

## МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Научная статья

УДК 626.822

doi: 10.31774/2712-9357-2023-13-2-109-122

### Вероятность появления повреждений и отказов на трубопроводах оросительных систем

Светлана Сергеевна Орлова<sup>1</sup>, Алексей Владимирович Кравчук<sup>2</sup>,  
Татьяна Анатольевна Панкова<sup>3</sup>, Ольга Валентиновна Михеева<sup>4</sup>,  
Елена Николаевна Миркина<sup>5</sup>

<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup>Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии  
имени Н. И. Вавилова, Саратов, Российская Федерация

<sup>1</sup>orlovass77@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9350-0893>

<sup>2</sup>aleks100sgau@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5692-8655>

<sup>3</sup>vtanja@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4619-765X>

<sup>4</sup>omuk@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7375-0281>

<sup>5</sup>docentmirkina@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3867-1937>

**Аннотация.** **Цель:** провести обработку данных о повреждениях и отказах на трубопроводе оросительной системы для оценки технического состояния трубопровода, установления его эксплуатационной надежности, сроков его безотказной работы, определения времени, по истечении которого трубопровод нуждается в ремонте, реконструкции или замене определенных элементов. **Материалы и методы:** проведен анализ статистических данных о дефектах и повреждениях на трубопроводе Энгельсской оросительной системы; выполнена математическая обработка данных о повреждениях и отказах трубопровода с помощью методов математической статистики с рассмотрением их как случайных величин: сначала подсчет численности повреждений и отказов, затем составление эмпирического распределения случайных величин и эмпирических вероятностей их распределения; рассчитано математическое ожидание появления повреждений и отказов на трубопроводе. **Результаты:** по данным натурных наблюдений составлен перечень дефектов и повреждений на данном трубопроводе, которые были зафиксированы в соответствующем журнале наблюдений, и приведены возможные причины их возникновения, которые представлены в табличном виде и рисунками; по результатам расчетов построены гистограмма и теоретические кривые распределения математического ожидания появления повреждений и отказов на трубопроводе. **Вывод:** установлена вероятность появления первых повреждений и отказов по истечении 14 лет эксплуатации трубопровода, в дальнейшем повреждения и отказы возрастают, и уже к 17–18-му году для предотвращения повреждений и отказов появляется необходимость проведения ремонта трубопровода, стыков и запорной арматуры из-за возникновения коррозии, трещин, сколов, вмятин и других повреждений.

**Ключевые слова:** математическое ожидание, трубопровод, оросительная система, обработка данных, дефект, повреждение, отказ

**Для цитирования:** Вероятность появления повреждений и отказов на трубопроводах оросительных систем / С. С. Орлова, А. В. Кравчук, Т. А. Панкова, О. В. Михеева, Е. Н. Миркина // Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13, № 2. С. 109–122. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-2-109-122>.

## LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Original article

### Probability of pipe damage and failures in irrigation systems

Svetlana S. Orlova<sup>1</sup>, Alexey V. Kravchuk<sup>2</sup>, Tatyana A. Pankova<sup>3</sup>,  
Olga V. Mikheeva<sup>4</sup>, Elena N. Mirkina<sup>5</sup>

<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup>Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after  
N. I. Vavilov, Saratov, Russian Federation

<sup>1</sup>orlovass77@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9350-0893>

<sup>2</sup>aleks100sgau@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5692-8655>

<sup>3</sup>vtanja@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4619-765X>

<sup>4</sup>omuk@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7375-0281>

<sup>5</sup>docentmirkina@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3867-1937>

**Abstract. Purpose:** to process data on damage and failures on the irrigation pipes to assess the technical condition of the pipeline, to define its performance reliability, terms of its failure-free operation, to determine the time after which the pipeline needs repairing, reconstruction or replacing of certain elements. **Materials and methods:** the analysis of statistical data on defects and damage on the Engels irrigation system pipeline was carried out; mathematical processing of data on pipe damage and failures was carried out using the methods of mathematical statistics with their consideration as random variables: first, the number of damage and failures was calculated, then the empirical distribution of random variables and the empirical probabilities of their distribution were compiled; the expectation value of damage and failures occurrence on the pipeline is calculated. **Results:** according to the field observations, a list of defects and damage on this pipeline recorded in the corresponding observation log was compiled, and possible causes of their occurrence presented in tabular form and figures were given; based on the results of calculations, a histogram and theoretical distribution curves for the expectation values of damage and failures occurrence on the pipeline were constructed. **Conclusion:** the probability of the first damage and failures occurrence after 14 years of pipe operation has been determined, further damage and failures increase, and by the 17th–18th year in order to prevent damage and failures, it is necessary to repair the pipeline, joints and stop valves due to corrosion, cracks, chips, dents and other damage.

**Keywords:** expectation value, pipeline, irrigation system, data processing, defect, damage, failure

**For citation:** Orlova S. S., Kravchuk A. V., Pankova T. A., Mikheeva O. V., Mirkina E. N. Probability of pipe damage and failures in irrigation systems. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2023;13(2):109–122. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-2-109-122>.

**Введение.** Современные оросительные системы мало чем отличаются от систем, используемых в последние десятилетия. Большинство оросительных систем состоит из стальных трубопроводов, уложенных 15–20 лет назад. Локальные участки, где большое количество повреждений приводило к отказам, чаще всего частично заменялись новыми. Таким образом, большинство сетей оросительных систем до сих пор состоит из стальных трубопроводов.

Элементы оросительных систем проектируют с учетом эксплуатационных нагрузок и изменений во времени свойств используемых материалов. Для уменьшения числа отказов отдельных элементов на объектах гидромелиорации в период их эксплуатации установлены нормы прочности, правила приемки готовых сооружений, правила эксплуатации, включая необходимый надзор за обслуживанием и восстановлением элементов сооружений [1]. Методы математической статистики и теории вероятностей используются при определении реальных диапазонов эксплуатационных нагрузок, характеристик прочности материалов, обосновании коэффициентов запаса прочности и коэффициентов безопасности, характеристик коррозионных и эрозионных процессов [2]. В первые годы эксплуатации происходит приработка элементов труб, выявляются скрытые дефекты трубопровода и арматуры, соответственно, именно в этот период проявляется большое количество дефектов и повреждений на новом сооружении, после чего наступает довольно длительный период, когда на трубопроводе наблюдается минимальное количество повреждений, и как закономерность, с течением времени количество отказов снова начинает возрастать вследствие старения и износа [3].

Среди основных преимуществ стальных трубопроводов следует выделить высокую механическую прочность, возможность использовать для соединения различные технологии [4]. Стальная труба относительно легко гнется, ее можно сваривать. В трубопроводах, имеющих жесткие стыки, опасны температурные напряжения. При невозможности свободного перемещения труб по основанию в них могут возникнуть трещины или разрывы. Элементы значительной длины легко скрепляются герметичными соединениями, что позволяет в короткие сроки осуществлять прокладку трубопроводов [5]. С другой стороны, у стали есть свои недостатки. Это большой вес и подверженность коррозии. Силовые воздействия на подземные трубопроводы могут оказывать грунты обратной засыпки, по-

движные нагрузки (нагрузки от транспорта), а также внутреннее давление воды [6]. Кроме силовых воздействий на трубопроводы закрытой оросительной сети существенное влияние оказывает окружающая среда, агрессивное воздействие которой изменяет структуру и свойства материалов, из которых изготовлены элементы, что в свою очередь приводит к снижению их прочности и разрушению труб и арматуры [7].

К сожалению, отсутствие достаточного финансирования для полной замены стальных трубопроводов более новыми материалами, например пластиковыми или полиэтиленовыми трубами [8], приводит к перерасходу денежных средств на ремонт существующего трубопровода в целом, но при этом позволяет выполнять текущие ремонты. Поэтому оценка повреждений и отказов стальных трубопроводов в настоящее время целесообразна, имеет определенное значение.

Основной целью получения и обработки данных о повреждениях и отказах на трубопроводах является оценка технического состояния, установление их эксплуатационной надежности и возможности дальнейшего использования без замены и ремонта и, как следствие, получение гарантированного урожая сельскохозяйственной продукции, выращиваемой на орошаемых землях.

Основные задачи обработки данных о повреждениях и отказах трубопроводов: сбор и классификация повреждений; обработка полученных данных для дальнейшего прогнозирования состояния трубопровода; составление перечня плановых мероприятий на текущий ремонт; выявление участков трубопровода, которые необходимо своевременно заменить, что позволит минимизировать время на отключение или блокировку оросительной системы [9].

**Материалы и методы.** Математическая обработка данных о повреждениях и отказах трубопроводов проведена на примере трубопровода Энгельсской оросительной системы. Диаметр рассматриваемого металличе-

ского трубопровода 325 мм, толщина стенки 5 мм, длина 2430 м, подземный способ укладки.

Любое повреждение трубопровода можно рассматривать как случайную величину, а несколько повреждений как совокупность случайных величин. С помощью математической статистики можно провести всесторонний анализ случайных величин и выявить наиболее значимые из них, при этом отсеивая менее значимые, так как математическая статистика позволяет рассмотреть одни и те же повреждения как случайные и как неслучайные величины [10].

Чтобы составить общее представление обо всей совокупности повреждений и отказов, при рассмотрении их статистических совокупностей определено приближенное выражение функции распределения и плотности вероятности по эмпирическому значению и выведен способ получения нескольких рационально выбранных числовых характеристик всей совокупности повреждений и отказов по методике А. А. Орлова [11].

Эффективность или неэффективность оценки зависит от вида закона распределения случайной величины  $X$ . Если случайная величина  $X$  распределена нормально, то оценка  $\tilde{m}_x = m^*$  для математического ожидания  $m$  является и эффективной.

Для того чтобы составить общее представление о законе распределения случайной величины  $X$ , достаточно составить группированный ряд и построить гистограмму. При составлении статистического ряда учитывается  $\sum_{i=1}^k p_i^* = 1$ , где частота  $p_i^*$  события  $\{X \in (x_i, x_{i+1})\}$  вычисляется как отношение числа  $l_i$  опытов, в которых значение случайной величины  $X$  попало в  $i$ -й участок  $(x_i \div x_{i+1})$ , к общему числу  $n$  проведенных опытов. Деля каждую частоту  $p_i^*$  на длину соответствующего участка  $\Delta_i = x_{i+1} - x_i$ , получим плотность частоты  $f_i^*$  [12].

Откладывая по оси абсцисс участки и строя на каждом участке, как

на основании, прямоугольник площади  $p_i^*$ , получим гистограмму – статистический аналог кривой распределения математического ожидания появления повреждений и отказов на трубопроводе.

Имея группированный статистический ряд, можно приближенно построить статистическую функцию распределения  $F^*(x)$  математического ожидания появления повреждений и отказов на трубопроводе. В качестве тех значений  $X$ , для которых вычисляется  $F^*(x)$ , принимаются границы участков [12].

При увеличении числа наблюдений и уменьшении длины интервалов полученные зависимости приближаются к теоретической функции распределения, которая выражается интегральным законом распределения:

$$p_i = \int_{x_i}^{x_{i+1}} f(x)dx,$$

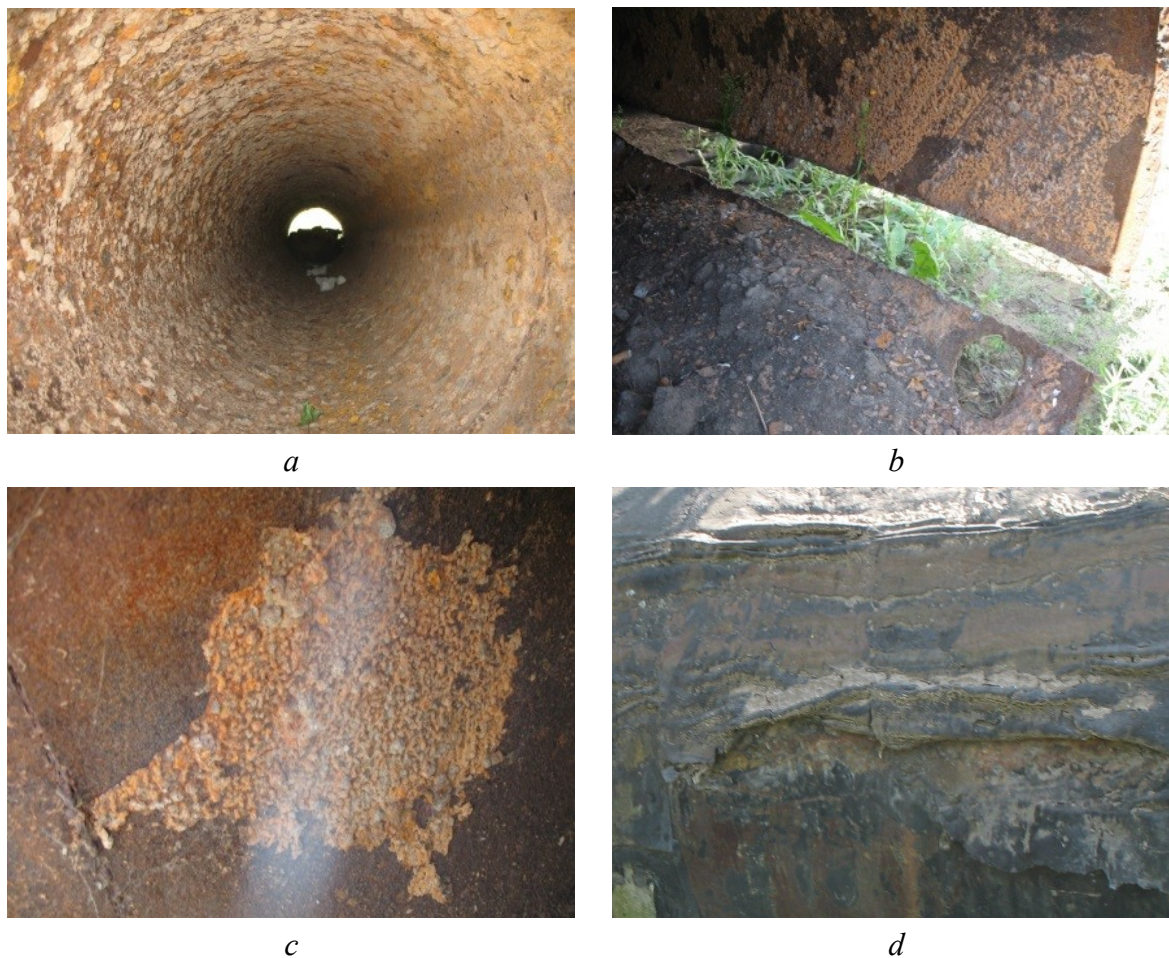
где  $x_i$  – случайная величина (отказ или повреждение).

На основании этого полученная гистограмма превращается в теоретическую кривую распределения математического ожидания появления повреждений и отказов на трубопроводе.

**Результаты и обсуждения.** За время эксплуатации на трубопроводе возникали различные дефекты и повреждения, одни из них были зафиксированы в процессе работы, другие при замене участков трубопровода (рисунок 1).

По данным натурных наблюдений составлен перечень дефектов и повреждений на данном трубопроводе, которые были зафиксированы в соответствующем журнале наблюдений, и приведены возможные причины их возникновения, которые представлены в таблице 1.

Анализ дефектов и повреждений показал, что такие повреждения, как поперечные трещины на поверхности сварного шва и основного металла, свищи на трубах, коррозионные язвы, разрывы труб, течь в стыках, могут привести к отказам.



*a* – ржавчина на внутренней поверхности трубопровода; *b* – продольная трещина по длине трубы; *c* – ржавчина на наружной поверхности трубопровода; *d* – отслоение гидроизоляции на стыке

*a* – rust on the inner pipeline surface; *b* – longitudinal crack along the pipe length; *c* – rust on the outer pipeline surface; *d* – flashing separation at the joint

**Рисунок 1 – Дефекты и повреждения трубопровода  
(фото С. С. Орловой)**

**Figure 1 – Pipe defects and damage (photo by S. S. Orlova)**

**Таблица 1 – Дефекты и повреждения на трубопроводах**

**Table 1 – Pipe defects and damage**

Вид дефектов и повреждений	Возможная причина возникновения дефектов и повреждений
1	2
1 Окалина, ржавчина наружной поверхности	Воздействие на материал трубопровода агрессивной среды
2 Отлипание защитного слоя	Поверхностная коррозия стальных элементов
3 Вмятины и сколы на торцах труб	Применение жестких захватных инструментов в период доставки элементов к месту сбора и при выполнении монтажных работ

Продолжение таблицы 1  
 Table 1 continued

1	2
4 Поперечные трещины на поверхности сварного шва и основного металла	Нарушение технологии сварки
5 Свищи на трубах	Брак при изготовлении. Коррозия внутренней стенки трубы
6 Коррозионные язвы	Местная коррозия металла
7 Разрывы труб	Давление воды, превышающее прочностные характеристики уложенных труб. Бракованные трубы
8 Течь в стыках	Наличие свищей в трубе
9 Отслоение гидроизоляции на стыке	Локальная коррозия металла
10 Смещение труб в горизонтальной плоскости	Односторонняя засыпка траншеи грунтом при отсутствии подбивки труб грунтом
11 Смещение труб в вертикальной плоскости	Неустойчивое основание. Основание, размываемое грунтовыми или атмосферными водами

Общее количество повреждений (все повреждения на трубопроводе) и отказов (только те повреждения из общего количества, которые приводят к отказу) по рассматриваемому трубопроводу (общий объем совокупности  $n$ ) и их количество по годам эксплуатации (дискретная случайная величина  $n_k$ ), а также результаты обработки одномерной статистической совокупности (эмпирическая вероятность  $p_k$ ) и расчета математического ожидания (математическое ожидание по годам  $\tilde{m}_i$ , математическое ожидание за период эксплуатации  $\tilde{m}$ ) появления повреждений и отказов приведены в таблицах 2, 3.

**Таблица 2 – Обработка одномерной статистической совокупности и расчеты математического ожидания появления повреждений за рассматриваемый период**

**Table 2 – Processing of an univariate statistical population and calculations of the expectation value of damage occurrence for the period under consideration**

Год эксплуатации	Общий объем совокупности $n$	Дискретная случайная величина $n_k$	Эмпирическая вероятность $p_k$	Математическое ожидание по годам $\tilde{m}_i$	Математическое ожидание за период эксплуатации $\tilde{m}$
1	2	3	4	5	6
2001	581	29	0,05	1,45	28,89
2002		32	0,055	1,76	



Продолжение таблицы 2

Table 2 continued

1	2	3	4	5	6
2003	581	31	0,053	1,65	28,89
2004		33	0,057	1,87	
2005		27	0,046	1,25	
2006		25	0,043	1,08	
2007		27	0,046	1,25	
2008		22	0,038	0,83	
2009		18	0,031	0,56	
2010		20	0,034	0,69	
2011		21	0,036	0,76	
2012		23	0,039	0,91	
2013		19	0,033	0,62	
2014		24	0,041	0,99	
2015		26	0,045	1,16	
2016		28	0,048	1,35	
2017		31	0,053	1,65	
2018		35	0,06	2,11	
2019		37	0,064	2,36	
2020		36	0,062	2,23	
2021		37	0,064	2,36	

**Таблица 3 – Обработка одномерной статистической совокупности и расчеты математического ожидания появления отказов за рассматриваемый период**

**Table 3 – Processing of an univariate statistical population and calculations of the expectation value of failure occurrence for the period under consideration**

Год эксплуатации	Общий объем совокупности $n$	Дискретная случайная величина $n_k$	Эмпирическая вероятность $p_k$	Математическое ожидание по годам $\tilde{m}_i$	Математическое ожидание за период эксплуатации $\tilde{m}$
1	2	3	4	5	6
2001	282	14	0,05	0,69	14,09
2002		16	0,057	0,91	
2003		16	0,057	0,91	
2004		15	0,053	0,8	
2005		14	0,05	0,69	
2006		10	0,035	0,35	
2007		12	0,042	0,51	
2008		9	0,032	0,29	
2009		9	0,032	0,29	
2010		10	0,035	0,35	
2011		12	0,042	0,51	
2012		11	0,039	0,43	
2013		11	0,039	0,43	

Продолжение таблицы 3

Table 3 continued

1	2	3	4	5	6
2014	282	10	0,035	0,35	14,09
2015		12	0,042	0,51	
2016		14	0,05	0,69	
2017		16	0,057	0,91	
2018		17	0,06	1,02	
2019		17	0,06	1,02	
2020		19	0,067	1,28	
2021		18	0,064	1,15	

На основе полученных результатов построены гистограмма – статистический аналог кривой распределения математического ожидания появления повреждений и отказов на трубопроводе (рисунок 2) и теоретические кривые распределения математического ожидания появления повреждений и отказов на трубопроводе (рисунок 3).

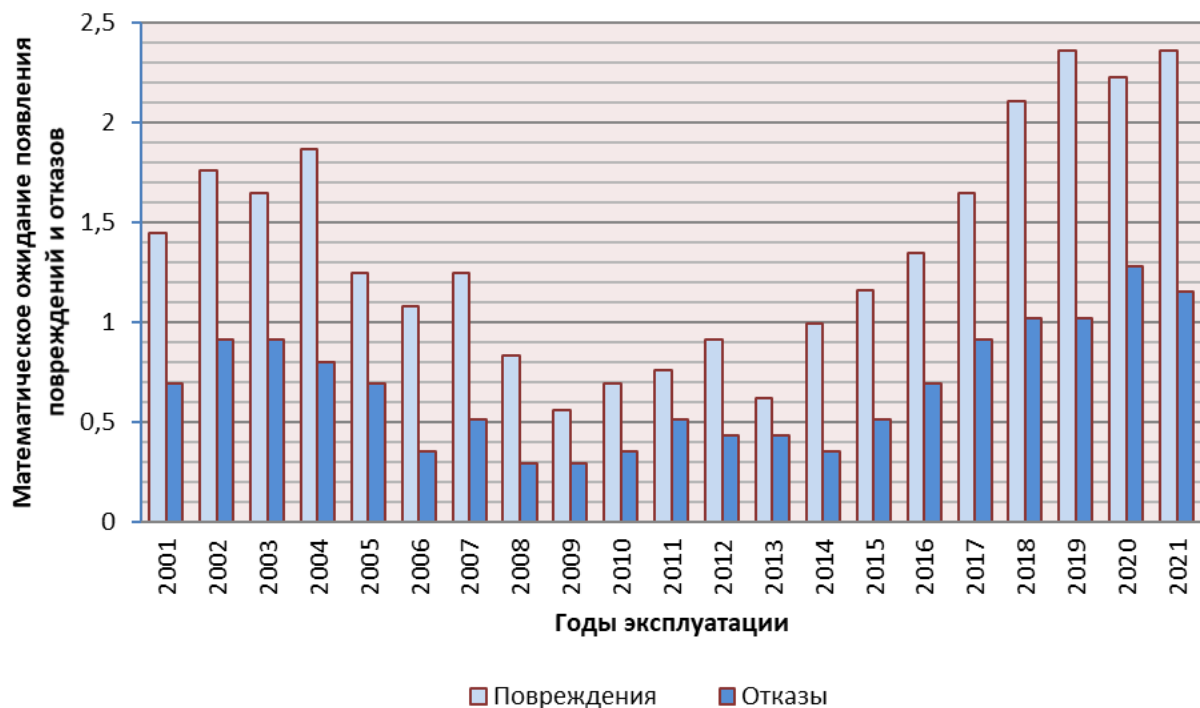
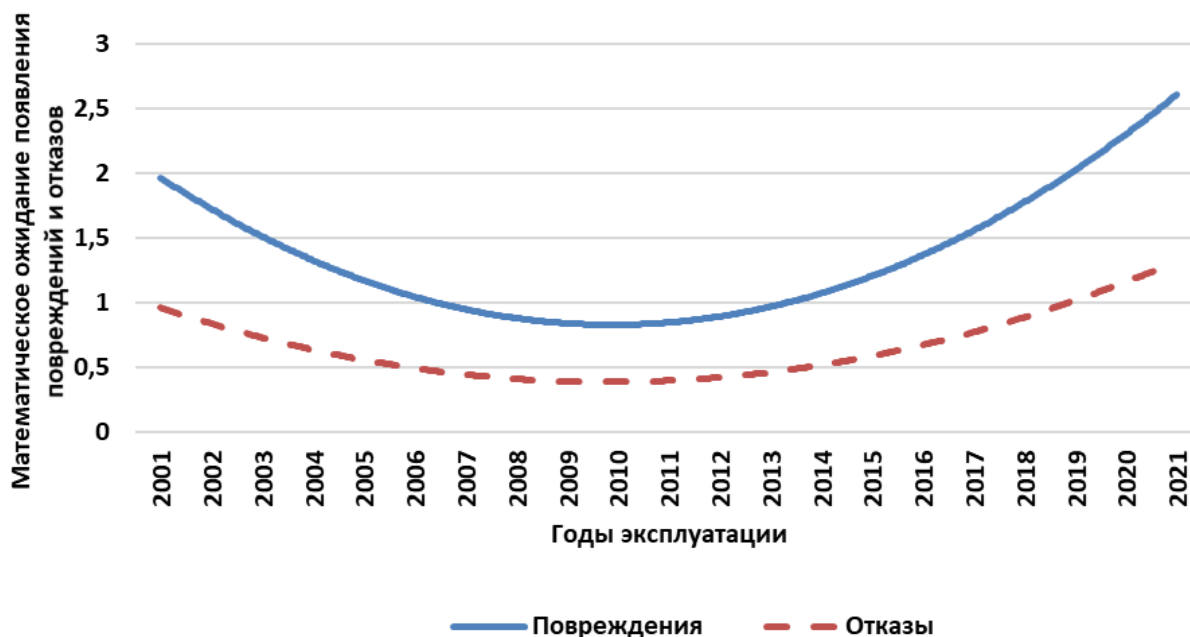


Рисунок 2 – Статистическая функция распределения математического ожидания появления повреждений и отказов на трубопроводе

Figure 2 – Statistical distribution function of the expectation value of the damage and failures occurrence on the pipe



**Рисунок 3 – Теоретические кривые распределения математического ожидания появления повреждений и отказов на трубопроводе**  
**Figure 3 – Theoretical distribution curves of the expectation value of damage and failures occurrence on the pipe**

**Выводы.** По результатам исследований и математической обработки полученных данных установлена вероятность появления первых повреждений и отказов по истечении 14 лет эксплуатации трубопровода, в дальнейшем повреждения и отказы возрастают, и уже к 17–18-му году для предотвращения повреждений и отказов появляется необходимость проведения ремонта трубопровода, стыков и запорной арматуры из-за возникновения коррозии, трещин, сколов, вмятин и других повреждений.

### Список источников

1. Research of transition processes in the operation of reclamation pumping stations / M. Ali, D. Beglyarov, E. Nazarkin, Yu. Korchevskaya, I. Trotsenko // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. 937. 032054. DOI: 10.1088/1755-1315/937/3/032054.
2. Черных А. Г. Исследование закрытой оросительной системы с двумя напорными источниками с помощью методов математического моделирования // Актуальные вопросы аграрной науки [Электронный ресурс]. 2022. № 42. С. 30–39. URL: <http://agronauka-irsau.ru/edition.php?eid=42> (дата обращения: 01.03.2023).
3. Марченко В. И., Кирсанов А. А., Овчинников А. С. Повышение надежности закрытой оросительной системы // 21 век: фундаментальная наука и технологии: материалы XXVI Междунар. науч.-практ. конф., North Charleston, USA, 18–19 мая 2021 г. Morrisville, NC, USA: Lulu Press, Inc., 2021. С. 69–73.
4. Technology to restore design parameters of irrigation pump discharge pipelines /

I. Khudaev, O. Muratov, I. Turdibekov, M. Yusupov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. 883. 012046. DOI: 10.1088/1757-899X/883/1/012046.

5. Прохоров А. А. Совершенствование сборно-разборных трубопроводов для оросительных систем // Международный технико-экономический журнал. 2021. № 6. С. 7–15. DOI: 10.34286/1995-4646-2021-81-6-7-15.

6. On the analysis of the stress state of a pipeline's bend by its height position / F. K. Abdrazakov, E. N. Mirkina, O. V. Mikheeva, S. S. Orlova, T. A. Pankova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. 905. 012001. DOI: 10.1088/1757-899X/905/1/012001.

7. Орлова С. С., Панкова Т. А., Кочетков А. В. Дифференциальное исследование кинетики коррозионных процессов в трубопроводах, транспортирующих сточные воды // Гидротехническое строительство. 2016. № 4. С. 30–36.

8. Улюкина Е. А., Прохоров А. А., Голубев И. Г. Эффективное применение сборно-разборных трубопроводов для орошения // Техника и оборудование для села. 2022. № 3(297). С. 20–25. DOI: 10.33267/2072-9642-2022-3-20-25.

9. Колпаков А. В., Новичков В. Н., Юдинцев А. А. Особенности ремонта подземных стальных трубопроводов // Сельский механизатор. 2021. № 5. С. 32–33.

10. Эксплуатационная надежность гидротехнических сооружений: учеб. пособие / Ф. К. Абдразаков, Т. А. Панкова, О. В. Михеева, С. С. Орлова. Саратов: Наука, 2018. 142 с.

11. Орлов А. А. Математическое ожидание отказа трубопровода, транспортирующего сточные воды // Территория инноваций. 2018. № 6(22). С. 44–49.

12. Энатская Н. Ю., Хакимуллин Е. Р. Теория вероятностей и математическая статистика для инженерно-технических направлений: учеб. и практикум. 1-е изд. М.: Юрайт, 2019. 399 с.

## References

1. Ali M., Beglyarov D., Nazarkin E., Korchevskaya Yu., Trotsenko I., 2021. Research of transition processes in the operation of reclamation pumping stations. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 937, 032054, DOI: 10.1088/1755-1315/937/3/032054.

2. Chernykh A.G., 2022. [Research of a closed irrigation system with two pressure sources using the methods of mathematical modeling]. *Aktual'nye voprosy agrarnoy nauki*, no. 42, pp. 30-39, available: <http://agronauka-irsau.ru/edition.php?eid=42> [accessed 01.03.2023]. (In Russian).

3. Marchenko V.I., Kirsanov A.A., Ovchinnikov A.S., 2021. *Povyshenie nadezhnosti zakrytoy orositel'noy sistemy* [Improving the reliability of a closed irrigation system]. *21 vek: fundamental'naya nauka i tekhnologii: materialy XXVI Mezhdunar. nauchno-prakticheskoy konferentsii* [21<sup>st</sup> century: Fundamental Science and Technology: Proc. of the XXVI International Scientific-Practical Conference]. North Charleston, May 18-19, Morrisville, NC, USA, Lulu Press, Inc., pp. 69-73. (In Russian).

4. Khudaev I., Muratov O., Turdibekov I., Yusupov M., 2020. Technology to restore design parameters of irrigation pump discharge pipelines. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 883, 012046, DOI: 10.1088/1757-899X/883/1/012046.

5. Prokhorov A.A., 2021. *Sovershenstvovanie sborno-razbornykh truboprovodov dlya orositel'nykh sistem* [Improvement of collapsible irrigation pipelines]. *Mezhdunarodnyy tekhniko-ekonomicheskyy zhurnal* [International Technical and Economic Journal], no. 6, pp. 7-15, DOI: 10.34286/1995-4646-2021-81-6-7-15. (In Russian).

6. Abdrazakov F.K., Mirkina E.N., Mikheeva O.V., Orlova S.S., Pankova T.A., 2020. On the analysis of the stress state of a pipeline's bend by its height position. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 905, 012001, DOI: 10.1088/1757-899X/905/1/012001.

7. Orlova S.S., Pankova T.A., Kochetkov A.V., 2016. *Differentsial'noe issledovanie kinetiki korrozionnykh protsessov v truboprovodakh, transportiruyushchikh stochnye vody* [Differential study of the kinetics of corrosion processes in pipelines transporting wastewater]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydraulic Engineering], no. 4, pp. 30-36. (In Russian).

8. Ulyukina E.A., Prokhorov A.A., Golubev I.G., 2022. *Effektivnoe primeneniye sbornorazbornykh truboprovodov dlya orosheniya* [Effective use of collapsible irrigation pipelines]. *Tekhnika i oborudovaniye dlya sela* [Machinery and Equipment for Rural Area], no. 3(297), pp. 20-25, DOI: 10.33267/2072-9642-2022-3-20-25. (In Russian).

9. Kolpakov A.V., Novichkov V.N., Yudinsev A.A., 2021. *Osobennosti remonta podzemnykh stal'nykh truboprovodov* [Features of repair of underground steel pipelines]. *Sel'skiy mekhanizator* [Agricultural Mechanizer], no. 5, pp. 32-33. (In Russian).

10. Abdrazakov F.K., Pankova T.A., Mikheeva O.V., Orlova S.S., 2018. *Ekspluatatsionnaya nadezhnost' gidrotekhnicheskikh sooruzheniy: uchebnoe posobie* [Maintenance Reliability of Hydraulic Structures: textbook]. Saratov, Nauka Publ., 142 p. (In Russian).

11. Orlov A.A., 2018. *Matematicheskoe ozhidaniye otkaza truboprovoda, transportiruyushchego stochnye vody* [Expectation value of failure of a pipe transporting wastewater]. *Territoriya innovatsiy* [Territory of Innovations], no. 6(22), pp. 44-49. (In Russian).

12. Enatskaya N.Yu., Khakimullin E.R., 2019. *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika dlya inzhenerno-tekhnicheskikh napravleniy: uchebnyk i praktikum* [Probability Theory and Mathematical Statistics for Engineering and Technical Areas: textbook and work shop]. 1<sup>st</sup> ed., Moscow, Yurayt Publ., 399 p. (In Russian).

---

#### ***Информация об авторах***

**С. С. Орлова** – доцент кафедры гидромелиорации, природообустройства и строительства в АПК, кандидат технических наук, доцент;

**А. В. Кравчук** – профессор кафедры гидромелиорации, природообустройства и строительства в АПК, доктор технических наук, профессор;

**Т. А. Панкова** – доцент кафедры гидромелиорации, природообустройства и строительства в АПК, кандидат технических наук, доцент;

**О. В. Михеева** – доцент кафедры гидромелиорации, природообустройства и строительства в АПК, кандидат технических наук, доцент;

**Е. Н. Миркина** – доцент кафедры гидромелиорации, природообустройства и строительства в АПК, кандидат технических наук, доцент.

#### ***Information about the authors***

**S. S. Orlova** – Associate Professor of the Department of Hydro-Reclamation, Environmental Engineering and Civil Engineering in Agro-Industrial Complex, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

**A. V. Kravchuk** – Professor of the Department of Hydro-Reclamation, Environmental Engineering and Civil Engineering in Agro-Industrial Complex, Doctor of Technical Sciences, Professor;

**T. A. Pankova** – Associate Professor of the Department of Hydro-Reclamation, Environmental Engineering and Civil Engineering in Agro-Industrial Complex, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

**O. V. Mikheeva** – Associate Professor of the Department of Hydro-Reclamation, Environmental Engineering and Civil Engineering in Agro-Industrial Complex, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

**E. N. Mirkina** – Associate Professor of the Department of Hydro-Reclamation, Environmental Engineering and Civil Engineering in Agro-Industrial Complex, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor.

*Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.  
Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата,  
самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.*

*Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.  
All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical  
violations in scientific publications.*

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*The authors declare no conflicts of interests.*

*Статья поступила в редакцию 04.04.2023; одобрена после рецензирования 25.04.2023;  
принята к публикации 11.05.2023.*

*The article was submitted 04.04.2023; approved after reviewing 25.04.2023; accepted for  
publication 11.05.2023.*