

ТЕРМОМОДЕРНИЗАЦИЯ ОДНОТРУБНЫХ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТАЛЛОПЛАСТИКОВЫХ ТРУБ



Вступление

В условиях экономического кризиса и роста цен на энергоносители повышение энергоэффективности отопления является одной из ключевых задач. Большинство систем отопления многоэтажных зданий пост-социалистического пространства являются однотрубными вертикальными. Их замена на более энергоэффективные двухтрубные является дорогостоящим мероприятием из-за больших затрат на демонтаж, монтаж и восстановление повреждений в помещениях. Поэтому экономически более оправдано повышение энергоэффективности существующих однотрубных систем. Однако следует учесть, что трубопроводы таких систем частично изношены и засорены. Часто свободный проход трубопроводов не превышает 2...3 мм по причине засоров.

Одним из направлений модернизации однотрубных систем является замена стальных трубопроводов стояков на металлопластиковые. Старые трубопроводы аккуратно вырезают с помощью режущего инструмента на малых оборотах. Оставляют лишь гильзы в перекрытиях. Если таковые не предусмотрены, оставляют часть трубопроводов. Далее протягивают металлопластиковые трубы, которые соединяют специальными фитингами без применения сварки. Таким образом удаётся избежать повреждения отделки помещений. Трубы имеют меньшее сечение. Однако благодаря низкой шероховатости считается, что сопротивление элементов системы и коэффициент затекания в отопительные приборы практически не изменяются.

Конструкция фитингов предусматривает значительное сужение прохода теплоносителя. В литературных источниках не были найдены материалы исследования коэффициентов местных сопротивлений таких фитингов. Поэтому инженеры принимают справочные данные, полученные для стальных трубопроводов [1]. При подборе насосов и регуляторов перепадов давления двухтрубных систем отопления вводится поправка на неучтённые местные сопротивления. Далее выполняется наладка системы. Этого достаточно для надёжной работы двухтрубных систем. Однако для однотрубных систем такой учёт может существенно изменить коэффициент затекания теплоносителя в отопительные приборы. При этом отсутствуют технические средства наладки приборных узлов. Поэтому именно в однотрубных системах особенно важно правильно учесть местные сопротивления. Для этого необходимы исследования.

1. Исследование коэффициентов местных сопротивлений тройников для металлопластиковых труб

Коэффициент местных сопротивлений – это отношение потерь давления в нём Δp_m к динамическому давлению потока p_d :

$$\zeta = \Delta p_m / p_d. \quad (1)$$

Он зависит от формы прохода теплоносителя в местном сопротивлении. При разделении или слиянии потоков (тройники и крестовины) он зависит также от соотношения объёмных расходов ответвления q_o – патрубка, расположенного под углом к стволу, – и ствола q_c – патрубка с наибольшим расходом. При этом форма тройника учитывается отношениями площади прохода A_{np} (патрубка, являющегося продолжением ствола) и ответвления $A_{омв}$ к площади сечения ствола $A_{ств}$. Каждый тройник имеет два коэффициента местных сопротивлений – на проход и на ответвление (или на два ответвления по отдельности). У крестовины местных сопротивлений три – на проход и на два ответвления. Для упрощения потери давления на стволе учитываются в этих двух или трёх коэффициентах местного сопротивления.

Для исследования местных сопротивлений тройников наиболее простым методом является численное моделирование. На сегодня наиболее часто реализуемым методом является k-ε модель турбулентных потоков. На нём базируются большинство бесплатных и коммерческих программ вычислительной гидродинамики. Он проверен на наиболее простых местных сопротивлениях. Однако коэффициент местного сопротивления тройников и крестовин сильно зависит от качества изготовления. Минимальные конструктивные особенности в области отверстия ответвления приводят к перераспределению потоков. Поэтому разные справочники приводят различные значения коэффициентов местных сопротивлений одинаковых тройников или крестовин. Для значительно уменьшения потерь давления сужение прохода канала таких фитингов выполняется профилированным.

При исследовании коэффициента затекания радиаторов целесообразно учесть, что разделение потока происходит непосредственно внутри тройника (крестовины). Поэтому потери давления в стволе необходимо исключить из данного расчёта. При этом появляется дополнительный коэффициент местного сопротивления – на ствол. Это особенно важно при расчёте деформации расходных характеристик термостатических клапанов.

Для исследования тройников (крестовин) методом вычислительной гидродинамики создаётся четыре (пять) трёхмерных моделей (рис. 1):

- тройник (крестовина) с присоединёнными стабилизационными трубопроводами длиной не менее 10 калибров (диаметров). На «свободном» конце трубопровода прохода задаётся граничное условие «постоянное статическое давление», на других – «расход притока/вытяжки». В стволе непосредственно перед отверстием ответвления задаётся сечение. Измеренное в нём полное давление составляет p_s . Измеренные полные давления на свободном конце трубопровода ствола составляет p_t , ответвления – p_b , а прохода – p_p . Соответствующие динамические давления составляют $p_{d,t}$, $p_{d,b}$ и $p_{d,p}$
- точно такие же трубопроводы, как и присоединённые к тройнику. Длина их включает длину патрубков тройника. На одном конце каждого трубопровода задан тот же «расход притока/вытяжки», как и на патрубках тройника. На противоположном конце задано «постоянное давление» p_0 . Измеренные значения полного давления в начале и в конце составляют, соответственно: для ствола – $p_{1,t}$ и $p_{0,t}$; ответвления – $p_{1,b}$ и $p_{0,b}$; а прохода – $p_{1,p}$ и $p_{0,p}$.

Таким образом, коэффициенты местных сопротивлений на ствол, проход и ответвление вычисляются по потерям давления в частях модели с тройником (крестовиной) за исключением потерь давления в патрубках, принимаемых как потери давления в остальных моделях:

$$\zeta_i = (|p_i - p_s| - |p_{1,i} - p_{0,i}|) / p_{d,i} \quad (2)$$

где вместо « i » следует подставлять « t », « b » или « p », соответственно, для ствола, ответвления или прохода.

Были исследованы два современных тройника для соединения трубопроводов опрессовкой согласно чертежам производителя с диаметрами ствола/ответвления/прохода:

- 20/16/16;
- 25/16/20.

Полученные коэффициенты местного сопротивления

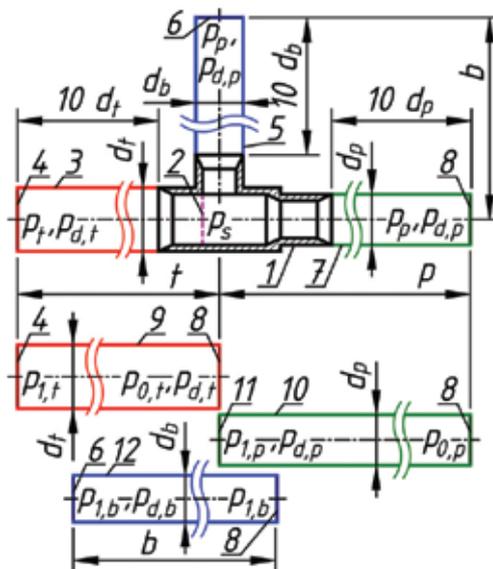


Рис. 1. Схема исследования коэффициентов местного сопротивления тройника:

1 – модель тройника; 2 – сечение разделения потока, в котором определяется среднее статическое давление p_s ; 3 – стабилизационный патрубок ствола, 4 – крышка с граничным условием «расход притока/вытяжки» q_i ; 5 – стабилизационный патрубок ответвления; 6 – крышка с граничным условием «расход вытяжки/притока» q_b ; 7 – стабилизационный патрубок прохода; 8 – крышка с граничным условием «постоянное статическое давление»; 9 – дополнительный трубопровод для ствола; 10 – дополнительный трубопровод для прохода; 11 – крышка с граничным условием «расход вытяжки/притока» $q_t - q_b$; 12 – дополнительный трубопровод для ответвления.

приведены в таблицах 1 и 2. Они на один-два порядка превышают расчётные значения ($\zeta = 1...3$).

2. Влияние коэффициентов местных сопротивлений тройников на коэффициент затекания теплоносителя в отопительный прибор

Гидравлический расчёт двух приборных узлов (таблица 3) на основании методики [1–3] показал результат,

Таблица 1

Данные численного моделирования коэффициентов местных сопротивлений тройников 20 × 16 × 16 мм

Патрубок	Коэффициент местного сопротивления при отношении объёмного расхода в ответвлении к объёмному расходу в стволе q_b/q_s										
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Разделение потока											
Ствол	2,13	2,13	2,17	2,22	2,28	2,34	2,40	2,49	2,54	2,57	2,58
Ответвление	∞	195	59,8	33,7	24,3	20	17,9	16,6	15,8	15,2	15
Проход	12,4	12,3	12,2	12,1	12,2	12,5	13,6	17,6	29,9	96	∞
Слияние потоков											
Ствол	2,16	4,81	4,55	4,72	5,43	6,64	8,29	10,8	13,8	17,2	20,9
Ответвление	∞	170	23,0	2,76	6,35	9,70	10,8	10,8	10,6	10,6	10,4
Проход	10,44	9,67	10,1	10,3	10,1	8,92	4,95	6,14	27,7	187	∞

Примечание. Значения в данной таблице получены путём моделирования методами вычислительной гидродинамики исключительно для оценки важности поставленной проблемы. Они нуждаются в экспериментальном подтверждении. Их использование в проектной практике может осуществляться лишь для ориентировочной оценки неучтенного влияния гидравлического сопротивления на распределение потоков теплоносителя.

Таблица 2

Данные численного моделирования коэффициентов местных сопротивлений тройников 25 × 16 × 20 мм

Патрубок	Коэффициент местного сопротивления при отношении объёмного расхода в ответвлении к объёмному расходу в стволе q_o/q_e										
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Разделение потока											
Ствол	1,84	1,83	1,85	1,89	1,94	1,99	1,96	1,91	1,79	1,61	1,37
Ответвление	∞	86	32,4	22,4	19	17,6	16,9	16,4	16,1	15,9	15,8
Проход	3,47	3,40	3,45	3,53	3,77	4,47	5,88	10,4	25,8	113	∞
Слияние потоков											
Ствол	2,45	2,7	3,19	4,1	5,76	8,25	11,8	15,9	20,2	24,9	30,1
Ответвление	∞	17,9	6,8	12,8	14,4	14,6	14,8	15,0	15,0	15,0	14,9
Проход	3,12	3,35	3,48	3,22	1,81	1,35	12,3	41	75,3	411	∞

Примечание. Значения в данной таблице получены путём моделирования методами вычислительной гидродинамики исключительно для оценки важности поставленной проблемы. Они нуждаются в экспериментальном подтверждении. Их использование в проектной практике может осуществляться лишь для ориентировочной оценки неучтенного влияния гидравлического сопротивления на распределение потоков теплоносителя.

более чем вдвое превышающий общепринятое значение – 0,22...0,24. Таким образом, неправильный учёт местных сопротивлений приводит к значительным изменениям коэффициента затекания. Полученные данные являются ориентировочными, поскольку погрешность программ вычислительной гидродинамики для нестандартных задач может быть определена лишь по данным экспериментальных исследований. Однако они показывают необходимость правильного учёта местных сопротивлений.

Повышение коэффициента затекания путём увеличения местного сопротивления тройников позволяет уменьшить площадь нагрева отопительных приборов. Однако оно сопровождается искривлением расходной характеристики термостатического клапана вверх, что снижает энергоэффективность регулирования теплопередачи отопительного прибора.

Выводы

1. При проектировании систем отопления, особенно, однотрубных, следует учитывать местные сопротивления тройников по фактическим, а не справочным показателям.

Фактические значения коэффициента местного сопротивления тройников для металлопластиковых труб могут на один-два порядка превышать справочный показатель.

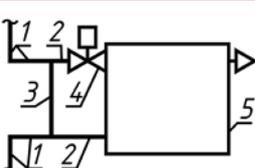
2. Исследование приборных узлов, выполненных из металлопластиковых труб, показало значения коэффициентов затекания, более чем вдвое превышающее общепринятые расчётные значения. Это приводит к уменьшению необходимой площади нагрева отопительного прибора.

Литература

1. Внутренние санитарно-технические устройства. В 3-х ч. Ч. I. Отопление/В. Н. Богословский, Б. А. Крупнов, А. Н. Сканава и др.; под ред. И. Г. Староверова и Ю. И. Шиллера.– 4-е изд., перераб. и доп.– М.: Стройиздат, 1990. – 344 с.
2. Альтшуль А. Д., Киселёв П. Г. Гидравлика и аэродинамика.– М.: Стройиздат, 1964 г.– 274 с.
3. Милейковский В. А. Математическое моделирование переменного гидравлического и теплового режимов приборных узлов однотрубных вертикальных систем отопления // Данфосс Info.– №1-2, 2012.– С. 15–27.

Таблица 3

Результаты расчёта приборных узлов при движении теплоносителя сверху вниз и снизу вверх при подаче теплоносителя с температурой до 95 °С

Схема узла	Результаты расчёта				
	Размер трубопровода $dn \times s$, мм			Коэффициент затекания	
	стояк 1	подводка 2	замыкающий участок 3	полученный	расчётный
	20×2	16×2	16×2	0,48	0,22...0,24
	25×2,5	20×2	16×2	0,58	

Примечание. 1 – стояк, 2 – подводки, 3 – замыкающий участок, 4 – клапан термостатический RA-G 15 прямой с термостатической головкой в зоне пропорциональности 2 К, 5 – радиатор. Результаты получены по данным моделирования тройников методами вычислительной гидродинамики (таблицы 1 и 2) и нуждаются в экспериментальном подтверждении. Их использование в проектной практике может осуществляться лишь для ориентировочной оценки неучтенного влияния гидравлического сопротивления на распределение потоков теплоносителя.