

Для цитирования

Остапенко М.С., Мацюк К.Е. Анализ причин отказов промышленных трубопроводов с использованием инструментов управления качеством / III Научно-практическая конференция «Стандартизация: траектория науки», приуроченная ко Всемирному дню стандартов, Москва, 15 октября 2025 г. // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2025. № 6(87). С. 253–258.

УДК 658.562.3

АНАЛИЗ ПРИЧИН ОТКАЗОВ ПРОМЫСЛОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНСТРУМЕНТОВ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ

*Остапенко М.С., канд. техн. наук, ФГБУ ВО «Тюменский индустриальный университет», г. Тюмень
Мацюк К.Е., аспирант, ФГБУ ВО «Тюменский индустриальный университет», г. Тюмень*

В статье представлен анализ причин отказов промышленных нефтепроводов с применением инструментов управления качеством – диаграмм Исикавы и Паретто. Проведен обзор нормативной документации и современных исследований, посвященных обеспечению безопасности и надежности трубопроводного транспорта. Предложены направления повышения надежности промышленных трубопроводов, выявлены ключевые факторы риска, среди которых наибольшее значение имеют коррозия внутренней поверхности, парафиновые и солевые отложения.

Ключевые слова: открытая распределенная информационная система, стандарт ITIL, обучение персонала, система дистанционного обучения, контент учебного процесса.

ANALYSIS OF THE CAUSES OF FAILURES OF INDUSTRIAL PIPELINES USING QUALITY MANAGEMENT TOOLS

*Ostapenko M.S., Ph.D. in Technical Sciences, Tyumen Industrial University, Tyumen
Macuk K.E., Postgraduate Student, Tyumen Industrial University, Tyumen*

The article presents an analysis of the causes of failures of field oil pipelines using quality management tools – the Ishikawa and Pareto diagrams. A review of regulatory documentation and modern research on ensuring the safety and reliability of pipeline transport has been conducted. The directions of improving the reliability of field pipelines are proposed, key risk factors are identified, among which corrosion of the inner surface, paraffin and salt deposits are of the greatest importance.

Keywords: open distributed information system, ITIL standard, staff training, distance learning system, educational process content.

Промысловые нефтепроводы имеют важную роль в добыче нефти и газа, так как с ними напрямую связана дальнейшая судьба скважинной продукции. При возникновении аварии на промысловых трубопроводах не происходит таких больших утечек нефти, как на магистральных, ввиду их сравнительно меньшего диаметра и более оперативного принятия мер по локализации последствий. Однако при остановке магистрального транспорта на головной насосно-перекачивающей станции предусмотрено наличие резервуарного парка, который позволяет продолжить бесперебойный процесс добычи и подготовки нефти к транспортировке по магистрали.

До 60% аварий в нефтедобывающих компаниях связано с повреждениями промысловых трубопроводов. Наиболее частые последствия – утечка нефти, остановка скважин, нарушение экологических норм и экономические потери. При выходе из строя промыслового

трубопровода происходит полная остановка скважины, что также может привести к высоким экономическим потерям [1].

Таким образом, целью данной работы является проведение анализа причин отказов промысловых трубопроводов с использованием инструментов управления качеством и определение направления повышения их надежности.

Одной из задач, при помощи которых достигается бесперебойная и эффективная эксплуатация промысловых трубопроводов, является обеспечение их надежности и безопасности.

Современные исследования подтверждают, что обеспечение надежности промысловых трубопроводов остается одной из ключевых задач нефтегазовой отрасли. Вопросы аварийности, причин отказов и выбора.

В исследованиях [2] проведен комплексный анализ причин аварий на промысловых трубопроводах и предложены практические меры их предотвращения. Авторы отмечают, что к основным причинам отказов относятся коррозионные процессы, образование парафиновых и солевых отложений, дефекты сварных соединений и нарушения технологической дисциплины. Выделены четыре группы факторов: техногенные (материальные дефекты, износ металла), эксплуатационные (отсутствие систематического контроля, несоблюдение регламентов ППР), природные (влияние низких температур, подвижность грунта) и человеческие (ошибки персонала). Авторы делают акцент на необходимости внедрения цифровых технологий мониторинга, что позволит своевременно выявлять ранние признаки дефектов.

В другой работе тех же авторов [3] рассмотрены перспективные технологии строительства промысловых трубопроводов из неметаллических материалов. Показано, что использование полимерных и композитных труб (полиэтиленовых, полипропиленовых, стеклопластиковых) способствует устранению проблем электрохимической коррозии и снижению эксплуатационных затрат. Авторы подчеркивают, что выбор неметаллических труб должен основываться на технико-экономическом анализе и учитывать характеристики транспортируемой среды и температурный режим региона.

Анализ аварийности магистральных трубопроводов [4] показал, что основными причинами повреждений на стареющем фонде систем транспортировки остаются коррозионное растрескивание под напряжением, внутренние дефекты металла и усталостное разрушение. Несмотря на снижение общей интенсивности аварий (до 0,1–0,2 инцидента на 1000 км в год), доля отказов, вызванных коррозионными процессами, остается значительной. Авторы обращают внимание на необходимость совершенствования методов диагностики, в частности внутритрубной дефектоскопии, и наращивания программ профилактических ремонтов. Работа подчеркивает значимость системного мониторинга состояния трубопроводов, особенно при длительной эксплуатации, и актуальность продления ресурса безопасной работы по результатам технического обследования.

Практическое применение риск-ориентированных подходов продемонстрировано в исследовании [5], посвященном оценке и приоритизации рисков промысловых трубопроводов, транспортирующих сероводородсодержащие среды [6]. Авторы предложили методику ранжирования объектов по уровням риска (низкий, средний, высокий, чрезвычайный) с учетом вероятности отказа и масштабов последствий. Выделено, что наибольшие риски связаны с эксплуатацией водоводов высокого давления и нефтесборных коллекторов, особенно при наличии H_2S и CO_2 в транспортируемой смеси. В работе систематизированы критерии оценки технического состояния и даны рекомендации по включению объектов в программу надежности.

Методологической основой риск-анализа служит работа [7], где рассмотрены методы количественной оценки рисков эксплуатации магистральных газопроводов. Автор использует инструмент «дерево событий» для построения сценариев аварий, включая гильотинный разрыв трубопровода, и предлагает модель прогнозирования распространения газа и оценки

последствий. Показано, что применение вероятностных моделей позволяет повысить точность оценки остаточного ресурса и разработать эффективные планы реагирования.

Помимо исследований, непосредственно связанных с трубопроводным транспортом нефти и газа, практический интерес представляет работа [8], в которой обосновывается возможность применения результатов надзорного анализа и мониторинга технического состояния оборудования в качестве инструмента формирования эффективной системы риск-ориентированного управления высокотехнологичным производством, в том числе процессом эксплуатации трубопроводов.

Надежность промысловых трубопроводов регламентируется рядом нормативных документов, представленных на рис. 1. При этом современный этап развития стандартов характеризуется переходом от декларативных требований к практическому применению инструментов обеспечения качества и надежности [9]. Такое направление согласуется с мировой тенденцией интеграции риск-ориентированного подхода в техническое регулирование.

Нормативная документация по промысловым трубопроводам	ГОСТ Р 59834–2021. Промысловые трубопроводы. Трубы гибкие полимерные армированные и соединительные детали к ним. Общие технические условия.
	ГОСТ Р 59411–2021. Нефтяная и газовая промышленность. Трубы стальные для промысловых трубопроводов. Общие требования.
	ГОСТ Р 70624–2023. Нефтяная и газовая промышленность. Методы оценки коррозионной стойкости промысловых трубопроводов.
	ГОСТ Р 70623–2023. Нефтяная и газовая промышленность. Трубы. Методы испытаний на стойкость к сульфидному растрескиванию под напряжением.
	СП 393.1325800.2018. Промысловые трубопроводы. Правила проектирования и эксплуатации.
	СП 483.1325800.2020. Промысловые трубопроводы. Требования к проектированию, строительству и эксплуатации.

Рис. 1. Нормативная документация по промысловым трубопроводам

Таким образом, проведенный анализ показывает, что современные исследования концентрируются на четырех направлениях:

- 1) предотвращение коррозионных и отложенных процессов;
- 2) применение неметаллических и композитных материалов;
- 3) внедрение риск-ориентированных систем управления надежностью;
- 4) развитие цифровых технологий диагностики и мониторинга.

Эти положения определяют теоретическую и практическую основу настоящей работы, направленной на использование инструментов управления качеством для анализа и предупреждения отказов промысловых трубопроводов.

Таким образом, анализ литературы демонстрирует необходимость системного подхода, основанного на методах управления качеством.

В первую очередь для определения проблемного поля необходимо исследовать риски, возникающие в процессе эксплуатации промысловых трубопроводов [10, 11]. Главным из них является выход из строя трубопровода. Для анализа причин, приводящих к отказам промысловых трубопроводов [12], была построена диаграмма Исикавы, представленная на рис. 2.

В диаграмме Исикавы причины классифицированы по шести группам:

1. Материалы – коррозионная стойкость [13], качество сварных швов, остаточные напряжения.
2. Оборудование – насосы, запорная арматура, устройства очистки.
3. Методы – нарушение регламентов эксплуатации и ППР.
4. Персонал – квалификация, культура безопасности.

5. Среда – агрессивность среды, температура, давление.

6. Менеджмент – организация контроля, планирование ремонтов.

Проведенный анализ по диаграмме Исикавы позволяет выявить множество взаимосвязанных причин, влияющих на надежность и безопасность промышленных трубопроводов. Однако для практического управления качеством и промышленной безопасностью важно выделить среди них те, которые оказывают наибольшее влияние на количество отказов. В этих целях целесообразно применить диаграмму Паретто [14], позволяющую квалифицировать причины по степени их значимости и выделить ограниченное число наиболее значимых факторов, устранение которых обеспечивает максимальное снижение уровня отказов.

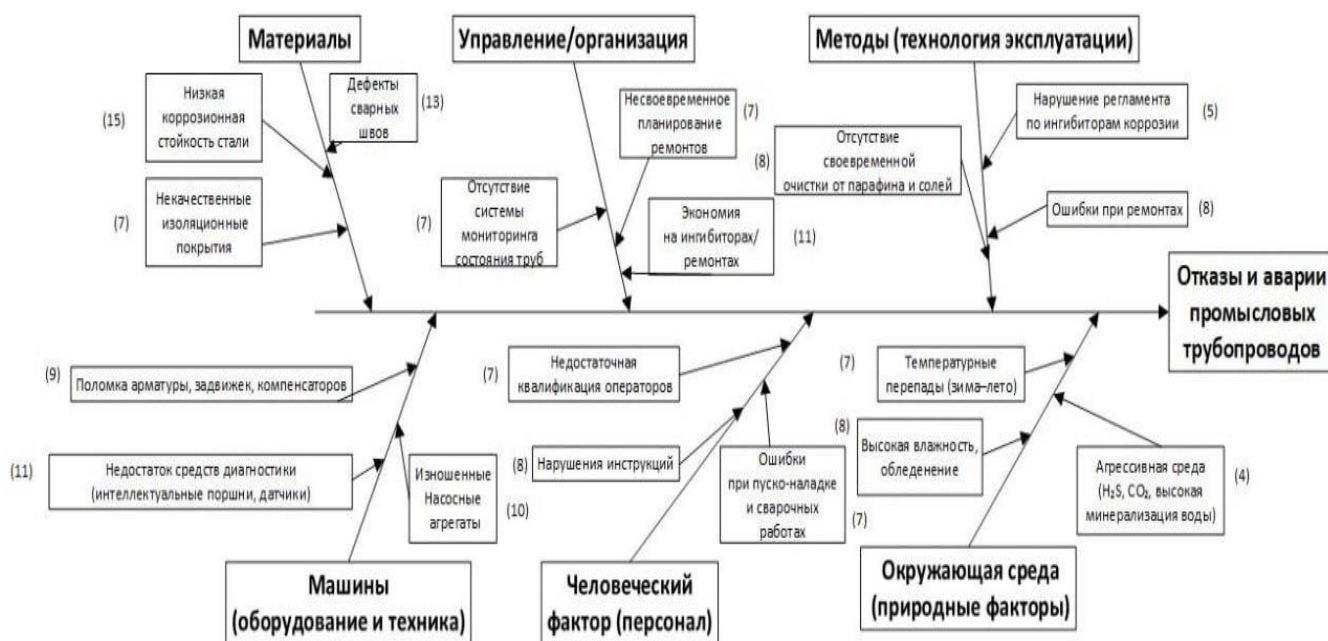


Рис. 2. Диаграмма Исикавы по причинам отказов промышленных трубопроводов

На основании частоты возникновения причин построена диаграмма Паретто, представленная на рис. 3.

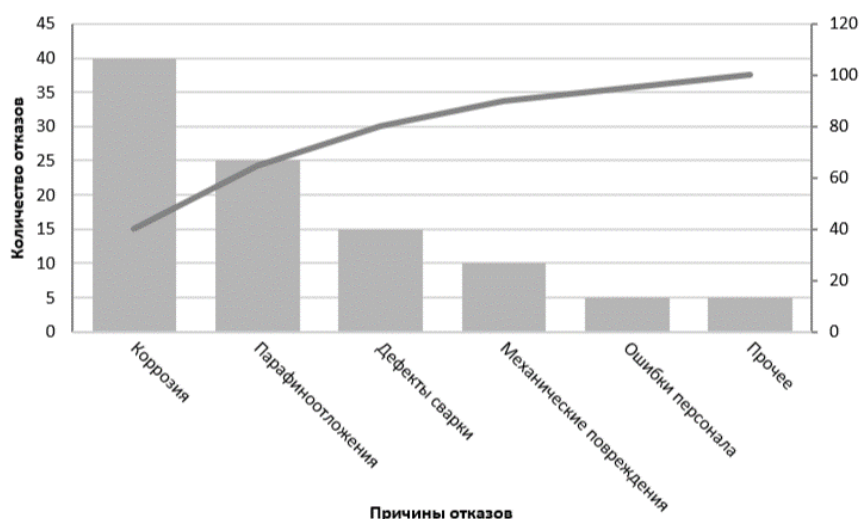


Рис. 3. Диаграмма Паретто по причинам отказов промышленных трубопроводов

Диаграмма Паретто показывает распределение основных причин, которые влияют на отказы промышленных трубопроводов. Как видно из рис. 2, наибольшую долю составляют случаи коррозии внутренней поверхности. Они составляют около 40% всех отказов и являются

главным риском. На втором месте находятся парафиновые и солевые отложения. Также значимым фактором остаются дефекты сварных соединений (15%). Механические повреждения, ошибки персонала и прочие факторы занимают меньшую нишу, но также могут привести к опасным последствиям.

Анализ показывает, что указанные причины формируют 80% всех угроз вышеуказанной проблемы. Это подтверждает, что их устранение позволит значительно повысить надежность трубопроводов и снизить вероятность аварий. Для того, чтобы более детально разобраться в причинах аварий, необходимо определить, как на документальном уровне регламентируется их исключение. Следует отметить, что ключевую роль в обеспечении стабильности функционирования промышленных систем играет метрологическое обеспечение контроля технологических параметров. Как отмечается в работе [15], метрология является базовым элементом системы качества в нефтегазовой отрасли, обеспечивающим достоверность измерений и объективность оценки технического состояния оборудования.

Исследование подтвердило, что системное применение инструментов управления качеством эффективно для анализа и предупреждения отказов промышленных трубопроводов.

Ключевые причины – коррозия внутренней поверхности, отложения и дефекты сварных соединений – формируют до 80% всех случаев выхода из строя. Их устранение возможно при совмещении технических и организационных мер: оптимизации ингибиторной защиты, регулярной очистки, цифрового мониторинга и повышения квалификации персонала.

Развитие риск-ориентированных подходов и интеграция методов качества в систему технической эксплуатации создают основу для повышения надежности трубопроводного транспорта в целом.

Список литературы

1. Кушнарченко В.М. Анализ причин отказов оборудования и трубопроводов // Эксплуатация и ремонт нефтегазового оборудования. – 2010. – № 3. – С. 45–53.
2. Андреева А.К., Терентьев А.Н. Аварийность промышленных трубопроводов: причины, последствия и меры предотвращения // Вестник науки. – 2024. – № 10 (79). – С. 832–836.
3. Андреева А.К., Терентьев А.Н. Исследование технологий строительства промышленных трубопроводов из неметаллических материалов // Вестник науки. – 2024. – № 10 (79). – С. 837–841.
4. Анализ аварийности на магистральных трубопроводах с продолжительным сроком эксплуатации / Р.М. Аскаров, Р.Г. Аскаров, Р.М. Каримов, Х.Ш. Шамилов, В.В. Соколова // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – 2024. – № 1–2. – С. 37–41. – DOI 10.24412/0131-4270-2024-1-2-37-41.
5. Оценка и приоритизация рисков промышленных трубопроводов, транспортирующих сероводородсодержащие нефтегазовые среды / Р.Ф. Мамбетов, В.М. Кушнарченко, Ф.Ш. Хафизов, И.Ф. Хафизов // Нефтегазовое дело. – 2022. – № 6. – С. 76–91. – DOI 10.17122/ogbus-2022-6-76-91.
6. Анализ причин отказов трубопроводов, транспортирующих сероводородсодержащие нефтегазовые среды / С.Г. Юдаш, В.А. Бишель, Р.Ф. Мамбетов, В.М. Кушнарченко // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2017. – № 2. – С. 70–77.
7. Осипова Л.Э. Методы оценки риска эксплуатации магистральных газопроводов // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2017. – № 2 (40). – С. 183–189.
8. Козьминых М.Ю., Клочков Ю.С. Модель управления рисками развития опасных техногенных процессов в деятельности высокотехнологичных производств на основе результатов контрольной надзорной деятельности // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2024. – Т. 26, № 1 (117). – С. 33–45. – DOI 10.37313/1990-5378-2024-26-1-33-45. – EDN JGISSY.
9. Ломакин М.И., Докукин А.В., Будкин Ю.В. Современный этап совершенствования основополагающих стандартов // Стандарты и качество. – 2019. – № 3. – С. 8–12. – EDN YYSOCL.
10. Тверяков А.М. Адаптация методов управления качеством // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2020. – Т. 22, № 2 (94). – С. 40–46. – DOI 10.37313/1990-5378-2020-22-2-40-46. – EDN OLCEED.
11. Кармачев Д.П. Анализ статистических данных об отказах промышленных трубопроводов // Материалы конференции ТПУ-2019. – Томск: ТПУ, 2019. – С. 26–31.
12. Совершенствование методов построения причинно-следственных диаграмм для решения задач управления в организационных системах / И.В. Гаврилова, О.С. Зиновьева, Е.А. Лапина, Н.С. Сергеева // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 8-2. – С. 247–251.
13. Поварова Л.В. Коррозия трубопроводов и нефтегазового оборудования // Булатовские чтения. – 2020. – № 4. – С. 130–135.

14. Яцунь И.В. Диаграммы Паретто – простой способ повышения надежности оборудования // Научно-практические исследования. – 2020. – № 6-1 (29). – С. 89–94.
15. Василега Д.С., Зырянова В.А. Метрология как основа нефтегазовой отрасли // Транспорт и машиностроение Западной Сибири. – 2019. – № 2. – С. 74–78. – EDN TBWXRL.

References

1. Kushnarenko V.M. Analiz prichin otkazov oborudovaniya i truboprovodov // Eksploatatsiya i remont neftegazovogo oborudovaniya. – 2010. – № 3. – С. 45–53.
2. Andreeva A.K., Terentev A.N. Avariynost promyslovykh truboprovodov: prichiny, posledstviya i mery predotvrashcheniya // Vestnik nauki. – 2024. – № 10 (79). – С. 832–836.
3. Andreeva A.K., Terentev A.N. Issledovanie tekhnologiy stroitelstva promyslovykh truboprovodov iz nemetallicheskih materialov // Vestnik nauki. – 2024. – № 10 (79). – С. 837–841.
4. Analiz avariynosti na magistralnykh truboprovodakh s prodolzhitelnym srokom eksploatatsii / R.M. Askarov, R.G. Askarov, R.M. Karimov, Kh.Sh. Shamilov, V.V. Sokolova // Transport i khranenie nefteproduktov i uglevodorodnogo syria. – 2024. – № 1–2. – С. 37–41. – DOI 10.24412/0131-4270-2024-1-2-37-41.
5. Otsenka i prioritezatsiya riskov promyslovykh truboprovodov, transportiruyushchikh serovodorodsoderzhashchie neftegazovye sredy / R. F. Mambetov, V. M. Kushnarenko, F. Sh. Khafizov, I. F. Khafizov // Neftegazovoe delo. – 2022. – № 6. – С. 76–91. – DOI 10.17122/ogbus-2022-6-76-91.
6. Analiz prichin otkazov truboprovodov, transportiruyushchikh serovodorodsoderzhashchie neftegazovye sredy / S.G. Yudash, V.A. Bishel, R.F. Mambetov, V.M. Kushnarenko // Intellect. Innovatsii. Investitsii. – 2017. – № 2. – С. 70–77.
7. Osipova L. E. Metody otsenki riska eksploatatsii magistralnykh gazoprovodov // Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. – 2017. – № 2 (40). – С. 183–189.
8. Kozminykh M. Yu., Klochkov Yu. S. Model upravleniya riskami razvitiya opasnykh tekhnogennykh protsessov v deyatel'nosti vysokotekhnologichnykh proizvodstv na osnove rezultatov kontrol'noy nadzornoy deyatel'nosti // Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk. – 2024. – Т. 26, № 1 (117). – С. 33–45. – DOI 10.37313/1990-5378-2024-26-1-33-45. – EDN JGISSY.
9. Lomakin M.I., Dokukin A.V., Budkin Yu.V. Sovremennyy etap sovershenstvovaniya osnovopolagayushchikh standartov // Standarty i kachestvo. – 2019. – № 3. – С. 8–12. – EDN YYSOCL.
10. Tveryakov A.M. Adaptatsiya metodov upravleniya kachestvom // Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk. – 2020. – Т. 22, № 2 (94). – С. 40–46. – DOI 10.37313/1990-5378-2020-22-2-40-46. – EDN OLCEED.
11. Karmachev D. P. Analiz statisticheskikh dannyykh ob otkazakh promyslovykh truboprovodov // Materialy konferentsii TPU-2019. – Tomsk: TPU, 2019. – С. 26–31.
12. Sovershenstvovanie metodov postroeniya prichinno-sledstvennykh diagramm dlya resheniya zadach upravleniya v organizatsionnykh sistemakh / I.V. Gavrilova, O.S. Zinovyeva, E.A. Lapina, N.S. Sergeeva // Fundamentalnye issledovaniya. – 2015. – № 8-2. – С. 247–251.
13. Povarova L.V. Korroziya truboprovodov i neftegazovogo oborudovaniya // Bulatovskie chteniya. – 2020. – № 4. – С. 130–135.
14. Yatsun I. V. Diagrammy Pareto – prostoy sposob povysheniya nadezhnosti oborudovaniya // Nauchno-prakticheskie issledovaniya. – 2020. – № 6-1 (29). – С. 89–94.
15. Vasilega D.S., Zyryanova V.A. Metrologiya kak osnova neftegazovoy otrasli // Transport i mashinostroenie Zapadnoy Sibiri. – 2019. – № 2. – С. 74–78. – EDN TBWXRL.