

КРИТЕРИИ ВЫБОРА СОСТАВА ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕМОНТОПРИГОДНОСТИ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ

Задача управления свойством ремонтпригодности любой технической системы требует решения проблемы выбора множества показателей. Количественные характеристики показателей ремонтпригодности, как и других показателей надежности, являются случайными величинами. Поэтому для их определения привлекается математический аппарат теории вероятностей, математической статистики и теории массового обслуживания [1].

Классификация показателей ремонтпригодности

Устанавливаемые для конкретных видов систем водоснабжения и водоотведения условий эксплуатации показатели ремонтпригодности должны удовлетворять ряду требований, в том числе:

обеспечивать возможность их количественного задания и определения статистическими методами на этапах создания, испытаний и эксплуатации систем ВК;

- позволять оценивать наиболее существенные факторы, характеризующие приспособленность изделий к ремонту и техническому обслуживанию, и быть чувствительными к их изменению.

- обеспечивать возможность проведения сравнительной оценки однотипных конструкций систем водоснабжения и водоотведения, работающих в различных организационно-технических условиях эксплуатации;

- позволять проводить сравнительную оценку конструктивных элементов различного типа, предназначенных для выполнения одинаковых функций и работающих в одинаковых организационно-технических условиях;

- обеспечивать возможность их использования при определении комплексных показателей, характеризующих качество и надежность технических устройств и систем [3].

В зависимости от характера решаемых задач и предъявляемых к показателям ремонтпригодности требований, они могут быть классифицированы по следующим признакам: в зависимости от их важности (основные – нормируемые, дополнительные – не нормируемые), в зависимости от вида оцениваемого свойства (собственно ремонтпригодности, технологичности при обслуживании и технологичности при ремонте), в зависимости от оцениваемой стороны ремонтпригодности (оперативные и экономические) и в зависимости от вида (единичные и комплексные) [2, 6].

Основные показатели характеризуют приспособленность конструкции системы водоснабжения и водоотведения или ее отдельных частей к техническому обслуживанию и ремонту в соответствии с требованиями технического задания на проектирование или технических условий на изготовление.

Дополнительные показатели характеризуют менее существенные свойства конструкции систем водоснабжения и водоотведения и отдельные факторы ремонтпригодности.

Показатели собственно ремонтпригодности характеризуют комплексную приспособленность конструкции системы водоснабжения и водоотведения к профилактическим и восстановительным работам.

Показатели технологичности при обслуживании характеризуют приспособленность конструкции систем водоснабжения и водоотведения к работам, выполняемым при ее техническом обслуживании.

Показатели технологичности при ремонте характеризуют приспособленность конструкции систем водоснабжения и водоотведения или ее отдельных частей к работам, осуществляемым при ремонте.

Оперативные показатели характеризуют время или вероятность пребывания системы водоснабжения и водоотведения в неработоспособном состоянии в связи с проведением технического обслуживания и ремонтов за рассматриваемый период эксплуатации [5].

Экономические показатели характеризуют затраты труда и денежных средств на осуществление мероприятий, связанных с техническим обслуживанием и ремонтом.

Единичные показатели характеризуют какое-либо одно свойство или сторону ремонтпригодности [2].

Основные показатели ремонтпригодности

Основные показатели ремонтпригодности должны задаваться в техническом задании на проектирование и оцениваться при разработке конструкции и изготовлении сетей и сооружений водоснабжения и водоотведения, в процессе их испытаний и эксплуатации.

Исходя из типов конструктивных элементов, оборудования и агрегатов систем водоснабжения и водоотведения, характера выполняемых отдельными участками функций и других факторов, основное внимание при определении состава показателей ремонтпригодности и их оценке надо уделять показателям собственно ремонтпригодности, технологичности при техническом обслуживании и при ремонте или различным сочетаниям этих трех показателей [10].

Показатели собственно ремонтпригодности

К числу показателей собственно ремонтпригодности относятся как оперативные показатели – единичные (среднее время восстановления, вероятность восстановления в заданное время, интенсивность восстановления), так и экономические показатели (средние и удельные затраты труда и денежных средств на техническое обслуживание и ремонт). Сюда же относятся комплексные показатели надежности это коэффициент готовности и коэффициент технического использования.

Среднее время восстановления T_g – это математическое ожидание времени восстановления работоспособного состояния объекта после отказа и определяется по формуле [7]:

$$T_g = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m t_{gi}, \quad (1)$$

где t_{gi} – время устранения i -го отказа, m – количество отказов, наблюдаемых в процессе испытаний или эксплуатации.

Вероятность восстановления – вероятность того, что время восстановления объекта будет меньше времени, т.е. не превысит заданного $P_g(t) = P(t_g \leq t)$, где t – заданное время восстановления.

Вероятность восстановления конструкций сетей и сооружений систем ВК в заданный момент времени t вычисляется по формуле [7]:

$$P_g(t) = \int_0^t f_g(\tau) d\tau. \quad (2)$$

Статистическое значение вероятности восстановления определяется по формуле [7]

$$P_g^*(t) = 1 - \frac{n_g(t + \Delta t)}{N_g(t + \Delta t)}, \quad (3)$$

где $n_g(t + \Delta t)$ – число устройств, не восстановленных за промежуток времени от t до $t + \Delta t$; $N_g(t + \Delta t)$ – общее число устройств, подлежащих восстановлению за этот же интервал времени.

Часто в качестве показателя ремонтпригодности используется интенсивность восстановления $\mu(t)$, которая характеризует вероятность восстановления работоспособности элементов системы водоснабжения и водоотведения в единицу времени, при условии, что до этого момента времени восстановление не произошло.

При известных законах распределения времени восстановления значение $\mu(t)$ определяется по формуле [7]:

$$\mu(t) = \frac{f_g(t)}{1 - F_g(t)}, \quad (4)$$

где $F_g(t)$ – функция распределения времени восстановления.

По статистическим данным значение интенсивности восстановления определяется по формуле [7]:

$$\mu^*(t) = \frac{m_g(t + \Delta t)}{n_g(t) \cdot \Delta t}, \quad (5)$$

где Δt – рассматриваемый промежуток времени, $m_g(t + \Delta t)$ – число восстановлений в интервале от t до $t + \Delta t$, $n_g(t)$ – число не восстановленных устройств на момент времени t .

Для оценки оперативной стороны ремонтпригодности, кроме приведенных показателей, используются также комплексные показатели, наиболее широкое распространение среди которых, получили коэффициент готовности и коэффициент технического использования. Коэффициент готовности K_T – вероятность того, что изделие будет работоспособно в произвольно выбранный момент времени, кроме периодов времени выполнения планового технического обслуживания [5].

В стационарном (установившемся) режиме эксплуатации и при любом виде закона распределения времени работы между отказами и времени восстановления коэффициент готовности определяется по формуле [5]:

$$K_T = \frac{T}{T + T_g}, \quad (6)$$

где T – наработка на отказ.

Вид этой характеристики показывает, что надежность систем водоснабжения и водоотведения является функцией не только их безотказности, но и ремонтпригодности.

Другой важной характеристикой ремонтпригодности является коэффициент технического использования $K_{ТИ}$, который представляет собой отношение времени работы системы за некоторый период эксплуатации к сумме этого времени работы и времени всех простоев, вызванных устранением отказов, техническим обслуживанием и ремонтами за тот же период [9].

Коэффициент технического использования определяется по формуле:

$$K_{ТИ} = \frac{t_p}{t_p + t_{рем} + t_{ТО} + t_в}, \quad (7)$$

где t_p – суммарная наработка изделия в рассматриваемый промежуток времени, $t_{рем}, t_{ТО}, t_в$ – соответственно суммарное время, затраченное на ремонт, техническое обслуживание и восстановление за тот же период времени.

К числу экономических показателей ремонтпригодности, являющихся комплексными [7], относятся:

- средние затраты денежных средств на техническое обслуживание и ремонты – $C_{ТОиР}$;
- средние затраты труда на техническое обслуживание и ремонты – $T_{Т,ТОиР}$;
- суммарные затраты денежных средств на техническое обслуживание и ремонт – C_{Σ} ;
- суммарные затраты труда на техническое обслуживание и ремонт – $T_{Т,\Sigma}$;
- удельные затраты средств на техническое обслуживание и ремонт – C_{Σ}^* ;
- удельные затраты труда на техническое обслуживание и ремонт – $T_{Т,\Sigma}^*$.

В зависимости от решаемой задачи эти показатели могут быть использованы и для оценки только приспособленности системы ВК к техническому обслуживанию или к ремонту.

Средние затраты денежных средств и труда на техническое обслуживание и ремонт определяются по зависимостям, аналогичным для среднего времени восстановления.

Зависимость для определения суммарных затрат на техническое обслуживание и ремонт рассмотрим на примере затрат труда. В этом случае

$$T_{Т,\Sigma} = \sum_{i=1}^{k_{ТО}} n_{ТОi} \cdot T_{Т,ТОi} + \sum_{i=1}^{k_p} n_{pi} \cdot T_{Т,рeми}, \quad (8)$$

где $k_{ТО}$ и k_p – число видов технического обслуживания и ремонта, установленных для рассматриваемого вида конструкций систем; $n_{ТОi}$ и n_{pi} – число обслуживаний и ремонтов рассматриваемого вида за период эксплуатации t_{Σ} ; $T_{Т,ТОi}$ и $T_{Т,рeми}$ – средняя трудоемкость обслуживания и ремонта. Значения n и T_T определяются расчетным путем и по статистическим данным.

Удельные затраты труда определяются по формуле:

$$T_{T,\Sigma}^* = \frac{T_{T,\Sigma}}{S}, \quad (9)$$

где S – срок эксплуатации конструкций систем водоснабжения и водоотведения в годах или единицах наработки за рассматриваемый период эксплуатации $t_{\text{э}}$.

Показатели технологичности конструкций систем водоснабжения и водоотведения при обслуживании определяют затраты времени, труда и денежных средств на ее техническое обслуживание в процессе эксплуатации [2].

Наиболее распространенными показателями технологичности при обслуживании являются оперативные показатели: среднее время проведения i -го вида технического обслуживания, и вероятность проведения технического обслуживания i -го вида в заданное время; экономические показатели: средняя, суммарная и удельная трудоемкость технического обслуживания и средняя, суммарная и удельная стоимость технического обслуживания [3].

Среднее время проведения i -го вида технического обслуживания определяется по формуле, аналогичной формуле для оценки среднего времени восстановления конструкций систем водоснабжения и водоотведения:

$$T_{TOi} = M[t_{TOi}] = \int_0^{\infty} t_{TOi} \cdot f_{TOi}(t) dt, \quad (10)$$

где t_{TOi} – случайное время технического обслуживания i -го вида; $f_{TOi}(t)$ – плотность вероятности времени технического обслуживания.

Вероятность проведения технического обслуживания i -го вида в заданное время определяется по формуле:

$$P_{TOi}(t) = \int_0^{\infty} f_{TOi}(t) dt. \quad (11)$$

Средняя трудоемкость T_{TOi} и средняя стоимость C_{TOi} технического обслуживания i -го вида определяются по аналогичным формулам. Статистические их значения определяются по формулам (на примере трудоемкости)

$$T_{T,TOi}^* = \frac{1}{n_{Ti}} \sum_{j=1}^{n_{Ti}} T_{T,TOi,j}. \quad (12)$$

Суммарная трудоемкость технического обслуживания всех видов за период эксплуатации $t_{\text{э}}$ равна:

$$T_{T,TO,\Sigma} = \sum_{i=1}^{k_{TO}} n_{TOi} \cdot T_{T,TOi}. \quad (13)$$

Удельная трудоемкость технического обслуживания определяется из соотношения:

$$T_{T,TO,\Sigma}^{**} = \frac{T_{T,TO,\Sigma}}{S}. \quad (14)$$

По аналогичным зависимостям определяются значения $C_{TO,\Sigma}$, $C_{TO,\Sigma}^*$.

Показатели технологичности конструктивных элементов систем водоснабжения и водоотведения при ремонте

Эти показатели относятся как к системам водоснабжения и водоотведения в целом, так и к ее составным частям.

Показателями технологичности при ремонте являются:

а) оперативные показатели: среднее время ремонта i -го вида $T_{реми}$; вероятность проведения ремонта i -го вида в заданное время $P_{реми}(t)$;

б) экономические показатели: средняя трудоемкость ремонта i -го вида $T_{T,реми}$; средняя стоимость ремонта i -го вида $C_{реми}$; суммарная трудоемкость $T_{T,рем\Sigma}$ и суммарная стоимость ремонта $C_{рем\Sigma}$; удельная трудоемкость $T_{T,рем\Sigma}^{**}$ и удельная стоимость ремонта $C_{рем\Sigma}^{**}$.

Для определения значений этих показателей используются зависимости, аналогичные принятым для показателей технического обслуживания.

Дополнительные показатели ремонтпригодности

Дополнительные показатели позволяют более полно охарактеризовать как экономическую, так и оперативную стороны ремонтпригодности, а также использовать их как управляемые переменные при обеспечении свойства ремонтпригодности.

Применение дополнительных показателей позволяет проводить [1]:

- технико-экономический анализ конструкции на всех этапах ее создания;
- оценку приспособленности конструкций сетей и сооружений водоснабжения и водоотведения к принятой системе технического обслуживания и ремонта;
- оценку влияния отдельных свойств конструкции и внешних факторов на ремонтпригодность систем водоснабжения и водоотведения;
- построение математической модели для управления свойством ремонтпригодности.

В зависимости от типа конструкции систем водоснабжения и водоотведения и состава влияющих факторов, меняется состав дополнительных показателей ремонтпригодности. Рассмотрим один из примеров классификации дополнительных показателей:

1. Первая группа показателей, характеризует общее совершенство конструкции – здесь имеется в виду не только совершенство конструкции как объекта эксплуатации, обслуживания и ремонта, но и как объекта производства. К этой группе показателей относятся: коэффициент применяемости конструктивных элементов; коэффициент унификации (показывает, какая часть из использованных в изделии деталей является унифицированной); коэффициент конструктивной преемственности; коэффициент взаимозаменяемости; коэффициент кратности технического обслуживания и сроков службы конструктивных элементов; коэффициент кратности сроков службы элементов.

2. Вторая группа показателей, характеризует преимущественно приспособленность конструкции машин к техническому обслуживанию и ремонту. К таким показателям относятся, в первую очередь, показатели доступности, легкоъемности и контро-

лепригодности. Возможны два способа установления показателей оценки контролепригодности. Первым способом устанавливаются некоторые комплексные показатели, охватывающие различные стороны этого свойства. В качестве таких показателей могут использоваться коэффициенты: общей контролепригодности; коэффициент приспособленности конструкции к i -методу контроля (визуально, с применением технических средств встроенного или сервисного контроля и т. п.); коэффициент контролепригодности; коэффициент доступности; коэффициент легкоъемности агрегатов и конструктивных элементов.

3. Третья группа показателей, характеризует преимущественно совершенство конструкции с точки зрения ее приспособленности к применению прогрессивных организационно-технических форм и методов технического обслуживания и ремонта. Наиболее распространенными показателями третьей группы являются: коэффициент восстановления ресурса при ремонте; коэффициент применяемости i -го вида ремонта (ремонт регулировкой, ремонт заменой и т.д.).

Рассмотренные группы дополнительных показателей и их состав не исчерпывают всего многообразия показателей этих групп. В зависимости от особенностей систем водоснабжения и водоотведения и условий их эксплуатации, состав показателей и их классификация могут изменяться.

Выводы. Выбор состава показателей ремонтпригодности конструктивных элементов систем водоснабжения и водоотведения, установление их количественных значений, как правило, представляет собой сложную технико-экономическую задачу. Эти трудности обусловлены комплексным характером решаемой задачи, а также большим разнообразием выполняемых машинами функций, режимов их использования, условий эксплуатации и ремонта, разнообразием характеристик, применяемых для оценки эффективности использования. Не менее важное влияние на решение вопроса оказывает экстремальный характер задачи. В этом случае показатели ремонтпригодности рассматриваются или в виде параметров оптимизации (целевой функции), или как ограничения. В связи с этим, при определении показателей ремонтпригодности и надежности конструктивных элементов, оборудования и агрегатов систем водоснабжения и водоотведения, необходим комплексный, многосторонний подход, позволяющий оценить и предусмотреть все факторы эксплуатации различных систем водоснабжения и водоотведения. В дальнейших работах будут более детально рассмотрены факторы, определяющие дополнительные показатели ремонтпригодности и надежности систем водоснабжения и водоотведения.

Литература

1. Салиев Э.И. Оценка влияния показателей ремонтпригодности систем водоснабжения и водоотведения на их технико-экономические показатели / Э.И. Салиев, И.В. Николенко, Э.У. Гаффарова // Науковий вісник будівництва. – Харків: Харківський національний університет будівництва та архітектури. – 2012. – №69. – С. 296–302.

2. Энергосбережение при применении современного оборудования и методов очистки для биологической очистки городских сточных вод // С. Эпоян, В. Атаманчук, Ю. Штонда, А. Зубко // MOTROL – 2009. – №13С. – С. 5–10.

3. Ильин Ю.А. Показатели надежности трубопроводов водопроводной сети. В кн.: "Вопросы надежности систем водоснабжения" // Ю. А. Ильин / Сб. трудов МИСИ, 1978. – № 170. – С. 61–69.

4. Стан водопостачання та водовідведення в Україні / М.М. Гіроль, О.А. Ткачук, Г.М. Семчук та ін. // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2005. – № 19. – С. 3–9.
5. Салиев Э.И. Анализ состояния системы водоснабжения и водоотведения и качество, как основное свойство / Э.И. Салиев, И.В. Николенко, Э.У. Гаффарова // Научный вестник строительства. – Харьков: Харьковский национальный университет строительства та архитектуры. – 2012. – № 71. – С. 285–298.
6. Асоціація водопровідно-каналізаційного господарства України. Щодо стану та проблем функціонування водопровідно-каналізаційного господарства України за підсумками роботи у 2006–2007 роках // Вісник Академії будівництва України. – К.: АБУ. – 2008. – № 18. – С. 183–189.
7. Салиев Э.И. Параметры надежности системы водоснабжения и канализации, ремонтпригодность как главное свойство надежности / Э.И. Салиев // Научный вестник строительства. – Харьков: Харьковский национальный университет строительства та архитектуры. – 2012. – № 70. – С. 285–297.
8. Гіроль М.М. Ефективність систем водопостачання України як фактор національної безпеки держави / М.М. Гіроль, Г.М. Семчук // Надзвичайна ситуація. – 2001. – № 5. – С. 10.
9. Салиев Э.И. Влияние ремонтпригодности на надежность систем водоснабжения / Э.И. Салиев, И.В. Николенко, Э.У. Гаффарова // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета, технические науки. – г. Симферополь НИЦ КИПУ. – 2012. – №36. – С. 43–49.
10. Салиев Э.И. Направление усовершенствования систем водоснабжения и водоотведения с целью обеспечения рационального использования природных ресурсов Крыма / Э.И. Салиев // Научный вестник строительства. – Харьков: Академія будівництва України. – 2011. – № 63. – С. 461–470.

Bibliography (transliterated)

1. Saliev E.I. Otsenka vliyaniya pokazateley remontprigodnosti sistem vodosnabzheniya i vodootvedeniya na ih tehniko-ekonomicheskie pokazateli E.I. Saliev, I.V. Nikolenko, E.U. Gaffarova Nauchovy visnik budivnitstva. – Harkiv: Harkivskiy natsionalniy universitet budivnitstva ta arhitekturi. – 2012. – #69. – p. 296–302.
2. Energoberezhnie pri primenenii sovremennogo oborudovaniya i metodov ochistki dlya biologicheskoy ochistki gorodskih stochnyih vod S. Epoyan, V. Atamanchuk, Yu. Shtonda, A. Zubko MOTROL – 2009. – #13 p. – p. 5–10.
3. Ilin Yu.A. Pokazateli nadezhnosti truboprovodov vodoprovodnoy seti. V kn.: "Voprosyi nadezhnosti sistem vodosnabzheniya" Yu. A. Ilin Sb. trudov MISI, 1978. – # 170. – p. 61–69.
4. Stan vodopostachannya ta vodovidvedennya v Ukrayini M.M. Girol, O.A. Tkachuk, G.M. Semchuk ta in. Visnik Odeskoyi derzhavnoyi akademiyi budivnitstva ta arhitekturi. – 2005. – # 19. – p. 3–9.
5. Saliev E.I. Analiz sostoyaniya sistemyi vodosnabzheniya i vodootvedeniya i kachestvo, kak osnovnoe svoystvo E.I. Saliev, I.V. Nikolenko, E.U. Gaffarova Nauchovy visnik budivnitstva. – Harkiv: Harkivskiy natsionalniy universitet budivnitstva ta arhitekturi. – 2012. – # 71. – p. 285–298.
6. Asotsiatsiya vodoprovodno-kanalizatsiyynogo gospodarstva Ukrayini. Schodo stanu ta problem funktsionuvannya vodoprovodno-kanalizatsiyynogo gospodarstva Ukrayini za

pidsumkami roboti u 2006–2007 rokah Visnik Akademiya budivnitstva Ukrayini. – K.: ABU. – 2008. – # 18. – p. 183–189.

7. Saliev E.I. Parametry nadezhnosti systemy vodosnabzheniya i kanalizatsii, remontoprignodnost kak glavnoe svoystvo nadezhnosti E.I. Saliev Naukoviy visnik budivnitstva. – Harkiv: Harkivskiy natsionalniy universitet budivnitstva ta arhitekturi. – 2012. – # 70. – p. 285–297.

8. Girol M.M. Efektivnist sistem vodopostachannya Ukrayini yak faktor natsionalnoyi bezpeki derzhavi M.M. Girol, G.M. Semchuk Nadzvichayna situatsiya. – 2001. – # 5. – p. 10.

9. Saliev E.I. Vliyanie remontoprignodnosti na nadezhnost sistem vodosnabzheniya E.I. Saliev, I.V. Nikolenko, E.U. Gaffarova Uchenyie zapiski Kryimskogo inzhenerno-pedagogichnogo universiteta, tehnicheckie nauki. – g. Simferopol NITs KIPU. – 2012. – #36. – p. 43–49.

10. Saliev E.I. Napravlenie usovershenstvovaniya sistem vodosnabzheniya i vodootvedeniya s tselyu obespecheniya ratsionalnogo ispolzovaniya prirodnyih resursov Kryima E.I. Saliev Naukoviy visnik budivnitstva. – Harkiv: Akademiya budivnitstva Ukrayini. – 2011. – # 63. – p. 461–470.

УДК 628.1-2

Салієв Е.І.

КРИТЕРІЇ ВИБОРУ СКЛАДУ ПОКАЗНИКІВ РЕМОНТОПРИДАТНОСТІ СИСТЕМ ВОДОПОСТОЧАННЯ ТА ВОДОВІДВЕДЕННЯ

У статті розглянуті класифікація і основні показники ремонтпридатності конструктивних елементів, устаткування і агрегатів систем водопостачання і водовідведення, наведені розрахунки основних показників і коефіцієнти технічного використання, а також визначені додаткові показники і коефіцієнти ремонтпридатності.

Saliev E.I.

SELECTION CRITERION OF THE MAINTAINABILITY INDICATORS COMPOSITION OF THE WATER SUPPLY AND SANITATION SYSTEMS

This article discusses the classification and main indicators of the maintainability of the structural elements of the equipment and components of systems of water supply and sanitation, calculations of key indicators and ratios technical usage, and also identified additional indicators and factors of maintainability.