

В. П. Музыкин, Республиканское унитарное предприятие  
«Центральный научно-исследовательский институт  
комплексного использования водных ресурсов» (РУП «ЦНИИКИВР»),  
г. Минск, Республика Беларусь

## НЕОРГАНИЗОВАННЫЙ ПРИТОК СТОЧНЫХ ВОД В КАНАЛИЗАЦИЮ И ЕГО ВЕРОЯТНОСТНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ КРИТЕРИИ

При эксплуатации самотечных внешних сетей канализации происходит так называемый дополнительный неорганизованный приток подземных вод, дождевых и талых сточных вод через штатные отверстия канализационных люков, трещины и разрушения в стенках колодцев, сводах коллекторов, а также через ихстыки между собой. Затраты, связанные с транспортировкой таких дополнительных объемов воды включаются в себестоимость услуг водоотведения.

В установившейся практике водоотведения, величину такого неорганизованного притока определяют расчетным путем. Анализ условий применения расчетной формулы, выполненный на примере канализации г. Москвы в [1], показал, что данная формула недостаточно приемлема для решения практических эксплуатационно-экономических задач коммунальных предприятий, поскольку дает заниженные результаты, но может быть применима, если в формулу ввести повышающий коэффициент. Однако, критерии обоснованного определения его величины в статье не представлены.

В настоящей статье рассмотрены условия применения расчетной формулы, исходя из технического состояния сетей канализации, поскольку в сети могут находиться в эксплуатации коллекторы не только с истекшим сроком службы, но и с явными и скрытыми повреждениями. Например, технический контроль состояния канализационной сети, осуществленный в Слонимском водоканале, показал, что удельная площадь только явных повреждений в зависимости от срока службы коллектора составляет от 0,0046 до 0,012 м<sup>2</sup>/м трубы. Очевидно, что существует определенная корреляционная связь между техническим состоянием коллектора и интенсивностью формирования неорганизованного притока.

Учет технического состояния сетей канализации может быть осуществлен, используя элементы вероятностно-статистической теории надежности в технике. Теория надежности применима для технических объектов, при эксплуатации которых допускаются отказы и повреждения и для описания которых применима модель потока случайных событий. При этом отказы и повреждения могут быть рассмотрены как результат взаимодействия технического объекта с другими объектами и окружающей средой [2].

Техническое состояние объекта характеризуется совокупностью параметров, которыми по отношению к системе канализации могут быть приняты: срок службы коллектора, его остаточный ресурс, отказ (авария) и повреждение (например, деградация от коррозионных процессов), время восстановления и другие. Все это есть статистические характеристики состояния сетей, которые должны использоваться, и используются в повседневной деятельности предприятия водопроводно-канализационного хозяйства.

Учет условий эксплуатации при расчетах надежности осуществляется подстановкой в расчетные зависимости значений интенсивностей отказов и повреждений ( $\lambda$ ), в т.ч. деградационных изменений, вычисленных для условий реальной эксплуатации с использованием поправочных расчетных коэффициентов, характеризующих степень изменения условий (режима) эксплуатации объекта от воздействия того или иного фактора по формуле [2]:

$$\lambda = \alpha_1 \lambda_0 + \alpha_2 \lambda_0 + \dots + \alpha_n \lambda_0 = \sum_{i=1}^n \alpha_i \lambda_0, \quad (1)$$

где  $\alpha_i$  – поправочный коэффициент, характеризующий степень изменения режима эксплуатации от воздействия  $i$ -го фактора;  $\lambda_0$  – интенсивность отказов и повреждений, установленная в нормативно-технической (конструкторской) документации;  $n$  – число факторов воздействия.

Соответственно, учет условий эксплуатации канализационных сетей, в части оценки изменения интенсивности неорганизованного притока сточных вод, также может быть осуществлен вводом поправочного коэффициента и формула (1) приобретет вид:

$$q_{ad} = \sum_{i=1}^n k_{ad}^i q_{ad}^{\text{норм}} = \sum_{i=1}^n k_{ad}^i (0,15L\sqrt{m_d}), \text{ л/с} \quad (2)$$

где  $k_{ad}^i$  – расчетный (поправочный) коэффициент изменения интенсивности неорганизованного притока вод на участке коллектора, длиной  $L$ , от воздействия  $i$ -го фактора воздействия при максимальном суточном количестве осадков ( $m_d$ ). В данной зависимости величина  $q_{ad}^{\text{норм}}$  рассматривается как установленный технический норматив интенсивности неорганизованного притока вод в канализацию по [3].

Для определения  $k_{ad}^i$  поставим следующие расчетные условия в области определения:

1) изменение (усиление) интенсивности неорганизованного притока вызывается изменением условий (уменьшением) надежности се-

тей канализации, вследствие естественных процессов старения, коррозии, деформации и износа коллекторов, других деградационных изменений и факторов, действующих в совокупности, но независимо друг от друга;

2) совокупное действие факторов, в том числе внешней среды, по теории надежности характеризуют расчетные показатели, рассчитываемые применительно к определенным условиям эксплуатации объектов и их статистическим оценкам, соответственно, коэффициент  $k_{ad}^i$  может быть определен как сумма расчетных показателей (коэффициентов) эксплуатационной наработки элементов канализации вследствие деградационных изменений в сетях на расчетном участке в расчетном году.

3) для характеристики воздействия других техногенных объектов на интенсивность неорганизованного притока может быть использован фактор техногенной инфильтрации, также рассматриваемый в вероятностной постановке как функция формирования утечек из подземных водонесущих коммуникаций;

4) расчетным участком является бассейн канализования в сопряжении подводящего самотечного коллектора к канализационной насосной станции.

Используя элементы теории надежности, поправочный коэффициент  $k_{ad}^i$  можно определить как сумму коэффициентов  $k_{ad}^i = k_1 + k_2 + k_3 + k_4$ , где  $k_1$  – коэффициент наработки соответствующего коллектора,  $k_2$  – коэффициент вероятности отказа (деградации) коллектора,  $k_3$  – коэффициент сохранения эффективности коллектора и  $k_4$  – коэффициент наработки (готовности) городских водопроводных, а также тепловых и сетей дождевой канализации, имеющихся на расчетном участке. Поскольку данные коэффициенты являются вероятностными характеристиками, то их расчетные значения заключены в пределах  $0 \leq k_i \leq 1$ .

Коэффициент наработки самотечного коллектора  $k_1$  показывает вероятность того, что при заданной наработке трубопровода произошло хотя бы одно деградационное изменение (повреждение) при сохранении его работоспособного состояния. Расчет осуществляется по формуле  $k_1 = T_p/T_s$ , где  $T_s$  – установленный ресурс эксплуатации коллектора, лет;  $T_p$  – его остаточный ресурс в расчетном году, лет. Коэффициент вероятности отказа (деградации) самотечного коллектора  $k_2$  показывает вероятность того, что при эксплуатации трубопровода свыше установленного ресурса возможно дальнейшее, хотя бы единичное ухудшение (отказ или повреждение) его работоспособного состояния (например, в связи с

усилением коррозионных процессов) в произвольный момент времени. Расчет коэффициента осуществляется по формуле  $k_2 = n(t)/N$ , где  $n(t)$  – количество коллекторов на расчетном участке, имеющих 100% износ и способных отказать в произвольный момент времени;  $N$  – общее число коллекторов, работоспособных на расчетном участке в расчетном году. Коэффициент сохранения эффективности  $k_3$  коллектора характеризует степень влияния отказов элементов трубопровода на эффективность его применения по назначению. Расчет коэффициента осуществляется по формуле  $k_3 = t_p/t_s$ , где  $t_p$  – число суток в расчетном году, в течение которых осуществлялась нормальная эксплуатация коллектора,  $t_s$  – общее число суток в расчетном году.

Коэффициент  $k_4$ , или комплексный показатель наработки (готовности) городских сетей, может быть связан с вероятностью образования и сохранения во времени параметров техногенной инфильтрации, образующейся в связи с инфильтрацией утечек из водопроводных, тепловых и сетей дождевой канализации на расчетном участке и способной увеличить приток вод в канализационные коллекторы. Расчет комплексного показателя, например, наработки водопроводных сетей может быть выполнен по формуле  $k_3 = T_h/T_h + T_b$ , где  $T_h$  – показатель надежности подачи воды потребителю, сут;  $T_b$  – время восстановления аварийного состояния сети, сут. Показатель  $T_h$  для водопроводных сетей, принимается равным отношению нормы времени, в течение которого возможно допустимое снижение подачи воды потребителю в системе водоснабжения данного населенного пункта, а время восстановления  $T_b$ , соответственно, равным нормативному расчетному времени ликвидации аварии на водопроводных сетях.

По аналогичным принципам могут быть рассчитаны и другие коэффициенты эксплуатационной наработки коллекторов и других сетей для их учета в расчетах неорганизованного притока.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Данилович, Д.А., Максимова, А.А., Пупырев, Е.И. Оценка объемов неорганизованного дополнительного притока сточных вод в систему канализации // Водоснабжение и санитарная техника. 2008. № 10. С. 31–38.
2. Целищев, В.А. Основы теории надежности. [Электронный курс]: конспект лекций для студентов. ИрГУПС. – Иркутск, 2015. – 148 с.
3. ТКП 45-4.01-53-2012 Системы канализации населенных пунктов. Основные положения и общие требования. Строительные нормы проектирования.