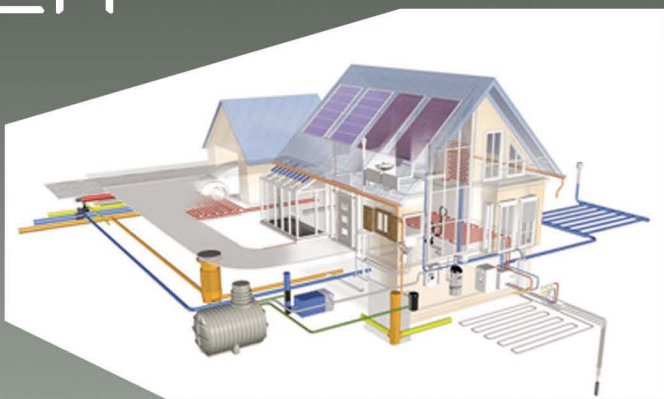
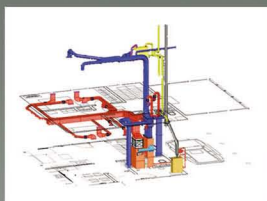


О.Д. САМАРИН

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ



О.Д. Самарин

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ



Издательство Ассоциации строительных вузов
Москва
2014

УДК 697.1:628.1

ББК 31.3:38.7

С 17

Рецензенты:

инженер, главный специалист по отоплению, вентиляции
и кондиционированию воздуха *О.Н. Дорошенко*;
инженер, главный специалист по теплоснабжению *В.В. Воронаев*.

Самарин О.Д.

Гидравлические расчеты инженерных систем: Справоч. пособие. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2014. – 112 с.

ISBN 978-5-4323-0014-0

В книге рассмотрены основные понятия, касающиеся гидравлического режима инженерных систем зданий – отопления, вентиляции, холодного и горячего водоснабжения. Приведены способы инженерного расчета потерь давления в системах водяного отопления, вентиляционных и водопроводных сетях, ориентированные на применение электронных таблиц Excel с максимальным сокращением потребности в дополнительных справочных материалах. Изложены методы аналитического определения коэффициентов местных сопротивлений тройников в системах отопления и вентиляции. Представлены рекомендации по вычислению расчетного расхода воды для внутреннего водопровода с заданной обеспеченностью без использования табличных данных. Рассмотрен упрощенный алгоритм расчета воздухораспределения в помещениях и подбора приточных устройств, пригодный для использования при конструировании вентиляционных систем. Изложение сопровождается примерами расчетов по предлагаемым методикам, а также необходимыми схемами, справочными таблицами и номограммами. Издание может быть полезно для выполнения курсовых и дипломных проектов студентам, обучающимся по программе бакалавриата по направлению 270800 «Строительство» (профили «Теплогазоснабжение и вентиляция», «Водоснабжение и водоотведение» и др.), а также инженерам для выполнения проектных работ.

УДК 697.1:628.1

ББК 31.3:38.7

ISBN 978-5-4323-0014-0

© Самарин О.Д., 2014

© Издательский дом АСВ, 2014

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время постепенно расширяется применение различного рода программных комплексов и автоматизированных систем для конструирования и расчета инженерных систем зданий и подбора необходимого оборудования. Однако математические модели, положенные в основу таких программ, не всегда отличаются достаточной точностью и учетом всех основных факторов, влияющих на результат расчета, а также не всегда известна непосредственно математическая основа этих моделей, что затрудняет проверку их соответствия действительному характеру процессов, протекающих в инженерных системах. Кроме того, в ряде случаев необходимо быстрое проведение ориентировочных расчетов по различным вариантам предварительных проектных решений. Наконец, потребности учебного процесса по подготовке квалифицированных бакалавров-инженеров по направлению «Строительство» также предусматривают умение студентов осуществлять ручные расчеты инженерных систем. При этом, поскольку гидравлические или аэродинамические расчеты обычно осуществляются в табличной форме, наиболее целесообразной является разработка методик, ориентированных на использование стандартного табличного процессора Excel.

В то же время для создания законодательной базы, позволяющей решать проблемы по оперативному внедрению новых инженерных решений и технологий, в том числе и в области проектирования инженерных систем зданий, а также для устранения законодательных препятствий для бизнеса, реализующего инновационные проекты, 27 декабря 2002 г. Президентом РФ был утвержден Федеральный закон № 184-ФЗ «О техническом регулировании» (ЗТР) с последующими изменениями от 2007 и 2009 гг.

Во исполнение правительственной программы по разработке технических регламентов на основе ЗТР был принят Федеральный закон № 384-ФЗ «Технический регламент «О безопасности зданий и сооружений»» (ТР БЗС). Он был подписан Президентом РФ 30 декабря 2009 г. и вступил в силу с 1 июля 2010 г. В соответствии с Законом о техническом регулировании, ТР БЗС относится к обязательным документам, содержащим исключительно требования безопасности, защиты жизни и здоровья людей, растений и животных, охраны окружающей среды и предотвращения введения потребителей в заблуждение. Такие документы «с учетом степени риска при-

чинения вреда устанавливают минимально необходимые требования, обеспечивающие безопасность (промышленную, пожарную, механическую и т.д.), а также единство измерений» (ст. 7 ЗТР). При этом перечень действующих национальных стандартов и сводов правил, а также их частей, в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований ТР БЗС, в соответствии с ч. 3 ст. 42 ТР БЗС утверждается распоряжением Правительства РФ. Такое постановление № 1047-р было принято 21 июня 2010 г. Все остальные документы (национальные стандарты, утверждаемые национальным органом стандартизации – Росстандартом; своды правил, утверждаемые иными органами исполнительной власти, при отсутствии национальных стандартов, а также стандарты организаций). Они являются документами добровольного применения.

Таким образом, основную концепцию ЗТР можно свести к тому, что основная задача технических норм – показать, как НЕЛЬЗЯ проектировать, строить и эксплуатировать здания (технические регламенты) и как МОЖНО это делать (все остальные документы). Поэтому в настоящее время производится пересмотр нормативной базы в области строительства для приведения ее в соответствие с изменившимися требованиями законодательства, а именно во исполнение ч. 6 ст. 6 ТР БЗС, где содержится указание о необходимости такого пересмотра для документов, содержащих обязательные требования, не реже чем раз в пять лет. Подробнее об этом будет сказано в дальнейшем. Одновременно в процессе пересмотра для реализации концепции ЗТР и ТР БЗС из нормативов исключаются положения, которые по своему смыслу не могут являться обязательными, а носят только справочный характер или содержат методики тех или иных расчетов, которые в принципе могут иметь различные варианты, предлагаемые разными авторами.

Следует иметь, однако, в виду, что в СНИПах и ГОСТах, если они разработаны удачно и соответствуют современному уровню развития науки и техники, ничего плохого нет, ибо они содержат надежные, апробированные решения и рекомендации, основанные на опыте производства и строительства. Но это не означает, что нельзя и как-то по-другому, если кому-то удастся предложить лучший вариант, разумеется, в рамках соблюдения требований безопасности. Другое дело, что это повышает ответственность разработчиков научных, проектных и производственных решений, а схема страхования рисков от такого рода деятельности у нас в стране еще должным образом не отработана [1].

В этой связи существенно расширяются возможности по разработке, принятию и использованию документов, соответствующих концепции оптимального нормирования, особенно если учесть, что в соответствии с ЗТР добровольные нормы могут быть признаны обязательными для контрагентов по договору между заказчиком и подрядчиком. Перечисленные обстоятельства позволяют пользоваться любыми методами и данными, не противоречащими ТР БЗС и требованиям документов, входящих в обязательный перечень. Это расширяет возможности применения альтернативных методик, что прямо допускается уже упомянутой ст. 6 ТР БЗС и существенным образом используется в рекомендациях, изложенных в данной книге.

Автор благодарит рецензентов О.Н. Дорошенко и В.В. Воропаева, а также старшего преподавателя кафедры инженерного оборудования МАрхИ Н.А. Шонину за ценные замечания, высказанные ими в процессе подготовки рукописи.

ГЛАВА 1. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СИСТЕМ ВОДЯНОГО ОТОПЛЕНИЯ

1.1. Определение потерь давления на трение и коэффициентов местных сопротивлений

В практике проектирования систем водяного отопления удельные потери давления на трение R , Па/м, для достаточно часто применяемых до настоящего времени трубопроводов из стальных водогазопроводных труб по ГОСТ 3262 [2] определяются по величине скорости воды w , м/с, и по условному диаметру трубопровода D_y , мм. Это можно сделать по табл. II.1 [3] или по номограмме (рис. 1), разработанной по данным этой таблицы. Следует только иметь в виду, что по физическим соображениям номограмма должна составляться относительно внутреннего диаметра d_b , который можно определить по величине D_y и толщине стенки с использованием данных [2], что и сделано на рис. 1.

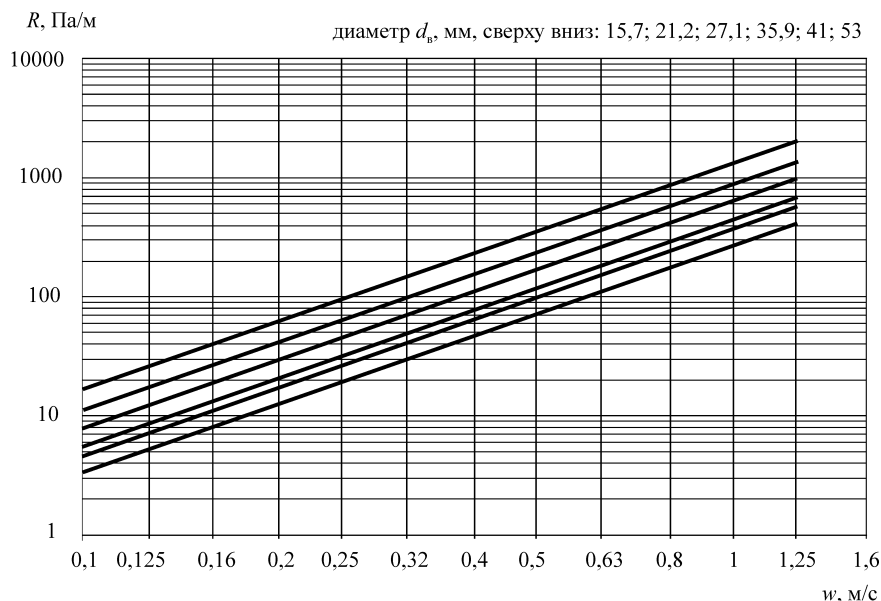


Рис. 1. Удельные потери давления на трение R , Па/м, для стальных обыкновенных водогазопроводных труб по ГОСТ 3262

Соответствие между D_y и d_b можно определить по табл. 1.

Таблица 1

Трубы стальные водогазопроводные по ГОСТ 3262 (обыкновенные)

Условный диаметр D_y , мм	Наружный диаметр d_n , мм	Толщина стенки δ , мм	Внутренний диаметр d_b , мм
10	17	2,2	12,6
15	21,3	2,8	15,7
20	26,8	2,8	21,2
25	33,5	3,2	27,1
32	42,3	3,2	35,9
40	48	3,5	41
50	60	3,5	53
65	75,5	4	67,5

В табл. II.1 [3] значения R приведены с достаточно подробным шагом по w , в среднем 0,01 м/с, а на при $w < 0,2$ м/с даже ниже. Тем не менее может потребоваться вычисление удельных потерь для промежуточных скоростей. Для этого требуется интерполяция таблицы. Однако если расчет проводится с применением ЭВМ, например с использованием электронных таблиц Excel, что очень удобно, так как гидравлический расчет трубопроводов всегда записывается в табличной форме, целесообразно иметь простую и в то же время достаточно точную формулу для R .

Нетрудно видеть, что изображенная в логарифмических координатах номограмма представляет собой набор прямых линий. Это означает, что величина R должна находиться в степенной зависимости от параметров w и d_b . Таблица хорошо аппроксимируется формулой (1) [4, 5], дающей для наиболее употребительного в практике проектирования диапазона скоростей 0,1–1,25 м/с и диаметров в пределах 10–50 мм погрешность не более 1–3 %, а при крайних значениях данных параметров – не более 4–5 %, что также заведомо находится в области обычной погрешности инженерных расчетов.

$$R = 5 \cdot 10^4 \cdot \frac{w^{1,9}}{d_b^{1,32}}, \text{ Па/м.} \quad (1)$$

Нетрудно заметить, что выражение (1) весьма напоминает как по форме, так и по уровню показателей степени при w и d_b известные зависимости [6] для потерь давления в трубах, используемых в систе-

мах внутреннего водопровода. Это говорит о принципиальном сходстве режима течения воды в системах отопления и водоснабжения – в обоих случаях он является переходным между режимом гидравлической гладкости и зоной квадратичного сопротивления. Поэтому, в частности, показатель степени при w , равный 1,9, имеет промежуточное значение между величиной 1,75, характерной для гладких труб (по Блазиусу), и 2,0, соответствующей квадратичной области. В принципе формулу (1) можно применять не только для обыкновенных, но и для любых других водогазопроводных труб, только нужно подставлять в нее соответствующую величину d_b по ГОСТ 3262 [2]. Соответствующая табл. II.1 приведена в приложении.

При известном расходе воды G , кг/ч, на участке трубопровода наиболее целесообразный диаметр участка можно оценить как

$$d_{\text{оп}} = 0,75\sqrt{G}, \text{ мм.} \quad (1a)$$

Это соответствует скорости воды около 0,6 м/с. По значению $d_{\text{оп}}$ принимается ближайший стандартный диаметр D_y и соответствующий ему d_b по табл. 1.

Кроме потерь на трение в системах водяного отопления большую роль играют местные потери давления. Как известно, они пропорциональны динамическому давлению $P_d = \rho w^2/2$, где ρ – плотность воды, равная примерно 972 кг/м³ при характерной для систем водяного отопления температуре +80 °С [3]. Коэффициенты пропорциональности ζ , называемые коэффициентами местного сопротивления (КМС), для различных элементов систем отопления обычно определяются по таблицам, имеющимся, в частности, в [3] и в ряде других источников. Наибольшую сложность при этом вызывает поиск КМС для тройников, поскольку в этом случае необходимо принимать во внимание вид тройника (на проход, на ответвление, на растекание или на противоток), а также отношение расходов воды, кг/с, на проходе $G_{\text{прох}}$ или в ответвлении $G_{\text{отв}}$ к расходу в стволе $G_{\text{ств}}$. Для тройников на ответвление нужно учитывать еще и направление потока воды (деление или слияние потоков) и отношение диаметра ответвления $d_{\text{отв}}$, мм, к диаметру ствола $d_{\text{ств}}$. В руководстве [3] соответствующие данные приведены в табл. II.15 для тройников на проход и табл. II.13 – для всех остальных. Следует иметь в виду, что каждый тройник или крестовина соединяют два соседних участка, но относятся они к тому из этих участков, у которого расход воды меньше.

Схема движения воды во всех типах тройников и соответствующие условные обозначения приведены на рис. 2.

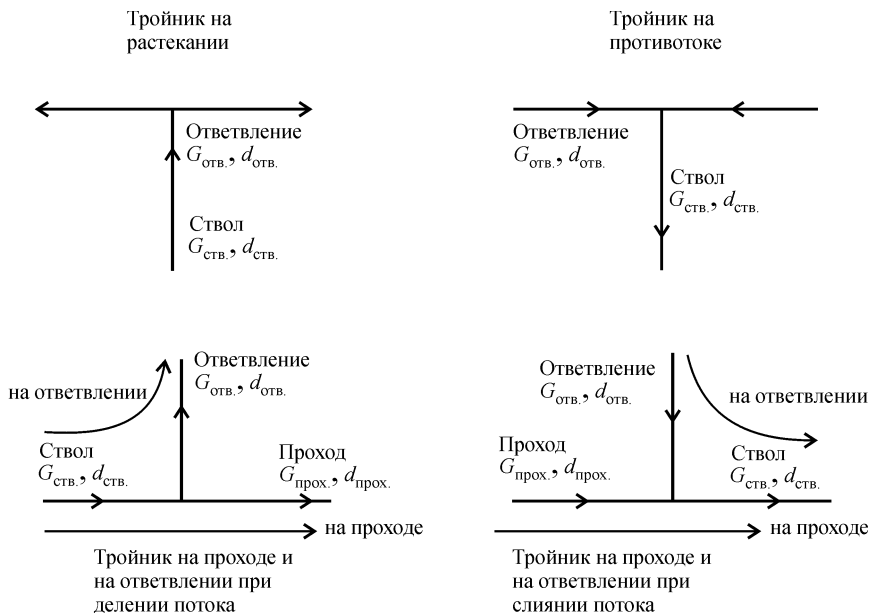


Рис. 2. Схема движения воды в тройниках для выбора КМС и условные обозначения

Однако при малых относительных расходах на проходе или в ответвлении КМС меняются весьма резко, поэтому в этой области рассматриваемые таблицы вручную интерполируются с трудом и со значительной погрешностью. Кроме того, в случае использования электронных таблиц Excel опять-таки желательно иметь формулы для непосредственного вычисления КМС через отношения расходов и диаметров. При этом такие формулы должны быть, с одной стороны, достаточно простыми и удобными для проектирования и использования в учебном процессе, но в то же время не должны давать погрешность, превышающую обычную точность инженерного расчета.

В табл. 2 [4, 5] приведены результаты аппроксимации табл. П.13 и П.15 [3] методом наименьших квадратов. Общий вид зависимостей выбирался исходя из физических соображений с учетом удобства пользования полученными выражениями при обеспечении допустимого отклонения от табличных данных.

Основные формулы для расчета КМС элементов систем водяного отопления

№	Название	Обозначения	Формула	Область применения
1	КМС тройников на проходе	$g_{\text{прох}} = G_{\text{прох}}/G_{\text{ств}}$	$\zeta_{\text{прох}} = \frac{0,6}{g_{\text{прох}}^2}$	$g_{\text{прох}} = 0,1 \dots 0,9$; при $g_{\text{прох}} > 0,9$ $\zeta_{\text{прох}} = 0,7$
2	КМС тройников на противотоке	$g_{\text{отв}} = G_{\text{отв}}/G_{\text{ств}}$	$\zeta_{\text{отв}} = \frac{2}{g_{\text{отв}}^{1,5}}$	$g_{\text{отв}} = 0,1 \dots 0,9$; при $g_{\text{отв}} > 0,9$ $\zeta_{\text{отв}} = 2,3$
3	КМС тройников на растекании	То же	$\zeta_{\text{отв}} = \frac{2,1}{g_{\text{отв}}^{5/3}}$	То же
4	КМС тройников на ответвлении при делении потока	$D = d_{\text{отв}}/d_{\text{ств}}$	$\zeta_{\text{отв}} = 1,4 \cdot \frac{D^2}{g_{\text{отв}}^{0,9(D+1)}}$	$D = 0,3 \dots 1$; $g_{\text{отв}} = 0,1 \dots 0,7$
5	То же	То же	$\zeta_{\text{отв}} = 2,1 \cdot D^2$	$D = 0,3 \dots 1$; $g_{\text{отв}} > 0,7$
6	КМС тройников на ответвлении при слиянии потоков	То же	$\zeta_{\text{отв}} = 2,5 - \frac{2 - 1,8 \cdot D}{g_{\text{отв}}^{(3,33 \cdot D - 0,77)}}$	$D = 0,3 \dots 1$; $g_{\text{отв}} = 0,1 \dots 1$
7	То же	То же	$\zeta_{\text{отв}} = 2,25 \cdot D^{2/3}$	$D = 0,3 \dots 1$; $g_{\text{отв}} > 0,7$

Погрешность формул для КМС составляет 5...10 % (максимально до 15). Несколько более высокие отклонения может давать выражение п. 6 для тройников на ответвлении при слиянии потоков, но и здесь это можно считать удовлетворительным с учетом сложности изменения сопротивления в таких элементах. Во всяком случае, характер зависимости КМС от влияющих на него факторов здесь от-

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
Глава 1. Гидравлический расчет системы водяного отопления.....	6
1.1. Определение потерь давления на трение и коэффициентов местных сопротивлений.....	6
1.2. Особенности расчета систем водяного отопления с применением автоматических терморегуляторов, полимерных труб и антифризов.....	15
1.3. Определение оптимальной скорости воды и диаметра трубопроводов.....	27
1.4. Пример гидравлического расчета вертикальной двухтрубной системы водяного отопления	30
1.5. Пример гидравлического расчета горизонтальной двухтрубной системы водяного отопления	41
Глава 2. Гидравлический расчет внутреннего водопровода.....	51
2.1. Расчет расходов воды и потерь давления в трубопроводах.....	51
2.2. Определение оптимальной скорости воды и диаметра трубопроводов.....	60
2.3. Пример гидравлического расчета внутреннего водопровода холодной воды	63
2.4. Пример гидравлического расчета внутреннего водопровода горячей воды	68
Глава 3. Аэродинамический расчет систем вентиляции.....	73
3.1. Определение потерь давления на трение	73
3.2. Последовательность расчета, вычисление КМС и подбор вентилятора.....	77
3.3. Определение оптимальной скорости воздуха и диаметра воздуховодов	88
3.4. Пример аэродинамического расчета системы приточной вентиляции.....	92
3.5. Инженерный метод расчета воздухораспределения в помещении.....	96
Приложение	103
Список литературы.....	108

Справочное пособие

Олег Дмитриевич **Самарин**

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

Компьютерная верстка: *Е.В. Орлов*
Редактор: *В.Ш. Мерзлякова*
Дизайн обложки: *Т.А. Негрозова*

Лицензия ЛР № 0716188 от 01.04.98.
Подписано к печати 01.07.14. Формат 60х90/16.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.

Усл. 7 п.л. Заказ №

Издательство Ассоциации строительных вузов (АСВ)
129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, отдел реализации – оф. 511
тел., факс: (499)183-56-83, e-mail: iasv@mgsu.ru, <http://www.iasv.ru/>