1$) возможности обеспечения $q_{об} = 1$ с помощью увеличения расхода $g > 1$ весьма ограничены. Так при недостатке поверхностей нагрева на 5% ($f = 0,95$) необходимый расход для обеспечения 100% тепловой нагрузки составляет 128% ($g = 1,28$), а при $f = 0,9$ $g = 1,83$.

Параметр p принимает значения $p > 1$ в случае некачественного выполнения ограждающих конструкций зданий в процессе строительства. Здания при $p > 1$ испытывают дефицит тепла $q_{об} < 1$ при $f = 1$ и $g = 1$.

Возможности обеспечения $q_{об}=1$ путем увеличения расхода $g > 1$ также ограничены, как и в случае недостатка поверхности $f < 1$.

При $f = 1$ и $q_{об} = 1$ расход g в зависимости от p должен составлять: $p=1,05 \sim g = 1,32$; а при $p = 1,1 \sim g = 1,86$.

Параметр p в отличие от f и g доступными средствами измерить не возможно, однако, его можно вычислить проведя два цикла измерений в разное время при существенно различных температурах наружного воздуха. Предварительно определяется $q_{об}$ по результатам двух измерений, имеющих индексы 1 и 2:

$$q_{об} = \frac{\tau_{cp1} - t_{н1} - a \cdot (\tau_{cp2} - t_{н2})}{\Delta t_p \cdot (q_{mek1} - a \cdot q_{mek2})} \quad (17)$$

где
$$a = \left(\frac{q_{mek1}}{q_{mek2}} \right)^{\frac{1}{n+1}}$$

Затем определяется параметр p :

$$p = \frac{f}{(q_{mek1} \cdot q_{об})} \cdot \left(\frac{\tau_{cp1} - t_{н1} - q_{mek1} \cdot q_{об} \cdot \Delta t_p}{\theta_p} \right)^{n+1} \quad (18)$$

При измерении параметров теплоносителя должен быть соблюден ряд условий:

- измерения должны проводиться поверенными приборами;
- при косвенном измерении, через определение температуры стенки трубопровода, состояние поверхности трубопровода должно соответствовать требованиям измерительного прибора;
- измерения должны производиться одновременно и в стационарном режиме работы системы теплоснабжения.

При определении для конкретного здания параметра $p > 1$ необходимо принимать меры по восстановлению полноценного отопления либо путем дополнительной теплоизоляции здания либо «переаттестации» на повышенную тепловую нагрузку с увеличением суммарной поверхности нагрева до величины $f = p$.

Предлагаемые в ряде работ и руководящих материалах методы определения тепловых нагрузок здания по поверхности установленных нагревательных приборов могут быть справедливы только для частного случая, когда имеет место равенство параметров $f = p$ (полное соответствие установленных поверхностей нагрева отопительных приборов тепловой нагрузке отопления), что без детального обследования объекта не очевидно.

Правильный алгоритм определения расчетной тепловой нагрузки, по мнению автора, заключается в определении расчетных тепловых потерь через ограждающие конструкции ($p=1$) и определении суммарной

поверхности нагревательных приборов. Если $f = p$, то расчетные тепловые потери, определенные через поверхности нагрева принимаются за расчетную тепловую нагрузку. При $f \neq p$ за расчетную тепловую нагрузку должна приниматься $q_{об}$, определенная по уравнению (8), умноженная на Q_p .

Проведение контроля наладочных мероприятий

Контроль наладочных мероприятий целесообразно проводить с помощью ведомости, фрагмент которой приведен в таблице 5.

Таблица 5

№ п/п	Наим. потреб.	Характеристика системы отопления					Т-ра нар. возд. t_n	Температура теплоносителя			Результаты расчета				
		Q_p	G_p	p	f	$d_{уст}$		τ_1	τ_2	τ_{cp}	$q_{тек}$	$q_{об}$	g	t_6	$d_{кор}$
1		230	7,91	1	1	16,7	-12	68	53	60,5	0,6	0,994	0,994	17,8	16,7
2		230	7,91	1	1	16,7	-12	68	50	59	0,6	0,968	0,807	17,0	18,6
3		230	7,91	1	1	18,1	-12	66	51	58,5	0,6	0,960	0,960	16,8	18,5
4		230	7,91	1	1	16,7	-12	68	50	59	0,6	0,968	0,802	17,0	18,6
5		300	10,32	1	1	нет	-12	67	60	63,5	0,6	1,045	2,240	19,1	

Расчетные температуры теплоносителя по температурному графику при $t_n = -12^\circ\text{C}$ составляют ; $\tau_1 = 68,3^\circ\text{C}$; $\tau_2 = 53,4^\circ\text{C}$.

Фактический расход теплоносителя у потребителя №2 составил после первоначальной установки ограничительной диафрагмы $g = 0,807$. После увеличения диаметра отверстия диафрагмы с $d_{уст} = 16,7$ мм до $d_{кор} = 18,6$ мм расход составит $g = 1$; $q_{об} = 1$; $\tau_2 = 53^\circ\text{C}$.

Потребитель №3 находится в конце теплотрассы, поэтому температура теплоносителя на входе в узел управления из-за тепловых потерь в тепловых сетях ниже, чем по температурному графику при $t_n = -12^\circ\text{C}$.

У потребителя №4 ограничительная диафрагма $d_{уст} = 16,7$ мм была установлена в предположении $f = 1$, аналогично потребителю №1. Однако, выяснилось, что фактическая поверхность нагрева отопительных приборов составляет $f = 1,1$. При $f = 1,1$ расчетный расход должен быть $G_p = 5,74$ т/ч, а диаметр ограничительной диафрагмы $d_{кор} = 14,2$ мм, тогда температура теплоносителя после системы отопления составит $47,3^\circ\text{C}$ вместо $53,4^\circ\text{C}$ по отопительному температурному графику, а $q_{об} = 0,999$, $g = 0,998$.

У потребителя №5 к моменту измерения ограничительная диафрагма ($d_{уст} = 19,1$ мм) была самовольно демонтирована. Это привело более, чем к двухкратному увеличению расхода теплоносителя и завышению температуры теплоносителя после системы отопления с перетоком только на 4,5%. Естественно, что увеличение расхода произошло за счет других потребителей.

Приведенный выше метод применяется в течение двух лет при наладке систем теплоснабжения от 18 отопительных котельных установленной тепловой мощностью 5...16 МВт г.Дзержинска Нижегородской области.

Выводы

1. Предлагается метод контроля качества наладочных мероприятий в системах отопления, содержащий обобщенные критерии обеспечения тепловых нагрузок и расходов теплоносителя, которые можно получить, используя результаты измерения двух температур теплоносителя до и после системы отопления.

На основании критериев возможно определить:

- текущее фактическое теплотребление отдельного здания;
 - расход теплоносителя в системе отопления;
 - величину коррекции сужающего устройства;
 - определить расчетным путем истинную тепловую нагрузку здания.
2. Предлагается для систем отопления, не прошедших наладочных мероприятий или находящихся в стадии наладки, поддерживать на источнике тепла среднюю температуру теплоносителя по отопительному температурному графику вместо температуры в подающем трубопроводе.
3. Отклонения значений температур теплоносителя после систем отопления от значений по температурному графику не могут являться в полной мере показателями нарушения расчетного режима.