

О. Д. Самарин, доцент, канд. техн. наук, НИУ МГСУ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПУАССОНА ДЛЯ РАСЧЕТА РАСХОДА ВОДЫ В СИСТЕМАХ ВНУТРЕННЕГО ВОДОПРОВОДА

Ключевые слова: внутренний водопровод, расход воды, водопотребление, водоразборный прибор

При определении расхода воды в водопроводных сетях горячего и холодного водоснабжения с целью их гидравлического расчета и подбора основного оборудования, например насосов, водосчетчиков и необходимой арматуры, следует учитывать, что водопотребление имеет как закономерную сезонную и суточную неравномерность, так и случайную (стохастическую). Это связано с практической независимостью функционирования отдельных потребителей воды, вследствие чего включение или выключение каждого водоразборного прибора можно с хорошей точностью рассматривать как случайное событие. Именно поэтому для вычисления расчетных расходов воды с требуемой обеспеченностью водоснабжения наиболее плодотворным является вероятностный подход.

Если обозначить число одновременно включенных водоразборных приборов величиной m , а вероятность их действия, которая определяется общим числом приборов, максимальным секундным расходом через прибор и максимальным часовым водопотреблением как P , тогда m должно определяться через произведение NP , являющееся математическим ожиданием для m . Параметр N равен суммарному

числу водоразборных приборов, обслуживаемых рассматриваемым участком водопроводной сети. Именно такой подход декларируется в действовавшем ранее СНиП 2.04.01 85 «Внутренний водопровод и канализация» зданий, где по величине NP вычисляется поправочный коэффициент α к секундному или часовому расходу диктующего водоразборного прибора. Этот коэффициент имеет физический смысл значения

m , деленного на 5, при расчетной необеспеченности подачи воды, равной 0,00135.

В то же время актуализированная редакция СНиП 2.04.01–СП 30.13330.2012 содержит сведения только по среднесуточным и часовым расходам, а конкретные предложения по вычислению расчетных расходов в ней отсутствуют. Однако в соответствии с федеральными законами «О техническом регулировании» и «Технический регламент "О безопасности зданий и сооружений"» это означает, что такие расходы могут определяться по любой опубликованной и обоснованной методике, в том числе и по СНиП 2.04.01, поэтому анализ и уточнение соответствующих рекомендаций сохраняет смысл. Похожие соображения высказывались еще на этапе разработки СП 30.13330.2012 в публикации [1]. В последнее время появляются и другие публикации, посвященные рассматриваемому вопросу, например [2, 3], однако они построены на нескольких иных принципах, касающихся в большей степени конструктивных и юридических аспектов, поэтому дальнейшее развитие вероятностно-статистического подхода также представляется целесообразным. Следует сказать, что корректное определение расчетных расходов воды имеет существенное значение в первую очередь с точки зрения оценки затрат водных и энергетических ресурсов, особенно в системах горячего водоснабжения, что отмечается не только в отечественных, но и в зарубежных источниках и нормативных документах [4–6].

Заметим, что случайные события, связанные с включением и выключением водоразборных приборов, являются, вообще говоря, дискретными, и такой же, соответственно, оказывается и случайная величина m . Поэтому для расчета ее распределения необходимо применять биномиальную схему. Однако в большинстве случаев для внутренних сетей холодного и горячего водоснабжения жилых зданий имеет место неравенство $P < 0,1$. Поэтому для оценки значений m и α можно попытаться воспользоваться пуассоновским распределением для m . Тогда вероятность P_0 одновременного включения m приборов, как известно, описывается выражением [7]:

$$P_0 = \frac{(NP)^m}{m!} \exp(-NP), \quad (1)$$

где символ $m!$ означает факториал числа m , т. е. произведение всех натуральных множителей от 1 до m .

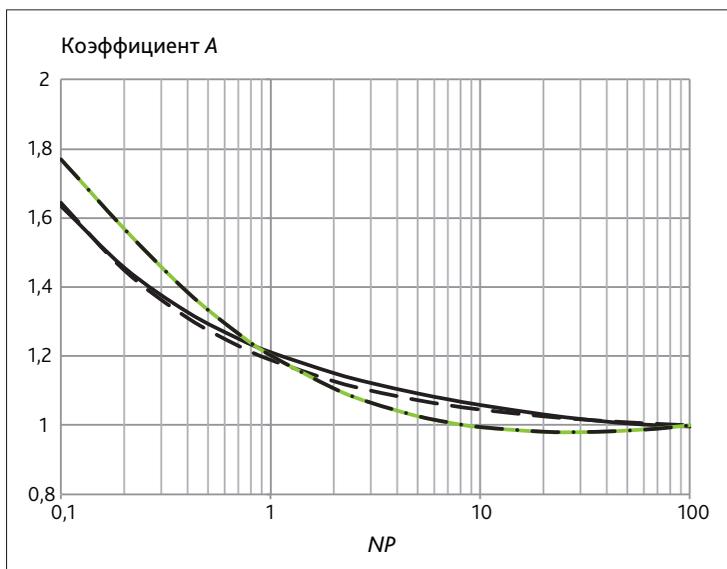


Рис. 1. Зависимость поправочного коэффициента A от NP (сплошная линия – по СНиП 2.04.01, пунктир – аппроксимация по [8, 9]; штрихпунктир – численный расчет).

Он может быть выражен через гамма-функцию от величины $m + 1$:

$$m! = \Gamma(m + 1)$$

Вообще говоря, необходимо заметить, что обычно пуассоновское распределение считается хорошим приближением действительного биномиального только при сравнительно малой величине математического ожидания, примерно для $NP < 10$ [7]. Однако в данном случае расчеты показывают, что достаточно близкое совпадение получается и для значительно больших значений этого параметра, охватывающих всю интересующую нас область.

Если теперь заменить гамма-функцию асимптотическим разложением Стирлинга, от (1) можно перейти к распределению непрерывной случайной величины – расчетного расхода воды, после чего значение P_0 , соответствующее текущему значению расхода, определяется численным интегрированием. Заметим, однако, что, поскольку обеспеченность водоснабжения фактически задана, на самом деле нас интересует главным образом обратная задача, а именно поиск m , отвечающего требуемому уровню P_0 . На рис. 1 приведены результаты расчетов для поправочного коэффициента A , вводимого к базовому соотношению для α , получающемуся при нормальном распределении, справедливом в случае больших NP [7–9]:

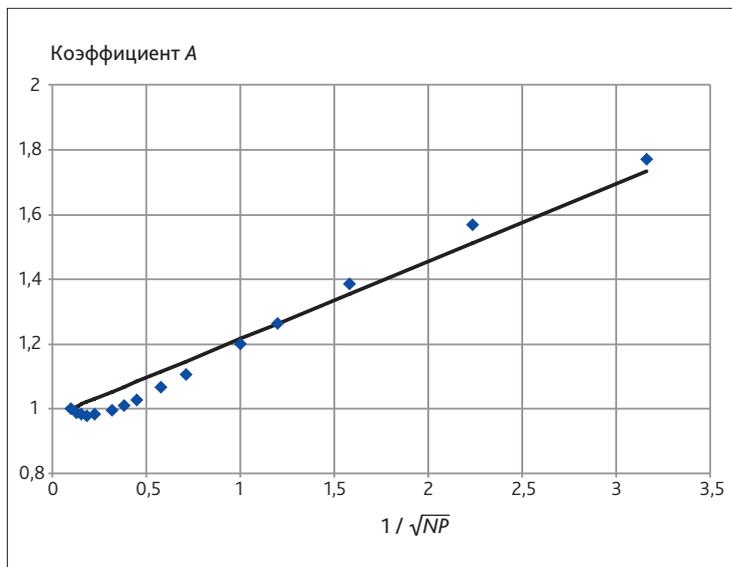


Рис. 2. Зависимость поправочного коэффициента А к формуле (2) от $1/\sqrt{NP}$ (точки – расчет, линия – аппроксимация по выражению (3))

$$\alpha = 0,2(NP + 3\sqrt{NP}). \quad (2)$$

Изменение величины А в случае пуассоновской схемы достаточно удовлетворительно описывается следующим выражением (рис. 2):

$$A = 0,976 + 0,24/\sqrt{NP}. \quad (3)$$

Для сравнения аппроксимация данных табл. 2 приложения 4 СНиП 2.04.01 дает для А выражение в виде: $0,979 + 0,21/\sqrt{NP}$ [8, 9], погрешность которого не превышает $\pm 2\%$ (см. рис. 1). Отсюда следует, что числовые коэффициенты отличаются от имеющихся в (3) очень мало. При этом сама получаемая зависимость имеет тот же самый вид, хотя, судя по рис. 2, при использовании распределения Пуассона отклонение точек от аппроксимирующей прямой несколько больше – до 5%. Тем не менее такая величина тоже заведомо лежит в пределах погрешности инженерного расчета, поэтому подобную ошибку можно считать несущественной.

Полученный результат свидетельствует о том, что пуассоновское приближение достаточно адекватно отражает основные особенности колебаний действительного водопотребления в системах внутреннего водопровода при малой вероятности действия отдельных водоразборных приборов. При этом как качественное, так и количественное совпадение с данными СНиП 2.04.01 оказывается не хуже, чем

при использовании нормального распределения, несмотря на то что в рассматриваемой области изменения параметров значение произведения NP может быть значительно выше, чем обычно рекомендуется для условий применимости распределения Пуассона. По-видимому, это можно объяснить тем, что критерий $P < 0,1$, который в рассматриваемой задаче безусловно выполняется, играет более существенную роль, чем величина NP . Одновременно получаем дополнительное подтверждение теоретической обоснованности рекомендаций по определению расчетных расходов воды, приведенных в приложении 4 СНиП 2.04.01 и возможность использования аппроксимационной формулы для А, предложенной в [8, 9].

Литература

- Исаев В. Н., Мхитарян М. Г., Пупков М. В. Актуализация сводов норм и правил, регулирующих водоснабжение и водоотведение // Сантехника. 2009. № 4. С. 44–46.
- Стрелков А. К., Зотов Ю. Н., Михайлова И. Ю. Об оптимизации внутренних систем водоснабжения при проектировании // Научное обозрение. 2014. № 4. С. 98–101.
- Стрелков А. К., Зотов Ю. Н., Зотова И. Ю. Методическое обеспечение гидравлического расчета внутренних систем водоснабжения в многоквартирных домах // Водоснабжение и санитарная техника. 2013. № 8. С. 15–21.
- Gabrielaitiene I. Numerical simulation of a district heating system with emphases on transient temperature behavior. Pap. of the 8th International Conference «Environmental Engineering», May 19 20, 2011. Vilnius: Lithuania, 2011. V. 2. P. 747–754.
- Kapalo P. Energy efficiency buildings. Energy for hot water // Technical University of Košice. 2008. P. 223–225.
- EN 15316 3 2 Heating systems in buildings—Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies // Part 3–2: Domestic hot water systems, distribution.
- Мацкевич И. П., Свирид Г. П. Высшая математика: Теория вероятностей и математическая статистика. – Минск: Вышэйшая школа, 1993.
- Самарин О. Д. Определение расчетных расходов воды и коэффициентов часовой неравномерности ее потребления в системах холодного и горячего водоснабжения // Вестник МГСУ. Спецвыпуск 2009. № 2. С. 526–534.
- Самарин О. Д. Вычисление расчетных расходов воды в системах холодного и горячего водоснабжения // Сантехника. 2009. № 1. С. 10–12.