

DOI: 10.34031/2071-7318-2026-11-3-86-93

^{1,*}Глуханов А.С., ²Семейкин А.Ю.¹Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет²Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

*E-mail: promo19_78@mail.ru

ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДИКИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗРУШЕНИЙ В СИСТЕМЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ В СЛУЧАЕ АВАРИЙНОЙ СИТУАЦИИ

Аннотация. Прогнозирование разрушения системы теплоснабжения вследствие различных причин, таких как повреждение, износ, коррозионное воздействие, а также предотвращение аварийной ситуации является актуальной темой исследования на протяжении всего срока службы трубопроводов тепловых сетей. Коррозионные разрушения являются наиболее распространенным видом износа трубопроводов. Прогнозирование развития разрушения позволит определить наиболее эффективный метод их восстановления, что будет способствовать предотвращению разрушения инженерных сооружений, улучшению экологической обстановки и обеспечит оптимальное функционирование систем трубопроводов. Несмотря на достоинства существующих методик, они все еще находятся в стадии доработки. Практика их применения показывает, что лучше всего их отрабатывать на реально существующей системе, в отличие от новой, не бывшей ранее в эксплуатации, где имеются свои особенности и факторы риска. Приступая к работе, важно проверить все технические особенности, составить четкий план действий, который в итоге даст возможность сократить сроки на восстановление, повысить эксплуатационные характеристики и надежность системы. Результаты данного исследования могут быть использованы организациями, на балансе которых находятся трубопроводы тепловых сетей, для корректировки графика предупредительных ремонтных работ.

Ключевые слова: система теплоснабжения, прогнозирование разрушения, интенсивность отказов, недостаточное тепловыделение.

Введение. Системы теплоснабжения относятся к одним из наиболее значимых систем обеспечения жизнедеятельности населения и промышленности нашей страны. Обеспечение надежной работы и повышение энергоэффективности систем теплоснабжения были и остаются главными задачами научных исследований [1–4].

В ходе выполнения представленного исследования были проанализированы причины, вызывающие разрушение трубопроводов системы теплоснабжения, а также существующие методики, позволяющие прогнозировать этот процесс, что имеет неоспоримо важное значение, особенно для организаций, занимающихся эксплуатацией системы теплоснабжения [5–7].

Анализ методик позволил выявить следующие факторы, которые принимаются в расчет при выполнении прогнозирования [8–12]:

- диаметры трубопроводов;
- продолжительность эксплуатации трубопроводов;
- наличие дополнительного оборудования.

Перечень выявленных факторов не учитывает условия эксплуатации трубопроводов и гидравлические режимы работы тепловой сети и, следовательно, совершенствовании методики является объективной необходимостью [8–12]. Показатели надежности и эффективности тепловой сети взаимосвязаны между собой. Следовательно, их нельзя рассматривать отдельно друг

от друга. Только комплексный подход к решению проблемы поможет получить максимальный результат.

Анализ детерминант, оказывающих воздействие на темпы развития коррозионных процессов. Наибольшее влияние на процесс износа, повреждения и, как следствие, разрушения, особенно при длительной эксплуатации или при наличии высокого уровня грунтовых вод, оказывают процессы коррозии. Коррозия – самопроизвольное разрушение металла в результате химического или физико-химического взаимодействия с окружающей средой. Внешний вид повреждений, вызванных различными процессами коррозии представлены на рисунке 1.

Углекислая коррозия (рис. 1А) развивается при наличии в теплоносителе солей угольной кислоты, в частности карбонатов и бикарбонатов, образующих бугорчатые отложения на стенках труб. Под этими отложениями формируются язвы диаметром от 5 до 20 мм. Основная причина – нарушения в процессе водоподготовки.

Язвенная коррозия (рис. 1Б) поражает нижние участки трубопроводов, где вероятно образование застоя воды, скопление конденсата и осаждение продуктов коррозии. Характерной чертой этого типа коррозии является множественность очагов поражения: на поверхности образуются многочисленные отдельные зоны глубокого разрушения, которые со временем приводят

к сквозным отверстиям, делая невозможной дальнейшую эксплуатацию участка системы.

Щелевая коррозия (рис. 1В) возникает в зоне сварных соединений при некачественном выполнении сварного шва (непровар). Этот технологический дефект способствует развитию коррозии, так как в таких местах образуются застойные зоны, где среда становится более кислой и концентрированной [4–6].

Прямошовные сварные трубопроводы большого диаметра особенно подвержены коррозионному разрушению (рис. 1Г). Разъедание происходит по внутренней стороне сварного шва, если после автоматической сварки труба не подвергается термообработке. Это приводит к повышению остаточного напряжения в зоне шва, что и вызывает разрушение.



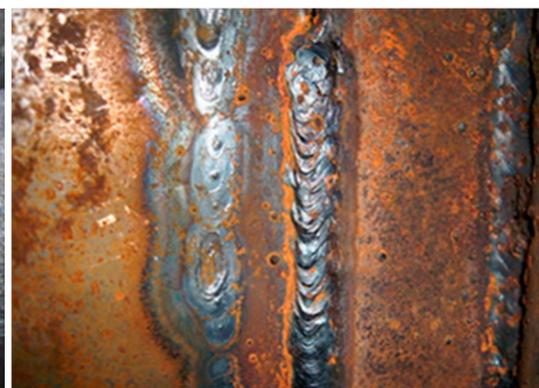
А) Углекислая коррозия



Б) Язвенная коррозия



В) Щелевая коррозия



Г) Коррозионное разрушение прямошовных сварных труб

Рис. 1. Варианты коррозии стальных трубопроводов тепловых сетей

Повреждения, вызванные внутренней коррозией, приводят к утечкам теплоносителя через коррозионные язвы уже через 5–6 лет после прокладки трубопровода. Кроме того, происходит постепенное увлажнение теплоизоляции, что влечет за собой коррозию наружной поверхности трубы на всем участке контакта с изоляцией.

Коррозия внешней поверхности возникает вследствие химических реакций, инициированных агрессивными компонентами окружающей среды [4]. Взаимодействие металла с активными газообразными и жидкими веществами приводит к химическим реакциям, тогда как контакт с электролитами вызывает электрохимическую коррозию. Именно поэтому при проектировании трубопроводных магистралей особое внимание уделяется анализу химического состава грунтов.

Внутренняя и внешняя коррозия могут развиваться как одновременно, так и независимо

друг от друга. В первом случае внутреннее разрушение стенок трубопровода начинается с образования небольших язв, которые со временем разъедают стенку до сквозного отверстия, вызывая утечку транспортируемой жидкости. Это приводит к увлажнению изоляционного слоя и, как следствие, к развитию поверхностной коррозии. Возникновение и прогрессирование исключительно внешней коррозии может быть обусловлено подтоплением грунтовыми водами, увлажнением поверхности из-за утечек из других трубопроводов, а также повышенной влажностью в каналах тепловых сетей. Для внешней коррозии характерны локальные повреждения, обычно расположенные на расстоянии не более 1,5 метров друг от друга [1, 3].

Коррозия стали в условиях тепловых сетей протекает с кислородной деполяризацией, по-

этому кислород имеет большое влияние на повреждаемость трубопроводов. По графику на рисунке 2 видно, что с увеличением концентрации кислорода в транспортируемой жидкости увеличивается скорость коррозии. Повышенное содержание кислорода способствует более интенсивному протеканию коррозионных реакций на металлических поверхностях, находящихся в контакте с теплоносителем. Это обусловлено тем, что кислород выступает в роли катализатора окислительных процессов, разрушающих структуру металла. Таким образом, контроль и поддержание низкого уровня кислорода в теплоносителе является важной мерой для замедления или предотвращения коррозии в системах теплоснабжения и отопления [5, 6, 9, 10, 12].

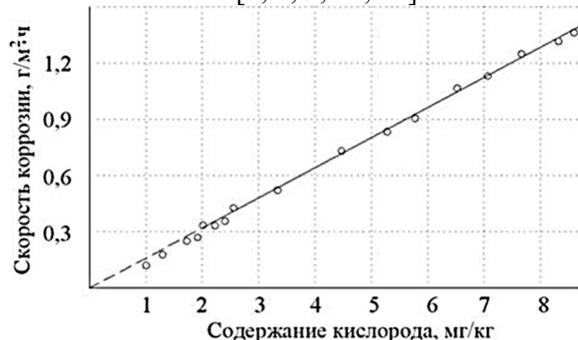


Рис. 2. Зависимость скорости развития коррозии от содержания кислорода в теплоносителе

При анализе факторов, влияющих на скорость протекания коррозии в трубопроводах, нельзя не отметить давление и температуру теплоносителя. Так как при повышении давления возрастает и скорость процесса коррозии, особенно если при этом увеличивается и температура воды. По графику на рисунке 3 видно, что температурные параметры теплоносителя оказывают непосредственное влияние на скорость протекания коррозионных процессов. Увеличение температуры, как правило, приводит к интенсификации коррозии. Данное явление обусловлено тем, что с ростом температуры возрастает скорость химических реакций, в том числе и тех, которые лежат в основе коррозионного разрушения металлов. Кроме того, повышение температуры может изменять свойства теплоносителя, такие как растворимость газов и концентрацию агрессивных ионов, что также способствует ускорению коррозии. Таким образом, контроль и поддержание оптимальной температуры теплоносителя является важным фактором в обеспечении долговечности и надежности оборудования тепловых сетей [6, 9–12].

Анализ результатов проведенных исследований. Для прогнозирования степени повреждаемости магистральных трубопроводов от

коррозии необходимо произвести расчет на надежность тепловой сети.

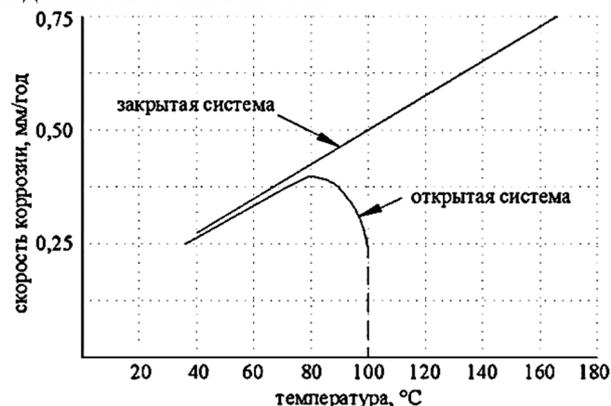


Рис. 3. Зависимость скорости развития коррозии от температуры теплоносителя

Используемая методика расчета показателей надежности участков и элементов тепловой сети центрального теплоснабжения помогает выбрать или же скорректировать схему трассы при проектировании, однако для увеличения эффективности и точности расчетов надежности системы и выявления большего числа предполагаемых уязвимых участков и элементов тепловой сети в методику необходимо дополнить [7].

Вычисление такого важного показателя как интенсивность отказов элементов тепловой сети должен учитывать не только продолжительность эксплуатации, но и такой параметр как скорость протекания коррозии, т.е. отношение изменения толщины стенки к сроку эксплуатации. По графику на рисунке 4 видно, что продолжительность эксплуатации оказывает прямое воздействие на истончение стенок трубопровода. Чем дольше период использования трубопроводной системы, тем более выражена тенденция к уменьшению толщины её стенок. Этот процесс обусловлен кумулятивным эффектом коррозионных и эрозионных факторов, воздействующих на материал трубы с течением времени. Длительное нахождение в рабочих условиях, включающих воздействие транспортируемой среды, температурные колебания и механические нагрузки, способствует постепенному разрушению защитного слоя и основного металла. Скорость истончения стенок может варьироваться в зависимости от характеристик транспортируемого вещества, качества материала труб, а также применяемых методов антикоррозионной защиты [9–12].

Изучение частоты возникновения аварийных ситуаций в теплопроводных сетях. С течением срока службы трубопроводных систем наблюдается закономерное изменение их характеристик, в частности, постепенное уменьшение толщины стенок. Данное явление обусловлено

совокупным воздействием различных факторов, включая коррозионные процессы, эрозионный

износ и механические повреждения. Интенсивность утонения стенок напрямую зависит от продолжительности эксплуатации трубопровода.

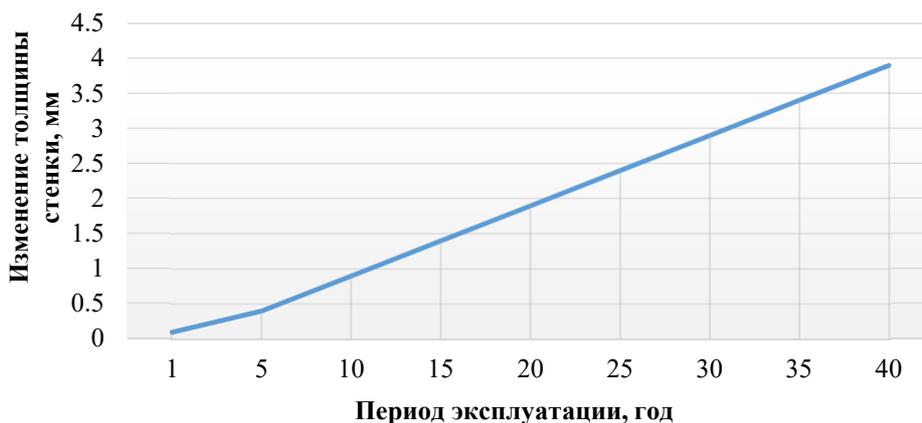


Рис. 4. Влияние времени использования на степень уменьшения толщины стенок трубопровода

Оценка частоты возникновения неисправностей в теплопроводе в зависимости от продолжительности его использования [11–13]:

$$\lambda = \lambda^{\text{нач}} \cdot (0,1 \cdot \tau^{\text{экспл}})^{\alpha-1}, \quad (1)$$

где $\lambda^{\text{нач}}$ – начальная интенсивность отказов тепловой сети, характеризует период ее штатной эксплуатации и измеряется в обратных километрах-часах, $1/(\text{км} \cdot \text{ч})$; $\tau^{\text{экспл}}$ – продолжительность эксплуатации рассматриваемого участка трубопровода, выраженная в годах; α – коэффициент отражает влияние времени работы участка на его надежность и учитывает продолжительность его эксплуатации.

График, представленный на рисунке 4, демонстрирует динамику изменения толщины стенок стального трубопровода в процессе его функционирования. Данные, отображенные на графике, основаны на статистическом анализе,

$$\lambda = \lambda^{\text{нач}} \cdot (0,1 \cdot \tau^{\text{экспл}})^{(\alpha+v_k)-1} = \lambda^{\text{нач}} \cdot (0,1 \cdot \tau^{\text{экспл}})^{\alpha-0,14} \cdot \frac{1}{\text{км} \cdot \text{ч}} \quad (3)$$

В результате чего интенсивность отказов на участках увеличится в 1,3 раза с $0,000057$ до $0,000076$ ($5,7 \cdot 10^{-6}$ до $7,6 \cdot 10^{-6}$).

В данном исследовании приводятся две таблицы, содержащие детальные технические параметры и характеристики надежности различных секций тепловой сети. В частности, для каждой секции указаны следующие показатели: идентификационный номер, протяженность в метрах,

проведенном в ходе эксплуатации подобных трубопроводов. Для внесения данного параметра в формулу необходимо сделать его безразмерным [9, 13–15]:

$$v_k = \frac{x-x_{\text{min}}}{x_{\text{max}}-x_{\text{min}}}, \quad (2)$$

где x – изменение толщины стенки, мм

$$v_k = \frac{0,09 - 0,08}{0,1 - 0,08} = 0,86$$

Затем, вычисленное значение параметра прибавляется к коэффициенту α , который отражает период эксплуатации рассматриваемого участка. Следовательно, для определения интенсивности отказов трубопровода, принимая во внимание как срок его использования, так и уровень коррозионного износа, применяется следующая формула [7, 8, 12]:

диаметр трубопровода в миллиметрах, время нахождения в эксплуатации, частота возникновения неисправностей на единицу длины теплопровода, общее количество зарегистрированных отказов, среднее время, необходимое для устранения неисправности на участке, частота выполнения восстановительных работ, а также вероятность возникновения отказа в работе данного участка тепловой сети.

Таблица 1

Расчет выполнен с учетом времени его эксплуатации

№ участка	Длина участка, м	$d_{\text{вн}}$, м	$\tau^{\text{экспл}}$, лет	λ , $1/(\text{км} \cdot \text{ч})$	ω , $1/\text{ч}$	z^B , ч	μ , $1/\text{ч}$	\square_f
Участки тепловой сети Т1, Т2								
1	61	0,309	14	0,000057	$3,48 \cdot 10^{-7}$	16,44	0,06	$5,72 \cdot 10^{-6}$
2	226	0,207	14	0,000057	$1,29 \cdot 10^{-6}$	11,28	0,09	$1,45 \cdot 10^{-5}$
3	18	0,15	14	0,000057	$1,03 \cdot 10^{-7}$	8,59	0,12	$8,82 \cdot 10^{-7}$
4	51,5	0,15	14	0,000057	$2,94 \cdot 10^{-7}$	8,59	0,12	$2,52 \cdot 10^{-6}$

Таблица 2

Расчет выполнен с учетом эксплуатации и скорости коррозии

№ участка	Длина участка, м	$d_{вн}$, м	$\tau^{экспл}$, лет	λ , 1/(км·ч)	ω , 1/ч	z^B , ч	μ , 1/ч	\square_f
Участки тепловой сети Т1, Т2								
1	61	0,309	14	0,0000076	$4,64 \cdot 10^{-7}$	16,44	0,06	$7,63 \cdot 10^{-6}$
2	226	0,207	14	0,0000076	$1,72 \cdot 10^{-6}$	11,28	0,09	$1,94 \cdot 10^{-5}$
3	18	0,15	14	0,0000076	$1,37 \cdot 10^{-7}$	8,59	0,12	$1,18 \cdot 10^{-6}$
4	51,5	0,15	14	0,0000076	$3,92 \cdot 10^{-7}$	8,59	0,12	$3,37 \cdot 10^{-6}$

В результате учета влияния скорости коррозии увеличиваются значения потока отказов на участках и вероятность отказа тепловой сети. Данное увеличение обусловлено тем, что коррозионные процессы ослабляют структуру материала трубопроводов, уменьшая их устойчивость к воздействию внутреннего давления и внешних нагрузок. В результате срок службы отдельных участков сети сокращается, что приводит к более частым отказам и необходимости проведения ремонтных работ. Важно отметить, что скорость коррозии не является постоянной величиной и зависит от множества факторов, включая химический состав теплоносителя, температуру, давление, а также материал и состояние трубопроводов. Игнорирование этих факторов при проектировании и эксплуатации тепловых сетей может привести к недооценке риска отказов и, как следствие, к авариям и перебоям в теплоснабжении потребителей. Для минимизации влияния коррозии на надежность тепловых сетей необходимо проводить регулярный мониторинг состояния

трубопроводов, осуществлять обработку теплоносителя для снижения его коррозионной активности, а также применять современные материалы и технологии, устойчивые к коррозионному воздействию.

Исследование среднего суммарного недоотпуска тепла потребителю. В случае отказа одного из компонентов тепловой сети, относительный показатель часового теплопотребления абонента определяется как соотношение фактического часового расхода тепла при аварийной ситуации к расчетной часовой нагрузке этого абонента. Однако данный показатель не принимает во внимание гидравлическую стабильность участка подключения потребителя, которая отражает способность системы поддерживать неизменный расход теплоносителя на вводе абонента при изменениях в работе других потребителей [1, 3].

Средний суммарный дефицит тепловой энергии, недополученной j -ым потребителем за весь отопительный сезон, может быть рассчитан следующим образом [8, 10, 14, 15]:

$$Q_j = \left(g_j^p - \sum_{f=0} p_f g_{j,f} \right) \cdot (\tau_1^p - \tau_2^p) \cdot \frac{t_j^{BP} - t^{H CP}}{t_j^{BP} - t^{HP}} \cdot \tau^{OT} \cdot 10^{-3}, \text{ Гкал} \tag{4}$$

где g_j^p – вычисленный почасовой расход теплоносителя, предназначенного для j -го потребителя, т/ч; $g_{j,f}$ – почасовой расход теплоносителя, используемый j -м потребителем, в случае отказа f -го элемента системы, т/ч; p_f – вероятность возникновения состояния сети, которое соответствует отказу f -го элемента; τ_1^p и τ_2^p – расчётные значения температур воды в подающем и обратном трубопроводах тепловой сети соответственно, при условиях расчётной температуры наружного воздуха t^{HP} температуры воды в подающей и обратной магистралях тепловой сети, °C; t_j^{BP} – вычисляемая температурная характеристика воздушной среды внутри сооружения для j -го пользователя, °C; $t^{H CP}$ – среднее значение температуры атмосферного воздуха на протяжении отопительного сезона, °C; t^{HP} – тепловая нагрузка на здание в холодное время года, °C; τ^{OT}

– Продолжительность периода функционирования системы отопления, ч.

Способность системы сохранять требуемый расход теплоносителя при отказе некоторых потребителей, в случае аварии, характеризуется гидравлической устойчивостью. Гидравлическая устойчивость количественно оценивается коэффициентов гидравлической устойчивости:

$$y = \frac{g_j^p}{g_{j,f}} \tag{5}$$

Следовательно, целесообразно ввести в формулу для определения среднего суммарного недоотпуска теплоты величину коэффициента гидравлической устойчивости для более точного определения этой величины в случае возникновения аварийной ситуации. При введении коэффициента гидравлической устойчивости [8, 14, 15–17]:

$$Q_j = \left(g_j^p - \sum_{f=0} p_f \cdot \left(\frac{g_j^p}{y} \right) \right) \cdot (\tau_1^p - \tau_2^p) \cdot \frac{t_j^{BP} - t^{H CP}}{t_j^{BP} - t^{HP}} \cdot \tau^{OT} \cdot 10^{-3}, \text{ Гкал} \tag{6}$$

Таблица 3

Средний суммарный недоотпуск теплоты j -му потребителю в течение отопительного периода

Расчет произведен без учета коэффициента, учитывающего гидравлическую устойчивость.		Расчет производится с учетом коэффициента гидравлической устойчивости.	
№ потребителя	Средний суммарный недоотпуск тепла за отопительный период Q_j , Гкал	№ потребителя	Средний суммарный недоотпуск тепла за отопительный период Q_j
1	0,00004	1	0,00007
2	0,00005	2	0,00010
3	0,00005	3	0,00010
4	0,00016	4	0,00017

Заключение. Анализ полученных данных позволяет констатировать, что среднее совокупное значение недоотпуска теплоты, скорректированное с учетом гидравлической устойчивости, демонстрирует увеличение в среднем в три раза.

Для повышения действенности и достоверности применяемого метода расчета надежности системы, а также для обнаружения большего количества потенциально слабых мест и компонентов тепловой сети, в процесс вычисления ключевых показателей, таких как частота возникновения отказов элементов тепловой сети, среднее время восстановления участков и относительный почасовой расход тепла у потребителя при выходе из строя одного из элементов сети, следует добавить параметры, оказывающие влияние на скорость развития аварийных ситуаций. Такое дополнение позволит более точно оценить риски и уязвимости системы теплоснабжения, что, в свою очередь, создаст основу для разработки эффективных мер по предотвращению аварий и повышению надежности функционирования тепловой сети. Учет параметров, влияющих на скорость развития аварийных ситуаций, сделает расчеты более полными и реалистичными, отражая динамику процессов, происходящих в системе при возникновении нештатных ситуаций.

Аналитические данные, полученные в результате комплексной диагностики состояния систем теплоснабжения, позволяют не только оценить текущий уровень износа оборудования и трубопроводов, но и выявить наиболее уязвимые участки, подверженные риску возникновения аварийных ситуаций. На основе этих данных разрабатываются модели прогнозирования остаточного ресурса элементов системы, учитывающие такие факторы, как материал труб, условия эксплуатации, характеристики теплоносителя и внешние воздействия.

Методика прогнозирования степени разрушения, основанная на анализе статистических данных о повреждениях, результатах неразрушающего контроля и математическом моделировании, позволяет с высокой точностью определить вероятность возникновения дефектов и оценить скорость их развития. Это, в свою очередь, дает

возможность заблаговременно планировать ремонтные работы и замену оборудования, снижая риск внезапных отключений и аварий.

Полученные аналитические данные могут служить основой для методики прогнозирования степени разрушения и выбора вариантов восстановления систем теплоснабжения при разработке разделов по предотвращению чрезвычайных ситуаций и увеличения срока службы до 30–40 лет.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шкаровский А.Л. Теплоснабжение: учебник для вузов. М.: Лань, 2024. 392 с.
2. Ионин А.А., Хлыбов Б.М., Братенков В.Н., Терлецкая Е.Н. Теплоснабжение: учебник. М.: ЭКОЛИТ, 2011. 336 с.
3. Авдолимов Е.М., Брюханов О.Н., Жила В.А. Теплогазоснабжение и вентиляция: учебник. М.: Издательский центр "Академия", 2013. 400 с.
4. Варфоломеев, Ю.М., Кокорин О.Я. Отопление и тепловые сети: учебник. М.: ИНФРА-М, 2016. 480 с.
5. Biryuzova E.A., Glukhanov A.S. Improving energy efficiency and reliability of heating networks through the use of multilayer thermal insulation structures // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. 962, 032002. DOI: 10.1088/1757-899X/962/3/032002 EDN: UQBQTA
6. Biryuzova E.A., Glukhanov A.S. Study of the Effectiveness of the Transition from an Open Heat Supply Systems to a Closed One // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2021. 1079, 032072. DOI: 10.1088/1757-899x/1079/3/032072 EDN: LBL YQR
7. Москалёв И.Л., Литвак В.В. Повреждаемость основных узлов сетей теплоснабжения городов Российской Федерации // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2015. Т.326, №7. С.70–80. EDN: UKFCCF
8. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. М.: Изд во МЭИ, 2011. 472 с.
9. Некрасов И.Н., Шишкин Е.В., Глуханов А.С. Методологические основы диагностирования

ния специальных технических систем // Фундаментальные исследования. 2016. №11-1. С. 59–63. EDN: XALCGR

10. Бирюзова Е.А., Глуханов А.С. Влияние способа прокладки трубопроводов на энергетическую эффективность тепловой сети. Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура (Пермь). 2019. Т.10. №4. С. 59–66. DOI: 10.15593/2224-9826/2019.4.06 EDN: PAHSBC

11. Смородова О.В., Скрипченко А.С. Порядковая статистика в системах теплоснабжения // Нефтегазовое дело. 2016. №4. С. 124–137.

12. Семенов В.Г. О повышении надежности и энергоэффективности тепловых сетей // Энергосовет. 2010. №7(12). С. 71–79.

13. Кремер Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: ЮНИТИ ДАНА, 2010. 551 с.

14. СП 74.13330.2023. Свод правил. Тепловые сети [Электронный ресурс]. URL:

https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_470644 (дата обращения: 08.08.2025).

15. ГОСТ Р 21.621-2023. Правила выполнения проектной документации систем отопления, вентиляции, кондиционирования и тепловых сетей [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_458160 (дата обращения: 08.08.2025).

16. Чуйкина А.А., А.В. Лобода, Сотникова О.А. Проектирование оптимальной трубопроводной трассы тепловой сети // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. №2. С. 28–37. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-2-28-37.

17. Малахов П.И., Гушин С.В., Семиненко А.С., Киреев В.М. Влияние подключения новых потребителей на гидравлическую устойчивость тепловых сетей // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. №2. С. 82–87. DOI: 10.12737/article_5968b450a65e68.85903478

Информация об авторах

Глуханов Александр Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры техносферной безопасности. E-mail: promo19_78@mail.ru. Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. Россия, 190005, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д. 4

Семейкин Александр Юрьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности. E-mail: semeykin.ay@bstu.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 11.08.2025 г.

© Глуханов А.С., Семейкин А.Ю., 2026

^{1,*}*Glukhanov A.S.,* ²*Semeykin A.Y.*

¹*Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering*

²*Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova*

**E-mail: promo19_78@mail.ru*

OPTIMIZATION OF THE DESTRUCTION FORECASTING METHODOLOGY IN THE HEAT SUPPLY SYSTEM IN CASE OF AN EMERGENCY

Abstract. *Forecasting the destruction of the heat supply system due to various causes, such as damage, wear, corrosion, and emergency prevention is an urgent research topic throughout the entire service life of pipelines in heating networks. Corrosion damage is the most common type of pipeline wear. Forecasting the development of destruction will allow us to determine the most effective method of their restoration, which will help prevent the destruction of engineering structures, improve the environmental situation and ensure the optimal functioning of pipeline systems. Despite the advantages of the existing techniques, they are still under development. The practice of their application shows that it is best to work them out on a real existing system, unlike a new one that has not been in operation before, where there are specific features and risk factors. When starting work, it is important to check all the technical features, draw up a clear action plan that will eventually make it possible to reduce the recovery time, improve the operational characteristics and reliability of the system. The results of this study can be used by organizations that balance pipelines of heating networks to adjust the schedule of preventive maintenance work.*

Keywords: *heat supply system, prediction of destruction, failure rate, insufficient heat generation.*

REFERENCES

1. Shkarovskij A.L. Heat Supply [Teplosnabzhenie]. M.: Lan, 2024. 392 p. (rus)

2. Ionin A.A., Xly'bov B.M., Bratenkov V.N., Terleczkaya E.N. Heat Supply [Teplosnabzhenie]. M.: EKOLIT, 2011. P. 336. (rus)

3. Avdolimov E.M., Bryuxanov O.N., Zhila V.A. Heat Supply and ventilation [Teplogazosnabzhenie i ventilyaciya]. M.: Izdatel'skij centr Akademiy, 2013. P. 400. (rus)

4. Varfolomeev, Yu.M., Kokorin O.Ya. Heating and heat supply networks [Otoplenie i teplovy'e seti: uchebnyk]. M.: INFRA-M, 2016. 480 p. (rus)
5. Biryuzova E.A., Glukhanov A.S. Improving energy efficiency and reliability of heating networks through the use of multilayer thermal insulation structures. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. 962, 032002. DOI: 10.1088/1757-899X/962/3/032002 EDN: UQBQTA
6. Biryuzova E.A., Glukhanov A.S. Study of the Effectiveness of the Transition from an Open Heat Supply Systems to a Closed One. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2021. 1079. 032072. DOI: 10.1088/1757-899x/1079/3/032072 EDN: LBLYQR
7. Moskalyov I.L., Litvak V.V. Damageability of the main knots of heat supply networks in the cities of the Russian Federation [Povrezhdaemost' osnovny'x uzlov setej teplosnabzheniya gorodov Rossijskoj Federacii]. Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. 2015. Vol. 326(7). Pp. 70–80. EDN: UKFCCF (rus)
8. Sokolov E.Ya. Heating and heating networks [Teplofikaciya i teplovy'e seti]. M.: MPEI, 2011. 472 p.
9. Nekrasov I.N., Shishkin E.V., Gluxanov A.S. Methodological bases of diagnostics of special technical systems [Metodologicheskie osnovy' diagnostirovaniya special'ny'x texnicheskix sistem]. Fundamental Research. 2016. No. 11-1. Pp. 59–63. EDN: XALCGR (rus)
10. Biryuzova E.A., Gluxanov A.S. The influence of the method of laying pipelines on the energy efficiency of the heating network [Vliyanie sposoba prokladki truboprovodov na e'nergeticheskuyu e'ffektivnost' teplovoj seti]. PNRPU Bulletin. Construction and Architecture. 2019. Vol. 10. No. 4. Pp. 59–66. DOI: 10.15593/2224-9826/2019.4.06 EDN: PAHSBC (rus)
11. Smorodova O.V., Skripchenko A.S. Ordinal statistics in heat supply systems [Poryadkovaya statistika v sistemax teplosnabzheniya]. Petroleum Engineering. 2016. No 4. Pp. 124–137. (rus)
12. Semenov V.G. On improving the reliability and energy efficiency of heating networks [O povy'shenii nadezhnosti i e'nergoe'ffektivnosti teplovy'x setej]. Energosovet. 2010. No 7(12). Pp. 71–79. (rus)
13. Kremer N.Sh. Probability theory and mathematical statistics [Teoriya veroyatnostej i matematicheskaya statistika]. M.: YuNITI DANA, 2010. 551 p. (rus)
14. SP 74.13330.2023. Thermal networks [Svod pravil. Teplovy'e seti] [E'lektronny'j resurs]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_470644 (date of request: 08.08.2025). (rus)
15. GOST R 21.621-2023. Pravila vy'polneniya proektnoj dokumentacii sistem otopleniya, ventiljacii, kondicionirovaniya i teplovy'x setej [E'lektronny'j resurs]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_458160 (date of request: 08.08.2025). (rus)
16. Chujkina A.A., Loboda A.V., Sotnikova O.A. Designing the optimal pipeline route of the heat network [Proektirovanie optimal'noj truboprovodnoj trassy' teplovoj seti]. Bulletin of Belgorod State Technological University named after. V. G. Shukhov. 2021. No 2. Pp. 28–37. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-2-28-37. (rus)
17. Malaxov P.I., Gushhin S.V., Seminenko A.S., Kireev V.M. Influence of connection of new consumers on hydraulic stability of thermal networks [Vliyanie podklyucheniya novy'x potrebitelej na gidravlicheskuyu ustojchivost' teplovy'x setej]. Bulletin of Belgorod State Technological University named after. V. G. Shukhov. 2017. No 2. Pp. 82–87. DOI: 10.12737/article_5968b450a65e68.85903478. (rus)

Information about the author

Glukhanov, Alexander S. PhD, Assistant professor. E-mail: promo19_78@mail.ru. Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. Russia, 190005, St Petersburg, 2nd Krasnoarmeiskaya Str., 4

Semeykin, Alexander Yu. PhD, Assistant professor. E-mail: semeykin.ay@bstu.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 11.08.2025

Для цитирования:

Глуханов А.С., Семейкин А.Ю. Оптимизация методики прогнозирования разрушений в системе теплоснабжения в случае аварийной ситуации // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2026. № 3. С. 86–93. DOI: 10.34031/2071-7318-2026-11-3-86-93

For citation:

Glukhanov A.S., Semeykin A.Y. Optimization of the destruction forecasting methodology in the heat supply system in case of an emergency. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2026. No. 3. Pp. 86–93. DOI: 10.34031/2071-7318-2026-11-3-86-93