

## ИНЖЕНЕРНЫЕ СЕТИ

УДК 628.12

### ОЦЕНКА МЕТОДИК, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕРЬ ВОДЫ ПРИ АВАРИИ В ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЯХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

канд. техн. наук, доц. В.Д. ЮЩЕНКО; Е.В. ЛЕСОВИЧ  
(Полоцкий государственный университет)

*Определены и проанализированы потери воды при аварийной ситуации в сетях наружного водоснабжения населенных пунктов с оценкой методик их определения. Рассмотрены расчеты потерь воды трубопроводов по Инструкции в Республике Беларусь и по Методике, принятой в Российской Федерации. По результатам расчетов установлено, что для определения потерь воды при разрыве трубы более точными являются данные, полученные по гидравлическим формулам истечения воды через боковую поверхность трубы и по Инструкции Республики Беларусь.*

**Ключевые слова:** водопотребление, экономия воды, утечки воды, потери воды при авариях, методика определения потерь воды.

**Введение.** На современном этапе развития коммунального водоснабжения городов Беларуси и России особую актуальность для сокращения водопотребления и устранения непроизводительных затрат приобретают вопросы оценки и управления утечками воды, поскольку они оказывают существенное влияние на себестоимость услуг как водопроводно-канализационных, так и промышленных предприятий с учетом местных производств. В Министерстве жилищно-коммунального хозяйства Республики Беларусь утверждены нормы общих потерь воды для населенных пунктов в размере 12% от общего водопотребления по участку «водозабор – потребитель» с доведением этого показателя к 2024 году до 9%. Аналогичные нормы приняты и в Российской Федерации.

Основным резервом снижения затрат в системе жилищно-коммунального хозяйства является максимальное устранение негативного влияния потерь и неучтенного расходования всех видов ресурсов. Установлено, что потери воды в системах *водоснабжения*, в первую очередь, зависят от их технического состояния в комплексе элементов системы водоснабжения от ее добычи и очистки до подачи к потребителю [1; 2].

В системах наружного водоснабжения общие потери воды можно разделить на две основные части: учтенные и неучтенные. Утечки и неучтенные расходы воды представляют собой разность между количеством поданной в городскую сеть и реализованной воды потребителям, в частности населению. Если объемы воды при ее подъеме из источника и водоподготовке можно контролировать и достаточно точно определять, то при эксплуатации труб *наружной городской сети* и *водоразборных колонок* в случае аварийных ситуаций при разрыве труб, в результате коррозии и образования трещин такие потери практически не поддаются учету. Величину таких потерь прогнозируют по итогам предыдущего, как правило, года и уточняют по фактическому объему.

Потери воды в наружных сетях водоснабжения также, в первую очередь, зависят от их технического состояния, что на сегодняшний день является наиболее значимой проблемой. Начинать работу по снижению водопотребления и, соответственно, снижению энергопотребления предлагается с сетей наружного водоснабжения. Одной из основных причин потерь воды является неудовлетворительное техническое состояние водопроводных сетей, большая часть которых была построена еще в 70–80-х годах прошлого столетия. Во многих случаях потери воды в сетях водоснабжения могут достигать до 50% от количества воды, поднятой, очищенной и доставленной потребителю, что приближается к критическому уровню.

Для предотвращения полного износа необходимо ежегодно заменять не менее 3% сетей, но фактически заменяется намного меньше, что приводит к частым аварийным ситуациям с потерями и перерывами в подаче воды, вторичным загрязнением труб и т.д. [1; 2].

Цель работы – анализ методик определения потерь воды в аварийных ситуациях наружного водопровода, классификация причин аварийных ситуаций на трубопроводе и оценка объемов потерь воды.

**Результаты работы и их обсуждение.** Потери воды при авариях и утечках наружной водопроводной сети происходят при возникновении трещин (продольные, поперечные), свищевых повреждений, поперечных переломов или разрывов труб (рисунок 1). На величину потерь в аварийных ситуациях также будут влиять материал трубопровода, его длина и диаметр, продолжительность эксплуатации, разность давлений до и после участка, рост степени линейных параметров разрыва, сопротивление грунтов и про-

должительность утечек с момента аварии до отключения на ремонт. Первоначальный момент аварии определяется падением напора на рассматриваемом участке по данным диспетчерской службы водоканалов.



*a* – свищи (дыры), трещины; *б* – переломы, разрывы

Рисунок 1. – Характерные повреждения водопроводных труб

Появления свищей и трещин на поверхности металлической водопроводной трубы в виде отверстий различных размеров рассматривают как воздействие точечной коррозии, которая образуется от частичных разрушений материала либо от общего износа. Металл с каждым годом в таких изделиях все больше истончается с конечным прорывом стенки трубы. Стоит отметить, что ремонтные работы по устранению свищей являются временными мерами и не отменяют необходимость замены изношенных труб. Трещины, как правило, возникают также в металлических трубах в результате процессов местной коррозии, но могут быть и следствием воздействия на них вибрации или неравномерного воздействия грунта в различные периоды года. Например, установлено, что число повреждений увеличивается с октября по февраль [1]. Это объясняется тем, что при замерзании насыщенного осенней влагой грунта происходит неравномерное его сжатие. В дальнейшем (ноябрь – февраль) грунт промерзает по глубине. При наличии склонных к выпучиванию влажных грунтов происходят значительные деформации, влияющие на состояние труб и стыковых соединений.

Конечной стадией являются переломы труб, но этому подвержены и неметаллические трубопроводы. Разрывы труб характерны, прежде всего, в местах сварных соединений.

Причинами появления аварий на водоводах и сетях являются: возникновение гидравлических ударов при внезапном отключении электроэнергии или по другим причинам; вибрация стыков (особенно в зыбких грунтах), например, при движении тяжеловесного транспорта, приводящая к нарушению стыковых соединений; повышение напоров в сетях с целью поддержания расчетных расходов воды при загрязнении труб отложениями; электрохимическая и почвенная коррозия; блуждающие токи; недоброкачественное выполнение монтажных работ; постороннее воздействие на трубопроводы (например, при земляных работах).

Для расчета потерь воды трубопроводов в Республике Беларусь приняты общие утечки через повреждения водоводов и водопроводной сети, где вода выходит на поверхность земли (разрывы труб, разгерметизация и повреждение, стыков труб, коррозионные повреждения труб).

При этом расчетный годовой объем ( $m^3$ ) определяют [3] по следующей формуле:

$$W_{yt} = 360(\omega_{cp} \cdot V \cdot t) \cdot N, \quad (1)$$

где  $\omega_{cp}$  – средняя площадь отверстия (трещины, пролома) в трубе и (или) повреждения в стыковом соединении ( $m^2$ ), определяется как

$$\omega_{cp} = \frac{\sum \omega_i}{N_{cp}}. \quad (2)$$

Здесь  $\sum \omega_i$  – суммарная площадь отверстий (трещин, проломов) в трубах и (или) повреждений в стыковых соединениях ( $m^2$ ) принимается как средняя величина по данным журнала регистрации и учета ремонтно-восстановительных работ за предыдущие два года;  $N_{cp}$  – количество аварий с нарушением целостности труб и стыковых соединений, принимается как средняя величина за предыдущие два года;  $V$  – скорость выхода воды из отверстия (трещины, пролома) принимается равной 2 м/с;  $t$  – время

от момента обнаружения утечки до начала ремонтных работ, принимается для систем водоснабжения (I категория – 4 часа; II категория – 6 часов; III категория – 8 часов);  $N$  – количество выполненных ремонтно-восстановительных работ по ликвидации утечек за год, принимается как средняя величина за последние два года.

Например, неучтенные годовые потери воды в аварийных ситуациях наружной водопроводной сети города Новополоцка (Витебская область) в среднем составляют 6% [4].

В Российской Федерации утечки воды ( $m^3$ ) в аварийных ситуациях определяются в зависимости от характера повреждений [5]:

$$\text{- общие повреждения труб} \quad W_{\text{гни}} = 9600 \cdot t_i \cdot \omega_i \sqrt{H_i}; \quad (3)$$

$$\text{- свищи} \quad W_{\text{гни}} = 1,92 \cdot t \sqrt{H_i}; \quad (4)$$

$$\text{- трещины} \quad W_{\text{гни}} = 374,4 \cdot t \cdot d^2 \sqrt{H}; \quad (5)$$

$$\text{- переломы или разрывы} \quad W_{\text{гни}} = 5652 \cdot t \cdot d^2 \sqrt{H}, \quad (6)$$

где  $\omega_i$  – площадь живого сечения  $i$ -го отверстия ( $m^2$ );  $H_i$ , ( $H$ ) – принимается равным средней величине напора воды в трубопроводе на поврежденном участке; при переломах и разрывах труб  $H$  принимается равным средней глубине заложения трубопровода 2 (м вод. ст.);  $t$  – продолжительность утечки с момента обнаружения до отключения поврежденного участка или заделки отверстия трубопровода;  $d$  – приведенный диаметр повреждения труб, м.

Процесс образования поломки труб и характер истечения воды можно охарактеризовать как нестационарный и нестабильный. В начальный момент происходит мгновенный выброс воды со снижением давления, иногда до атмосферного. Далее происходит постепенный рост утечки воды с преодолением сопротивления грунта и последующее равномерное истечение из разрыва трубы или изменение (практически увеличение) этой величины, если наблюдается рост общей площади разрыва.

На основании поведения потока жидкости под давлением при истечении из отверстий и известных гидравлических формул [6] можно предложить следующую методику определения потерь воды при повреждении трубопроводов:

Расчетный мгновенный расход воды через повреждение трубы ( $m^3/ч$ ):

$$Q_{\text{мгн}} = \left( \frac{d_{\text{пр}}}{3,16} \right)^2 \cdot \sqrt{P}, \quad (7)$$

где  $d_{\text{пр}}$  – приведенный диаметр участка разрыва трубы (мм), определяется по формуле (8):

$$d_{\text{пр}} = \sqrt{\frac{4 \cdot S_{\text{ут}}}{\pi}}; \quad (8)$$

$P$  – избыточное давление трубы (МПа), равное разности давлений на участке трубопровода до и после повреждения, в первый момент утечки воды можно принять равным давлению в водопроводной сети.

Истечение из отверстия в сосуде под постоянным начальным давлением можно принять как равномерное, и тогда расход воды ( $m^3/с$ ) за промежуток времени  $t$  определится по следующей формуле:

$$Q = \varepsilon \cdot \varphi \cdot \omega \cdot \sqrt{\frac{2P_0}{\rho}}, \quad (9)$$

где  $\varepsilon$  – коэффициент сжатия струи, равный 0,63;  $\varphi$  – коэффициент снижения скорости, равный при прямоугольном сечении истечения 0,9;  $\rho$  – плотность жидкости при нормальных условиях составляет  $981 \text{ кг}/m^3$ .

Общий объем воды ( $m^3$ ) составит:

$$W = W_{\text{мгн}} + W_{\text{пост}} = Q_{\text{мгн}} \cdot t_{\text{мгн}} + Q_{\text{пост}} \cdot t_{\text{пост}}. \quad (10)$$

Здесь  $t_{\text{м}}$  – продолжительность выброса воды через повреждения для мгновенного периода можно принять 0,25–0,3 ч; остальное – при постоянном расходе.

Рассмотрим аварийную ситуацию на участке в 65 м наружного водопровода с условным диаметром 150 мм, давлением 0,7 МПа. Размер прямоугольного разрыва  $0,38 \times 0,027 \text{ м}$  ( $S_{\text{ут}} = 0,0103 \text{ м}^2$ ). Значе-

ние давления после точки разрыва составляет 0,4 МПа. Продолжительность истечения воды в месте разрыва – 6 ч. Для оценки объемов потерь воды в начале и конце аварийного участка были установлены приборы учета воды, разница в показаниях которых составила 441,7 м<sup>3</sup>.

Приведенный диаметр разрыва трубы определяется следующим образом:

$$d_{пр} = \sqrt{\frac{4 \cdot S_{ут}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0103}{3,14}} = 0,115 \text{ м, или } 115 \text{ мм.}$$

Определим потери воды, используя приведенные различные методики.

По Инструкции Республики Беларусь [3] принимаем предложенную формулу как частный случай:

$$W_{ум} = \sqrt{\frac{4 \cdot S_{ут}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0103}{3,14}} = 0,115 \text{ м, или } 115 \text{ мм.}$$

По методике Российской Федерации [5] принимаем как трещиноватое повреждение труб:

$$W_{ум} = 3600(\omega_{ср} \cdot V \cdot t) \cdot d^2 \sqrt{H} = 374,4 \cdot 6 \cdot 0,115^2 \sqrt{\frac{70+40}{2}} = 220,3 \text{ м.}$$

По гидравлическим формулам расчет потерь истечения воды под давлением из отверстий:

- расчетный мгновенный расход воды:

$$Q_{мгн} = \left(\frac{d_{пр}}{3,16}\right)^2 \cdot \sqrt{P} = \left(\frac{115}{3,16}\right) \cdot \sqrt{0,7} \approx 1100 \text{ м}^3 / \text{ч,}$$

- постоянный расход воды при аварии трубопровода, принимая в приближении избыточное давление, равен среднему значению в точке разрыва:

$$Q = \varepsilon \cdot \varphi \cdot \omega \cdot \sqrt{\frac{2P_0}{\rho}} = 0,63 \cdot 0,9 \cdot 0,0103 \sqrt{2 \cdot 0,55} = 0,00584 \text{ м}^3 / \text{с, или } 21 \text{ м}^3 / \text{ч.}$$

Общая величина потерь воды равна:

$$W = W_{мгн} + W_{пост} = Q_{мгн} \cdot t_{мгн} + Q_{пост} \cdot t_{пост} = 1100 \cdot 0,3 + 21 \cdot 5,7 = 449 \text{ м.}$$

Полученные результаты представлены в таблице.

Сравнение результатов определения потерь воды

Способ определения объемов потерь воды	Объем потерь воды, м <sup>3</sup>	Отличие полученных результатов от значения по приборам учета воды, %
По приборам учета воды	441,7	–
По Инструкции Республики Беларусь	445	+0,7
По методике Российской Федерации	220,3	–50
По гидравлическим формулам	449	+1,7

**Заключение.** Проанализировав полученные результаты, можно сделать вывод, что для определения потерь воды при разрыве трубы в отсутствие контроля за утечкой наиболее достоверными являются расчеты по Инструкции Республики Беларусь и по гидравлическим формулам истечения воды через боковую поверхность трубы. Результат расчета по методике Российской Федерации для рассматриваемого случая дает заниженное значение на 50%, что не соответствует реальным потерям воды. Также следует учесть, что если требуется полное опорожнение трубопровода во время ремонта, то к расчетной величине утечки воды добавляется ее объем, исходя из диаметра труб и протяженности участка.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов, С.Г. Прогнозирование и оценка скрытых утечек из водопроводных сетей : автореф. дис. ... канд. техн. наук / С.Г. Иванов. – Вологда, 1997. – 20 с.

2. Музалевская, Г.Н. Инженерные сети городов и населенных пунктов: учеб. пособие / Г.Н. Музалевская. – М. : Изд-во Ассоциация строит. вузов, 2006. – 148 с.
3. Инструкция по расчету норматива потерь и неучтенных расходов воды из систем коммунального водоснабжения населенных пунктов Республики Беларусь : утв. постановлением М-ва жилищно-коммунального хозяйства Респ. Беларусь от 31 авг. 2005 г., № 43. – 26 с.
4. Зыкова, Ю.В. К вопросу определения и анализа потерь воды в коммунальном водоснабжении крупных населенных пунктов / Ю.В. Зыкова, В.Д. Ющенко, Е.В. Лесович // Актуальные проблемы природообустройства региона : сб. науч. тр. – Калининград : КГТУ, 2017. – С. 95–102.
5. Методические указания по расчету потерь горячей, питьевой, технической воды в централизованных системах водоснабжения при ее производстве и транспортировке в Рос. Федерации : утв. приказом М-ва стр-ва и жилищно-коммунального хозяйства Рос. Федерации от 17 окт. 2014 г., № 640/пр. – М., 2014. – 21 с.
6. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства / Ю.Н. Саргин [и др.] ; под ред. И.Г. Старовойтова и Ю.И. Шиллера. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1990. – Ч. 2 : Водопровод и канализация. – 247 с.

Поступила 20.06.2019

## EVALUATION OF METHODS APPLICABLE FOR DETERMINING WATER LOSSES IN ACCIDENT IN WATER SUPPLY NETWORKS

V. YUSHCHENKO, E. LESOVICH

*The article presents and analyzes water losses during an emergency in the external water supply networks of settlements with an assessment of methods for their determination. Identified and analyzed water losses in an emergency situation in the networks of external water supply of settlements with the assessment of methods for their determination. Calculations of water losses of pipelines according to the instructions in the Republic of Belarus and according to the Methodology adopted in the Russian Federation are considered. According to the results of calculations, it was found that the data obtained from the hydraulic formulas of water flow through the side surface of the pipe and the Instructions of the Republic of Belarus are more accurate for determining water losses when the pipe breaks.*

**Keywords:** water consumption, water saving, water leakage, water loss during accidents, methodology for determining water loss.