

УДК 628.1; 628.144

DOI: 10.31774/2658-7890-2019-2-10-21

Ф. К. Абдразаков, Е. Н. Миркина, О. В. Михеева

Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова, Саратов,
Российская Федерация

К ВОПРОСУ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭТАПОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ

Целью исследования является оценка контроля качества трубопровода на основании статического расчета, который позволяет своевременно прогнозировать наиболее опасные нагрузки для материала водогазопроводных труб. Выбор прочности и класса труб для водопроводной сети следует производить на основании статического расчета с учетом условий их работы, внутреннего давления грунта, нагрузок от транспорта и атмосферного давления при образовании вакуума. Для оценки использованы статические методы расчета, которые позволили провести качественную оценку зависимости параметров качества материала труб от времени. В статье представлена методика, позволяющая своевременно прогнозировать износ элементов водопроводной сети, что при принятии своевременных мер по ремонту или демонтажу позволяет предотвратить аварийную ситуацию. Критериями статического анализа выступали параметры, количественно определяющие фактическое состояние водопровода. Отказы водопроводной сети классифицировались по следующим критериям: 1) по месту проявления (основной металл труб, заводской шов, сварной шов, зона термического влияния сварного шва). Нарушение сварных швов наиболее часты (36 % от всех аварий); 2) по причине возникновения (ошибки проектирования, ошибки расчета, при нарушении норм строительства и правил эксплуатации). Представленный в статье расчет основывается на статических параметрах данных по эксплуатации и отказам трубопровода водопроводной сети. Разработанная модель позволяет провести расчет показателей надежности и вероятности безотказной работы трубопровода. Предложенный метод контроля качества основан на эксплуатационных данных, включающих информацию об отказах, конструктивных параметрах и условиях эксплуатации трубопровода.

Ключевые слова: водопроводная сеть, трубопровод, технологическое состояние, отказ в работе, эксплуатация водопроводной сети, контроль и параметры качества.

F. K. Abdrazakov, E. N. Mirkina, O. V. Mikheeva

Saratov State Vavilov Agrarian University, Saratov, Russian Federation

TO THE STUDY OF STAGES OF QUALITY CONTROL IN WATER SUPPLY NETWORK OPERATION

The objective of the study is to assess the quality control of the pipeline on the basis of static calculation, which allows predicting the most dangerous loads for the material of water gas pipelines in time. The choice of pipe grade and class for water supply network should be made on the basis of static calculation taking into account the conditions of their work, the internal pressure of the soil, the loads from transport and the atmospheric pressure during the vacuum formation. The static calculation methods which allowed a qualitative assessment of the dependence of the pipe material quality parameters on time were used for assessment. The method that allows timely prediction of the deterioration of water supply network

elements which when taking timely measures for repair or dismantle, prevents an emergency situation was presented. The criteria for static analysis were the parameters determining the actual condition of the water supply system quantitatively. The failures of the water supply network were classified according to the following criteria: 1) due to the place of manifestation (basic metal of pipes, fabrication weld, weld, heat-affected zone of the weld). The violations of welds are most frequent (36 % of all accidents); 2) due to the occurrence (design error, computation error, in case of violation of the construction norms and operating rules). The calculation presented in the article is based on static parameters, data on operation and failures of the water supply network pipeline. The developed model allows the calculation of reliability and probability of failure-free operation of the pipeline. The proposed quality control method is based on operation data, including information on failures, design parameters and pipeline operating conditions.

Key words: water supply network, pipeline, technological condition, failure, water supply network operation, control and quality parameters.

Введение. Современная жизнь городов и населенных пунктов невозможна без системы водоснабжения, одним из главных элементов которой является водопроводная сеть [1]. Трубы, применяемые для строительства водопроводных сетей, должны иметь достаточную прочность для восприятия суммарного напряжения от действия внутреннего давления воды, грунта и транспортной нагрузки, большую долговечность, минимальную стоимость. Этим требованиям в различной степени удовлетворяют выпускаемые в настоящее время стальные водогазопроводные трубы.

Выбор прочности и класса труб для водопроводной сети следует производить на основании статического расчета с учетом условий их работы, внутреннего давления грунта, нагрузок от транспорта их работы и атмосферного давления при образовании вакуума.

Целью исследования является оценка контроля качества трубопровода на основании статического расчета, который позволяет своевременно прогнозировать наиболее опасные нагрузки для материала водогазопроводных труб.

Методы. Для оценки контроля качества трубопровода были использованы статические методы расчета, которые позволили провести качественную оценку зависимости изменения параметров качества материала труб от времени. Использование данной методики позволяет своевременно прогнозировать износ элементов трубопровода, что при принятии свое-

временных мер по ремонту или демонтажу позволяет предотвратить аварийную ситуацию. При эксплуатации трубопроводов можно выделить управляемые параметры и неуправляемые, которые необходимо четко учитывать при строительстве и эксплуатации [2]. С точки зрения теории надежности при строительстве трубопроводов перспективным направлением прогнозирования является определение количественных показателей надежности трубопровода по результатам контроля качества сооружения и эксплуатационного состояния [3]. Экспериментальные исследования проводились в соответствии с действующими ГОСТами на изготовление и приемку труб. Этими данными являются нагрузки, под которыми испытывают трубы после изготовления.

Время безотказной работы (время до разрушения) при постоянной нагрузке определяется из выражения:

$$\tau_s = \frac{b^{a_2} \cdot \tau_t^{a_2+1}}{P_s^{a_2} (a_2 + 1)},$$

где τ_s – время безотказной работы, ч;

b, a_2 – коэффициенты критериев качества;

τ_t – среднее время нагружения при постоянно возрастающей нагрузке P_t до разрушения, ч;

P_s – нагрузка, для которой определяется время безотказной работы, МПа.

Отказ (разрушение) элементов конструкции наступает в определенный момент времени t . Долговечность при нагрузке P_n определяется из выражения:

$$\tau_n = \frac{(t_{k1} \cdot t_{H2} - t_{k2} \cdot t_{H1})}{(t_{k1} - t_{k2})},$$

где τ_n – средняя долговечность при нагружении P_n , получаемая путем испытания некоторого количества труб, ч;

t_{k1}, t_{k2} – среднее время до разрушения на конец нагружения;

$t_{Н1}, t_{Н2}$ – среднее время до разрушения на начало нагружения.

Вероятность безотказной работы в зависимости от изменения протяженности из-за зафиксированных отказов и профилактических замен [4–6]:

$$P(t, l) = \frac{L_0(t) - \sum \Delta l_i(\Delta t)}{L_0(t)},$$

где $L_0(t)$ – общая длина трубопровода в конкретный момент времени t , м;

$\Delta l_i(\Delta t)$ – изменение протяженности в период эксплуатации за определенный промежуток времени, м;

t – время эксплуатации, ч.

Вероятность безотказной работы определяется по формуле [7]:

$$P(t) = e^{-\lambda t},$$

где λ – условная плотность вероятности, 1/ч;

t – промежуток времени от начала системы до первого отказа, ч.

Вероятность безотказной работы с учетом длины отказавшего участка при зафиксированном количестве отказов [8]:

$$P(t, l, n) = \frac{L_0(t) - l_0 \sum n}{L_0(t)},$$

l_0 – протяженность трубопровода от одного поврежденного участка до следующего участка, м

n – число отказов за промежуток времени, шт.;

Для высоконадежных систем $P(t) \approx 1$ [9].

Результаты. Критериями статического анализа выступали параметры, количественно определяющие фактическое составление водопровода. Отказы водопроводной сети классифицировались по следующим критериям:

- по месту проявления (основной металл труб (ω_1), заводской шов (ω_2), сварной шов (ω_3), зона термического влияния сварного шва (ω_4)) (рисунки 1–4). Нарушение сварных швов наиболее часты (36 % от всех аварий) [10];

- по причине возникновения ошибки проектирования (ω_5), ошибки

расчета (ω_6), при нарушении норм строительства (ω_7) и правил эксплуатации (ω_8) (рисунки 5–8).

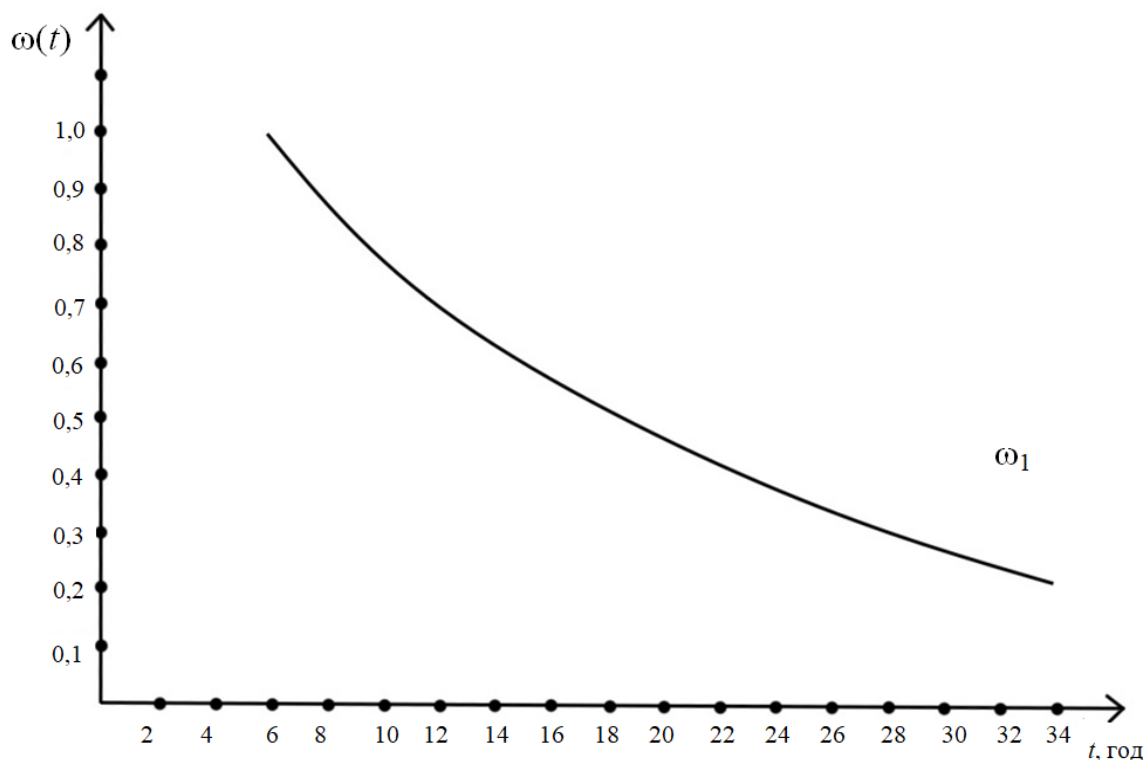


Рисунок 1 – Зависимость параметров качества от времени – основной металл труб (ω_1)

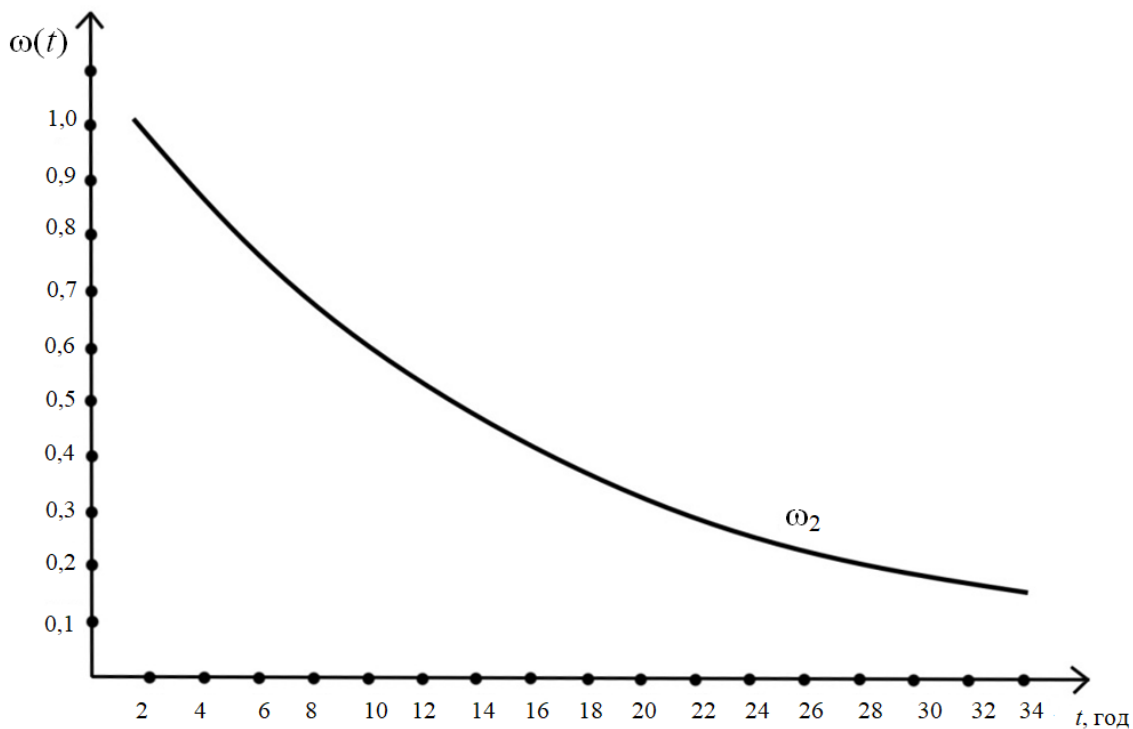


Рисунок 2 – Зависимость параметров качества от времени – заводской шов (ω_2)

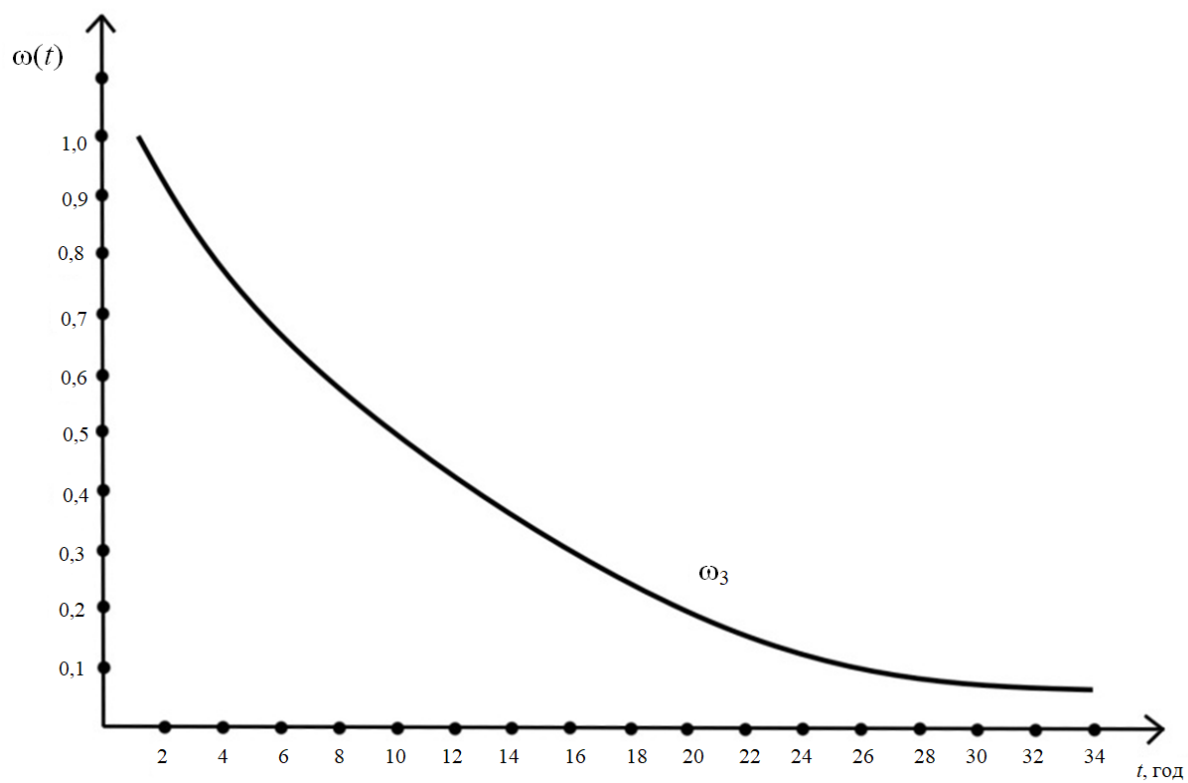


Рисунок 3 – Зависимость параметров качества от времени – сварной шов (ω_3)

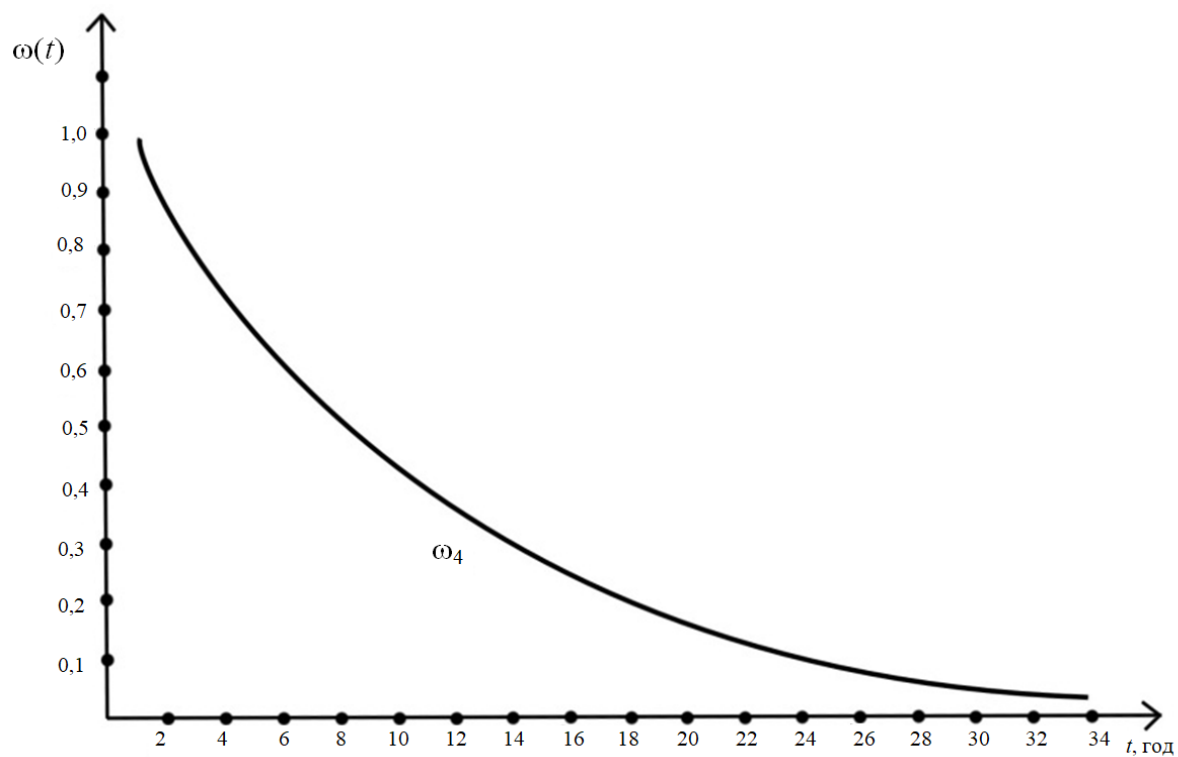


Рисунок 4 – Зависимость параметров качества от времени – зона термического влияния сварного шва (ω_4)

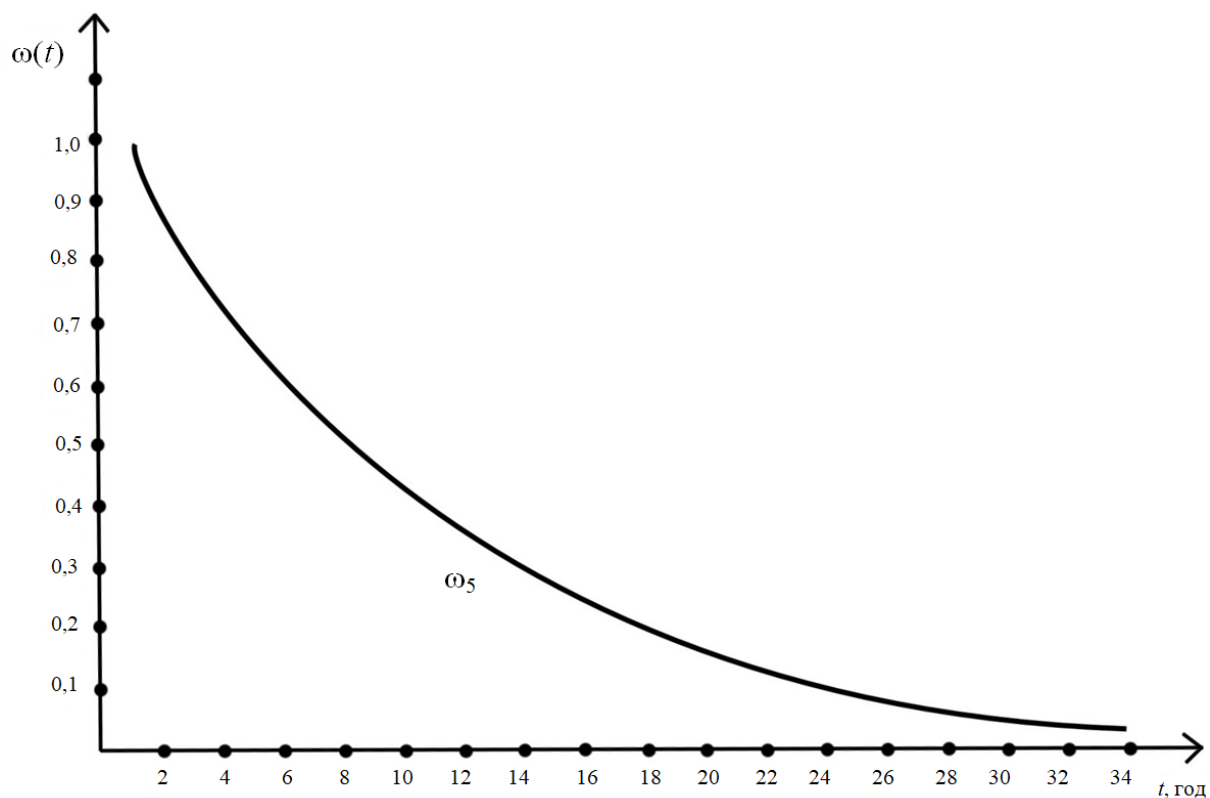


Рисунок 5 – Зависимость параметров качества от времени – ошибки проектирования (ω_5)

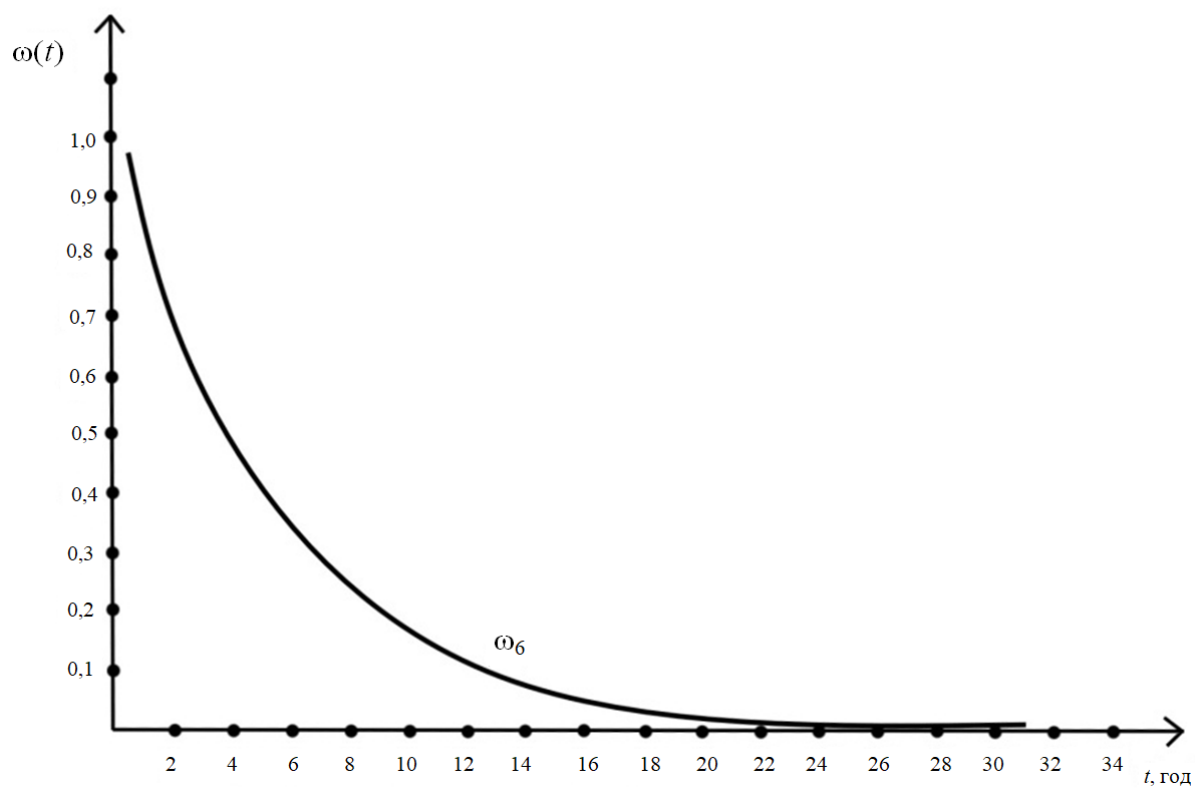


Рисунок 6 – Зависимость параметров качества от времени – ошибки расчета (ω_6)

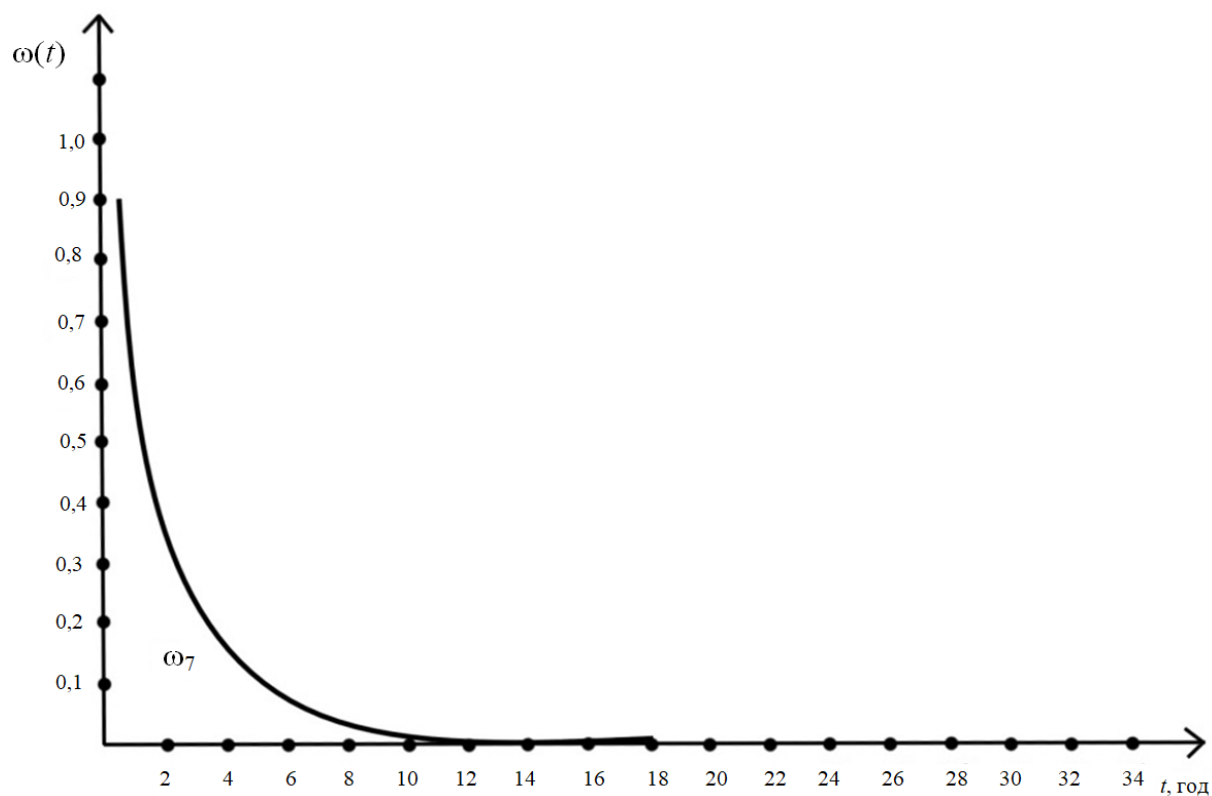


Рисунок 7 – Зависимость параметров качества от времени – нарушение норм строительства (ω_7)

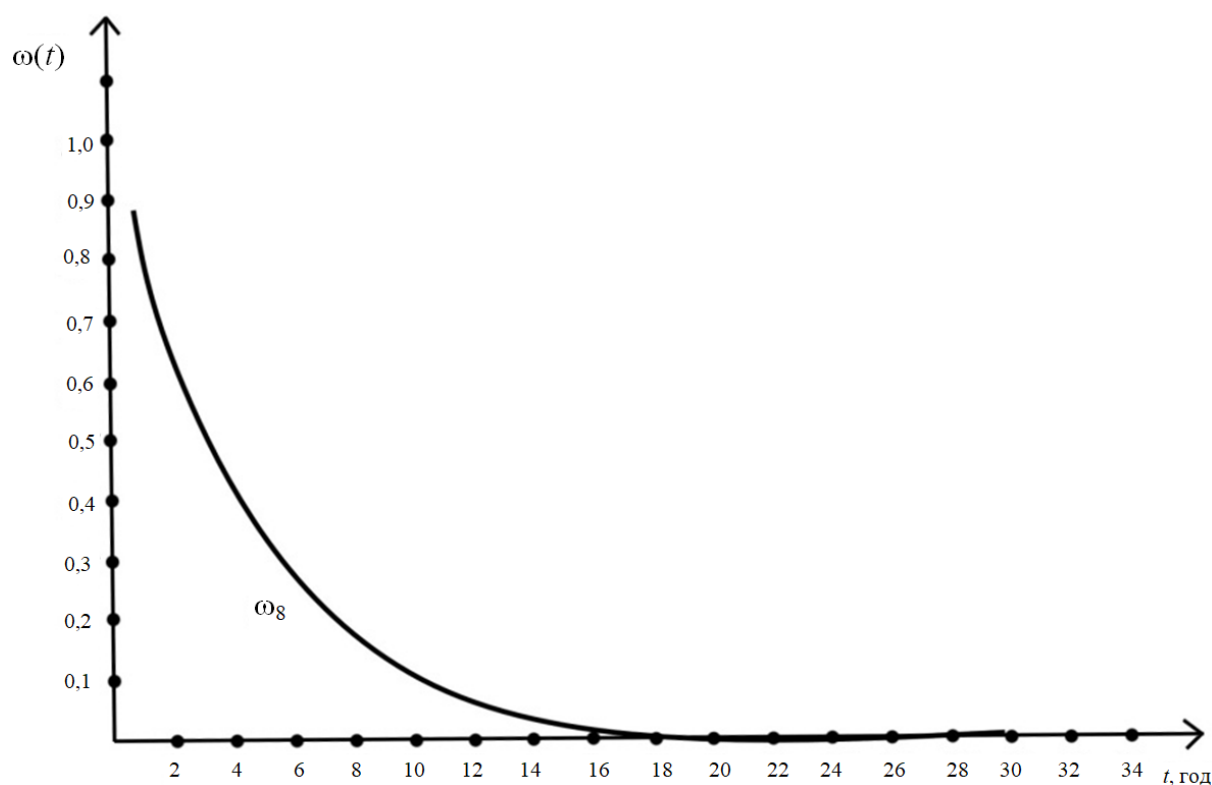


Рисунок 8 – Зависимость параметров качества от времени – нарушение правил эксплуатации (ω_8)

Изменения состояния водопроводной сети любому интервалу времени соответствует приращению параметра приращения, выражает уровень накопления повреждений. Фактическое изменение качества водопроводной сети можно выразить:

$$\Delta K = K_{(t+\Delta t)} - K_{(t)},$$

где $K_{(t+\Delta t)}$ – параметр повреждений на момент времени $t + \Delta t$;

$K_{(t)}$ – параметр повреждений на момент времени t .

С учетом интенсивности накопления повреждений водопроводной сети в период эксплуатации параметр повреждений равен:

$$\Delta K_{(t)} = \mu K,$$

где μ – коэффициент, зависящий от интенсивности повреждений.

В период эксплуатации с учетом всех параметров влияющих на качество водопроводной сети можно выразить:

$$\Delta K_{1(t)} = \mu_1 \cdot \omega_1,$$

$$\Delta K_{2(t)} = \mu_2 \cdot \omega_2,$$

$$\Delta K_{3(t)} = \mu_3 \cdot \omega_3,$$

$$\Delta K_{i(t)} = \mu_i \cdot \omega_i,$$

$$K = \Sigma \omega_i,$$

где $\Delta K_{1(t)}$, $\Delta K_{2(t)}$, $\Delta K_{3(t)}$, $\Delta K_{i(t)}$ – изменение параметра повреждений, в зависимости от параметров, влияющих на качество трубопроводов (материал труб, ошибки расчетов, нарушения правил эксплуатации и т. д.);

μ_1 , μ_2 , μ_3 , μ_i – коэффициенты, зависящие от интенсивности повреждений, в зависимости от параметров качества (материал труб, ошибки расчетов, нарушения правил эксплуатации и т. д.);

ω_1 , ω_2 , ω_3 , ω_i – критерии параметров качества, в зависимости от их параметров (материал труб, ошибки расчетов, нарушения правил эксплуатации и т. д.).

От сочетания параметров качества зависит срок службы водопроводной сети трубопровода. Параметры контроля представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Контроль качества эксплуатации стальных водогазопроводных труб

Параметр	Критерий параметров качества							
	ω_1	ω_2	ω_3	ω_4	ω_5	ω_6	ω_7	ω_8
λ , 1/год	$0,9 \cdot 10^{-8}$	$1,2 \cdot 10^{-8}$	$0,8 \cdot 10^{-7}$	$0,6 \cdot 10^{-6}$	$1,7 \cdot 10^{-6}$	$3,1 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$
μ	0,01	0,02	0,1	0,2	0,3	0,38	0,35	0,4
t_c , год	34	33	16	15	6	5,5	3	7

Выводы. По результатам исследований, расчет основывается на статистических параметрах, данных по эксплуатации и отказам трубопровода водопроводной сети. Разработанная модель позволяет провести расчет показателей надежности и вероятности безотказной работы трубопровода. Предложенный метод контроля качества основан на эксплуатационных данных, включающих информацию об отказах, конструктивных параметрах и условиях эксплуатации трубопровода.

Список использованных источников

- 1 Миркина, Е. Н. Анализ водопроводных сетей в городах Саратовской области / Е. Н. Миркина, Л. В. Владимирова // Исследования в строительстве, теплоснабжении и энергообеспечении: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Саратов, 2016. – С. 216–218.
- 2 Колосова, Н. М. К анализу напряженного состояния изгиба трубопровода по высотному положению / Н. М. Колосова, О. В. Михеева, Э. Ю. Шмагина // Техническое регулирование в транспортном строительстве. – 2016. – № 2(16). – С. 5–8.
- 3 Михеева, О. В. Прогнозирование конструктивной надежности трубопровода / О. В. Михеева, И. А. Ильичева, Э. Ю. Шмагина // Техническое регулирование в транспортном строительстве. – 2014. – № 4(8). – С. 58–62.
- 4 Рудаченко, А. Р. Эксплуатационная надежность трубопроводных систем: учеб. пособие / А. Р. Рудаченко, С. С. Байкин. – Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та, 2008. – 118 с.
- 5 Савичев, О. Г. Эксплуатация и мониторинг систем и сооружений природообустройства и водопользования: учеб. пособие / О. Г. Савичев, В. К. Попов, К. И. Кузеванов. – Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та, 2014. – 216 с.
- 6 Сапцин, В. П. Эксплуатация и мониторинг систем и сооружений: учеб. пособие / В. П. Сапцин. – Йошкар-Ола: Поволжский гос. технолог. ун-т, 2016. – 148 с.
- 7 Чудновский, С. М. Эксплуатация и мониторинг систем и сооружений: учеб. пособие / С. М. Чудновский, О. И. Лихачева. – Вологда: Изд-во «Инфра-Инженерия», 2017. – 148 с.
- 8 Ильичева, И. А. Диагностика системы водоснабжения из различного материа-

ла / И. А. Ильичева // Техническое регулирование в транспортном строительстве. – 2018. – № 4(30). – С. 29–31.

9 Методические рекомендации по расчетам конструктивной надежности магистральных газопроводов: РД 51-4.2-003-97: утв. РАО «Газпром» 24.04.97: введен в действие с 01.06.97 [Электронный ресурс]. – М., 1997. – Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data1/8/8040>.

10 Захаревич, М. Б. Повышение эксплуатационной надежности трубопроводов и водоснабжения: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / Захаревич Михаил Борисович. – М., 2000. – 35 с.

References

1 Mirkina E.N., Vladimirova L.V., 2016. *Analiz vodoprovodnykh setey v gorodakh Saratovskoy oblasti* [Analysis of water supply networks in cities of Saratov region]. *Issledovaniya v stroitel'stve, teplosnabzhenii i energoobespechenii: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Research in Construction, Heat Supply and Energy Supply: proceed. of International Scientific Practical Conference]. Saratov, pp. 216-218. (In Russian).

2 Kolosova N.M., Mikheeva O.V., Shmagina E.Yu., 2016. *K analizu napryazhennogo sostoyaniya izgiba truboprovoda po vysotnomu polozheniyu* [To the analysis of the tension pipeline bend by high-rise situation]. *Tekhnicheskoe regulirovanie v transportnom stroitel'stve* [Technical Regulation in Transport Construction], no. 2(16), pp. 5-8. (In Russian).

3 Mikheeva O.V., Il'icheva I.A., Shmagina E.Yu., 2014. *Prognozirovanie konstruktivnoy nadezhnosti truboprovoda* [Forecasting of the constructive reliability of the pipeline]. *Tekhnicheskoe regulirovanie v transportnom stroitel'stve* [Technical Regulation in Transport Construction], no. 4(8), pp. 58-62. (In Russian).

4 Rudachenko A.R., Baikin S.S., 2008. *Ekspluatatsionnaya nadezhnost' truboprovodnykh sistem: uchebnoe posobie* [Operational Reliability of Pipeline Systems: study guide]. Tomsk, Tomsk Polytechnical University Publ., 118 p. (In Russian).

5 Savichev O.G., Popov V.K., Kuzevanov K.I., 2014. *Ekspluatatsiya i monitoring sistem i sooruzheniy prirodoobustroystva i vodopol'zovaniya: uchebnoe posobie* [Operation and Monitoring of Systems and Structures of Environmental Engineering and Water Use: study guide]. Tomsk, Tomsk Polytechnical University Publ., 216 p. (In Russian).

6 Sapsin V.P., 2016. *Ekspluatatsiya i monitoring sistem i sooruzheniy: uchebnoe posobie* [Operation and Monitoring of Systems and Structures: study guide]. Yoshkar-Ola, Volga State University of Technology Publ., 148 p. (In Russian).

7 Chudnovsky S.M., Likhacheva O.I., 2017. *Ekspluatatsiya i monitoring sistem i sooruzheniy: uchebnoe posobie* [Operation and Monitoring of Systems and Structures: study guide]. Vologda, Infra-Engineering Publ., 148 p. (In Russian).

8 Il'icheva I.A., 2018. *Diagnostika sistemy vodosnabzheniya iz razlichnogo materiala* [Diagnostics of a water supply system from various materials]. *Tekhnicheskoe regulirovanie v transportnom stroitel'stve* [Technical Regulation in Transport Construction], no. 4(30), pp. 29-31. (In Russian).

9 *Metodicheskie rekomendatsii po raschetam konstruktivnoy nadezhnosti magistral'nykh gazoprovodov: RD 51-4.2-003-97* [Methodical recommendations on calculation of constructive reliability of gas pipelines: RD 51-4.2-003-97]. Moscow, 1997, available: <https://files.stroyinf.ru/Data1/8/8040>. (In Russian).

10 Zakharevich M.B., 2000. *Povyshenie ekspluatatsionnoy nadezhnosti truboprovodov i vodosnabzheniya: Avtoreferat diss. kand. tekhn. nauk* [Improving the operational reliability of pipelines and water supply. Abstract of cand. techn. sci. diss.]. Moscow, 35 p. (In Russian).

Абдразаков Фярид Кинжаевич

Ученая степень: доктор технических наук

Ученое звание: профессор

Должность: заведующий кафедрой «Строительство, теплогазоснабжение и энергообеспечение»

Место работы: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова»

Адрес организации: Театральная площадь, 1, г. Саратов, Саратовская область, 410012

E-mail: abdrazakov.fk@mail.ru

Abdrazakov Fyarid Kinzhaevich

Degree: Doctor of Technical Sciences

Title: Professor

Position: Head of the Department “Construction, heat and gas supply and energy”

Affiliation: Saratov State Vavilov Agrarian University

Affiliation address: Theater Square, 1, Saratov, Saratov region, 410012

E-mail: abdrazakov.fk@mail.ru

Миркина Елена Николаевна

Ученая степень: кандидат технических наук

Ученое звание: доцент

Должность: доцент кафедры «Инженерные изыскания, природообустройство и водопользование»

Место работы: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова»

Адрес организации: Театральная площадь, 1, г. Саратов, Саратовская область, 410012

E-mail: docentmirkina@yandex.ru

Mirkina Elena Nikolaevna

Degree: Candidate of Technical Sciences

Title: Associate Professor

Position: Associate Professor of the Department “Engineering Surveys, Environmental Engineering and Water Use”

Affiliation: Saratov State Vavilov Agrarian University

Affiliation address: Theater Square, 1, Saratov, Saratov region, 410012

E-mail: docentmirkina@yandex.ru

Михеева Ольга Валентиновна

Ученая степень: кандидат технических наук

Ученое звание: доцент

Должность: доцент кафедры «Строительство, теплогазоснабжение и энергообеспечение»

Место работы: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова»

Адрес организации: Театральная площадь, 1, г. Саратов, Саратовская область, 410012

E-mail: omuk@inbox.ru

Mikheeva Olga Valentinovna

Degree: Candidate of Technical Sciences

Title: Associate Professor

Position: Associate Professor of the Department “Construction, heat and gas supply and energy”

Affiliation: Saratov State Vavilov Agrarian University

Affiliation address: Theater Square, 1, Saratov, Saratov region, 410012

E-mail: omuk@inbox.ru