

Водопроводные сети. Практика учета местных потерь напора

А.А. Голощапова¹, Е.А. Голощапова², С.Р. Ихлеф³

¹⁻³ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Информация о статье обзор

Аннотация

Местные потери напора вызываются сопротивлениями в арматуре, фасонных частях и оборудовании, вследствие сужения и расширения потока, изменения направления движения жидкости, слияния и разделения потока, изменением формы и размера канала и т. п. Анализ различных методик расчета коэффициентов местных сопротивлений трубопроводов при проектировании кольцевой напорной сети водоснабжения имеет практический интерес с точки зрения энергетических затрат при движении жидкости. В литературных источниках содержатся различные формулы и таблицы для определения коэффициентов местных сопротивлений. Однако найденные по этим данным значения дают довольно большие расхождения даже для простых случаев местных сопротивлений (отвод, поворот). В этой связи приходится констатировать, что самым надежным способом определения коэффициентов местных потерь напора остается эксперимент.

Ключевые слова: коэффициент сопротивления, кольцевые сети, местные сопротивления, короткие трубопроводы, водопроводные сети

Содержание

1.	Введение	71
2.	Местные потери напора	71
3.	Заключение	74

Контактный автор:

1. 9226367165; nastuwka.mail@mail.ru (Голощапова Анастасия Алексеевна, студент)
2. 89080593352, lenochka05.10.95@mail.ru (Голощапова Елена Алексеевна, студент)
3. +7(981)1933479, ikhlef.sonia17@gmail.com (Ихлеф Соня Рашидовна, студент)

1. Введение

Вода – один из важнейших компонентов первоочередного жизнеобеспечения человека. Для транспортирования воды от источников к объекту водоснабжения используют трубы, чаще всего в виде сложных водопроводных сетей. Они представляют собой два и более трубопроводов, расположенных последовательно или параллельно друг другу. Различают внешние и внутренние трубопроводы [1-8].

Внешние сети водопровода могут прокладываться как наземным, так и подземным способом. В первом случае они проводятся по опорам и эстакадам, при этом выполняется их обязательное утепление. Подземная прокладка может быть траншейной и бестраншейной. Для внешнего водоснабжения используют длинные трубы, гидравлический расчет которых подробно описан в СП 31.13330.2012 [9] и справочниках [10-26, 89, 90].

Наружную систему водоснабжения используют для подачи воды непосредственно к месту потребления (промышленное предприятие, жилое здание). Поступление воды к точкам водозабора осуществляется по внутреннему водопроводу [27].

Сети внутреннего водопровода питаются от наружных водопроводных сетей. Система внутреннего водопровода состоит из ввода (или вводов), водомерного узла (узлов), сети магистральных и распределительных трубопроводов, водоразборных устройств, арматуры. Для систем внутреннего водоснабжения используют короткие трубы, гидравлический расчет которых рассматривается в статьях отечественных авторов [28-37], а также и зарубежных [73-77, 84-87].

По конфигурации в плане водопроводные сети подразделяются на кольцевые и тупиковые. Чаще всего выбор падает на кольцевую схему; тупиковые допускаются лишь в редких случаях. Кольцевание наружных водопроводных сетей внутренними водопроводными сетями здания и сооружений не допускается [9, 38, 39]. В то же время авторами статей [40-47] изучено, что общая протяженность кольцевой сети всегда больше, чем тупиковой (для того же объекта), и поэтому строительная стоимость кольцевой сети выше. Требуемая надежность таких систем может быть обеспечена не устройством кольцевой сети, а созданием достаточных резервных емкостей у отдельных потребителей. Но это может быть использовано только в тех случаях, когда потребители допускают перерыв в подаче воды в случае выхода из строя части или всей сети водопровода.

Автор статьи [48] высказывает своё неудовлетворение качеством раздела «Водоводы, водопроводные сети и сооружения» актуализированной редакции СНиП 2.04.02* СП 31.13330.2012. 'Раздел этот написан без учета последних достижений в области надежности, по сути, копирует тексты предыдущих СНиПов' [49].

Расчёт кольцевых водопроводных сетей рассмотрен в статьях [50-58]. При решении учитываются не только трубопроводы, но и все гидравлические сооружения: насосные станции, станции подкачки, резервуары, водонапорные башни, клапаны, задвижки.

Внутренние сети водопровода следует устраивать согласно СП 30.13330.2012 [59]. Трубопроводы внутренней системы водоснабжения являются короткими.

Короткий трубопровод — трубопровод достаточной малой длины, в котором потери напора в местных сопротивлениях составляют более 10% от потерь напора по длине. В связи с этим при расчете короткого трубопровода необходимо учитывать, как потери напора по длине, так и местные потери напора [60-62].

Авторами статей [63, 64] предложены современные методы расчёта кольцевых систем водоснабжения с использованием компьютерных программ Excel, Matlab и др.

В настоящее время в связи с все большим распространением вычислительной техники становится целесообразным получение формул, позволяющих определить необходимые параметры аналитически. Особенно это касается расчетов, выполняемых в табличной форме, к которым как раз и относится гидравлический расчёт водопроводных сетей [65, 66].

Но этих расчетов недостаточно, поскольку нет достоверной информации о расходах воды в узлах и, кроме того, сама сеть, состоящая из труб разного диаметра, со временем меняет параметры в результате старения труб, уменьшения их пропускной способности вследствие внутренних отложений, утечек и т.д. [67, 68].

Существует множество программных продуктов для проектирования, планирования и эксплуатации систем водоснабжения и водоотведения, некоторые из них описаны в статье [69]. С помощью программы для проектирования «Умная вода» можно рассчитать хозяйственно-питьевой водопровод, противопожарный водопровод и т.д., осуществить подбор необходимого оборудования, протестировать систему на засорение трубопроводов.

Основной задачей расчета трубопроводных сетей является оценка потерь напора при движении жидкости. Целью настоящей статьи является исследование вопроса об учете потерь напора на местных сопротивлениях.

2. Местные потери напора

К местным гидравлическим сопротивлениям относят различные устройства и элементы (отводы, колена, переходники, тройники, крестовины, диафрагмы, сетки, запорные регулирующие вентили, краны, задвижки, затворы, предохранительные и регулирующие клапаны, всасывающие наконечники, устанавливаемые на входе

в трубу насосов и т.д.), в которых происходит нарушение равномерного движения потока в результате его деформации с изменением направления и значения средней скорости и возникновением водоворотных областей. В результате деформации турбулентного потока происходит интенсивное перемешивание частиц жидкости и обмен количеством движения между ними [78-80].

Самые простые местные сопротивления: внезапное расширение или сужение русла и плавный или резкий поворот трубы на разные углы [81-83, 88].

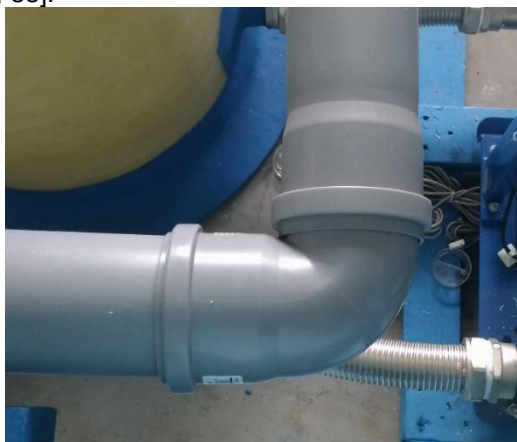


Рис. 1. Пример простого местного сопротивления

К более сложным местным сопротивлениям относят: слияние или разделение потоков, задвижки, клапаны, тройники и крестовины.



Рис. 2. Сложные местные сопротивления

В результате резких изменений скорости и направления жидкости происходит значительная деформация потока с возникновением интенсивного вихреобразования. Особенно сложной картина течения становится в условиях, когда на участке малой длины сосредоточено несколько местных сопротивлений, влияющих друг на друга.

Во всех случаях затраты удельной механической энергии потока жидкости на преодоление местных сопротивлений связывают с работой сил трения и вихреобразованием: чем больше деформация потока, тем больше потери энергии [70-72].

Ввиду сложности энергетического взаимодействия транзитного потока с водоворотными областями на участках с местными сопротивлениями оценить вклад местных потерь напора в гидравлическое сопротивление трубопроводов практически невозможно.

Общей теории для определения коэффициента местных сопротивлений, за исключением отдельных случаев, нет. Поэтому коэффициенты местных сопротивлений, как правило, находят опытным путем.

Коэффициент местного сопротивления показывает долю скоростного напора, затрачиваемого на преодоление какого-либо местного сопротивления. В местном сопротивлении потери механической энергии при движении потока через него превращаются в тепловую энергию.

В условиях развитого турбулентного потока (области квадратического сопротивления) коэффициент местного сопротивления зависит от формы и геометрических размеров трубы, шероховатости и состояния внутренней поверхности канала. При меньших скоростях течения следует учитывать влияние числа Рейнольдса Re_d .

Значение коэффициентов местных потерь в большинстве случаев получают опытным путем, после чего выводят эмпирические формулы, строят графики или составляют справочные таблицы. Простое суммирование потерь давления в местных сопротивлениях, расположенных последовательно, возможно, если сопротивления расположены друг от друга на расстоянии, равном не менее 20..30 диаметров трубы. В противном случае сопротивления влияют друг на друга как одна система, для которой значение коэффициента местного сопротивления необходимо определять экспериментально.

Но даже для простых случаев местных сопротивлений рядом авторов рекомендуется несколько различных зависимостей для формул определения коэффициентов сопротивления [91]. Рассмотрим в качестве примера имеющиеся формулы для определения коэффициента сопротивления плавного поворота трубы круглого поперечного сечения.

В [14] коэффициент местного сопротивления отводов вычисляется по формуле, предложенной Г.Н. Абрамовичем

$$\zeta = 0,73 \cdot A \cdot B \cdot C, \quad (1)$$

где A – функция угла поворота θ , при $\theta = 90^\circ$ равная единице; B – функция относительного радиуса кривизны (R/d), которую рекомендуется вычислять по приближенным формулам:

$$R/d < 1,0 \rightarrow B = \frac{0,21}{(R_0/d)^{0,25}}, \quad (2)$$

$$R/d \geq 1,0 \rightarrow B = \frac{0,21}{(R_0/d)^{0,5}}, \quad (3)$$

C – функция формы поперечного сечения трубы, равная единице для круглого и квадратного сечения.

В [31] коэффициент местного сопротивления определяется по формуле

$$\zeta = 0,131 + 0,163 \cdot \left(\frac{d}{R}\right)^{3,5}, \quad (4)$$

где d – диаметр трубы; R – радиус кривизны отвода.

В [89] в зависимости для коэффициента местного сопротивления учитывается влияние коэффициента гидравлического трения λ

$$\zeta = 0,02 \cdot (100 \cdot \lambda)^{2,5} + 0,106 \cdot (d/R)^{2,5}, \quad (5)$$

где d – диаметр трубы; R – радиус поворота; λ – коэффициент гидравлического трения.

Результаты расчетов по формулам (1), (4), (5) приведены на графике рис 3. Как видно из рис. 3, при малых радиусах скругления ($R/d < 1,0$) расхождение в значениях ζ недопустимо велики, при больших радиусах расхождение составляет примерно 97%.

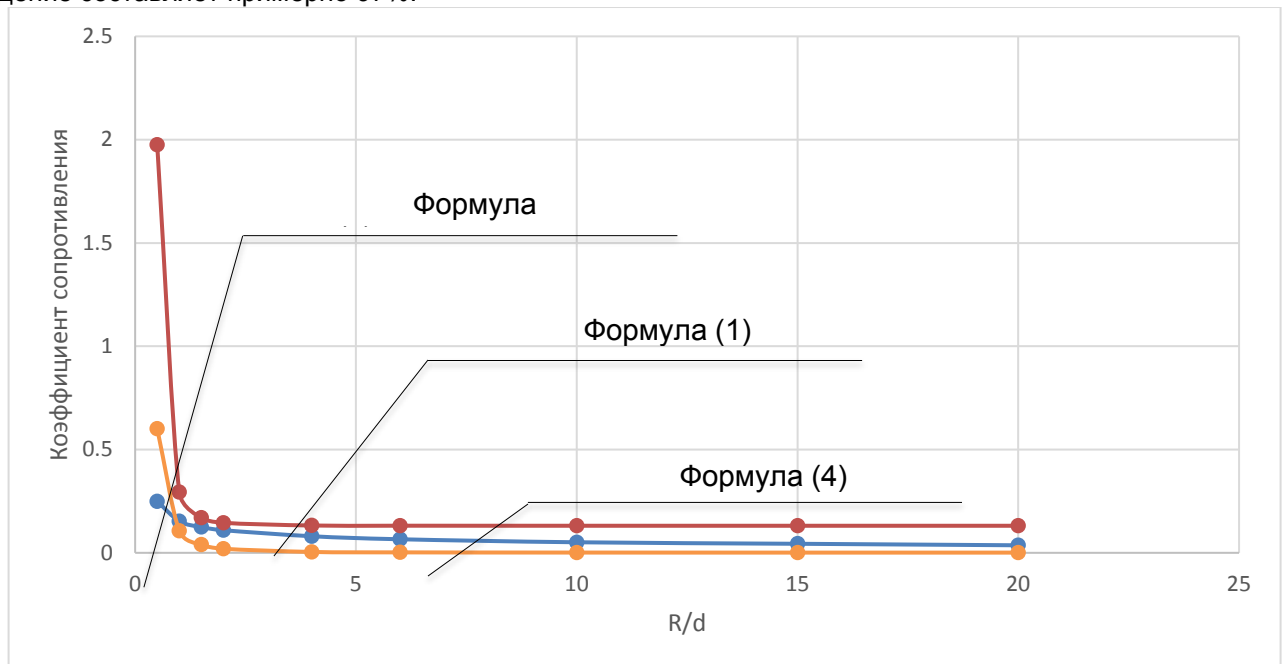


Рис. 3. График зависимости коэффициента сопротивления от относительного радиуса кривизны

Влияние коэффициента гидравлического трения на величину ζ в соответствии с формулой (5) иллюстрирует рис 4. Очевидно, что для очень гладких труб влияние λ в формуле (5) пренебрежимо мало.

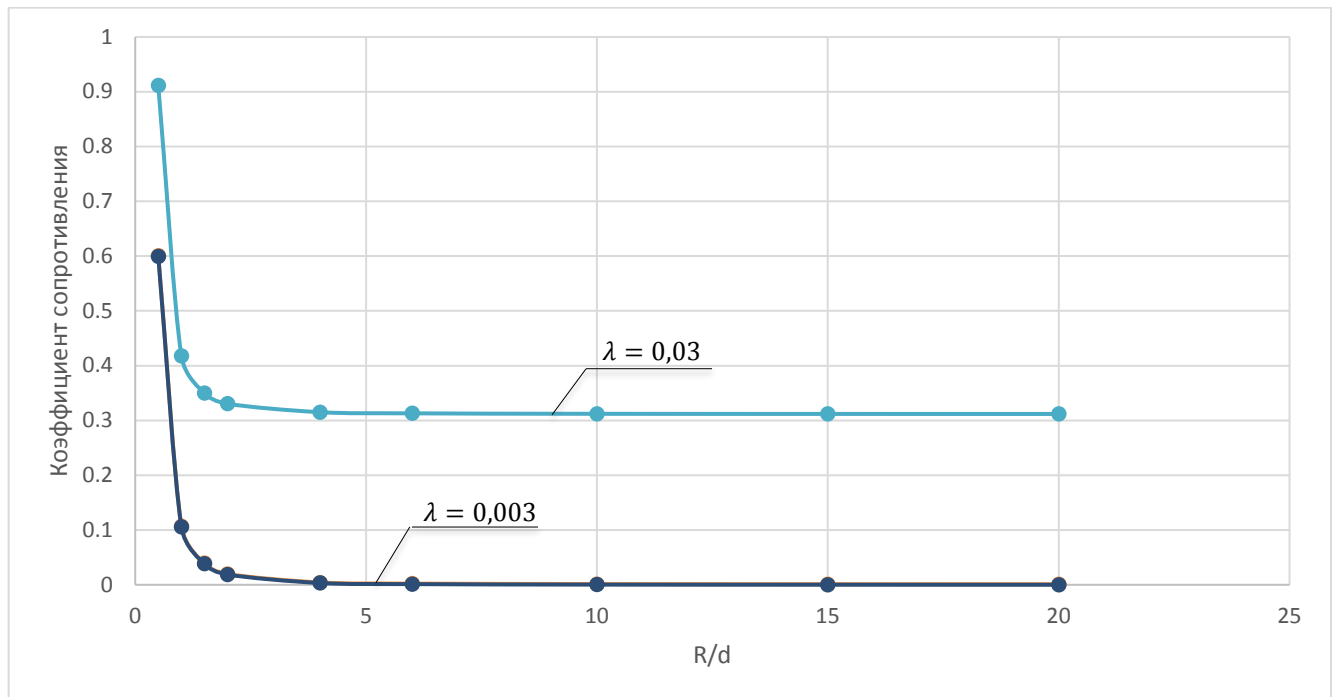


Рис. 4. График зависимости коэффициента сопротивления от относительного радиуса кривизны по формуле (5) [89]

3. Заключение

Основываясь на данных литературных источников, можно констатировать, что проблема местных сопротивлений сложна и чрезвычайно актуальна в практике расчета и проектирования трубопроводов.

Ввиду невозможности точного учета всех местных потерь напора в [9] рекомендуется принимать их в размере 30% от потерь напора по длине.

Имеющиеся в литературе данные и рекомендации для определения коэффициентов местных потерь напора разнятся и могут быть использованы лишь как ориентировочные.

Для уточнения значений коэффициентов сопротивления в конкретных случаях отдельных сопротивлений или их комплексов необходимы экспериментальные исследования.

Литература

- [1]. Дейнега В. В. Основы гидравлики и теплотехники. Костанай: Костанай политехиздат, 2010. 248 с.
- [2]. Рабинович Е.З. Гидравлика. 4-е издание. М.: Государственное Издательство физико-математической литературы, 1963. 304 с.
- [3]. Калицун В.И., Кедров В.С., Ласков Ю.М., Сафонов П.В. Гидравлика, Водоснабжение и канализация. Учебник. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Стройиздат, 1980. 359 с.
- [4]. Галдин Н.С. Основы гидравлики и гидропривода. Учебное пособие. — Омск: СибАДИ, 2010. 145 с.
- [5]. Гиргидов А.Д. Механика жидкости и газа. М.: ИНФРА-М, 2014. 704 с.
- [6]. Лепешкин А.В., Михайлин А.А., Шейпак А.А. Гидравлика и гидропневмопривод: Учебник. Ч. 2. Гидравлические машины и гидропневмопривод / Под ред. А.А. Шейпака. — М.: МГИУ, 2003. 352 с.

References

- [1]. Deynega V. V. Osnovy gidravliki i teplotekhniki. Kostanay: Kostanay politizdat, 2010. 248 s.
- [2]. Rabinovich Ye.Z. Gidravlika. 4-ye izdaniye. M.: Gosudarstvennoye Izdatelstvo fiziko-matematicheskoy literatury, 1963. 304 s.
- [3]. Kalitsun V.I., Kedrov V.S., Laskov Yu.M., Safonov P.V. Gidravlika, Vodosnabzheniye i kanalizatsiya. Uchebnik. — 3-ye izd., pererab. i dop. — M.: Stroyizdat, 1980. 359 s.
- [4]. Galdin N.S. Osnovy gidravliki i gidroprivoda. Uchebnoye posobiye. — Omsk: SibADI, 2010. 145 s.
- [5]. Girgidov A.D. Mekhanika zhidkosti i gaza. M.: INFRA-M, 2014. 704 s.
- [6]. Lepeshkin A.V., Mikhaylin A.A., Sheypak A.A. Gidravlika i gidropnevmoprivod: Uchebnik. Ch. 2. Gidravlicheskiye mashiny i gidropnevmoprivod / Pod red. A.A. Sheypaka. — M.: MGIU, 2003. 352 s.

- [7]. Чугаев Р.Р. Гидравлика (техническая механика жидкости). М.: Бастет, 2008. 672 с.
- [8]. Угинчус А.А. Гидравлика и гидравлические машины: учебник/ А.А. Угинчус. – М.: Az-book, 2009. 395 с.
- [9]. СП 31.13330.2012
- [10]. Курганов А.М., Федоров Н.Ф. Гидравлические расчеты системы водоснабжения и водоотведения. Справочник. Под общ. ред. А.М. Курганова. — 3-е изд., перераб. и доп. — Л.: Стройиздат, 1986. 440 с.
- [11]. Киселев П.Г. Справочник по гидравлическим расчетам. Издание второе, переработанное и дополненное. — Москва; Ленинград, Государственное энергетическое издательство, 1957. 352 с.
- [12]. Большаков В.А. Справочник по гидравлике. Справочник /В. А. Большаков, Ю. М. Константинов, В. Н. Попов, В. Ю. Даденков/ Киев, «Вища школа»—1977. 280 с.
- [13]. Недрига В.П. (ред.). Гидротехнические сооружения – Справочник проектировщика. Г. В. Железняков, Ю. А. Ибадзаде, П. Л. Иванов, и др. под общ. Ред. В. П. Недриги. Москва, Стройиздат, 1983. 543 с.
- [14]. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. Справочник/ Под ред. М. О. Штейнберга. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992. 672 с.
- [15]. Юрьев А.С., Пирогов С. Ю. и др. Справочник по расчетам гидравлических и вентиляционных систем. СПб.: АНО НПО Мир и семья, 2001. 1154 с.
- [16]. Одельский Э. Х. Гидравлический расчет трубопроводов разного назначения. Минск, «Вышэйш. школа», 1967. 103 с.
- [17]. Давыдова М.А. Лекции по гидродинамике. Учебное пособие. М.: Физматлит, 2011. 216 с.
- [18]. Ламб Г. Гидродинамика. М: ОГИЗ, 1947. 929 с.
- [19]. Бретшнайдер С. Свойства жидкостей и газов. Инженерные методы расчета. Перевод с польского; Под редакцией П.Г. Романкова. — Л.: Химия, Ленинградское отделение, 1966. 536 с.
- [20]. Дмитриев В. Д., Мишуков Б. Г., Коровин Д. А., Кораблев А. И., Медведев Г. П., Наумов М. П., Чистова Г.С. Эксплуатация систем водоснабжения, канализации и газоснабжения. Справочник. Изд. 3, перераб. и доп. – Л.: Стройиздат, 1988. 383 с.
- [21]. Апсин В.П., Удовин В.Г. Методические указания по гидравлическим расчетам. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. 43 с.
- [22]. Зверькова Б. В., Костовецкий Д.Л. и др. Расчет и конструирование трубопроводов. Справочное пособие. – Л.: Машиностроение, 1979. 246 с.
- [23]. Магалиф В.Я. Теоретические основы конструирования трубопроводов. Курс лекций. – М.: ООО «Научно-техническое предприятие «ТРУБОПРОВОД», 2011. 245 с.
- [24]. Галдин Н.С., Семенова И.А. Гидравлический расчет простого трубопровода. Методические указания для курсового проектирования по дисциплине «Основы гидромеханики». – Омск: Изд-во СибАДИ, 2012. 20 с.
- [7]. Chugayev R.R. Gidravlika (tekhnicheskaya mekhanika zhidkosti). M.: Bastet, 2008. 672 s.
- [8]. Uginchus A.A. Gidravlika i gidravlicheskiye mashiny: uchebnik/ A.A. Uginchus. – M.: Az-book, 2009. 395 s.
- [9]. SP 31.13330.2012
- [10]. Kurganov A.M., Fedorov N.F. Gidravlicheskiye raschety sistemy vodosnabzheniya i vodoootvedeniya. Spravochnik. Pod obshch. red. A.M. Kurganova. — 3-ye izd., pererab. i dop. — L.: Stroyizdat, 1986. 440 s.
- [11]. Kiselev P.G. Spravochnik po gidravlicheskim raschetam. Izdaniye vtoroye, pererabotannoye i dopolnennoye. — Moskva; Leningrad, Gosudarstvennoye energeticheskoye izdatelstvo, 1957. 352 s.
- [12]. Bolshakov V.A. Spravochnik po gidravlike. Spravochnik /V. A. Bolshakov, Yu. M. Konstantinov, V. N. Popov, V. Yu. Dadenkov/ Kiyev, «Vishcha shkola»—1977. 280 s.
- [13]. Nedriga V.P. (red.). Gidrotekhnicheskkiye sooruzheniya – Spravochnik proyektirovshchika. G. V. Zheleznyakov, Yu. A. Ibadzade, P. L. Ivanov, i dr. pod obshch. Red. V. P. Nedrigi. Moskva, Stroyizdat, 1983. 543 s.
- [14]. Idelchik I. Ye. Spravochnik po gidravlicheskim soprotivleniyam. Spravochnik/ Pod red. M. O. Shteynberga. – 3-ye izd., pererab. i dop. – M.: Mashinostroyeniye, 1992. 672 s.
- [15]. Yuryev A.S., Pirogov S. Yu. i dr. Spravochnik po raschetam gidravlicheskiykh i ventilyatsionnykh sistem. SPb.: ANO NPO Mir i semya, 2001. 1154 s.
- [16]. Odelskiy E. X. Gidravlicheskiy raschet truboprovodov raznogo naznacheniya. Minsk, «Vysheysh. shkola», 1967. 103 s.
- [17]. Davydova M.A. Lektzii po gidrodinamike. Uchebnoye posobiye. M.: Fizmatlit, 2011. 216 s.
- [18]. Lamb G. Gidrodinamika. M: OGIz, 1947. 929 s.
- [19]. Bretshnayder S. Svoystva zhidkostey i gazov. Inzhenernyye metody rascheta. Perevod s polskogo; Pod redaktsiyey P.G. Romankova. — L.: Khimiya, Leningradskoye otdeleniye, 1966. 536 s.
- [20]. Dmitriyev V. D., Mishukov B. G., Korovin D. A., Korablev A. I., Medvedev G. P., Naumov M. P., Chistova G.S. Ekspluatatsiya sistem vodosnabzheniya, kanalizatsii i gazosnabzheniya. Spravochnik. Izd. 3, pererab. i dop. – L.: Stroyizdat, 1988. 383 s.
- [21]. Apsin V.P., Udovin V.G. Metodicheskiye ukazaniya po gidravlicheskim raschetam. – Orenburg: GOU OGU, 2004. 43 s.
- [22]. Zverkova B. V., Kostovetskiy D.L. i dr. Raschet i konstruirovaniye truboprovodov. Spravochnoye posobiye. – L.: Mashinostroyeniye, 1979. 246 s.
- [23]. Magalif V.Ya. Teoreticheskiye osnovy konstruirovaniya truboprovodov. Kurs lektsiy. – M.: OOO «Nauchno-tekhnicheskoye predpriyatiye «TRUBOPROVOD», 2011. 245 s.
- [24]. Galdin N.S., Semenova I.A. Gidravlicheskiy raschet prostogo truboprovoda. Metodicheskiye ukazaniya dlya kursovogo proyektirovaniya po distsipline «Osnovy gidromekhaniki». – Omsk: Izd-vo SibADI, 2012. 20 s.

- [25]. Троян Т.П. Гидравлика. Задачи и примеры расчетов по гидростатике и гидродинамике: Учебное пособие / Т.П. Троян. – Омск: СибАДИ, 2006. 92 с.
- [25]. Troyan T.P. Gidravlika. Zadachi i primery raschetov po gidrostatike i gidrodinamike: Uchebnoye posobiye / T.P. Troyan. – Омск: SibADI, 2006. 92 s.
- [26]. Нгуен Х.К., Nguyen V.S. Nguyen T.M.T. Щербикова В.И. Модель гидравлического расчета районной сети водоснабжения города // Актуальные направления научных исследований XXI века: Теория и практика. 2015. № 7-2 (18-2). С. 266-273.
- [26]. Nguyen Kh.K., Nguyen V.S. Nguyen T.M.T. Shcherbikova V.I. Model gidravlicheskogo rascheta rayonnoy seti vodosnabzheniya goroda // Aktualnyye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: Teoriya i praktika. 2015. № 7-2 (18-2). S. 266-273.
- [27]. Новицкая О.С. Учет реальных условий разбора воды при гидравлическом расчете водопроводных сетей // Водоснабжение и сантехника. 2013. № 10. С. 30-35.
- [27]. Novitskaya O.S. Uchet realnykh usloviy razbora vody pri gidravlicheskom raschete vodoprovodnykh setey // Vodosnabzheniye i santekhnika. 2013. № 10. S. 30-35.
- [28]. Савастиенок А.Я. Оптимизация трубопроводных инженерных сетей гидравлического расчёта // Известия высших учебных заведений и энергетический объединений СНГ. Энергетика. №4. 2006. С. 67-72.
- [28]. Savastiyenok A.Ya. Optimizatsiya truboprovodnykh inzhenernykh setey gidravlicheskogo rascheta // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy i energeticheskiy obyedineniy SNG. Energetika. №4. 2006. S. 67-72.
- [29]. Стрелков А.К., Зотов Ю.Н., Михайлова И.Ю. Гидравлический расчёт внутренних систем водоснабжения в многоквартирных домах — новые решения // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительные технологии. 2017. С. 182-185.
- [29]. Strelkov A.K., Zotov Yu.N., Mikhaylova I.Yu. Gidravlicheskiy raschet vnutrennikh sistem vodosnabzheniya v mnogokvartirnykh domakh — novyye resheniya // Traditsii i innovatsii v stroitelstve i arkhitekture. Stroitelnyye tekhnologii. 2017. S. 182-185.
- [30]. Михалев М.А. Гидравлический расчёт напорных трубопроводов. // Инженерно-строительный журнал, №6. 2012. С. 20-28.
- [30]. Mikhalev M.A. Gidravlicheskiy raschet napornykh truboprovodov. // Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal, №6. 2012. S. 20-28.
- [31]. Вильнер Я. М., Ковалев Я. Т., Некрасов Б. Б. Справочное пособие по гидравлике, гидромашинам и гидроприводам. – Мн.: Выш. Шк., 1985. 382 с.
- [31]. Vilner Ya. M., Kovalev Ya. T., Nekrasov B. B. Spravochnoye posobiye po gidravlike, gidromashinam i gidroprivodam. – Mn.: Vysh. Shk., 1985. 382 s.
- [32]. Давидсон В.Е. Основы гидрогазодинамики в примерах и задачах. Учебное пособие для вузов. – М.: Академия, 2008. 320 с.
- [32]. Davidson V.Ye. Osnovy gidrogazodinamiki v primerakh i zadachakh. Uchebnoye posobiye dlya vuzov. – M.: Akademiya, 2008. 320 s.
- [33]. Жабо В. В., Уваров В. В. Гидравлика и насосы. Учебник для техникумов. – М.: Энергоатомиздат, 1984. 328 с.
- [33]. Zhabo V. V., Uvarov V. V. Gidravlika i nasosy. Uchebnik dlya tekhnikumov. – M.: Energoatomizdat, 1984. 328 s.
- [34]. Дульнев В.Б., Щуцк Т.Б. Гидравлический расчет трубопроводных систем с дискретными отводами / Известия всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б. Е. Веденеева. 2000. С. 204-208.
- [34]. Dulnev V.B., Shtsuk T.B. Gidravlicheskiy raschet truboprovodnykh sistem s diskretnymi otvodami / Izvestiya vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta gidrotekhniki im. B. Ye. Vedeneyeva. 2000. S. 204-208.
- [35]. Стрелков А.К., Зотов Ю.Н., Михайлова Н.Ю. Об оптимизации внутренних систем водоснабжения при проектировании // Научное обозрение. 2014. №4. С. 98-101.
- [35]. Strelkov A.K., Zotov Yu.N., Mikhaylova N.Yu. Ob optimizatsii vnutrennikh sistem vodosnabzheniya pri proyektirovanii // Nauchnoye obozreniye. 2014. №4. S. 98-101.
- [36]. Шевелев Ф.А., Шевелев А.Ф. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб: Справочное пособие. – М.: ООО «Издательский Дом БАСТЕТ», 2014. 384 с.
- [36]. Shevelev F.A., Shevelev A.F. Tablitsy dlya gidravlicheskogo rascheta vodoprovodnykh trub: Spravochnoye posobiye. – M.: OOO «Izdatelskiy Dom BASTET», 2014. 384 s.
- [37]. Тольцман В.Ф. Гидравлический расчет водопроводных труб // Водоснабжение и сантехника. 1959. №5. С. 1-3.
- [37]. Toltsman V.F. Gidravlicheskiy raschet vodoprovodnykh trub // Vodosnabzheniye i santekhnika. 1959. №5. S. 1-3.
- [38]. СП 32.13330.2012 Канализация. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85.
- [38]. SP 32.13330.2012 Kanalizatsiya. Naruzhnyye seti i sooruzheniya. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.04.03-85.
- [39]. Федеральный закон «О водоснабжении и водоотведении» от 07.12.2011 № 416-ФЗ (последняя редакция).
- [39]. Federalnyy zakon «O vodosnabzhenii i vodootvedenii» ot 07.12.2011 № 416-FZ (poslednyaya redaktsiya).
- [40]. Абрамов Н. Н. Водоснабжение. Учебник для вузов. – М.: Стройиздат, 1974. 480 с.
- [40]. Abramov N. N. Vodosnabzheniye. Uchebnik dlya vuzov. – M.: Stroyizdat, 1974. 480 s.
- [41]. Прандтль Л. Гидроаэромеханика. – Ижевск: НИЦ РХД, 2000. 576 с.
- [41]. Prandtl L. Gidroaeromekhanika. – Izhevsk: NITs RKhD, 2000. 576 s.
- [42]. Khappel Dzh., Brenner G. Гидродинамика при малых числах Рейнольдса. Перевод с англ. – М.: Мир, 1976. 630 с.
- [42]. Khappel Dzh., Brenner G. Gidrodinamika pri malykh chislakh Reynoldsa. Perevod s angl. – M.: Mir, 1976. 630 s.

- [42]. Хаппель Дж., Бреннер Г. Гидродинамика при малых числах Рейнольдса. Перевод с англ. – М.: Мир, 1976. 630 с.
- [43]. Гальперин Е.М. Определение надежности функционирования кольцевой водопроводной сети // Водоснабжение и сантехника. 1989. №6
- [44]. Гальперин Е.М. Надежность функционирования кольцевой водопроводной сети // Водоснабжение и сантехника. 1987. №4
- [45]. Гальперин Е.М. Надежность и экономичность кольцевых водопроводных сетей // Водоснабжение и сантехника. 1991. №5
- [46]. Гальперин Е.М. Надежные расчеты кольцевых водопроводных сетей // Водоснабжение и сантехника. 2003. №8
- [47]. Гальперин Е.М. Надежность системы водоснабжения и водоотведения. – Самара, СГАСУ, 2006.
- [48]. Гальперин Е.М. Надежность и нормы проектирования кольцевой водопроводной сети // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2016. С. 65-73.
- [49]. Гальперин Е.М. Методика расчета кольцевых СПРВ и соответствующие разделы СНиП 2.04.02-84 не отражают реальность и требования жизни // Водоснабжение и сантехника. 1996. №8.
- [50]. Гальперин Е.М. Совершенствование расчетной модели функционирования кольцевой водопроводной сети (в порядке обсуждения) // Водоснабжение и сантехника. 2010. №2.
- [51]. Гальперин Е.М., Бухман Н.С. Расчет надежности кольцевой водопроводной сети // Водоснабжение и сантехника. 2017. №6
- [52]. Гальперин Е.М. О гидравлическом расчете кольцевой водопроводной сети // Водоснабжение и сантехника. 2015. №12. С. 48-54.
- [53]. Гальперин Е.М. О гидравлическом расчете кольцевой водопроводной сети // Водоснабжение и сантехника. 2015. №12. С. 48-54.
- [54]. Гальперин Е.М. Расчет кольцевых водопроводных сетей с учетом надежности функционирования / Е. М. Гальперин. – [Саратов]: Изд-во Саратов. Ун-та, 1989. 102 с.
- [54]. Е. М. Гальперин, А.Л. Лукс, Е.А. Крестин. Об определении потерь напора в трубах при гидравлическом расчете кольцевой водопроводной сети // Водоснабжение и водоотведение. 2012. №2. С. 54-56.
- [55]. Ван-Дайк М. Альбом течений жидкости и газа. – М.: Мир, 1986. 184 с.
- [56]. Хансуваров К.И., Цейтлин В.Г. Техника измерения давления, расхода, количества и уровня жидкости, газа и пара. – М.: Изд-во стандартов, 1990. 287 с.
- [57]. Уплотнительные устройства - Макаров Г. В
- [58]. Шевелев Ф.А. Исследование основных гидравлических закономерностей турбулентного движения в трубах. – М.: Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1953. 208 с.
- [59]. СП 30.13330.2012 Внутренний водопровод и канализация зданий. Актуализированная редакция СНиП 2.04.01-85*.
- [60]. Стрелков А.К., Зотов Ю.Н., Михайлова Н.Ю. Расчет гидравлических режимов работы внутренних систем
- [43]. Galperin Ye.M. Opredeleniye nadezhnosti funktsionirovaniya koltsevoy vodoprovodnoy seti // Vodosnabzheniye i santekhnika. 1989. №6
- [44]. Galperin Ye.M. Nadezhnost funktsionirovaniya koltsevoy vodoprovodnoy seti // Vodosnabzheniye i santekhnika. 1987. №4
- [45]. Galperin Ye.M. Nadezhnost i ekonomichnost koltsevyykh vodoprovodnykh setey // Vodosnabzheniye i santekhnika. 1991. №5
- [46]. Galperin Ye.M. Nadezhnyye raschety koltsevyykh vodoprovodnykh setey // Vodosnabzheniye i santekhnika. 2003. №8
- [47]. Galperin Ye.M. Nadezhnost sistemy vodosnabzheniya i vodootvedeniya. – Samara, SGASU, 2006.
- [48]. Galperin Ye.M. Nadezhnost i normy proyektirovaniya koltsevoy vodoprovodnoy seti // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitelstvo. 2016. S. 65-73.
- [49]. Galperin Ye.M. Metodika rascheta koltsevyykh SPRV i sootvetstvuyushchiye razdely SNiP 2.04.02-84 ne otrazhayut realnost i trebovaniya zhizni // Vodosnabzheniye i santekhnika. 1996. №8.
- [50]. Galperin Ye.M. Sovershenstvovaniye raschetnoy modeli funktsionirovaniya koltsevoy vodoprovodnoy seti (v poryadke obsuzhdeniya) // Vodosnabzheniye i santekhnika. 2010. №2.
- [51]. Galperin Ye.M., Bukhman N.S. Raschet nadezhnosti koltsevoy vodoprovodnoy seti // Vodosnabzheniye i santekhnika. 2017. №6
- [52]. Galperin Ye.M. O gidravlicheskom raschete koltsevoy vodoprovodnoy seti // Vodosnabzheniye i santekhnika. 2015. №12. S. 48-54.
- [53]. Galperin Ye.M. Raschet koltsevyykh vodoprovodnykh setey s uchetom nadezhnosti funktsionirovaniya / Ye. M. Galperin. – [Saratov]: Izd-vo Sarat. Un-ta, 1989. 102 s.
- [54]. Ye. M. Galperin, A.L. Luks, Ye.A. Krestin. Ob opredelenii poter napora v trubakh pri gidravlicheskom raschete koltsevoy vodoprovodnoy seti // Vodosnabzheniye i vodootvedeniye. 2012. №2. S. 54-56.
- [55]. Van-Dayk M. Albom techeniy zhidkosti i gaza. – M.: Mir, 1986. 184 s.
- [56]. Khansuvarov K.I., Tseytlin V.G. Tekhnika izmereniya davleniya, raskhoda, kolichestva i urovnya zhidkosti, gaza i para. – M.: Izd-vo standartov, 1990. 287 s.
- [57]. Uplotnitelnyye ustroystva - Makarov G. V
- [58]. Shevelev F.A. Issledovaniye osnovnykh gidravlicheskiy zakonov turbulentskogo dvizheniya v trubakh. – M.: Gosudarstvennoye izdatelstvo literatury po stroitelstvu i arkhitekture, 1953. 208 s.
- [59]. SP 30.13330.2012 Vnutrenniy vodoprovod i kanalizatsiya zdaniy. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.04.01-85*.
- [60]. Strelkov A.K., Zotov Yu.N., Mikhaylova N.Yu. Raschet gidravlicheskiy rezhimov raboty vnutrennikh sistem
- [61]. Zotova N.Yu. Zotov Yu.N. Strelkov A.K. Metodicheskoye obespecheniye gidravlicheskogo rascheta vnutrennikh

- водоснабжения в многоквартирных домах // Водоснабжение и сантехника. 2014.
- [61]. Зотова Н.Ю., Зотов Ю.Н., Стрелков А.К. Методическое обеспечение гидравлического расчета внутренних систем водоснабжения в многоквартирных домах // Водоснабжение и сантехника. 2013. №8. С. 15-21.
- [62]. Стрелков А.К., Зотов Ю.Н., Михайлова Н.Ю. Расчет расхода воды в системах водоснабжения многоквартирных домов // Научное обозрение. 2014. №2. С. 110-113.
- [63]. Кислякова Е.В. Алгоритм расчета короткого напорного трубопровода средствами MS Excel // Молодой ученый. 2016. №21 (125). С. 149-153
- [64]. Автушенко Н.А., Ленеvский Г.С. Моделирование систем горячего водоснабжения магистральных трубопроводов в среде MatCab // Вестник Белорусско-Российского университета. 2008. №1 (18). С. 105-113.
- [65]. Самарин О.Д. Гидравлические расчеты инженерных систем. - М.: Изд-во Ассоциация строительных вузов, 2014. 113 с.
- [66]. Миркин А.З., Усiньш В. В. Трубопроводные системы. Справочник. – М.: Химия, 1991. 256 с.
- [67]. Котов ЮТ, Барбул МЛ Методика расчета сложных систем для передачи вязкотекучих сред // Лесной вестник. 2014. №4. С. 198-205.
- [68]. Журавлева И.В., Бабкин В.Ф. Уточнение методики и модели гидравлического расчета водотоводящей сети // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2006. С. 71-76.
- [69]. Шаркова М. А. Обзор программных продуктов для проектирования систем водоснабжения и водоотведения // Информационно-телекоммуникационные системы и технологии. 2014. С. 212-213.
- [70]. Локтионова Е.А., Мифтахова Д.Р. Фильтрация жидкости в засоренных напорных трубопроводах // Инженерно-строительный журнал. 2017. № 8(76). С. 214-224.
- [71]. Латухина А.И., Локтионова Е.А., Полупанова Ю.Р. Гидродинамическое сопротивление сеток в напорных водоводах // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. 2016. №2. С. 174-180.
- [72]. Латухина А.И., Локтионова Е.А., Мифтахова Д.Р., Полупанова Ю.Р. Сопротивление и проницаемость напорных гидролиний с сетками // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. 2017. №2. С. 205-214.
- [73]. Philippe Colbach. Conception des réseaux de distribution d'eau potable // best INGENIEUR-CONSEIL. 2007.
- [74]. Mamadou NDIAYE, Alassane Amadou BAAL. CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT DU RESEAU D'ADDUCTION D'EAU POTABLE DE LA CITE SIPRES AL AZHAR DE RUFISQUE // SCRIBD. 2008/2009.
- [75]. Hajer Maazoun. Alimentation en eau potable // SCRIBD. 2014/2015.
- [76]. Ph. Dauge, Jc. Martin. Modélisation du comportement hydraulique et thermique des réseaux maillés // SCRIBD. 2016.
- [77]. Eddy RENAUD, Julie PILLOT, Aline AUCKENTHALER, Claire AUBRUN. RÉDUCTION DES PERTES D'EAU DES RÉSEAUX DE DISTRIBUTION D'EAU POTABLE GUIDE
- sistem vodosnabzheniya v mnogokvartirnykh domakh // Vodosnabzheniye i santekhnika. 2013. №8. S. 15-21.
- [62]. Strelkov A.K., Zotov Yu.N., Mikhaylova N.Yu. Raschet raskhoda vody v sistemakh vodosnabzheniya mnogokvartirnykh domov // Nauchnoye obozreniye. 2014. №2. S. 110-113.
- [63]. Kislyakova Ye.V. Algoritm rascheta korotkogo napornogo truboprovoda sredstvami MS Excel // Molodoy uchenyy. 2016. №21 (125). S. 149-153
- [64]. Avtushenko N.A., Lenevskiy G.S. Modelirovaniye sistem goryachego vodosnabzheniya magistralnykh truboprovodov v srede MatCab // Vestnik Belorussko-Rossiyskogo universiteta. 2008. №1 (18). S. 105-113.
- [65]. Samarin O.D. Gidravlicheskiye raschety inzhenernykh sistem. - M.: Izd-vo Assotsiatsiya stroitelnykh vuzov, 2014. 113 s.
- [66]. Mirkin A.Z., Usinsh V. V. Truboprovodnyye sistemy. Spravochnik. – M.: Khimiya, 1991. 256 s.
- [67]. Kotov YuT, Barbul ML Metodika rascheta slozhnykh sistem dlya peredachi vyazkotechkushchikh sred // Lesnoy vestnik. 2014. №4. S. 198-205.
- [68]. Zhuravleva I.V., Babkin V.F. Utochneniye metodiki i modeli gidravlicheskogo rascheta vodootvodyashchey seti // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitelstvo. 2006. S. 71-76.
- [69]. Sharkova M. A. Obzor programmnykh produktov dlya proyektirovaniya sistem vodosnabzheniya i vodootvedeniya // Informatsionno-telekommunikatsionnyye sistemy i tekhnologii. 2014. S. 212-213.
- [70]. Loktionova Ye.A., Miftakhova D.R. Filtratsiya zhidkosti v zasorenykh napornykh truboprovodakh // Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal. 2017. № 8(76). S. 214-224.
- [71]. Latukhina A.I., Loktionova Ye.A., Polupanova Yu.R. Gidrodinamicheskoye soprotivleniye setok v napornykh vodovodakh // Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbPU. Yestestvennyye i inzhenernyye nauki. 2016. №2. S. 174-180.
- [72]. Latukhina A.I., Loktionova Ye.A., Miftakhova D.R., Polupanova Yu.R. Soprotivleniye i pronitsayemost napornykh gidrolinii s setkami // Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbPU. Yestestvennyye i inzhenernyye nauki. 2017. №2. S. 205-214.
- [73]. Philippe Colbach. Conception des réseaux de distribution d'eau potable // best INGENIEUR-CONSEIL. 2007.
- [74]. Mamadou NDIAYE, Alassane Amadou BAAL. CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT DU RESEAU D'ADDUCTION D'EAU POTABLE DE LA CITE SIPRES AL AZHAR DE RUFISQUE // SCRIBD. 2008/2009.
- [75]. Hajer Maazoun. Alimentation en eau potable // SCRIBD. 2014/2015.
- [76]. Ph. Dauge, Jc. Martin. Modélisation du comportement hydraulique et thermique des réseaux maillés // SCRIBD. 2016.
- [77]. Eddy RENAUD, Julie PILLOT, Aline AUCKENTHALER, Claire AUBRUN. RÉDUCTION DES PERTES D'EAU DES RÉSEAUX DE DISTRIBUTION D'EAU POTABLE GUIDE

- [77].Eddy RENAUD, Julie PILLOT, Aline AUCKENTHALER, Claire AUBRUN. RÉDUCTION DES PERTES D'EAU DES RÉSEAUX DE DISTRIBUTION D'EAU POTABLE GUIDE POUR L'ÉLABORATION DU PLAN D' ACTIONS // astee. 2013.
- [78].Дербунович Г.И., Земская А.С., Репик Е.У., Соседко Ю.И. К вопросу о гидравлическом сопротивлении сеток // Ученые записки ЦАГИ. 1980. №2. С. 133-136.
- [79].Дербунович Г.И., Земская А.С., Репик Е.У., Соседко Ю.И. Гидравлическое сопротивление перфорированных решеток // Ученые записки ЦАГИ. 1984. №2. С. 114-118.
- [80].Великанов Н.Л., Корягин С.И., Наумов В.А. Гидродинамическое сопротивление решеток и сеток в прямом трубопроводе // Вестник машиностроения. 2014. №6. С. 44-47.
- [81].Пильгунов В.Н., Ефремова К.Д. 77-48211/645605 Верификации математических моделей типовых местных гидравлических сопротивлений // Инженерный вестник. 2013. № 11. С. 29-56.
- [82].Альтшуль А.Д. Гидравлические сопротивления. М.: Недра, 1982. 224 с.
- [83].Альтшуль А.Д., Калицун В.И. Гидравлическое сопротивление трубопроводов. М.: Стройиздат, 1975. 285 с.
- [84].Schlichting H. Ergebnisse und Probleme von Gitteruntersuchungen//ZFW. 1953. № 1, S. 109-122.
- [85].Loehrke R.L., Nagib H.M. Experiments on management of free-stream turbulence. 1972. AGARD Rep. 598.
- [86].Tan-Atichat J., Nagib H.M., Loehrke R.I. Interaction of free-stream turbulence scales//J. Fluid Mech. Vol. 114.
- [87].Baines W.D., Peterson E.G. An investigation of flow through screens//Transactions of the ASME, VII. 1951. 1982. Vol. 73, № 5.
- [88].Бредов В.И. Об определении величины местных гидравлических сопротивлений в трубопроводах. Гидравлика однородных и неоднородных жидкостей//Тр. МИСИ. 1972. Вып. № 89. С. 44-51.
- [89].Кожевникова Е.Н., Локтионова Е.А., Петриченко М.Р., Лаксберг А.И. Механика жидкости и газа (гидравлика): справочник. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. -90 с.
- [90].Idel'chik I.E. Handbook of hydraulic resistance 4th ed. rev. and augment-ed. United States: Begell House in Redding, CT, 2008. 881 p.
- [91].Шейпак А.А., Петров М.А. История формулы Дарси – Вейсбаха // Известия МГИУ. Естественные и технические науки. 2012. № 1(25). С. 55-58.
- POUR L'ÉLABORATION DU PLAN D' ACTIONS // astee. 2013.
- [78].Derbunovich G.I., Zemskaya A.S., Repik Ye.U., Sosedko Yu.I. K voprosu o gidravlicheskom soprotivlenii setok // Uchenyye zapiski TsAGI. 1980. №2. S. 133-136.
- [79].Derbunovich G.I., Zemskaya A.S., Repik Ye.U., Sosedko Yu.I. Gidravlicheskiye soprotivleniye perforirovannykh reshetok // Uchenyye zapisi TsAGI. 1984. №2. S. 114-118.
- [80].Velikanov N.L., Koryagin S.I., Naumov V.A. Hidrodinamicheskoye soprotivleniye reshetok i setok v pryamom truboprovode // Vestnik mashinostroyeniya. 2014. №6. S. 44-47.
- [81].Pilgunov V.N., Yefremova K.D. 77-48211/645605 Verifikatsii matematicheskikh modeley tipovykh mestnykh gidravlicheskiy soprotivleniy // Inzhenernyy vestnik. 2013. № 11. S. 29-56.
- [82].Altshul A.D. Gidravlicheskiye soprotivleniya. M.: Nedra, 1982. 224 s.
- [83].Altshul A.D., Kalitsun V.I. Gidravlicheskiye soprotivleniye truboprovodov. M.: Stroyizdat, 1975. 285 s.
- [84].Schlichting H. Ergebnisse und Probleme von Gitteruntersuchungen//ZFW. 1953. № 1, S. 109-122.
- [85].Loehrke R.L., Nagib H.M. Experiments on management of free-stream turbulence. 1972. AGARD Rep. 598.
- [86].Tan-Atichat J., Nagib H.M., Loehrke R.I. Interaction of free-stream turbulence scales//J. Fluid Mech. Vol. 114.
- [87].Baines W.D., Peterson E.G. An investigation of flow through screens//Transactions of the ASME, VII. 1951. 1982. Vol. 73, № 5.
- [88].Bredov V.I. Ob opredelenii velichiny mestnykh gidravlicheskiy soprotivleniy v truboprovodakh. Gidravlika odnorodnykh i neodnorodnykh zhidkostey//Tr. MISI. 1972. Vyp. № 89. S. 44-51.
- [89].Kozhevnikova Ye.N., Loktionova Ye.A., Petrichenko M.R., Laksberg A.I. Mekhanika zhidkosti i gaza (gidravlika): spravochnik. SPb.: Izd-vo Politekhn. un-ta, 2007. -90 s.
- [90].Idel'chik I.E. Handbook of hydraulic resistance 4th ed. rev. and augment-ed. United States: Begell House in Redding, CT, 2008. 881 p.
- [91].Sheypak A.A., Petrov M.A. Istoriya formuly Darsi – Veysbakha // Izvestiya MGIU. Yestestvennyye i tekhnicheskkiye nauki. 2012. № 1(25). S. 55-58.

Голощапова, А.А., Голощапова, Е.А., Ихлеф, С.Р. Водопроводные сети. Практика учета местных потерь напора // Alfabuild. 2019. № 2(9). С. 70-80.

Goloshchapova, A.A., Goloshchapova, E.A., Ikhlef, S.R. Water supply networks. The practice of accounting for local pressure losses. Alfabuild. 2019. 2(9). Pp. 70-80. (rus)

Water supply networks. The practice of accounting for local pressure losses

A.A. Goloshchapova¹, E.A. Goloshchapova², S.R. Ikhlef³

¹⁻³ Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia

Article info

review article

Abstract

Local pressure losses are caused by resistances in the armature, fittings and equipment, due to the narrowing and widening of the flow, changes in the flow direction, merging and separation of the flow, changes in the shape and size of the channel, etc. Analysis of various methods for calculating the coefficients of local resistance of pipelines in designing a circular pressure network of water supply is of practical interest from the point of view of energy costs when moving the liquid. Literary sources contain various formulas and tables for determining the coefficients of local resistances. However, the values found from these data give rather large discrepancies, even for simple cases of local resistances (retraction, rotation). In this regard, we have to state that the most reliable way to determine the coefficients of local pressure losses is the experiment.

Keywords:

coefficient of resistance, ring networks, local resistance, short pipelines, water supply networks

¹ Corresponding author

1. 9226367165; nastuwka.mail@mail.ru (Goloshchapova Anastasia, undergraduate)

2. 89080593352, lenochka05.10.95@mail.ru (Goloshchapova Elena, undergraduate)

3. +7(981)1933479, ikhlef.sonia17@gmail.com (Ikhlef Sonya, undergraduate)