

В.Н.Исаев, профессор МГСУ, М.Г.Мхитарян, доцент МГУП. Методика расчета водопроводов и практика проектирования основаны на концепции бесперебойного обеспечения потребителя водой при минимальных строительных затратах. Это обуславливает расчет системы только на предельные режимы работы (час максимального водопотребления), продолжительность которых крайне незначительна по сравнению с длительным периодом эксплуатации водопровода (15—50 лет).

Важные эксплуатационные параметры (нормы расхода холодной, горячей воды) даны в как справочные (не расчетные) для технико-экономической оценки проектов. Эти нормы приведены для осредненных условий эксплуатации и включают потери воды (25 %), которые определяются сложившимися условиями эксплуатации, конструкцией и качеством серийной водоразборной арматуры (смесителей, поплавковых клапанов смывных бачков и т. д.).

Такой подход к проектированию сформировался в условиях изобилия водных ресурсов и интенсивного развития строительства, требовавших быстрых и дешевых технических решений. Поэтому главным критерием совершенства проектов являлась минимальная материалоемкость и сметная стоимость.

В результате такой концепции и критериев оценки проектов наибольшее распространение получили внутренние водопроводы с дешевым оборудованием низкого качества, дающим значительные потери воды, а прогрессивные водосберегающие схемы водопроводов не вышли из стадии экспериментального проектирования .

В настоящее время при реализации основных направлений развития народного хозяйства, переходе от экстенсивных к интенсивным методам производства, обострении вопросов экологии, охраны окружающей среды возрастает важность рационального проектирования систем водоснабжения, в котором расчетные расходы являются первым, основополагающим этапом, определяющим технические параметры системы, эксплуатируемой в течение длительного периода. Экономия природных, материальных, энергетических и трудовых ресурсов требует изменения концепции создания систем водоснабжения и канализации: перехода от создания наименее материалоемких систем с минимальной сметной стоимостью к разработке систем с минимальными потерями воды, тепловой и электрической энергии, приносящими наименьший ущерб окружающей среде в процессе длительной эксплуатации системы, требующих незначительных материальных затрат на монтаж и обслуживание. Только при таком подходе народное хозяйство сможет

сократить затраты на эксплуатацию многочисленных водопроводных систем, которые значительно (в 3—7 раз) превосходят затраты на монтаж, и освободившиеся средства направить на их развитие и совершенствование.

Методика определения расчетных расходов, отвечающая современной концепции, должна выделять технологическую потребность (полезные расходы) и потери воды, которые складываются из утечек, нерациональных расходов и сливов .

В новых условиях одинаково опасно завышение и занижение расходов: первое приведет к скрытию потерь воды и увеличению материалоемкости систем, второе — к перебоям в подаче воды и нарушению гидравлического режима. Поэтому методика расчета и проектирования должна как можно точнее отражать сложный многофакторный процесс реального водопотребления. Логическая (качественная) оценка этого процесса показывает, что технологическая потребность в наиболее распространенном хозяйственно-питьевом водопроводе является случайной величиной, зависящей от количества потребителей (И), режима работы (жизни), числа приборов (N) и вида санитарно-технического оборудования, частоты и продолжительности пользования оборудованием, секундного , часового , суточного расходов, необходимых для удовлетворения технологических (хозяйственных и гигиенических) процедур, требований к бесперебойности подачи воды обеспеченности .

Технологическая потребность неравномерна в течение суток. Она реализуется через включение водоразборных точек (приборов) внутреннего водопровода в определенные периоды суток . В системе водоснабжения технологическая потребность проявляется в виде определенных технологических расходов, которые должны проходить через заданное сечение трубопроводов (системы). Как любая случайная величина, она изменяется в интервале около среднего значения ($q_{\text{средн.}}$). Величина отклонения от среднего, обусловленная случайной составляющей процесса, зависит от числа приборов (потребителей), расхода одного прибора , относительной продолжительности пользования прибором — вероятности его действия .

При малом числе приборов случайная составляющая (отклонение) значительно больше среднего значения. При увеличении числа приборов доля случайной составляющей уменьшается, а доля среднего — увеличивается. При бесконечно большом числе потребителей случайная составляющая будет равна 0.

Расход одного прибора может изменяться в значительных пределах (0,07—1,6 л/с) в зависимости от назначения и вида санитарного прибора. При одном потребителе технологический расход равен расходу прибора. При большем числе потребителей из всех установленных на системе приборов в

определенный момент времени включается только их часть , т. к. потребность в воде у различных потребителей не совпадает во времени. Поэтому технологические расходы меньше, чем сумма расходов отдельных приборов. При увеличении числа приборов относительное количество включенных приборов уменьшается и влияние секундного расхода сокращается. При увеличении продолжительности использования возрастает число одновременных пользований, что увеличивает технологические расходы в системе.

В зданиях с централизованным горячим водоснабжением технологическая потребность формируется из двух водопроводов: холодной и горячей воды . В связи с тем что потребитель пользуется смешанной водой определенной температуры, технологическое водопотребление холодной и горячей тесно связаны. Соотношение расходов холодной и горячей воды зависит в основном от температуры горячей воды.

В процессе длительной эксплуатации количество потребителей и санитарных приборов в зданиях изменяется незначительно, поэтому технологическая потребность в воде во внутреннем водопроводе зданий практически постоянна. Для наружного (городского) водопровода, к которому постоянно присоединяются новые здания и потребители, технологическая потребность постоянно возрастает во времени.

Утечки воды — это потери, обусловленные продолжительным истечением воды через нарушения герметичности в элементах водопровода (поплавковых клапанах, смесителях, трубопроводах, резервуарах и т. д.). Величина утечек зависит от количества мест повреждений, их сечения, давления перед местом утечки.

Количество (и сечение) мест повреждений определяется надежностью элемента (вероятность безотказной работы), числом элементов.

Процесс повреждения элементов, зависящий от износа оборудования и трубопроводов, очень медленный во времени, проявляющийся в течение десятков месяцев, лет. Поэтому в суточном водопотреблении изменение величины утечек очень незначительно, и число поврежденных элементов может быть принято постоянным, а не случайным в данный момент времени.

Давление оказывает значительное влияние на величину утечки. Это приводит к увеличению утечек в часы минимального водопотребления (в ночные часы), когда давление в системе максимально , и уменьшению их в часы максимального водопотребления , сопровождающиеся снижением давления. Суточный график утечек поэтому имеет форму, обратную графику технологического водопотребления .

При увеличении числа потребителей (зданий) утечка возрастает, т. к. повышается давление в водопроводных сетях и, следовательно, на вводах перед отдельными зданиями.

В процессе длительной эксплуатации величина утечки, как правило, возрастает, особенно при плохой эксплуатации, что связано с износом оборудования и трубопроводов .

Нерациональные расходы воды возникают в процессе удовлетворения потребности в воде, когда из водопровода подается больше воды, чем требуется для технологических процедур. Нерациональные расходы зависят от совершенства водоразборной арматуры (подача воды только в те периоды, когда она необходима), избыточного давления перед арматурой. Нерациональные расходы во времени совпадают с технологическим водопотреблением и изменяются незначительно в процессе эксплуатации.

Сливы воды возникают при нарушении качественных показателей воды: снижение температуры горячей воды, увеличение цветности, появление запаха, привкуса и т. п. Они обусловлены нарушением технологических режимов нагрева, подготовки, хранения воды и предшествуют по времени проведению технологических процедур. Нарушение качества воды вызывает жалобы жильцов, что заставляет эксплуатацию в течение нескольких дней ликвидировать причину сливов.

Общее водопотребление в здании, микрорайоне, регистрируемое счетчиком воды на вводе, является суммой вышеуказанных разнородных процессов. Основной частью общего водопотребления является технологическое водопотребление, которое и определяет характер общего водопотребления как случайного процесса. Соотношение составляющих водопотребления значительно изменяется в течение суток : в часы максимального водопотребления преобладает технологическое водопотребление , в часы минимального — потери. В среднем суточном водопотреблении величина потерь значительно выше, чем в часы максимума.

Следует отметить, что в процессе эксплуатации расходы в часы максимального водопотребления будут изменяться незначительно , в то время как средние расходы могут сильно возрасти при нерегулярной профилактике арматуры и повышенных давлениях в водопроводной сети.

Общее водопотребление на объекте зависит от множества факторов, основными из которых являются количество и вид потребителей, требования к бесперебойности подачи воды, число и тип санитарно-технического оборудования, режим и нормы водопотребления, давление в системе, надежность водоразборной арматуры, срок эксплуатации системы и уровень ее обслуживания, определяющие величину потерь.

Часовые отклонения расходов от среднего, а следовательно, и дисперсия общего водопотребления в основном определяется режимом технологического (полезного) водопотребления, имеющего резко выраженные «пики» и «провалы» в соответствии с режимом жизни потребителя.

Большое количество факторов, влияющих на водопотребление, требует значительных объемов экспериментальных исследований и затрудняет создание достоверной математической модели.

Вышеприведенное качественное описание процесса водопотребления справедливо и для водопроводов другого назначения (производственных, поливочных и т. д.). В них технологическая потребность, связанная с производственными процессами, более определена и проста, чем в хозяйственно-питьевом водопроводе, что упрощает математическую модель.

Вышеизложенная качественная модель водопотребления выделяет полезные расходы (технологические расходы), необходимые потребителю, и потери воды, которые должны быть сведены к минимуму уже на стадии проектирования, особенно на первом этапе — определении расчетных расходов (нагрузок).

Для выбора методики определения расчетных расходов, отвечающей современной концепции ресурсосбережения, охраны и рационального использования водных объектов, реализации реформы ЖКХ, снижения издержек на эксплуатацию произведем сравнение различных методик. При анализе методик следует отдать предпочтение более подробным, сложными, поэтому более точным методикам. Вычислительные трудности, возникающие при их реализации на современном уровне развития ЭВМ, не могут быть препятствием для использования их в практике проектирования.

Наибольшее число факторов (более 15) учитывает модель, разработанная в НИИ санитарной техники, ЦНИИЭП инженерного оборудования, МосжилНИИпроекте, МИСИ. Она основана на большом экспериментальном материале (более 250 объектов), хорошо согласуется с данными отечественных и зарубежных исследований. Достоверность основных положений этой методики подтверждена также многолетней практикой проектирования.

Фундаментальные исследования канд. техн. наук Л. А. Шопенского, проведенные на объектах различного назначения, и детальный анализ режима работы отдельных водоразборных приборов и системы водоснабжения зданий, районов в целом позволили создать математическую модель, описывающую как водопотребление в период

максимальной нагрузки, так и в остальные часы суток. Обе части модели связаны в единое целое коэффициентом часовой неравномерности $K_{ч}$.

В период максимальной нагрузки выведены основные закономерности случайного процесса водопотребления, который на начальных участках дискретен и по мере увеличения числа потребителей превращается в непрерывный процесс, который описывается законом нормального распределения. При малом количестве потребителей случайный процесс очень сложен, хаотичен. Его можно описать несколькими законами распределения. Наиболее приемлемым по физической природе является биномиальный закон, который при увеличении числа потребителей трансформируется в закон Пуассона и затем в нормальный. На основании исходных данных (q_i , t_i , P_i , $N_i...$) и законов распределения, наиболее близких к реальному процессу водопотребления, модель позволяет определять расчетные расходы с заданной обеспеченностью. Авторы определили влияние каждого из основных факторов в различных сечениях водопровода: при одном потребителе расход в системе равен расходу прибора (q_0) и случайная составляющая в этом примере максимальна к средней (коэффициент вариации). По мере увеличения числа приборов (потребителей) доля случайной составляющей уменьшается. При среднем числе приборов (100—10 000) расход зависит от вероятности действия и количества приборов. При числе приборов более 100 000 происходит значительное осреднение расходов и средние расходы составляют основную часть (80—90 %) расчетных расходов.

Нерациональные расходы в системе могут быть оценены в зависимости от давления в водопроводе.

Утечки воды, являющиеся постоянной величиной в час наибольшего водопотребления, которая суммируется со средним расходом, что еще больше увеличивает их долю в расчетных расходах, определяются в зависимости от давления в системе и срока службы арматуры.

Модель дает возможность определения расчетных расходов в зависимости от давления (этажности) здания и секундного расхода одного прибора.

Водопотребление в течение суток в данной модели представлено ранжированными и интегральными графиками водопотребления. В результате обработки большого количества суточных графиков водопотребления получена универсальная зависимость $\theta = T_k$, которая позволяет описывать графики различной формы (при соответствующей корректировке K). На основе этой зависимости можно определить величину регулирующей емкости при различных режимах водопитателей (насосных установок) и водопотребителей, а также оценивать энергопотребление.

Статистическая обработка и сопоставление графиков потребления холодной и горячей воды позволило выявить соотношение технологических расходов и на основе этого выделить часовые утечки воды в холодном водопроводе. Использование интегральных графиков для анализа водопотребления дало возможность определять утечки и сливы воды. На основе исследований надежности водоразборной арматуры получены зависимости величины потерь и суточных расходов от этих величин.

Преимуществом данной методики является ее универсальность, большое количество учитываемых факторов, возможность выделить составляющие процесса водопотребления, в том числе и потери воды, возможность оценивать новые водосберегающие технические решения, что дает проектировщику возможность многовариантного расчета для выбора наиболее оптимального по затратам водо- и энергоресурсов варианта.

К недостаткам ее следует отнести отсутствие зависимостей по сливу недогретой или остывшей воды при разрегулированной циркуляции горячего водопровода; использование осредненного давления (на вводе в здание); невозможность табулирования всех многовариантных расчетов (вторая сторона преимущества), что усложняет расчеты проектировщику вследствие большого математического аппарата.

Для возможности использования модели в практике проектирования была предложена упрощенная модель, которая положена в основу СНиПа.

В связи с необходимостью ручного счета количество факторов было уменьшено до пяти, а остальные приняты постоянными для средних по стране условий водопользования: среднее давление, обеспеченность — 0,992...0,983, средняя заселенность.

Упрощение методики, вызванное необходимостью ручного счета, сократило возможности модели, но позволило решать основную проектную задачу: определение максимальных (расчетных) секундных и часовых расходов, по которым определяются диаметры трубопроводов и типоразмеры оборудования.

Номограммы и расчеты обеспечили возможность определения величин расходов с минимальными затратами времени без проведения дополнительных вычислений.

Методика, разработанная в МосводоканалНИИпроекте, базируется на статистической обработке общих графиков водопотребления, измеренных на водопроводных вводах. Авторы предложили рассматривать общее водопотребление (технологическое и потери) как сумму двух процессов, двух составляющих: детерминированной, учитывающей периодический характер измерения расходов в соответствии с ритмом деятельности

потребителей (осредненный график водопотребления), и случайной, учитывающей случайные отклонения от детерминированного расхода.

Исходными данными (параметрами) этой модели являются удельный средний за год расход воды (q) и количество потребителей (приборов) .

На основе обработки экспериментальных данных была определена эмпирическая зависимость между величиной дисперсии расхода (отклонением от среднего значения) и исходными данными для различных временных интервалов. Принимая нормальный закон распределения вероятностей случайных расходов (а на начальных участках — усеченный нормальный) авторы определяют функции распределения расходов при рассчитанной дисперсии . Из этих функций по заданной обеспеченности находят расчетные расходы для временных интервалов различной продолжительности (сутки, час и менее). Поскольку для любого набора исходных данных методика однозначно определяет дисперсию и связанный с ней коэффициент неравномерности, была предложена для проектирования водопроводов таблица , полученная в результате реализации на ЭВМ сложных формул математической модели.

Преимуществом данной методики является универсальность, небольшое количество исходных данных и простота исполнения, сопоставимая с номограммами СНиП и таблицами . Универсальность методики, по мнению авторов, позволяет определить расчетные расходы во всех типах зданий, наружном и внутреннем водопроводах, а также потери давления, затраты электроэнергии.

К недостаткам модели следует отнести следующее. Основной параметр данной методики — удельный средний расход за год — включает значительные потери воды , которые невозможно отделить от полезного расхода. Поэтому ее можно использовать только для описания сложившегося водопотребления. Оценить новые технические решения по экономии воды с ее помощью принципиально невозможно. Принятое авторами положение об однозначной связи дисперсии и удельного расхода противоречит реальному процессу водопотребления. Например, среднему расходу 5,5 л/чел.•ч (135 л/чел.•сут.) могут соответствовать потери 0,5—15 л/чел.•ч (утечка через один смывной бачок), и общие (суммарные) расходы будут изменяться от 6 до 25,5 л/чел.•ч, т. е. более чем в 4 раза, а дисперсия, определяемая в основном технологическим расходом, практически не изменится. Более того, может быть и обратная ситуация: одному расходу (5,5 л/чел.•ч) соответствуют различные дисперсии — коэффициенты часовой неравномерности: в жилых зданиях 1,5—2,0, а в бытовых помещениях промпредприятий — 2,5—3,0.

Вызывает сомнение универсальность математической модели и методики, т. к. экспериментальные материалы, положенные в их основу, в подавляющем большинстве (80 %) относятся к жилым зданиям (наиболее

изученным). Поэтому достоверность методики и возможность ее использования для описания водопотребления обоснованы только для этого вида зданий или других зданий, имеющих аналогичное санитарно-техническое оборудование и режим эксплуатации. Для других типов зданий (более 40 наименований), с существенно отличающимися режимами работы и характеристиками оборудования, потребуются дополнительные обширные исследования процесса водопотребления для выявления зависимости дисперсий от удельного расхода в каждом типе зданий.

Вышеуказанные принципиальные недостатки вместе с минимальным количеством учитываемых факторов (два) привело к значительному огрублению модели и снижению точности описания процесса до такой степени, что на начальных участках расчетные расходы получились меньше расхода одного прибора, что противоречит реальному водопотреблению.

Кроме того, занижение расчетных расходов на этих участках может привести к нарушению гидравлической устойчивости системы, особенно в зданиях с централизованным водопроводом горячей воды. При этом наблюдается резкое снижение давления перед водоразборной арматурой при открытии дополнительных приборов, что приводит к резким колебаниям расхода и температуры воды, выходящей из смесителей. Для устранения этого недостатка авторы предлагают прибавлять к вычисленному значению секундный расход прибора, что является искусственным приемом приближения модели к реальному процессу, снижает точность расчетов и экономичность проектов. При большом числе потребителей, где процесс описывается теми же законами, что и в методике СНиПа, наблюдается завышение расходов. Это происходит потому, что в расчетные расходы включены потери воды, которые возрастают из-за повышения среднего давления в сетях водопровода, протяженность которых возрастает с ростом числа потребителей. Наличие значительных потерь воды в удельных средних за год расходах логично приводит к увеличенным расходам во внутреннем водопроводе холодной воды, где имеются большие утечки через поплавковые клапаны. Однако такой подход узаконивания потерь воды (вместо их устранения) не может быть принят в практику проектирования в условиях экономии ресурсов.

Методика определения суточного водопотребления, разработанная НИИКВОВ АКХ, позволяет вычислить суточные расходы (на вводах в здание) в зависимости от степени благоустройства зданий, величины удельного часового ночного расхода для средней заселенности квартир. Авторы произвели качественную оценку процесса водопотребления, выделили основные факторы, определяющие водопотребление, и на основе статистической обработки суточных графиков водопотребления (457 объектов) определили коэффициенты регрессии для каждого из вышеперечисленных факторов. На основе данных исследований разработаны рекомендации по установлению эксплуатационных норм.

Преимуществом данной методики является выделение полезных расходов и потерь, возможности оценки осредненного полезного водопотребления и потерь, качества эксплуатации систем и эффективности различных проектных решений.

К недостаткам следует отнести невысокую точность определения расходов, отсутствие данных отдельно по холодной и горячей воде, невозможность применения ее к зданиям других типов, отсутствие учета динамики водопотребления при износе системы и в зависимости от качества санитарно-технического оборудования.

Выводы

1. Новые социально-экономические условия требуют развития и совершенствования методики определения расчетных расходов во внутренних водопроводах здания.
2. Методика СНиП 2.04.01-85* основана на наиболее развитой теории водопотребления, разработанной канд. техн. наук Л. А. Шопенским и сотрудниками кафедрой «Водоснабжение» МИСИ (МГСУ), что позволяет усовершенствовать ее в первую очередь в направлении расчета суточных расходов с выделением потерь воды в зависимости от условий водопользования (давления, срока эксплуатации, качества водопроводной арматуры).
3. Для обеспечения высокой точности расчетов и рационального использования ЭВМ в проектировании необходимо на основе вышеуказанной методики разработать единый комплекс программ для определения расчетных расходов («машинный» СНиП) как элемент программного обеспечения «Внутренний водопровод».
4. Следует разработать методики оценки качества проектов с позиций водо-, теплоэнергосбережения, опираясь на усовершенствованную методику СНиПа, и внедрить в практику проектирования систему материального стимулирования экономии природных ресурсов и энергии.

Литература

1. *СНиП 2.04.01-85*. Внутренний водопровод и канализация.*
2. *Целевая комплексная програма «Экономия и рациональное использование водных ресурсов в г. Москве и повышение надежности ее водообеспечения на период до 2000 года» / МосводоканалНИИпроект. М., 1988.*
3. *Исаев В. Н., Сангмамадов Ф. Развитие нормативной базы внутреннего водопровода // Водоснабжение и санитарная техника. 1993. № 1. С. 6—9.*

4. *Шопенский Л. А. Исследования режимов работы водопроводов жилых зданий: Автореф. дис... канд. техн. наук. М., 1968.*
5. *Шопенский Л. А., Юрьева И. П. Построение расчетных графиков водопотребления // Санитарная техника. Сб. науч. тр. М.: НИИ санитарной техники, 1970. Вып. 34. С. 27—32.*
6. *Шопенский Л. А., Кожина А. Л. Совершенствование норм водопотребления для жилых здания // Водоснабжение и санитарная техника. 1985. № 11. С. 25—27.*
7. *Гейнц В. Г. О расчете обеспеченности расходов воды в системах водопроводов жилых зданий // Санитарно-техническое оборудование. Сб. науч. тр. М.: НИИ санитарной техники, 1972. Вып. 37. С. 46—48.*
8. *Гейнц В. Г., Обельченко И. О. Об определении размеров утечек в водопроводах жилых зданий // Отопительное оборудование, санитарно-технические приборы и арматура. Сб. науч. тр. М.: НИИ санитарной техники, 1974. Вып. 34. С. 54—58.*
9. *Мхитарян М. Г. Совершенствование водоснабжения микрорайонов с целью сокращения потерь воды: Автореф. дис... канд. техн. наук. М., 1988.*
10. *Инструкция по проектированию внутренних систем водоснабжения и канализации жилых и общественных зданий / ЦНИИЭПИО. М., 1978.*
11. *Вербицкий А. С., Лякмунд А. Л. Интегральные функции распределения расходов воды. Инженерное обеспечение строительства // Экспресс-информация. М.: ВНИИИС, 1986. Вып. 2. С. 2—10.*
12. *Рекомендации по определению расходов воды в системах холодного и горячего водоснабжения // Экспресс-информация. М., 1987. Вып. 1, 2. (Строительство и архитектура).*
13. *Майзельс М. П., Мордясов М. А. Величина удельного водопотребления в жилых зданиях в зависимости от влияющих факторов // Водопотребление и вопросы проектирования, эксплуатации систем коммунального водоснабжения. Сб. науч. тр. М.: ОНТИ АКХ, 1978. С. 3—18.*
14. *Методика определения эксплуатационных норм водопотребления / МЖКХ СССР. М., 1981.*

Метки: Анализ методик определения расходов во внутреннем водопроводе