УДК 628.292.65.011.4

doi: 10.55287/22275398_2026_60_109

НАДЕЖНОСТЬ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ДЮКЕРОВ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ

О. Г. Примин *
В. А. Орлов **

* Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва
** Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), г. Москва

Аннотация

В статье рассматривается проблема оценки и обеспечения надежности и энергоэффективности дюкеров систем водоснабжения и водоотведения.

Показано, что дюкера являются одними из наиболее сложных с эксплуатационной точки зрения элементов систем водоснабжения и водоотведения. Их специфика определяется сочетанием гидравлических, конструктивных, геотехнических и эксплуатационных факторов.

Поэтому актуальна проблема оценки надежности и энергоэффективности эксплуатируемых дюкеров, техническая диагностика и разработка требований к проектированию и восстановлению надежности дюкеров без ликвидации старого, используя бестраншейные методы протягивания в существующий дюкер полимерных труб с предварительным их сжатием и последующим расширением или использование защитных покрытий.

Приведена классификация аварий и дефектов дюкеров, а также матрица из наиболее характерных дефектов и аварийных состояний дюкерных переходов, ориентированная на переход от фиксации дефекта к оценке его влияния на прочность, устойчивость, герметичность, надёжность и остаточный ресурс. Приведен анализ влияния дефектов эксплуатируемых дюкеров на энергоэффективность.

Работа выполняется по плану НИР Минстроя России: «Исследование и разработка теоретических основ и практических мероприятий по обеспечению надежности дюкеров систем водоснабжения и водоотведения при их проектировании, строительстве и эксплуатации».

Ключевые слова
Дюкер, водопроводные трубопроводы, водоотводящие трубопроводы, надежность, энергоэффективность, индекс, техническое состояние.

Дата поступления в редакцию
29.09.2026
Дата принятия к печати
01.10.2026

Введение

Дюкер — подрусловые трубопроводы, транспортирующие питьевые и сточные воды под руслом рек, водохранилищ ***(рис. 1)***.

Рис. 1. Водопроводный дюкер

В отличие от обычного участка коллектора, дюкер включает входную и выходную камеры, нисходящий и восходящий участки, а также подводную или подземную часть, доступ к которой часто существенно ограничен. В основном в последние годы изношенные дюкера просто выводились из эксплуатации и рядом строились новые, при этом прибрежные трубопроводы переключались на новый дюкер, что вызывало необходимость строительства дополнительного байпаса (обводной трубы) протяженностью до нескольких сотен метров. Старый же дюкер оставался на месте и продолжал разрушаться, становясь причиной потерь водного ресурса, ущерба окружающей среде и представляя угрозу судоходству [1].

В существующих нормативах (Своды правил) нет требований к проектированию дюкеров в том числе и для их восстановления.

Россия покрыта обширной сетью рек [2-9], по дну которых проложены тысячи километров дюкерных переходов, которые объединяет одно обстоятельство: они выполнены из стали и срок эксплуатации большинства из них превысил все возможные пределы, таким образом, они нуждаются в срочном ремонте или замене [10].

В отличие от обычных участков линейной сети дюкер испытывает комплексное воздействие внутренних и внешних факторов: внутреннего давления, собственного веса трубопровода и транспортируемой жидкости, давления грунта, возможного воздействия воды и русловых процессов, неравномерности опирания, температурных воздействий, монтажных усилий и деформаций основания. В международной литературе также достаточно хорошо изучены по отдельности: гидравлика, прочность, сейсмика, диагностика [11-15].

К сожалению, практически отсутствуют исследования, в которых эти факторы объединены для действующих городских дюкеров, особенно это актуально в России для условий города Санкт-Петербурга, где имеется множество подводных переходов водонесущих коммуникаций [16].

Материалы и методы

Для дюкеров систем водоснабжения и водоотведения (ВиВ) аварии и дефекты являются результатом взаимодействия элементов системы «трубопровод – соединения – грунт – русло – гидравлический режим – внешние воздействия».

В ***табл. 1*** приведена классификация аварий для оценки технического состояния дюкеров.

Таблица 1

Классификация аварий и дефектов дюкеров систем ВиВ

Вид аварии	Основной механизм	Возможные последствия
Разгерметизация трубы	трещина, свищ, коррозия, разрушение соединения	утечка сточных/питьевых вод, загрязнение водоёма
Разрыв трубы	потеря прочности, перегрузка, дефект материала/шва	полное прекращение работы дюкера
Разрушение стыка	раскрытие раструба, разрушение уплотнения, смещение труб	утечка, подсос грунта/воды
Потеря устойчивости	размыв грунта, всплытие, недостаточная пригрузка	изменение положения и напряжённого состояния трубы
Обрушение/деформация трубы	внешнее давление, потеря опоры, овальность	уменьшение пропускной способности, разрушение
Размыв над трубопроводом	русловые процессы, паводок, ледоход	оголение трубы, провисание
Деформация береговых участков	оползни, просадки, размыв берегов	дополнительные продольные и изгибающие усилия
Гидравлическая авария	гидроудар, резкое изменение режима насосов	повышенные внутренние давления и динамические нагрузки
Засорение/заиление	отложения, недостаточная скорость, посторонние предметы	снижение пропускной способности
Разрушение арматуры	коррозия, заклинивание, механическое повреждение	невозможность отключения аварийного участка

К наиболее опасным факторам нарушения работоспособности и надежности дюкерных переходов относятся деформации русла, размыв, механические воздействия, потеря устойчивости, коррозионные нарушения и строительные дефекты [17 – 21].

Модель развития аварии трубопровода дюкера: первичный дефект – изменение геометрии трубы – снижение прочности, устойчивости – герметичности – критическое аварийное состояние.

Именно такая модель значительно эффективнее подхода: «обследовали трубу → обнаружили дефект → присвоили категорию технического состояния».

По результатам анализа аварий и дефектов трубопроводов различных дюкеров систем ВиВ разработана матрица из 43 наиболее характерных дефектов и аварийных состояний дюкеров, основанную на переходе от обнаружения дефекта к оценке его влияния на такие характеристики как прочность, устойчивость, герметичность, надёжность и остаточный ресурс, ***табл. 2***.

Таблица 2

Матрица оценки технического состояния трубопроводов дюкеров (сокращенная)

№	Дефект	Весовой коэффициент w_i	*H*-коэффициент опасности дефекта	*V*-коэффициент скорости развития	*R*-коэффициент влияния на остаточный ресурс	Показатель дефекта
1	Коррозионное утончение	0,035	1,25	1,1	1,25	t_{min}
2	Коррозионная язва	0,035	1,25	1,1	1,25	Глубина язвы
3	Свищ	0,02	1,5	1,5	1,5	Герметичность
4	Трещина стенки трубы	0,03	1,5	1,5	1,5	a, l
5	Трещина сварного шва	0,02	1,5	1,5	1,5	a, l
6	Непровар	0,01	1,25	1,1	1,25	Размер дефекта
7	Вмятина	0,02	1,25	1,1	1,25	d/D
8	Овальность	0,02	1,25	1,1	1,25	D_{max}/D_{min}
9	Разрушение покрытия	0,01	1,1	1,25	1,1	Площадь
10	Раскрытие, нарушение раструба	0,025	1,5	1,25	1,5	ΔL
11	Трещина раструба	0,025	1,5	1,5	1,5	a, l
12	Смещение трубы в плане	0,018	1,25	1,25	1,25	Δx
13	Провисание	0,035	1,5	1,5	1,5	Lnp
14	Размыв ложа трубы	0,02	1,5	1,5	1,5	Объём размыва
15	Просадка грунта	0,02	1,25	1,25	1,25	s
16	Всплытие	0,03	1,5	1,25	1,5	$F_{вспл}/F_{уд}$
17	Горизонтальная потеря устойчивости	0,02	1,5	1,25	1,5	Δy
18	Продольное перемещение	0,015	1,25	1,1	1,25	ΔL

19	Усталостное разрушение	0,025	1,5	1,5	1,5	$\Delta\sigma, N$
20	Гидроудар	0,015	1,5	1,25	1,25	ΔP
21	Повышенное давление	0,01	1,25	1,1	1,25	P_{max}
22	Заиление	0,008	0,95	1,1	1,1	$A_{ост}/A$
23	...	...	...	...	...	...
24	Комплексное аварийное состояние	–	1,5	1,5	1,5	Интегральная оценка

W_i показывает относительную значимость дефекта в общей системе оценки технического состояния дюкера. Они определены на основе результатов статистического анализа эксплуатации — ранжирования дефектов по степени их влияния на прочность, устойчивость, гидравлическую работоспособность, герметичность и остаточный ресурс дюкерного перехода.

Они формировались с учётом факторов влияния дефекта на:

1. Надежность дюкера — возможность потери герметичности, разрушения, потери устойчивости.
2. На несущую способность трубопровода — снижение прочности стенки, соединений, опор и т. п.
3. На устойчивость дюкера в русле — размыв, оголение, всплытие, смещение, провисание.
4. На увеличение гидравлических потерь, уменьшение пропускной способности.
5. Скорость развития дефекта — коррозия, трещины, деформации, размыв и др.
6. Последствия отказа — локальное повреждение или потенциальная авария.
7. Имеющихся результатов технической диагностики и инженерной оценки, а не только визуального осмотра.

ГОСТ 9.602-2016 устанавливает требования к противокоррозионной защите подземных и подводных с заглублением стальных сооружений и трубопроводов [22]. Величины должны быть верифицированы по данным технической диагностики и обследований и аварийности конкретных сооружений дюкеров. Состояние дюкера предлагается оценивать по пяти взаимосвязанным характеристикам:

$$C_{TC} = f(D, H, V, R)$$

где D — степень выраженности дефекта, балл 0 – 5; H — коэффициент опасности дефекта; V — коэффициент скорости развития; R — коэффициент влияния на остаточный ресурс; w_i — вес дефекта.

Для практического применения предлагается использовать показатель технического состояния:

$$C_{TC} = 100\left[\sum_{i=1}^{43} w_i . \frac{D_i}{5} H_i\, V_i\, R_i\right],$$

где $\sum_{i=1}^{43} w_i . = 1$.

Чем больше C_{TC}, тем хуже техническое состояние.

Дефект №43 — «комплексное аварийное состояние» не включается непосредственно в сумму, поскольку он является интегральным результатом уже учтённых дефектов. Он используется как контрольный аварийный критерий. В ***табл. 3*** приведена шкала выраженности дефекта D.

Таблица 3

Бальная шкала выраженности дефекта *D*

Балл	Состояние	Смысл
0	отсутствует	дефект не обнаружен
1	незначительный	не влияет на работоспособность
2	слабый	имеется начальное снижение эксплуатационных характеристик
3	значительный	влияет на отдельный параметр безопасности
4	критический	существенно снижает запас прочности/устойчивости/герметичности
5	предельный	высокая вероятность отказа или уже аварийное состояние

Коэффициент опасности дефекта *H*: 0,80 — низкая; 0,95 — умеренная; 1,1 — повышенная; 1,25 — высокая; 1,5 — критическая.

Коэффициент учитывает не размер дефекта, а потенциальную способность дефекта вызвать отказ.

Коэффициент скорости развития дефекта *V*: 0,8 — практически стабильный; 0,95 — медленно развивающийся; 1,1 — умеренная скорость; 1,25 — высокая; 1,5 — ускоренное/прогрессирующее развитие.

Его необходимо определять не только экспертно, но и по результатам технических обследований.

Экспертный коэффициент влияния на остаточный ресурс *R*: 0,8 — практически не влияет; 0,95 — слабое; 1,1 — заметное; 1,25 — существенное; 1,5 — определяющее.

Предлагаемая шкала оценки технического состояния дюкера ***(табл. 4)***.

Таблица 4

Шкала технического состояния дюкера

I_{TC}	Категория	Состояние	Решение
0 – 20	I	Исправное	штатная эксплуатация
>20 – 40	II	Работоспособное	не влияет на работоспособность
>40 – 60	III	Ограниченно работоспособное	имеется начальное снижение эксплуатационных характеристик
>60 – 80	IV	Предаварийное	влияет на отдельный параметр безопасности
>80 – 100	V	Аварийное	существенно снижает запас прочности/устойчивости/герметичности

Переход в предаварийное/аварийное состояние дюкера предлагается устанавливать при:

- критической трещине;
- потере герметичности;
- угрозе разрушения стыка;
- потере устойчивости;
- продолжающемся интенсивном размыве;
- значительном свободном пролёте;
- активном оползне;

- фактическом всплытии;
- критическом превышении давления;
- исчерпании расчётного запаса прочности.

В ***табл. 5*** приведен алгоритм оценки технического состояния дюкера.

Таблица 5

Алгоритм оценки технического состояния дюкера

Этап	Действие, оценка
1	Геометрия трубопровода, толщина стенки, состояние стыков, русло и грунт, гидравлические параметры
2	Идентификация и оценка дефектов: H_i — опасность дефекта; V_i — скорость развития; R_i — влияние на ресурс; W_i — весовые коэффициенты
3	Расчет индекса $I_{тс}$
4	Проверка критических дефектов: расчёт ΔH, ΔP, Δe
5	Оценка остаточного ресурса
6	Прогноз остаточного ресурса $T_{ост}$
7	Итоговая категория состояния дюкера. Формирование заключения. Ремонт/Усиление/Мониторинг

Результаты

Главная причинно-следственная цепочка влияния дефектов эксплуатируемых дюкеров на энергоэффективность может быть сформирована следующим образом: дестабилизирующий фактор → дефект → изменение геометрии/шероховатости → изменение гидравлического сопротивления → увеличение потерь напора → увеличение требуемого напора насосов → увеличение мощности → рост удельного энергопотребления.

Например: заиление → уменьшение диаметра → увеличение скорости → увеличение гидравлических потерь → увеличение требуемого напора → увеличение мощности насосной станции → рост энергетических затрат, кВт·ч/м³.

При этом существует и обратная связь: ухудшение технического состояния → необходимость увеличения напора → изменение режима работы насосов → работа за пределами оптимальной зоны → дополнительный рост энергопотребления.

Для количественной оценки влияния дефектов на энергоэффективность дюкеров предлагается использовать энергетическую модель с поэтапным определением потребляемой мощности:

$$P = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{\eta};$$

где P — потребляемая мощность, Вт; ρ — плотность воды, кг/м³; g — ускорение свободного падения; Q — расход, м³/с; H — требуемый напор, м; η — суммарный КПД насосно-трубопроводной системы.

Требуемый напор

$$H = H_{геод} + h_{тр} + h_{м} + H_{ост},$$

где $H_{геод}$ — геодезическая составляющая; $h_{тр}$ — потери по длине; $h_{м}$ — местные потери; $H_{ост}$ — необходимый остаточный напор.

Очевидно, что дефекты трубопроводов дюкера в первую очередь воздействуют на $h_{тр}$ и $h_{м}$. Их удобно разделить на прямое и косвенное влияние.

Прямое влияние — дефект непосредственно увеличивает гидравлическое сопротивление:

$$\Delta h_{деф} = \Delta h_{тр} + \Delta h_{мт}.$$

Тогда дополнительная мощность:

$$\Delta P = \frac{\rho g Q \Delta H_{деф}}{\eta}.$$

Дополнительное годовое энергопотребление:

$$\Delta E = \frac{\rho g Q \Delta H_{деф} T}{\eta},$$

где T — время работы системы.

Предлагаемый энергетический коэффициент технического состояния трубопроводов дюкера:

$$K_E = \frac{E_{факт}}{E_{идеал}},$$

где $E_{факт}$ — фактическое энергопотребление; $E_{идеал}$ — расчетное энергопотребление исправного дюкера при том же расходе.

Более информативно использовать:

$$\Delta E_{\%} = \frac{E_{факт} - E_{расч}}{E_{расч}} \cdot 100\%.$$

Это позволяет связать техническое состояние дюкера с его эксплуатационной энергоэффективностью, то есть добавить энергетическую составляющую:

$$I_{TC} = I_{TC} \cdot K_E$$

или, более корректно, сформировать многокритериальный индекс:

$$I_{комп} = w_1 I_{проч} + w_2 I_{гидр} + w_3 I_{уст} + w_4 I_{деф} + w_5 I_{эн},$$

где $I_{эн}$ — индекс энергоэффективности.

Тогда методика оценки энергоэффективности будет оценивать не только «насколько дюкер безопасен?», но одновременно «насколько эффективно он транспортирует воду?» и «сколько дополнительной энергии требуется из-за ухудшения его технического состояния?». Энергоэффективность можно использовать как косвенный диагностический признак технического состояния дюкера. Например, при неизменном расходе: $Q \approx const$ и неизменной геодезической составляющей $H_{геод} \approx const$, устойчивый рост:

$$e = \frac{V}{E}$$

может свидетельствовать об увеличении гидравлического сопротивления вследствие зарастания, отложений, деформации, смещения стыков или других дефектов. Здесь E — потреблённая электрическая энергия насосной системы за рассматриваемый период, обычно кВт·ч; V — объём перекачанной воды за тот же период, м^3, e — удельное энергопотребление, кВт·ч/м^3.

Для дюкеров этот показатель очень полезен, поскольку можно сравнивать:

$$e_{факт} \text{ с } e_{расч}$$

и определять дополнительное энергопотребление, вызванное отложениями, зарастанием, увеличением шероховатости, деформацией, сужением проходного сечения и другими дефектами дюкера.

Диагностическая цепочка: энергопотребление → изменение гидравлического сопротивления → предположение о развитии дефекта → инструментальное обследование → подтверждение дефекта → прогноз его развития → расчет остаточного ресурса.

Алгоритм расчета энергоэффективности:

1. Для каждого дефекта j определяется: $\Delta H_j = H_{j\,\text{деф}} - H_{\text{испр}}$.
2. Дополнительная мощность: $\Delta P = \frac{\rho g Q \Delta H_j}{\eta}$,
   где ΔH_j — дополнительный напор из-за дефекта.
3. Дополнительное удельное энергопотребление: $\Delta e_j = \frac{\rho g \Delta H_j}{\eta\, 3600000}$, для воды $\Delta e_j = \frac{0{,}002725\, \Delta H_j}{\eta}$.
4. Годовой перерасход $\Delta E_{j,\,\text{год}} = \Delta e_j V_{\text{год}}$.
5. Расчитывается стоимость перерасхода электроэнергии: $C_{j,\,\text{год}} = \Delta E_{j,\,\text{год}} \cdot C_e$,
   где C_e — тариф на электроэнергию, руб/кВт·ч.

Численные величины ΔH, ΔP, кВт·ч/м³ и руб/год нельзя корректно назначить одинаковыми для всех дюкеров. Они должны рассчитываться по фактическим D, L, Q, η, степени дефекта и режиму эксплуатации реального дюкера.

Выводы

1. Дюкер системы водоснабжения и водоотведения испытывает комплексное воздействие внутренних и внешних факторов: внутреннего давления, собственного веса трубопровода и транспортируемой жидкости, давления грунта, возможного воздействия воды и русловых процессов, неравномерности опирания, температурных воздействий, монтажных усилий и деформаций основания.
2. Приведена классификация аварий и дефектов для оценки технического состояния дюкеров.
3. Для дюкеров систем водоснабжения и водоотведения аварии и дефекты целесообразно рассматривать не просто как повреждения трубы, а как результат взаимодействия системы «трубопровод – соединения – грунт – русло – гидравлический режим – внешние воздействия».
4. Разработана матрица наиболее характерных дефектов и аварийных состояний дюкерных переходов, ориентированную на переход от фиксации дефекта к оценке его влияния на прочность, устойчивость, герметичность, надёжность и остаточный ресурс.
5. Для количественной оценки влияния дефектов на энергоэффективность дюкеров разработана энергетическую модель.

Библиографический список

1. *Черных О. Н., Бурлаченко А. В.* Эксплуатация и проектирование дюкеров на водных объектах: учебное пособие. М.: РГАУ-МСХА, 2021. 151 с. URL: http://elib.timacad.ru/dl/local/06122021.pdf/info.
2. *Андрианов А. П., Хургин Р. Е.* Анализ нарушений нормальной работы водоотводящей сети и показатели ее надежности // Системные технологии. 2024. № 1 (50). С. 54 – 61.
3. *Хургин Р. Е., Зубарева О. Н., Ефремов Р. В.* Искусственное пополнение подземных вод для целей водоснабжения // Системные технологии. 2022. № 3 (44). С. 102 – 106.

4. *Андрианов А. П., Ефремов Р. В., Хургин Р. Е.* Проблемы современного водоснабжения // Системные технологии. 2022. № 3 (44). С. 5 – 13.

5. *Павлинова И. И., Хургин Р. Е., Шелапутина Н. А.* Восстановление систем водоснабжения городов и населенных пунктов при техногенных катастрофах // Системные технологии. 2022. № 4 (45). С. 43 – 48.

6. *Хургин Р. Е., Кулагина А. С.* Современный взгляд на водопотребление городов // Системные технологии. 2021. № 1 (38). С. 62 – 65.

7. *Сальков Н. А., Дмитриев И. К., Мельник О. В.* Вопросы комплексного использования водных ресурсов СССР в 60-х годах XX века // Системные технологии. 2026. № 2 (59). С. 40 – 46.

8. *Залётов С. В., Залётова Н. А.* Расширение пределов применения биологической очистки сточных вод // Системные технологии. 2021. № 1 (38). С. 27 – 32.

9. *Головесов В. А., Андрианов А. П., Ефремов Р. В.* Влияние ультрафильтрационной предочистки на образование осадков малорастворимых солей в обратноосмотических аппаратах // Системные технологии. 2022. № 3 (44). С. 53 – 60.

10. *Николаев А. П., Киселёва Р. З., Киселёв А. П.* и др. Гидротехнические сооружения водохозяйственного назначения // Волгоград: ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, 2020. 96 с.

11. *Shi Y., Xu L., Hou R., Zhang D., Zhang D.* Seismic Response and Damage Analysis of Large Inverted Siphon Structure. Shock and Vibration. 2022. Article 5404908. DOI: 10.1155/2022/5404908.

12. *Wang H., Du W., Li X.* et al. The Study of Water Hammer Protection for Water Pipelines Containing Reversed Siphon Pipes With Special Large-Scale Dimensions. Geofluids. 2025. Article 1930735.

13. *Yang J., Zayed T., Arimiyaw D.* et al. Structural failure in urban sewer pipelines: A comprehensive review from analysis to intervention techniques. Tunnelling and Underground Space Technology. 2026. Vol. 167. 107027. DOI: 7.1016/j.tust.2025.107027.

14. *Yang J., Zayed T., Arimiyaw D.* et al. A systematic review of service reliability in urban sewer systems: From failure analysis to preventive management. Reliability Engineering & System Safety. 2026. Vol. 270. 112025.

15. *Bakhtawar, Zayed T., Elshaboury N.* Time-to-failure based deterioration factors of water networks: Systematic review and prioritization. Reliability Engineering & System Safety. 2025. Vol. 263.

16. *Лобанов А. А., Громов А. А., Журавлёв А. Е.* Опыт строительства продолжения Главного канализационного коллектора северной части Санкт-Петербурга // Водоснабжение и санитарная техника. 2016, № 4. С. 66 – 71.

17. *Мустафин М. Г., Павлов Н. С., Вальков В. А., Васильев Б. Ю.* Диагностирование и определение аномальных зон магистральных трубопроводов на подводных переходах с использованием цифровой модели рельефа // Вестник СГУГиТ, 2023, Т. 28, № 1, С. 33 – 44, DOI: 10.33764/2411-1759-2023-28-1-33-44.

18. *Олейник А. М., Пыжикова И. В., Новикова А. Р.* Технология геодезического деформационного мониторинга подводных переходов магистральных трубопроводов // Московский экономический журнал. — 2023. — № 12. — DOI: 10.55186/2413046X_2023_8_12_618.

19. *Рыльцева Ю. А.* Современные способы и средства диагностики и ремонта подводных переходов трубопроводов // Вестник МГСУ. — 2021. — Т. 16, Вып. 9, С. 1236 – 1263. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.9.1236-1263.

20. *Велюлин И. И., Александров В. А., Поляков В. А. Александров Д. А.* Оценка технического состояния проектного положения руслового участка трубопровода. Строительство и архитектура. 2018. № 1-2. 40 – 43. https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-tehnicheskogo-sostoyaniya-podvodnogo-perehoda-pri-izmeneniyah-proektnogo-polozheniya-ruslovogo-uchastka-truboprovoda/viewer.

21. *Захаров М. Н., Мартынов Д. С.* Определение предельных смещений металлического сборно-разборного трубопровода относительно его начального положения. Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2022; (1): 67 – 80. https://doi.org/10.31660/0445-0108-2022-1-67-80.

22. ГОСТ 9.602-2016. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Термины и определения.

RELIABILITY AND ENERGY EFFICIENCY OF DUKEERS IN WATER SUPPLY AND SEWAGE SYSTEMS

O. G. Primin *
V. A. Orlov **

* Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, Moscow
** Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), Moscow

Abstract

The article examines the problem of assessing and ensuring the reliability and energy efficiency of water supply and wastewater drainage dukes.

It is shown that dukes are among the most operationally complex elements of water supply and wastewater drainage systems. Their specific characteristics are determined by a combination of hydraulic, structural, geotechnical, and operational factors.

Therefore, the problem of assessing the reliability and energy efficiency of existing dunkers is relevant, as is technical diagnostics and the development of requirements for the design and restoration of the reliability of dunkers without dismantling the old one, using trenchless methods of pulling polymer pipes into the existing dunker with their preliminary compression and subsequent expansion, or the use of protective coatings.

A classification of accidents and defects in dunkers is presented, as well as a matrix of the most characteristic defects and emergency conditions of dunker transitions, aimed at moving from defect detection to assessing its impact on strength, stability, tightness, reliability, and residual service life. An analysis is presented of the impact of defects in operational dunkers on energy efficiency.

The work is carried out in accordance with the research plan of the Ministry of Construction of Russia: “Research and development of theoretical foundations and practical measures to ensure the reliability of dunkers in water supply and wastewater disposal systems during their design, construction, and operation”.

The Keywords
Duker, water supply pipelines, drainage pipelines, reliability, energy efficiency, index, technical condition.

Date of receipt in edition
29.09.2026
Date of acceptance for printing
01.10.2026

Ссылка для цитирования:

О. Г. Примин, В. А. Орлов. Надежность и энергоэффективность дюкеров систем водоснабжения и водоотведения. — Системные технологии. — 2026. — № 3 (60). — С. 109 – 120.