



ВОДООТВЕДЕНИЕ

УДК 628.16

Г. Я. Дрозд, М. Ю. Хвортова

НАДЕЖНОСТЬ КАНАЛИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ И АВАРИЙНЫЕ РИСКИ В ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ВОДОПРОВОДНО-КАНАЛИЗАЦИОННОГО ХОЗЯЙСТВА

В статье показано значение и дана характеристика рисков в производственной деятельности водопроводно — канализационных предприятий. Приведены данные натурных обследований канализационных сетей Украины с анализом причин, влияющих на надежность сооружений и определяющих степень риска возникновения аварийных ситуаций. Разработана классификация канализационных коллекторов по степени их потенциальной аварийности. Предложен дифференцированный подход к оценке надежности канализационных трубопроводов с учетом факторов на этапах проектирования, строительства и эксплуатации.

Ключевые слова: канализационные трубопроводы, оценка степени риска, авария, надежность, коррозия, вероятность

Наши авторы:

Дрозд Геннадий Яковлевич, д. т. н., профессор кафедры «Городское строительство и хозяйство» Донбасского государственного технического университета, г. Алчевск, Украина. (Моб. тел.: +3 8050-925-94-18, e-mail: drozd.g@mail.ru, адрес: ДГТУ, просп.Ленина,16,г. Алчевск, 94204, Украина).

Хвортова Марина Юрьевна, к.т.н., доцент кафедры «Строительные конструкции»Донбасского государственного технического университета, г. Алчевск, Украина. (Моб. тел.: +3 8050-366-32-27, адрес: ул. А.Линева, д.79, кв.76, г. Луганск, 91021, Украина).

Предприятия водопроводно-канализационного хозяйства (ВКХ) относятся к объектам с высокой степенью риска по отношению к окружающей природной среде [1]. Степень риска этих предприятий определяет ответственность за жизнеобеспечение населенных пунктов и обусловлена наличием объектов с повышенной экологической опасностью.

Критериями оценки степени риска ВКХ и, соответственно, контроля являются:

- техническое состояние систем;
- техническое обслуживание и ремонт объектов;
- потенциальная техногенная и экологическая безопасность объектов повышенной опасности;
- состояние экологической ситуации и др. [2].

В соответствии с [2] в системе водоотведения к потенциально-опасным или объектам с повышенной опасностью относятся: канализационные сети, коллекторы, насосные станции и очистные сооружения, связанные единым технологическим процессом.



Данные объекты по источнику опасности относятся к аварийным (класс техногенных аварий и катастроф) [3].

Аварийная ситуация характеризуется двумя понятиями — величиной риска и риском последствий. Величина риска аварии (r) показывает, во сколько раз фактический риск аварии выше проектного значения риска, вносимого в объект при проектировании и является интегральным показателем технического состояния объекта [4]:

$$r = P_{\phi} / P_m = 1/v; \quad (1)$$

где P_{ϕ} и P_m — фактическая и теоретическая вероятности аварии; v — уровень конструкционной надежности элемента (объекта).

Таким образом, величина риска аварии обратно пропорциональна надежности объекта, которая в свою очередь зависит от многообразия проектных, строительных и эксплуатационных факторов.

Надежность сооружения формируется с момента проектирования до момента завершения эксплуатации.

Процесс эксплуатации объекта можно представить в виде последовательных временных интервалов (рис. 1), где функционирование объекта в полном объеме сменяется временными перерывами в выполнении своих функций.

За весь рассматриваемый период эксплуатации t_c часть времени $\sum_{i=1}^n t_p^i$ объект полностью выполняет свои функции, а часть времени $\sum_{i=1}^{n-1} t_{II}^i = t_c - \sum_{i=1}^n t_p^i$

функционирование объекта в полном объеме не происходит. Из определения надежности можно получить формулу для комплексной количественной оценки надежности объекта:

$$K_r = \frac{\sum_{i=1}^n t_p^i}{t} \quad (2)$$

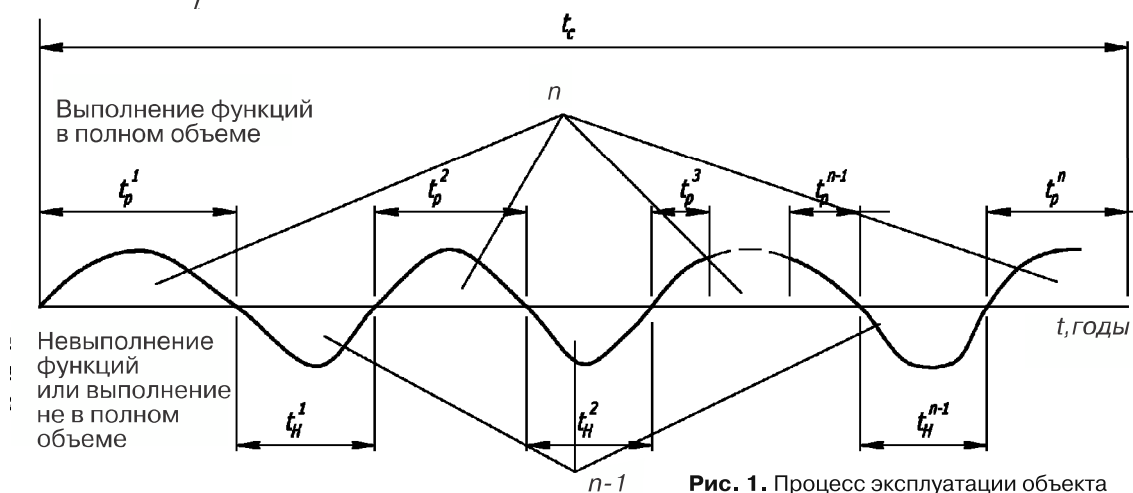


Рис. 1. Процесс эксплуатации объекта



K_r называется коэффициентом готовности объекта, который показывает долю времени выполнения объектом своих функций в полном объеме за весь расчетный период эксплуатации [5].

Риск последствий, так называемую «тяжесть последствий» можно свести к производственному и экологическому ущербу в виде суммарного риска, выраженного в денежной форме:

$$R = P \cdot (T_1 + T_2); \quad (3)$$

где P — вероятность аварии, T_1 — затраты на восстановление, T_2 — экологический ущерб от аварии.

Последствия аварий могут быть масштабными — протяженными во времени и распространенными по площади.

Для оценки аварийных ситуаций и принятия соответствующих управленческих решений необходимо опираться на надежную информационную базу, что позволит минимизировать риск аварий и повысить безопасность эксплуатации канализационных систем.

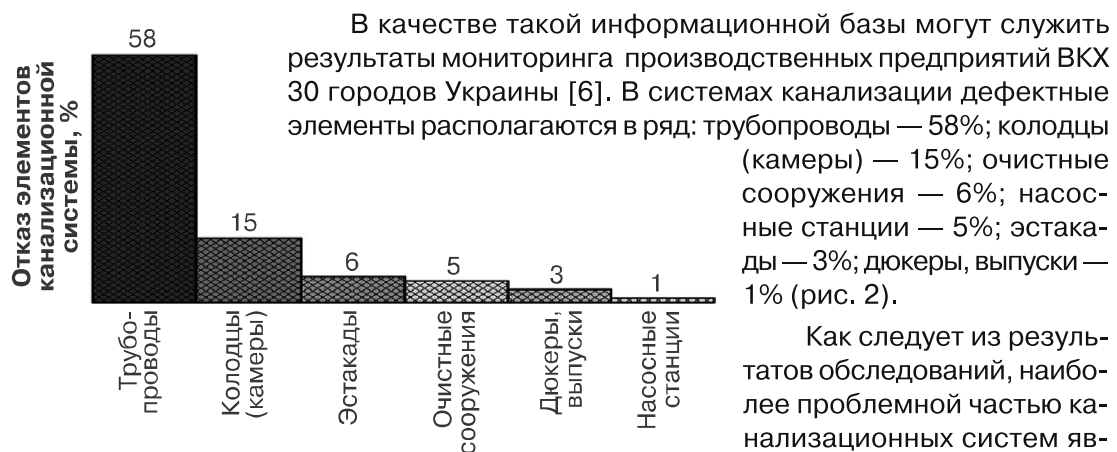


Рис. 2. Распределение дефектов в системе канализации

Как следует из результатов обследований, наиболее проблемной частью канализационных систем являются трубопроводы.

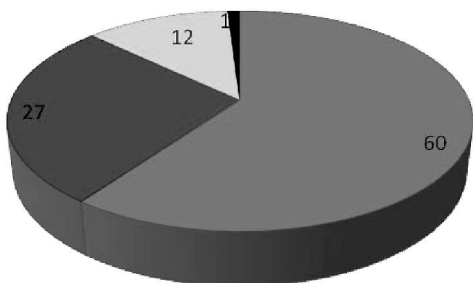
Характеристика трубопроводов канализации страны приведена на рис.3.

Протяженность коммунальных сетей канализации в Украине составляет 46 тыс. км. В сетях преобладают трубы диаметром до 500 мм (60%) из керамики, чугуна, асбестоцемента и стали (рис. 4, 5).

Трубопроводы больших диаметров выполнены из бетона и железобетона. Частота выхода из строя канализационных сетей — нарушение их герметичности или пропускной способности — различна для каждого вида материала труб и обратно пропорциональна диаметру труб (табл.1).



Рис. 3. Классификация канализационных коллекторов и причин их повреждений



Среднее значение, %

- d = 200...500
- d = 600...1000
- d = 1200...2400
- > 2400

Рис. 4. Распределение труб по диаметрам в канализационных сетях

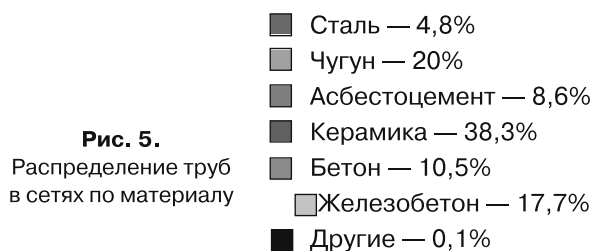
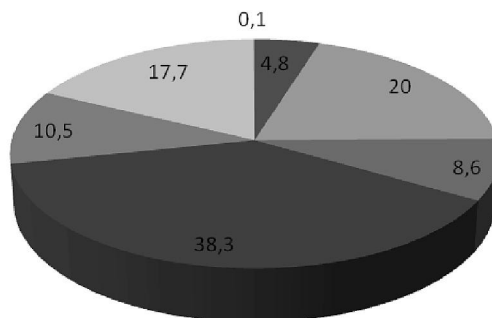


Рис. 5. Распределение труб в сетях по материалу





Повреждение трубопроводов диаметром до 500 мм в 70 % случаев происходит вследствие физико — механического воздействия (раскрытие стыков, переломы труб, абразивное истирание лотков) и в 30 % — вследствие коррозии. Трубопроводы диаметром более 500 мм, вследствие большей массивности только в 33% случаев подвержены физико-механическому воздействию и в 67 % случаев разрушаются коррозией. На рис. 6 показано влияние внешнего и внутреннего воздействия на техническое состояние трубопроводов из различных материалов.

Внешнее воздействие. Трубопроводы — это линейные протяженные сооружения, с точки зрения надежности имеют такие особенности: они состоят из отдельных элементов и работают совместно с окружающим массивом грунта, свойства которого не одинаковы по длине сооружения. Основными внешними причинами выхода из строя трубопроводов

Рис. 6. Вероятность отказа канализационных трубопроводов от действия внешних воздействий (1) и внутренней эксплуатационной среды (2)

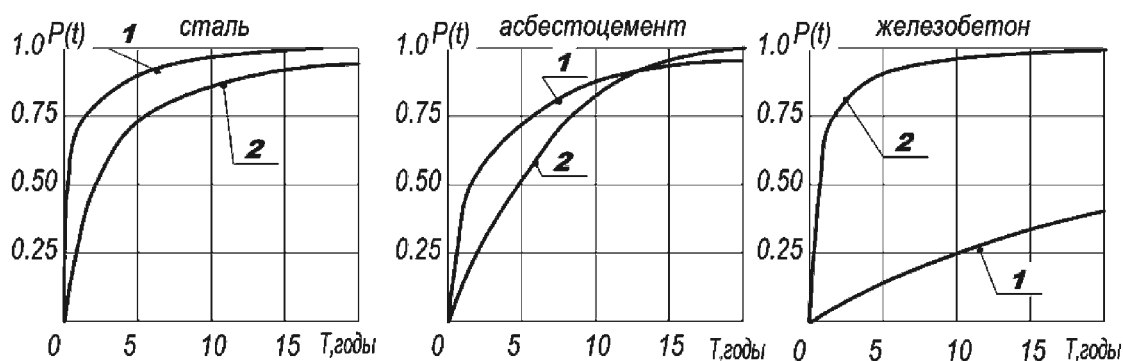


Таблица 1.
Интенсивность выхода из строя канализационных трубопроводов из различных материалов

Материал труб	Диаметр, мм	Интенсивность отказов, λ , 1/км·год
Сталь	200	3.05
	300	1.79
	400	1.78
	500	1.41
	600	0.76
	1000	0.03
Чугун	150	3.95
	200	1.53
	400	1.22
	500	1.1
	800	0.07
Асбестоцемент	150	1.87
	300	1.29
	400	1.1
	500	1.09
Керамика	200	1.0
	400	0.94
	500	0.06
	600	0.05
Бетон	400	0.19
	600	0.1
	1000	0.05
Железобетон	600	0.12
	800	0.10
	1000	0.09
	1600	0.06
	2000	0.05
	3600	0.006



являются: просадка грунтов основания, динамические и вибрационные нагрузки, техногенные процессы (подрботки), оползневые явления и прочие (рис. 7).

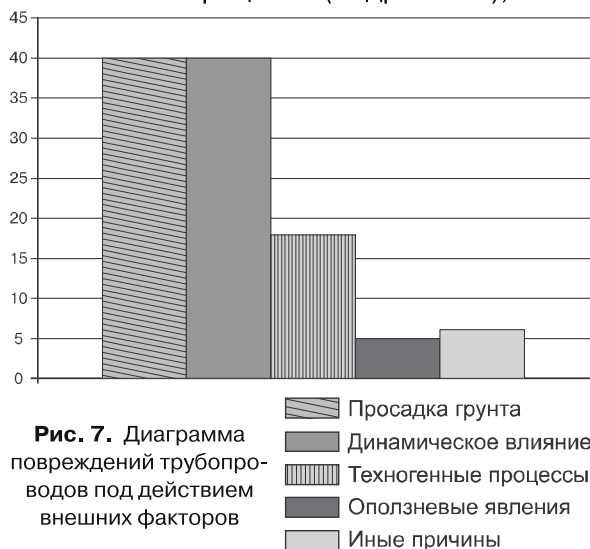


Рис. 7. Диаграмма повреждений трубопроводов под действием внешних факторов

Неоднородность грунтов основания по длине трубопроводов является важным фактором их надежности. При изменении влажности грунтов основания на отдельных участках изменяется и их несущая способность и тогда, даже постоянные внешние нагрузки, способны вызывать повреждения трубопровода, вид которых зависит от деформативных свойств грунта (рис.8,9).

Внутреннее механическое воздействие. Повреждение лотковой части трубопроводов движущимися в потоке жидкости частицами песка. Установлена эмпирическая зависимость

Рис. 8. Зависимость вероятности повреждения $P(t)$ стыкового соединения и тела трубы от модуля общей деформации грунта (E_0)

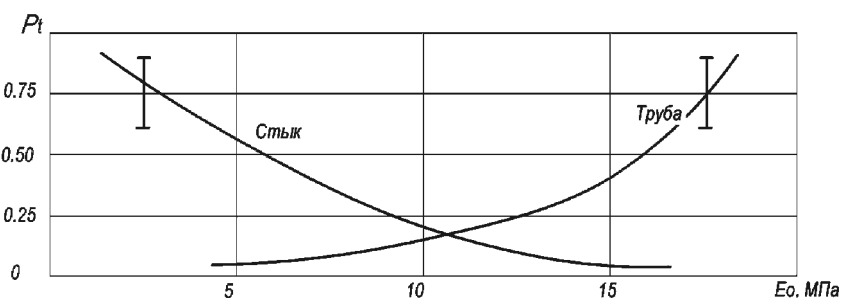


Рис. 9. Аварии трубопроводов вследствие просадки грунтов (а) и техногенных воздействий (б)



скорости абразивного износа лотка труб от скорости движения сточной жидкости, которая описывается уравнениями [6]:

$$V_{a.б.} = 0,037 V_в^{4,388}; V_{a.м.} = 0,006 V_в^{2,91} \quad (4)$$

где $V_{a.б.}$, $V_{a.м.}$ — соответственно скорости абразивного износа бетона, металла, мм/год; $V_в$ — скорость потока сточной воды, м/с.

Коррозионное воздействие. Коррозионное разрушение неметаллических трубопроводов внешней грунтовой средой нехарактерно для канализационных сетей, а отдельные единичные случаи связаны с техногенным загрязнением грунта агрессивными веществами в процессе эксплуатации. Повреждения металлических трубопроводов (рис. 10, а, б) блуждающими токами и грунтовой коррозией связаны с низкой культурой проектирования и строительства, ошибками и халатностью при эксплуатации устройств электрозащиты. Особое место в разрушении канализационных трубопроводов занимает коррозия под действием внутренней эксплуатационной биологически активной среды, приводящая к масштабным авариям (рис. 10 в, г).

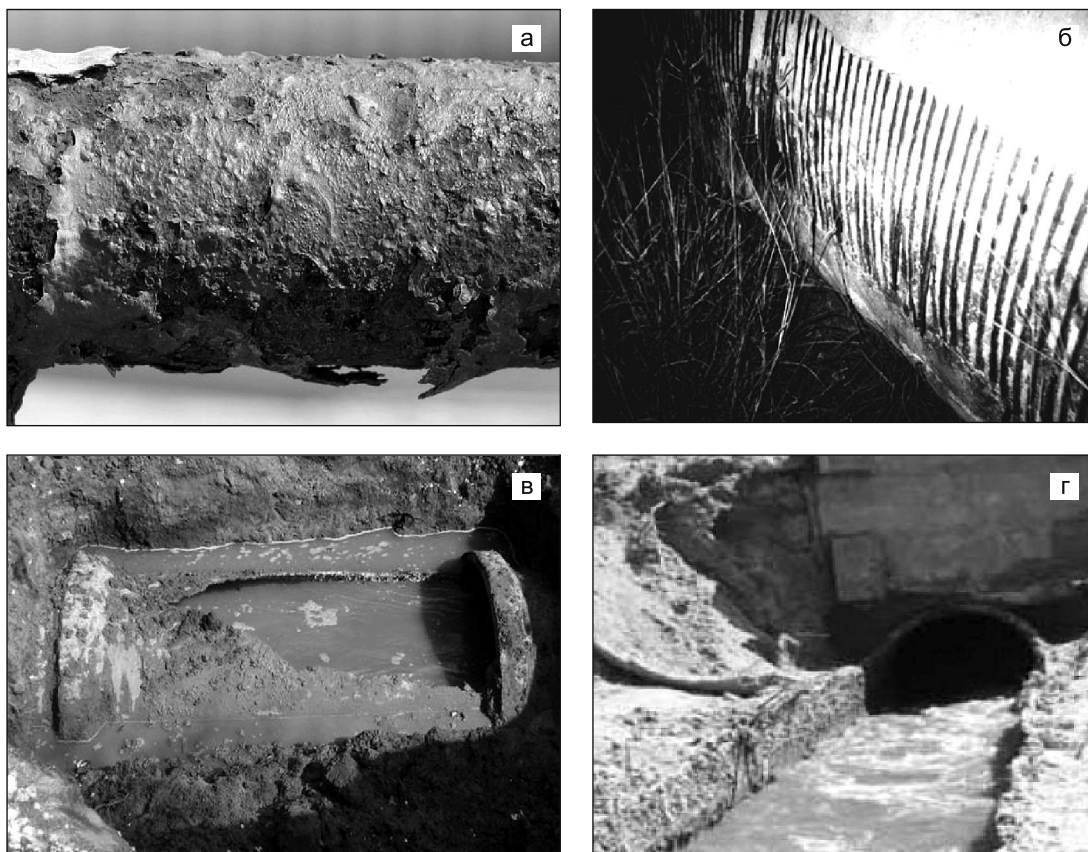


Рис. 10. Коррозионные повреждения трубопроводов внешней агрессивной средой (а, б) и разрушение труб внутренней эксплуатационной биологически активной средой (в, г).



Выход из строя канализационных сетей сопровождается вытеканием из сооружений сточных вод, что в отдельных случаях ставит на грань техногенной и экологической катастрофы целые городские районы и регионы (рис.11).



Рис. 11. Последствия аварий на канализационных сетях: загрязнение стоками территории и водоемов (а,б) , нарушение ландшафтов (в), разрушение дорожных коммуникаций (г)

Обобщая информацию мониторинга, можно однозначно утверждать о низкой надежности канализационных сетей в масштабе страны, что является причиной высокой степени риска аварий в системе, и, в целом, для всего водопроводно — канализационного хозяйства. Высокую степень риска и низкую надежность с одной стороны можно объяснить физическим износом сетей. Исходя из норм амортизационных отчислений для различного вида труб: керамика — 3,2%, бетон и железобетон — 3,6%, асбестоцемент — 4,8% и т. д., трубопроводы канализации, построенные еще в 60-70 годах прошлого века давно отработали свой ресурс и требуют обновления. С другой стороны имеет место влияние просчетов и ошибок на стадиях проектирования, технологии производства материалов и конструкций, строительства и эксплуатации сооружений.



При обновлении канализационных сетей (потребуется по нашим подсчетам более 10 млрд. Евро) необходимо учесть полувековой опыт их строительства и эксплуатации для создания нового поколения надежных и долговечных сооружений [6-8].

Эффективным решением проблемы безопасной эксплуатации канализационных систем и минимизации риска аварий и повреждений является предварительная оценка надежности на стадии проектирования, строительства и эксплуатации.

Как было отмечено выше, основными факторами, обуславливающими повреждение конструкций трубопроводов, являются внешние воздействия (различного вида нагрузки, просадки и неоднородность грунтов основания), внутренние механические и коррозионные воздействия (абразивный износ, техногенное загрязнение грунта, эксплуатационная среда), ошибки при проектировании, изготовлении конструкций, строительстве, эксплуатации и превышение сроков нормативного периода эксплуатации.

Целью исследования является разработка классификации канализационных коллекторов по степени их надежности и аварийности и обоснование методики расчета вероятности безотказной работы трубопроводов.

Для дифференциации к подходу долговечности и надежности в таблице 2 предлагается выполнить классификацию канализационных коллекторов по степени их потенциальной аварийности.

Таблица 2.

Классификация канализационных коллекторов по степени потенциальной аварийности

Классы		I класс	II класс	III класс
Характеристика		Высокая вероятность биологического фактора коррозии (образования биологически активной среды), масштабные последствия аварии.	Повреждения и аварии вследствие физико-механического влияния на отдельных участках.	Случайные механические и коррозионные повреждения на отдельных участках.
Признаки	Конструктивные	В начале коллектора размещен напорный трубопровод; самотечный коллектор имеет перепады или быстротоки.	Наличие наземных или надземных участков трубопровода; наличие преград (реки, дороги, другие трубопроводы).	Обычная конструкция и условия по длине трубопровода.
	Условия	Стоки с органическими веществами при ХПК ≥ 350 мг/л или сульфиды ≥ 1 мг/л.	На отдельных участках техногенное влияние (подрабатки, ударные или вибрационные нагрузки, слабые грунты).	Наличие на трассе коллектора агрессивных грунтов или блуждающего тока.
Категория		I — признаки А и Б I — только А I — только Б	II — признаки А и Б II — только А II — только Б	III — признаки А и Б III — только А III — только Б



Согласно приведенной классификации коллекторы, в которых возможно образование сероводородной газовой среды, что является причиной малых сроков безаварийной эксплуатации, вследствие коррозии и значительных техногенных последствий в результате аварий, относятся к I классу аварийности. К категории Ia относятся сооружения, эксплуатирующиеся в агрессивной среде (биологический фактор), в которых конструктивные особенности способствуют снижению долговечности и, как следствие, повышению риска аварий.

Для конструкций, отнесенных к категории Ia, Ib на стадиях проектирования и строительства должны быть предусмотрены мероприятия, снижающие влияние агрессивной среды эксплуатации (конструктивные решения, антикоррозионная защита или мероприятия, снижающие степень агрессивности эксплуатационной среды).

К классу II отнесены все виды трубопроводов, потенциально подверженные физико-механическому влиянию на отдельных участках. Для обеспечения безаварийной работы сооружений, отнесенных к II классу, следует предусмотреть повышенные требования к конструкциям, выполненным из традиционных материалов и качественной подготовки основания

К III классу отнесены все виды трубопроводов, потенциально поддающихся случайным механическим влияниям или внешней коррозии. При проектировании сооружений, отнесенных к III классу, возможно использование традиционных материалов и технологий.

На рисунке 12 приведены характерные повреждения трубопроводов, отнесенных в соответствии с предлагаемой классификацией к различным классам аварийности. Некоторые виды повреждений, связанных с производственными дефектами, приведены на рисунке 13.

Упреждение аварийных ситуаций затрудняется из-за отсутствия информации о уровнях надежности участков системы трубопроводов, вызванных:

- отказами от внешних воздействий;
- отказами от производственных дефектов;
- отказами физического износа.

Основой для определения надежности систем трубопровода являются проектные материалы, срок эксплуатации, материалы обследований, данные о техногенных

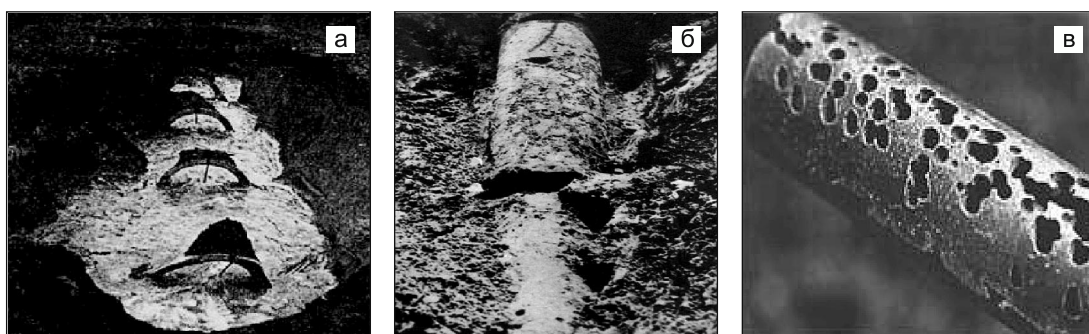


Рис. 12. Повреждения, характерные для I (а), II (б) и III (в) классов аварийности



Рис. 13. Виды производственных дефектов:

- а) заводской брак; б) монтажный брак; в) монтажные механические повреждения; г) строительная небрежность (совмещение осей трасс ЛЭП и трубопровода)

процессах, материал и диаметр труб, толщина стенок, глубина заложения трубопровода, геологические условия, уклоны, скорости транспортирования жидкостей, наличие агрессивных сред, абразивных компонентов.

Расчет вероятности безотказной работы участка трубопровода $P(t)$ выполняется по формуле (4)

$$P(t) = P_T(t) + P_C(t), \quad (4)$$

где $P_T(t)$ — вероятность безотказной работы трубопроводов при учете только техногенных воздействий, $P_C(t)$ — вероятность безотказной работы трубопроводов при учете только физического износа в период эксплуатации.



Отказы, вызванные техногенными воздействиями, не зависят от предыдущей безотказной работы системы и не связаны с физическим износом. Вероятность безотказной работы в этом случае описывается экспоненциальным законом

$$P_T(t) = e^{-\lambda t}, \quad (5)$$

где λ — интенсивность отказов, t — время работы системы.

Число отказов, вызванных физическим износом трубопроводов в процессе эксплуатации, связано с предыдущими периодами работы трубопроводов и с течением времени растет. Подобные отказы описываются двухпараметрическим законом нормального распределения вероятностей (законом Гаусса).

$$P_C(t) = F_0 \left(\frac{\alpha_n - t}{\sigma_n} \right) \text{ при } \left(\frac{\alpha_n - t}{\sigma_n} \right) > 0, \quad (6)$$

$$P_C(t) = 1 - F_0 \left(\frac{\alpha_n - t}{\sigma_n} \right) \text{ при } \left(\frac{\alpha_n - t}{\sigma_n} \right) < 0, \quad (7)$$

где α_n, σ_n — проектные значения параметров нормального распределения,

$F_0 \left(\frac{\alpha_n - t}{\sigma_n} \right)$ — табулированная функция нормального распределения.

Отказы трубопроводов от производственных дефектов имеют обратную направленность относительно отказов старения — от максимального количества отказов при пуске трубопроводов к постепенному уменьшению их до нуля.

Схематически поток отказов трубопроводов приведен на рисунке 14.

Значения интенсивности отказов железобетонных канализационных трубопроводов различных диаметров (по результатам обследований) приведены в таблице 1.

На основе обработки данных обследований работы железобетонных трубопроводов диаметром 600 мм с использованием зависимостей (5-7) построены графики вероятности безотказной работы железобетонного трубопровода диаметром





600 мм в зависимости от физического износа (старения), техногенных (внешних) воздействий и производственных дефектов (рисунок 15,а). Интегральный график вероятности безотказной работы железобетонного трубопровода приведен на рисунке 15,б.

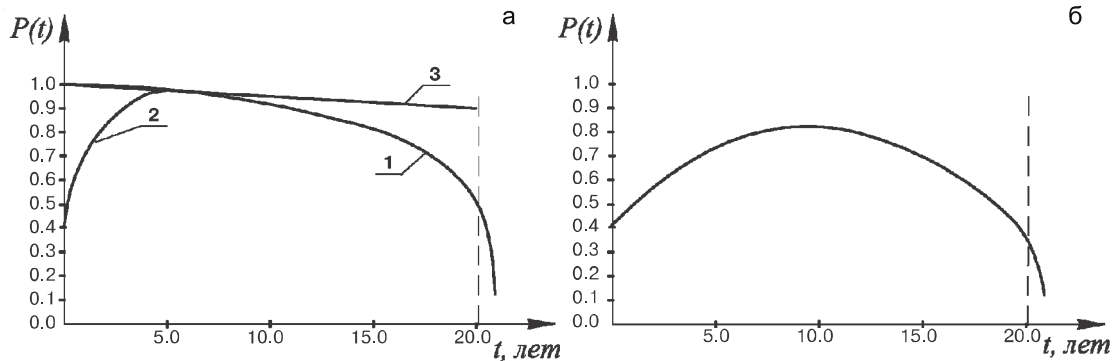


Рис. 15. Графики вероятностей безотказной работы железобетонного трубопровода:

1 — в зависимости от физического износа (старения); 2 — от производственных дефектов;
3 — от внешних воздействий

Выводы

1. Риски производственной деятельности предприятий ВКХ в сфере водоотведения обусловлены степенью надежностью всех элементов системы канализации, однако наиболее проблемной является канализационная сеть. Фактическая надежность элементов трубопроводной сети ниже теоретической за счет сложности учета массива отрицательных факторов на этапе проектирования, строительства и эксплуатации сооружений.
2. С целью снижения производственного и экологического рисков и принятия соответствующих инженерных и управленческих решений предложена классификация канализационных коллекторов по степени их потенциальной аварийности.
3. Предложен дифференцированный подход к определению надежности канализационных коллекторов в зависимости от степени их аварийности, условий эксплуатации и конструктивных особенностей.
4. Разработанный алгоритм расчета вероятности безотказной работы канализационных трубопроводов с учетом имеющихся дефектов и условий эксплуатации позволяет определить время безаварийной работы сооружений при наличии соответствующей информационной базы.



Список литературы

1. Постанова КМ України від 19.03.2008 р. № 212.— Київ. Про затвердження критеріїв розподілу суб"єктів господарювання за ступенем ризику їх господарської діяльності для навколишнього природного середовища та періодичності здійснення заходів державного контролю — Київ.
2. Постанова КМ України від 14.01.2009 р. № 16—Київ. Про затвердження критеріїв, за якими оцінюється ступінь ризику від провадження господарської діяльності у сфері питного водопостачання і водовідведення та визначається періодичність здійснення планових заходів державного контролю.
3. Г. Н.Крикунов, А. С.Беликов, В. Ф.Залунин. Безопасность жизнедеятельности.- Днепропетровск: «Пороги». 1992.-412 с.
4. Мельчаков А. П. Расчет и оценка риска аварии и безопасного ресурса строительных объектов .(Теория, методики и инженерные приложения) — Челябинск: Из-во ЮУрГУ, 2006, -49 с.
5. Калинин В. М., Сокова С. Д. Оценка технического состояния зданий :Учебник.- М.: Инфра-М,2010. -286с.
6. Дрозд Г. Я. О техническом состоянии канализационных сетей Украины / Г. Я. Дрозд, М. Ю. Хвортова // Водопостачання та водовідведення. — 2012. — №1. — С. 34-40.
7. Дрозд Г. Я. Коррозионное разрушение бетонных канализационных коллекторов// Водопостачання та водовідведення. — 2012. — №1. — С. 35-44.
8. Дрозд Г. Я. Прогнозирование степени агрессивности эксплуатационной среды канализационных коллекторов// Водопостачання та водовідведення. — 2012. — №5. — С. 15-19.

Drozhd G. Ja., Hvortova M. Ju.

RELIABILITY OF SEWERAGE SYSTEM AND ACCIDENTAL RISKS IN PRODUCTION ACTIVITY OF WATER AND SEWAGE ENTERPRISES

The article shows the meaning of risks and gives risks characteristics in production activity of water-and-sewage enterprises. Ukraine sewerage system's field studies data with analysis of causes effecting on reliability of constructions and defining the risk level of emergencies occurrence is presented. Classification of sewers by degree of their potential accident rate is developed. Differentiated approach to sewage pipelines reliability assessment with regard to factors on stages of design, construction and operation is proposed.



Key words: sewage pipelines, risk level assessment, emergency, reliability, corrosion, probability.

Authors:

Drozd Gennadij Jakovlevich — doctor of engineering, professor of the chair «Urban construction and services», Donbas State Technical University, Alchevsk, Ukraine., mob. tel.: +3 8050 925-94-18, E-mail: drozd.g@mail. ru. 94204 Ukraine, Alchevsk, prospekt Lenina, 16.

Hvortova Marina Jur'evna — candidate of engineering, associated professor of the chair «Engineering structures», Donbas State Technical University, Alchevsk, Ukraine, mob. tel.: +3 8050 366-32-27. 91021 Ukraine, Lugansk, A. Lineva ul., 79, kv. 76.

References:

1. Resolution of Cabinet of Ministers of Ukraine on 19.03.2008 № 212, Kiev. On approval of criteria for distribution of economic entities by level of risk of their economic activity for environment and periodicity of state control measures implementation, Kiev (in Ukrainian).
2. Resolution of Cabinet of Ministers of Ukraine on 14.01. 2009 №16, Kiev. On approval of criteria by which level of risk from economic activity implementation in sphere of drinking water supply and water disposal is assessed and periodicity of state control measures implementation is defined (in Ukrainian).
3. G. N. Krikunov, A. S. Belikov, V. F. Zalunin Life safety, Dnepropetrovsk, Porogi, publ., 1992, p. 412 (in Russian).
4. Mel'chakov A. P. Calculation and assessment of accident risk and secure resource of construction objects (Theory, methods and engineering applications), Chelyabinsk, SUSU, publ., 2006, p. 49 (in Russian).
5. Kalinin V. M., Sokova S.D. Assessment of building technical state, student book, M., Infra-M, publ., 2010, p. 286 (in Russian).
6. Drozd G. Ja. On technical state of Ukraine sewerage system, Vodopostachannja ta vodovidvedennja, journ., 2012, №1, pp. 34-40 (in Russian).
7. Drozd G. Ja. Corrosion destruction of concrete sewers, Vodopostachannja ta vodovidvedennja, journ., 2012, №1, pp. 35-44 (in Russian).
8. Drozd G. Ja. Prognosis of the degree of aggressiveness of sewage collector operational environment, Vodopostachannja ta vodovidvedennja, journ., 2012, №1, pp. 15-19 (in Russian).