

УДК 628

О.А. КОЧЕТОВаспирант кафедры водоснабжения и водоотведения
Вологодский государственный технический университет**ПОСТРОЕНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОСТОГО ТРУБОПРОВОДА ПРИ НАЛИЧИИ УТЕЧЕК ПО ЕГО ДЛИНЕ***BUILDING A SIMPLE MODEL OF HYDRAULIC PIPELINE LEAK IN THE PRESENCE OF ITS LENGTH*

Определение скрытых утечек воды из централизованных систем водоснабжения является серьезной проблемой для различных коммунальных служб. Большое количество скрытых утечек ведет к большим материальным и физическим расходам на восстановительные и другие работы. Это показывает необходимость в оперативном определении скрытых утечек, используя не только специальные дорогостоящие приборы, но и полагаясь на имеющиеся данные теоретически смоделировать наличие факта и места утечки.

Ключевые слова: водоснабжение, утечки, моделирование, эксперимент, числа подобия.

Состояние системы централизованного водоснабжения влияет на качество жизни населения. При высокой изношенности происходит большее количество аварий на водоводах, что приводит к перебоям в поставке воды потребителям и возникновению угрозы заражения воды через места утечек.

По данным различных международных организаций величина неучтенных расходов и потерь воды в странах с эффективным управлением систем водоснабжения составляет 10-20 % от подаваемого объема воды, в странах с устаревшей системой водоснабжения они могут превышать 70 %. Эта информация была обобщена в [1].

В Российской Федерации централизованным водоснабжением пользуется 108 млн. человек (2/3 населения), проживающих в 1104 городах, 1465 поселках городского типа и 45757 сельских населенных пунктах. Удельный вес городов, имеющих водопровод, составляет 99 %, поселков городского типа – 92 %, сельских населенных пунктов – 31 %.

Низкий уровень надежности в работе систем жизнеобеспечения обусловлен в основном неудовлетворительным состоянием инженерных коммуникаций и оборудования.

Ежегодно в системах водоснабжения происходит около 195 тыс. отказов с аварийными ситуа-

Determination of hidden water leaks from the centralized water supply is a major concern for the various utilities. A large number of hidden leaks leads to greater financial and physical costs of remediation and other works. This shows the need for an operational definition of hidden leaks, using not only special expensive equipment, but also relying on the available data is theoretically modeled and the fact of the leak.

Key words: water supply, leakage, modeling, experiment, the number of similarities.

циями в год, в том числе на водопроводных сетях 160,7 тыс. (82 % от общего количества аварий). Объем потерь воды напрямую связан с количеством сетей, нуждающихся в замене. Регионы с меньшим количеством сетей, нуждающихся в замене, имеют и наименьшие потери. Снижение протяженности сетей, нуждающихся в замене, на 1 % приведет к снижению объема потерь воды на 8,2 % (или 1500 м³ на 1 км) и снижению аварийности. В настоящее время требуют замены 36,5 % водопроводных сетей. Ежегодно заменяется около 8,7 км ветхих водопроводных сетей или 1,6 % от общего протяжения водопроводных сетей. Существующие темпы нарастания износа (3 % в год) превышают объемы восстановительного ремонта [2].

В табл. 1 приведены обобщенные данные о состоянии сетей водоснабжения в некоторых городах России, взятых с официальных сайтов городских водоканалов.

Сравнительная оценка объемов утечек приведена на рис. 1.

Из табл. 1 видно, что средний износ сетей централизованного водоснабжения в нашей стране приближается к критической отметке 70 %. Если в ближайшее время не предпринимать меры по замене устаревших сетей, то ситуация в сфере водоснабжения потребителей может принять катастро-

Таблица 1

Город	Протяженность сетей, км	Физический износ, %	Количество повреждений на 1 км, шт.	Размер утечек, %
Москва	12000	65 (2012 г.)	0,34 (2011 г.)	Нет данных
Санкт-Петербург	6665,2	84 (2012 г.)	Нет данных	12,5 (2011 г.)
Хабаровск	1 370,14	80 (2011 г.)	1,26 (2011 г.)	18,95 (2011 г.)
Черкесск	339	50 (2012 г.)	1,93 (2011 г.)	65 (2011 г.)
Якутск	108	Нет данных	Нет данных	20,26 (2011 г.)
Кызыл	77,2	80 (2010 г.)	0,27 (2011 г.)	18,5 (2011 г.)
Ижевск	945,03	57 (2012 г.)	1,32 (2010 г.)	17,41 (2010 г.)
Чебоксары	593,8	60 (2006 г.)	0,81 (2011 г.)	16,04 (2011 г.)
Барнаул	993,21	80 (2011 г.)	0,61 (2011 г.)	6,5 (2011 г.)
Краснодар	1208,4	70 (2011г.)	0,21 (2011 г.)	32,4 (2011 г.)
Владивосток	1328,5	80 (2011 г.)	3,74 (2011 г.)	43,72 (2011 г.)
Волгоград	2181,08	80 (2012 г.)	2,0 (2010 г.)	32,5 (2010 г.)
Вологда	607	Нет данных	0,91 (2008 г.)	31,0 (2011 г.)
Иваново	852,8	58,8 (2012 г.)	0,61 (2011 г.)	28,8 (2011 г.)
Калининград	909,15	70 (2011 г.)	0,3 (2010 г.)	28,7 (2010 г.)
Петропавловск-Камчатский	492,89	86 (2010 г.)	0,72 (2011 г.)	32,04 (2011 г.)
Кострома	489	90 (2012 г.)	1,08 (2011 г.)	65 (2011 г.)
Нижний Новгород	548,8	60 (2012 г.)	1,9 (2011 г.)	29,6 (2011 г.)
Омск	1623	65 (2005 г.)	0,123 (2011 г.)	15,2 (2011 г.)
Ростов-на-Дону	2628,4	70 (2012 г.)	3 (2011 г.)	48,5 (2011 г.)
Тюмень	899	69 (2011 г.)	0,9 (2011 г.)	19,4 (2011 г.)
Челябинск	1717,1	Нет данных	0,26 (2011 г.)	30 (2011 г.)
Чита	277,1	70 (2012 г.)	Нет данных	13,8 (2011 г.)

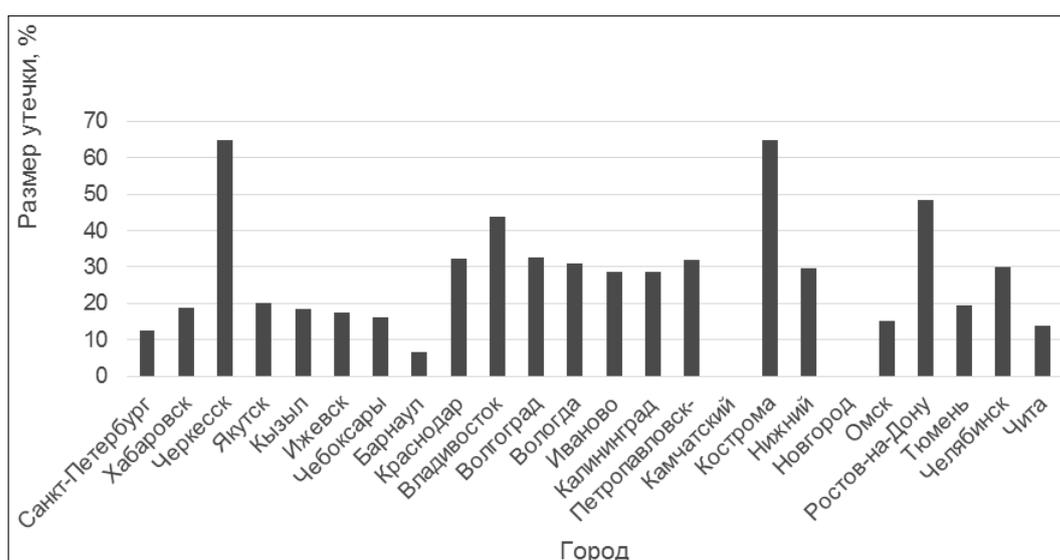


Рис. 1. Потери воды в системах централизованного водоснабжения некоторых городов России

фический характер, что приведет не только к росту тарифов, но и к значительным перебоям в поставке воды потребителям, а в некоторых случаях и к длительным (более месяца) отключениям.

В табл. 2 показано сравнение данных за 1987 г. [3] и данных из табл. 1. Из приведенных таблиц видны масштабы ухудшения проблемы неучтенных расходов и утечек в коммунальном хозяйстве городов России за последние 24 года.

Таблица 2

Город	Размер утечек за 1987 г., %	Размер утечек за 2011 г., %	ΔQ , %
Санкт-Петербург	10,2	12,5	2,3
Якутск	9,8	20,26	10,46
Краснодар	8,5	32,4	23,9
Владивосток	5,9	43,72	37,82
Кострома	13,4	65	51,6
Нижний Новгород	6,2	29,6	23,4
Омск	4,4	15,2	10,8
Челябинск	5,9	30	24,1
Чита	5,9	13,8	7,9

Основной объем неучтенных расходов и потерь воды составляют скрытые утечки. Обнаружение точного места скрытой утечки из трубопровода является актуальной современной проблемой в повышении надёжности водоснабжения. Скрытые утечки ведут к большим эксплуатационным затратам на различные виды работ: земляные, ремонтные и др. Утечки сопровождаются перебоями подачи питьевой воды и теплоносителя потребителям и снижают эффективность работы систем централизованного водоснабжения. Повысить бесперебойность водоснабжения потребителей и снизить затраты на ликвидацию можно только путём быстрого и точного определения места утечки.

Установление факта скрытой утечки может быть определено с помощью функции, отражающей зависимость гидравлических характеристик от параметров, определяющих течение жидкости в трубопроводе. Такую зависимость можно получить средствами моделирования гидравлических явлений. Физическое моделирование, наряду с математическим, широко используется в практике современных научных исследований. Оно привлекается для верификации теоретических положений и идентификации параметров моделей, выполнить

которые на основе натуральных исследований практически невозможно из-за того, что натурные явления часто осложнены другими сопутствующими процессами. Эти методы позволяют исследовать явления в тех случаях, когда математическая постановка задачи затруднена или невозможна. Правильная постановка исследований состоит в разумном сочетании методов математического и физического моделирования [4].

В практике моделирования находят применение метод размерностей, в основе которого лежит формула размерностей, и метод линейных пропорциональностей, обоснованный в конце 60-х гг. прошлого столетия зарубежными исследователями [5]. Эти методы непосредственно связаны с Π -теоремой и используют ее основные положения, они особенно эффективны в сочетании с методом комбинаций чисел подобия.

Для проведения экспериментов была сконструирована установка (рис. 2), представляющая собой гидравлическую модель водоводов диаметром 140, 110 и 90 мм и длиной 5 м. На установке моделируется движение жидкости в натурном трубопроводе диаметром 400 мм.

Вначале проводится измерение гидравлических характеристик на участке трубопровода без наличия утечек, в этом случае величина гидродинамического давления будет изменяться только за счет потерь напора по длине. Далее на испытуемый трубопровод наносится повреждение различной площади, после каждого повреждения устанавливается пьезометр для измерения пьезометрического напора в трубопроводе.

Целью данного эксперимента является поиск зависимостей гидравлических характеристик участка трубопровода от объёмов скрытых утечек. Результаты исследований применяются для выявления и оценки масштабов утечки на участке трубопровода по данным технологического контроля напоров или давлений на участках напорных сетей. Мониторинг параметров сетей осуществляется в непрерывном режиме на большинстве водоводов централизованных систем водоснабжения городов и посёлков. Однако накапливаемая информация лишь ограниченно используется в диагностике состояния сетей. Вместе с тем её можно использовать для обнаружения участков со скрытыми утечками.

Построение модели основано на предположении, что рассматриваемый трубопровод является прямолинейным, с круглым сечением, без дополни-

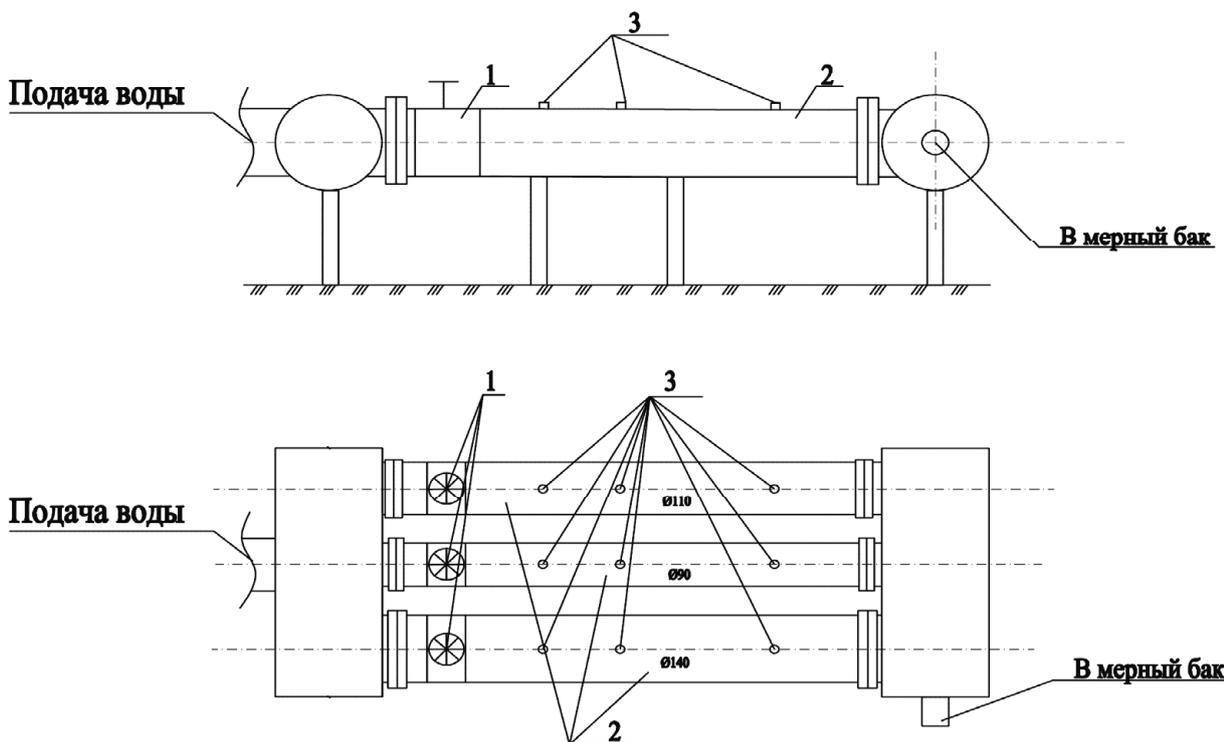


Рис. 1. Эскиз экспериментальной установки:
1 - вентиль; 2 - исследуемый трубопровод; 3 - подключение пьезометра

тельных ответвлений, по которому протекает однородная жидкость.

Преобразованное уравнение связи характеристик потока в напорном трубопроводе в общем виде в безразмерных величинах следующее:

$$\frac{\Delta Q}{Q_0} = f\left(\frac{Q_0^2}{K_0^2}; \frac{h_l}{l}; \frac{H_0}{d}\right),$$

где Q_0 – расход в начале участка трубопровода, м³/с;
 H_0 – напор в начале участка трубопровода, м;
 ΔQ – размер утечки на участке трубопровода, м³/с;
 h_l – потери напора по длине трубопровода, м;
 l – длина участка трубопровода, м;
 K_0 – модуль расхода, м³/с;
 d – диаметр трубопровода, м.

Вид данного уравнения устанавливается экспериментальным путём на гидравлической модели трубопровода. Полученная таким образом полуэмпирическая формула позволяет ориентировочно определить размер утечки и место скрытой утечки на трубопроводе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кочетов, О.А. Сравнительная оценка методов диагностики повреждений и обнаружения утечек в системах централизованного водоснабжения [Текст] / О.А. Кочетов // IV ежегодные смотры-сессии аспирантов и молодых ученых по отраслям наук. - М., 2010. - С. 283-289.
2. О состоянии дел в сфере водоснабжения и водоотведения и реализации проектов модернизации объектов коммунальной инфраструктуры в 2007 году: Пресс-релиз [Текст] / Росстрой. - М., 2007.
3. Сводные отчеты о водопроводах по РФСР за 1981-1987 гг.
4. Седов, Л.И. Методы подобия и размерности в механике [Текст] / Л.И. Седов. - М.: Наука, 1977. - С. 1-32.
5. Шарп, Дж. Гидравлическое моделирование [Текст] / Шарп Дж.; пер. с англ. - М.: Мир, 1984. - 280 с.

© Кочетов О.А., 2013