

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ – НЕИЗБЕЖНАЯ КОМПОНЕНТА СУВЕРЕННЫХ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫХ НОРМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ МОРСКИХ НЕФТЕГАЗОВЫХ СООРУЖЕНИЙ РОССИИ

Авторы: С.А. Тимашев, А.В. Бушинская.

Научно-инженерный центр «Надежность и безопасность больших систем и машин» УрО РАН Екатеринбург, ул. Студенческая, 54А

В соответствии с Морской Доктриной Российской Федерации утверждённой Президентом Российской Федерации 31.07.2022 г., первоочередным приоритетным функциональным направлением и задачами морской деятельности РФ в контексте рассматриваемой проблемы являются:

- обеспечение национальной безопасности и технологической независимости Российской Федерации в сфере безопасности объектов морской инфраструктуры;
- развитие и безопасное функционирование стратегических морских трубопроводных систем по транспортировке углеводородного сырья.

При этом Доктрина имеет в виду, что эти цели будут обеспечены за счет:

- экосистемного подхода (рассмотрения морской среды и происходящих в ней процессов во взаимосвязи, как единого целого) в условиях активного антропогенного воздействия;
- прогнозирования опасных гидрометеорологических, гидрофизических и сейсмологических явлений, представляющих угрозу для населения прибрежных районов, береговой зоны, буровых платформ, и подводных трубопроводов;
- мониторинга состояния подводных трубопроводов как потенциально опасных объектов, с целью предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, снижения возможного ущерба от техногенных катастроф;
- внедрения передовых цифровых технологий на всех этапах жизненного цикла морской техники на базе искусственного интеллекта. Несмотря на то, что в Доктрине этот пункт относится к военно-морской технике, он должен в полной мере относиться и к гражданской технике, в том числе, морским подводным трубопроводам.

Межведомственный экспертный совет по безопасности морских подводных трубопроводов (МЭС МПТ) использует все приведенные выше положения Морской Доктрины при создании суверенных норм проектирования и эксплуатации МПТ, что позволит МЭС внести весомый вклад в проведение эффективной национальной морской политики и активизацию морской деятельности, что является одним из приоритетов Российской Федерации в XXI веке и требует консолидации усилий всех причастных сторон.

К настоящему времени МЭС МПТ провел обширную и очень полезную работу по инвентаризации мировых достижений в этой области и составил ряд первых редакций норм необходимых для проектирования и безопасной эксплуатации Российских МПТ с учётом многих достижений отечественной науки и технологии [1-12]. Результаты этой работы служат тем фундаментом, на котором строится система норм, обеспечивающих технологическую независимость (суверенность) морского подводного трубопроводного транспорта России.

Вместе с этим, необходимо отметить, что всё еще отсутствуют ответы на ряд принципиальных вопросов, без которых создание суверенных отечественных норм безопасности МПТ невозможно. Кроме того, остаются значительные инфопробелы в теории риска МПТ, которые предстоит ликвидировать, используя достижения и новейшие разработки отечественной фундаментальной и прикладной науки и технологии.

Риск эксплуатации морских подводных трубопроводов, как стратегически важных сложных инфраструктур, является определяющим индикатором качества их функционирования. В настоящее время существует консенсус относительно того, что в основу таких норм необходимо положить следующие принципы: Дизайн отечественных МПТ должен (1) охватывать весь их жизненный цикл (ЖЦ) и (2) быть основан на современных концепциях управления сложными системами по критериям безопасности и риска в условиях динамической многофакторной неопределенности [13-15].

Стандарты по безопасности МПТ, вкпе с метрологией и надзорной деятельностью, должны ускорить достижение технологической независимости России и обеспечить максимально быстрое развитие отечественного морского трубопроводного транспорта. Использование в разрабатываемых нормах значений вероятностей отказа (ВО) МПТ и ущербов от них по западной статистике неприемлемо, поскольку она никак не отражает опыт эксплуатации отечественных МПТ. Разрабатываемый пакет норм необходимо принципиально чётко гармонизировать как с требованиями и положениями актуальной отечественной и зарубежной нормативной базы в части обоснования и обеспечения безопасности МПТ, так и, в первую очередь, с императивным требованием скорейшего обеспечения технологического суверенитета в контексте Морской Доктрины РФ.

Поэтому эти нормы должны (1) быть полностью основаны на таких (пока отсутствующих) российских риск-ориентированных технологиях, которые более прогрессивны чем западные, и (2) учитывать/использовать новейшие достижения механики разрушения, цифровизации, искусственного интеллекта, теории надежности, живучести, безопасности и анализа риска. При этом качество анализа риска должно соответствовать уровню важности эксплуатируемой инфраструктуры. В самом деле, невозможно построить инновационные нормы, основанные на риске, когда сам риск оценивается с недостаточной точностью. Нельзя чисто побриться, используя топор, даже если он хорошо наточен.

Анализ доступных автору отчетов о проведении внутритрубной дефектоскопии отечественных наземных трубопроводов показывает, что они выполняются на сравнительно низком технологическом уровне. В отчетах: 1) отсутствуют оценки погрешностей измерений присущих конкретно данному внутритрубному инструменту (ВТИ) при его исполь-

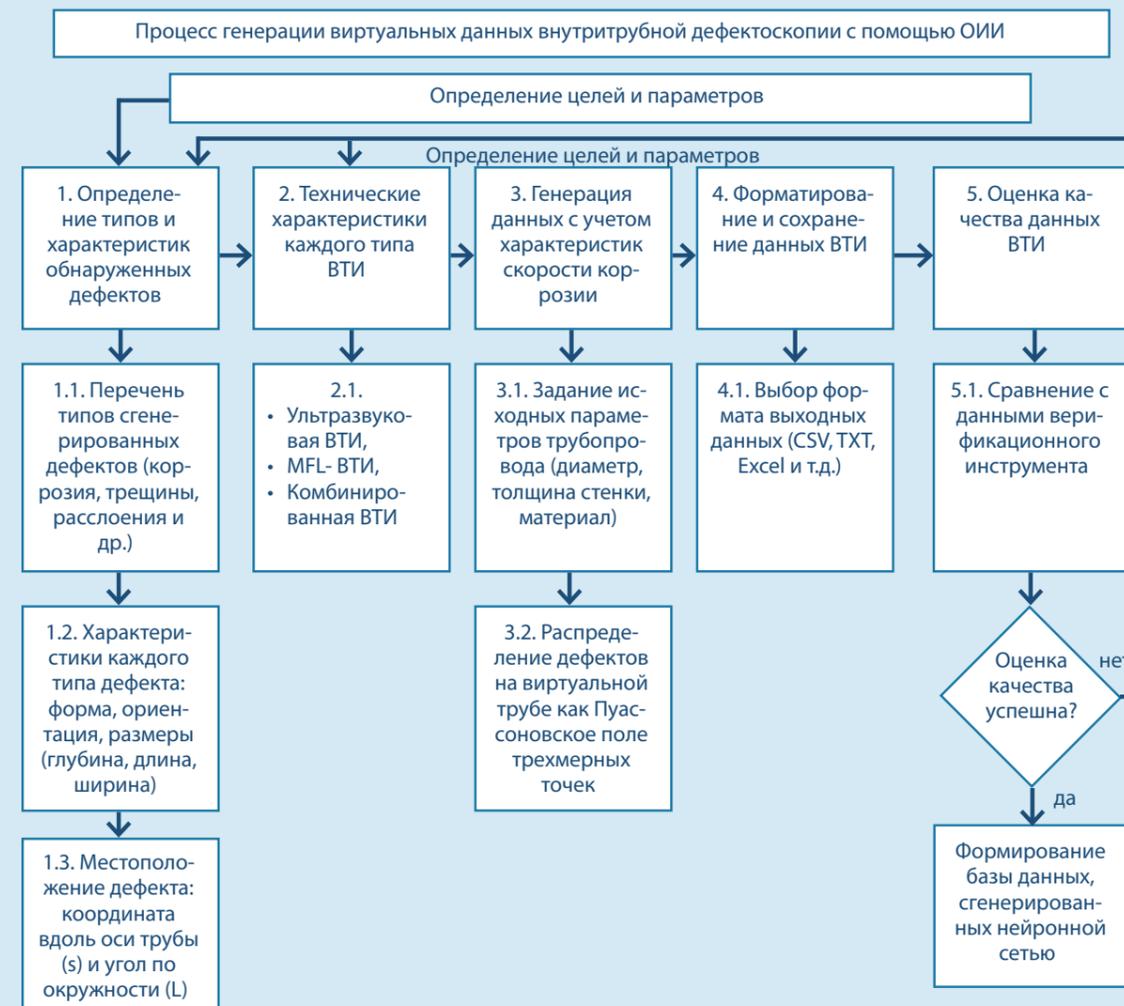


Рис. 1. Применение ОИИ при генерации базы данных результатов виртуальной внутритрубной диагностики МПТ

зовании для диагностики конкретного трубопровода; 2) отсутствуют оценки вероятности пропуска опасных дефектов; 3) число верифицированных измерений обнаруженных дефектов статистически незначимо (не превышает 10, а должно быть не менее 40, лучше 50 измерений дополнительного контроля ДДК), что практически обесценивает, с точки зрения анализа риска, всю процедуру дорогостоящей внутритрубной диагностики.

Ключевой технологией, которая единственно может обеспечить требуемое качество оценки риска МПТ, является такая риск-ориентированная технология их диагностики, мониторинга, и обслуживания (технического обслуживания, ремонта и восстановления после аварии или инцидента), которая способна, по уровню своей разработки, снабжать лиц, принимающих решения (ЛПР) всеми данными, необходимыми для объективной оценки эксплуатационного риска МПТ и принятия максимально взвешенного решения, которое минимизирует потери и оптимизирует прибыль.

Требуется разработка принципиально новой технологии внутритрубной диагностики (ВТД) морских подводных не-

фтегазовых трубопроводов, которая обеспечивает их риск-ориентированную эксплуатацию. Используемая в настоящее время технология ВТД безнадежно устарела и непригодна для реализации риск-ориентированных методов проектирования и эксплуатации трубопроводов и оборудования ТЭК России в XXI веке. Проблема усугубляется тем, что неприемлемость использования в отечественных нормах статистики ВО зарубежных МПТ и величин ущербов от них, ставит во весь рост вопрос: откуда брать состоятельную статистику для российских МПТ, которая принципиально не существует в природе?

Ответ на этот вопрос можно получить, только если использовать искусственный интеллект ИИ для построения базы данных результатов виртуальной ВТД цифрового двойника конкретного МПТ, запроектированного по существующим нормам и эксплуатируемого по правилам ведомства или владельца/оператора трубопровода.

На рис. 1 представлена блок-схема процесса генерации такой базы данных с использованием аппарата объяснимого ИИ в виде искусственной нейронной сети с использованием

характеристик (1) реального трубопровода, (2) используемого инновационного ВТИ, (3) параметров коррозионного процесса, характерного для inspected трубопровода, и др.

На рисунке 2 представлено дерево решений по эксплуатации данного МПТ [16], из которого видно, что все решения, принимаемые соответствующими ответственными лицами (ЛПР), основываются на множестве данных структурированных для максимальной формализации риска данного решения, что также требует использования аппарата объяснимого ИИ.

Таким образом, можно констатировать, что существует императивная потребность в проведении целого комплекса фундаментальных ориентированных и прикладных исследований связанных с ликвидацией пробелов в знаниях и технологиях, необходимых для скорейшего создания суверенных норм проектирования и эксплуатации МПТ России.

НИЦ «Надежность и безопасность больших систем и машин» УрО РАН, основываясь на своей более чем 30-летней систематической научно-практической работе в области надежности, живучести и безопасности трубопроводных систем, которая получила международное признание [17], предлагает создать инновационную, не имеющую мировых аналогов прорывную технологию эксплуатации трубопроводных систем, состоящую из (1) интеллектуальных внутритрубных инструментов (ВТИ) нового типа, позволяющих одновременно обеспечить как измерение, так и верификацию всех параметров измеренных дефектов [18], как для однослойных труб, так и для труб с защитным покрытием; (2) программный комплекс (ПК) построенный на принципах объяснимого искусственного интеллекта (ОИИ), один из модулей которого позволяет вычислять, по данным измерений, все семь метрик точности ВТИ, в том числе вероятность пропуска/ложного обнаружения опасных дефектов [19].

ПК позволяет также осуществлять: (1) расчет прочности, надежности и живучести эксплуатируемого трубопровода по действующим нормам, (2) расчет риска эксплуатации трубопроводов на всем их жизненном цикле как функцию времени, с учетом каждого природного и технологического вмешательства, а также принятой стратегии их диагностики, мониторинга, ремонта и восстановления [16].

Предлагаемая инновационная технология позволяет осуществлять стопроцентно суверенную риск-ориентированную оптимизацию эксплуатации критически и стратегически важных трубопроводных систем РФ по критерию ROI (возврата инвестиций) при одновременном обеспечении необходимого уровня их безопасности. Эта технология будет конкурентоспособной на внешнем рынке, как и предусмотрено Морской Доктриной РФ

Анализ структуры учреждений Минобрнауки, которые находятся под научным руководством РАН показывает, что вопросами безопасности критически и стратегически важных инфраструктур предметно занимается очень узкий круг институтов (и это объективно отражено в персональном составе МЭС), что явно недостаточно для достижения целей и задач, которые решает МЭС МПТ в контексте Доктрины России в области национальной безопасности.

В связи с этим, а также учитывая, что в настоящее время МЭС является чисто общественной организацией и не имеет приводных ремней к планам НИР учреждений подведомственных РАН и Минобрнауки, представляется целесообразным создать в составе НИЦ УрО РАН, лабораторию МЭС по использованию объяснимого искусственного интеллекта (ОИИ) для решения фундаментальных ориентированных и прикладных проблем безопасности морских подводных трубопроводов. В эту лабораторию можно пригласить молодых специалистов-выпускников магистратуры УрФУ по специ-

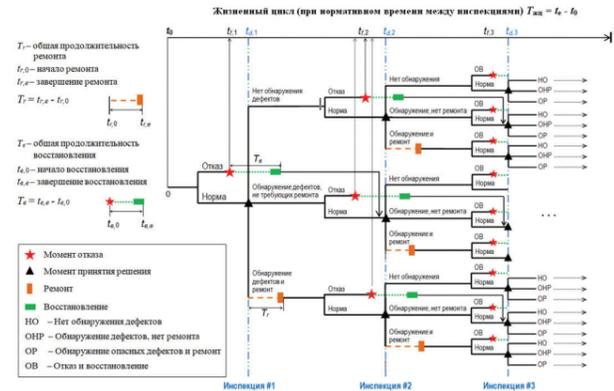


Рис. 2. Обобщенная стохастическая последовательность «Решение #1 – Событие #1 – Решение #2 – Событие #2 – ...» на жизненном цикле МПТ; t_0 – начало ЖЦ, t_e – конец ЖЦ

альности «Искусственный интеллект в инженерии безопасности строительных объектов», руководителем которой является автор.

Нам представляется, что эта лаборатория в первую очередь должна быть нацелена на проведение следующих междисциплинарных исследований (что не исключает другие задачи, могущих представлять интерес для операторов МПТ):

- A. В области технологий диагностики и мейнтенанса:
 - Разработка, совместно с НТЦ «Нефтегаздиагностика», интеллектуального инспекционного снаряда для диагностики и мониторинга МПТ с использованием ОИИ;
 - Разработка, с использованием ОИИ, метода измерения риска с необходимой для управления эксплуатацией МПТ точностью через физически измеримые характеристики и методов верификации получаемых с их помощью измерений;
 - Создание программного комплекса оценки всех семи вероятностных метрик: точности обнаружения, идентификации и измерения параметров дефектов и аномалий формы и геометрии МПТ, характерных для отечественных внутритрубных дефектоскопов;
 - Разработка алгоритмов определения вероятностей обнаружения и вероятностей пропуска дефектов/трещин/аномалий опасных размеров, основанные на вероятности проведения ремонтов по результатам каждой инспекции;
 - Разработка методологии диагностики двухслойных газопроводов с синхронным применением магнитных и ультразвуковых внутритрубных дефектоскопов.
- B. В области анализа риска:
 - Создание цифровых квазидвойников проектируемых и эксплуатируемых МПТ;
 - Моделирование квазиполной группы сценариев эксплуатации и аварийных ситуаций характерных для МПТ на континентальном, Балтийском, Каспийском и Черноморском шельфах России с использованием междисциплинарного подхода;
 - Построение полного стохастического жизненного цикла МПТ;
 - Разработка алгоритма и программного комплекса расчета риска МПТ на полном его жизненном цикле с использованием ОИИ;
 - Оценка и минимизация углеродного следа МПТ на фазе его активной эксплуатации;

- Разработка моделей нагрузок и воздействий на МПТ, характерных для Российского шельфа, в виде случайных величин, функций, или полей;
- Разработка, с использованием ОИИ, алгоритма и программного комплекса управления риском МПТ на базе целевой функции, которая адекватно отражает общую стоимость владения МПТ на его полном ЖЦ с использованием ОИИ;
- Разработка, с использованием ОИИ, алгоритма и программного комплекса двухцелевой процедуры оптимизации: (1) ожидаемых затрат на техническое обслуживание в течение жизненного цикла с учетом инспекций и ремонтов и (2) максимального годового значения риска в течение жизненного цикла МПТ;
- Разработка метода мейнтенанса, основанном на коэффициенте возврата инвестиций ROI;
- Разработка количественных методов оценки вероятностей всех типов отказов (предупреждающих, триггерных, предкритических, аварийных);
- Анализ мировых трендов в области безопасности МПТ.

Разработанные в таком ключе нормы допускают быструю модернизацию и будут служить естественным драйвером прогресса по всем направлениям создания и эксплуатации отечественных МПТ.

В результате выполнения перечисленных выше разработок будет создана отечественная методика компьютерного моделирования полного стохастического жизненного цикла Российского морского трубопровода как стратегической инфраструктуры, базирующаяся на отечественной технологии диагностики, мониторинга и мейнтенанса МПТ, которая включает в себя полную группу метрик точности используемых диагностических инструментов, и их верификацию, позволяющих получать: 1) состоятельные оценки вероятности наступления нежелательного события на каждой фазе их жизненного цикла; 2) остаточный риск после каждого вмешательства в функционирование объекта; и 3) величину риска принятия каждого управленческого решения, связанного с проектированием и эксплуатацией МПТ.

Реализация вышеизложенного позволит:

- привести эксплуатацию отечественных МПТ в полное соответствие с федеральным законом ФЗ от 21.07.1997 N 116-ФЗ (ред. от 08.08.2024) «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (с изменениями и дополнениями, вступившими в силу с 01.09.2024),
- решить поставленную в 2024 году руководством страны задачу достижения технологического лидерства в области безопасности МПТ, как следующего шага в развитии при обеспечении технологического суверенитета [20]. Достичь такого амбициозного результата возможно только опираясь на саккумулированные МЭС прорывные достижения фундаментальной и практически-ориентированной науки страны.

НИЦ УрО РАН обращается к руководству МЭС МПТ и Морской Коллегии России с просьбой поддержать высказанные предложения, которые позволят Центру, в синергетической кооперации со всеми организациями, входящими в МЭС, Союзом нефтегазопромышленников России и РАН, внести свою лепту в обеспечение технологического суверенитета России

и реализации её Морской доктрины и Морской стратегии. Это также позволит выполнить требование Минобрнауки в части востребованности научных результатов российской промышленностью.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Р 412-81 Рекомендации по проектированию и строительству морских подводных нефтегазопроводов. – М.: ВНИИСТ, 1981. – 110 с.
2. ВСН 51-9-86. Проектирование морских подводных нефтегазопроводов. – М.: Мингазпром, 1987. – 42 с.
3. СТО Газпром 2-3.7-069-2006. Расчет устойчивости на дне подводных трубопроводов. – М.: ИРЦ Газпром, 2006. – 43 с.
4. СП 378.1325800.2017 Свод правил. Морские трубопроводы. Правила проектирования и строительства. – М.: Стандартинформ, 2018. – 36 с.
5. НД 2-020301-005 Правила классификации и постройки морских подводных трубопроводов. – Санкт-Петербург, 2017. – 178 с.
6. НД 2-090601-007 Рекомендации по проектированию, постройке и эксплуатации морских подводных трубопроводов. – Санкт-Петербург, 2019. – 101 с.
7. НД 2-030301-002 Руководство по техническому наблюдению за постройкой и эксплуатацией морских подводных трубопроводов.
8. СТП-МЭС 04-001-2023 Морские подводные трубопроводы. Обоснование безопасности. Основные принципы обоснования безопасности по критериям риска.
9. СТП-МЭС 04-002-2023 Морские подводные трубопроводы. Обоснование безопасности. Понятийный аппарат обоснования безопасности. Основные термины и определения.
10. СТП-МЭС 04-005-2023 Морские подводные трубопроводы. Обоснование безопасности. Оценка опасности дефектов и повреждений трубопроводов.
11. СТП-МЭС 04-006-2023 Морские подводные трубопроводы Обоснование безопасности. Технологии и методы ремонта МПТ. Общие положения.
12. СТП-МЭС 04-004-2023 Морские подводные трубопроводы. Обоснование безопасности по критериям риска. Общие положения и требования.
13. Махутов Н.А., Лещенко В.В., Шмаль Г.И., Концептуальные основы безопасности подводных трубопроводов // Морская наука и техника, спец. выпуск №5., ч. 1, 2022.
14. Шмаль Г.И., Тимашев С.А. Первоочередные безотлагательные задачи создания норм проектирования и эксплуатации безопасных морских подводных трубопроводов России. // Морская наука и техника, специальный выпуск № 12, май 2024 г.
15. Лепихин А.М., Лещенко В.В., Махутов Н.А. Проблемы и возможности развития концепции риска технических систем // Вычислительные технологии, 2023, том 28, № 4, с. 22–34. DOI:10.25743/ICT.2023.28.4.003
16. Тимашев С.А., Бушинская А.В. Методика моделирования сценариев риск-ориентированного жизненного цикла морских подводных трубопроводов России // Морская наука и техника: Безопасность морских подводных трубопроводов и объектов, 2024. №16. С. 28–35.
17. Timashev S.A., Bushinskaya A.V. Diagnostics and Reliability of Pipeline Systems, Springer, 2015.
18. Патент RU2444675C2-2009-11-30. С.А. Тимашев, А.Н. Тырсин. Способ внутритрубной диагностики глубины дефектов стенки трубы.
19. Timashev S.A., Kuzmin A.B. A powerful tool for assessing locations of defects missed-out by ILI // Proc. of Intern. Pipeline Conf. IPC2004. – Calgary, Alberta, October 4-8, 2004, #98.
20. Указ Президента РФ от 2 июля 2021 г. № 400 «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации».