



УДК 620.179.1

**ДЕФЕКТОСКОПИЯ СВАРНЫХ ШВОВ ТРУБОПРОВОДОВ: ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ,  
ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ МОДЕРНИЗАЦИИ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА**

**Кочкурова Наталия Викторовна**, к.т.н., доцент кафедры водных путей и гидротехнических сооружений  
ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта».  
603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

**Смирнов Дмитрий Евгеньевич**, студент 4 курса  
ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта».  
603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

**Фадеев Артем Михайлович**, магистрант 1 курса  
ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта».  
603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

*Аннотация.* Создание подводных переходов нефтепроводов сопровождается экологическими рисками. В статье освещено влияние утечек из нефтепроводов на окружающую среду, необходимость технического обслуживания нефтепроводов для их безопасной эксплуатации, а также рассматриваются вопросы инновационного метода неразрушающего контроля и его составляющих для обнаружения дефектов на нефтепроводах.

*Ключевые слова:* неразрушающий контроль, дефектоскопия, сварные швы, трубопровод, безопасность, ультразвуковой контроль, радиография, капиллярный контроль, ремонт трубопроводов.

Гидротехнические конструкции подводных переходов нефтепроводов представляют собой специализированные участки трубопроводов, расположенные непосредственно под дном водоёмов (рек, озёр, морей). Создание подводных переходов сопровождается определенными экологическими рисками, которые важно учитывать при их проектировании и эксплуатации. Научное сообщество поднимает вопросы влияния аварий подводных переходов на экологию водоемов [1, 2, 5 и др.]. При этом отмечается ряд аспектов влияния утечек из нефтепроводов на окружающую среду. Последствия загрязнения больших площадей акватории при утечках нефтепродуктов трудно предсказуемы и зачастую носят долговременный характер. Выбросы нефти приводят к глубокому проникновению токсичных компонентов в почву и воду. Нефть покрывает поверхность водоемов пленкой, препятствуя доступу кислорода и солнечного света, что губительно действует на растительный мир и снижает активность микроорганизмов, играющих ключевую роль в очистке воды. Нарушаются природные процессы

формирования биоценозов вследствие изменения структуры грунта и уничтожения привычных условий обитания животных и растений. Негативное воздействие распространяется по пищевым цепям. Маслянистая пленка мешает дыханию рыб и водоплавающих птиц, повреждая перьевые покровы последних и затрудняя плавательные способности первых. Кормовые базы разрушаются, численность видов сокращается, нарушается баланс внутри экосистемы. Отравление нефтью приводит к гибели беспозвоночных, моллюсков, мелких млекопитающих и амфибий. У животных ослабляется иммунитет, снижается репродуктивная способность, наблюдаются мутации и патологии развития потомства.

Существует множество методов и подходов, направленных на предотвращение техногенных катастроф, связанных с функционированием сложных инфраструктурных объектов, таких как нефтепроводы. Одним из эффективных способов является сооружение специализированных защитных устройств и сооружений, призванных снизить или устранить угрозу возникновения чрезвычайных ситуаций.

Одним из примеров таких сооружений являются отводные каналы. Они служат для перенаправления потоков жидкости (например, стоков, воды, нефти) с целью защитить население и инфраструктуру от возможных затоплений, наводнений или протечек опасных веществ. Особенно актуально использование таких каналов в регионах с высоким уровнем осадков или рисками аварий на предприятиях, работающих с опасными жидкостями. В случае прорыва трубопровода эти сооружения не позволяют токсичным веществам проникнуть в грунтовые воды и распространиться на большие территории. Однако, этого метода недостаточно для предотвращения катастроф. С экономической и экологической точки зрения рентабельно понижение вероятности прорыва трубопроводов.

Для безопасной эксплуатации нефтепроводов необходимы своевременное техническое обслуживание и ремонт, основные аспекты которых определены в ГОСТ 34182-2017 «Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Эксплуатация и техническое обслуживание. Основные положения». В процессе технического обслуживания трубопроводов специалисты проводят детальное обследование, позволяющее своевременно выявить степень износа и обнаружить имеющиеся дефекты (дефектоскопия) [3, 4 и др.]. Для обеспечения их надежной работы и своевременного обнаружения дефектов используют современные методы неразрушающего контроля, позволяющие оперативно выявить скрытые повреждения и предупредить возможные аварии.

Неразрушающий контроль швов трубопроводов имеет большое значение. Разрыв сварного шва может привести к масштабным разливам нефти, пожарам и взрывам, загрязнению значительных территорий. Неразрушающий контроль – это метод диагностики материалов и конструкций, при котором не нарушается целостность объекта. Цель – обнаружение дефектов, отклонений от норм, скрытых повреждений или оценка свойств материала без его разрушения или вырезки образцов. При оценке состояния объекта по результатам контроля принимаются меры для обеспечения безопасности и целостности объекта. При выявлении дефектов работа объекта временно останавливается, после чего проводятся необходимые ремонтные мероприятия для полного устранения обнаруженных недостатков и восстановления функциональности.

При прохождении производственной практики на предприятиях отрасли изучаются методы неразрушающего контроля, способствующие упрощению и ускорению технологического процесса. К ним относится прежде всего визуальный и измерительный контроль. Это базовый и обязательный этап проверки качества сварки. Метод основан на тщательном внешнем осмотре сварного соединения с использованием увеличительной оптики (лупы, микроскопа), а также инструментов измерения геометрических размеров. Основной задачей является выявление поверхностных дефектов, таких как трещины, подрезы, газовые включения, наплывы и неправильное положение кромок свариваемых деталей. При этом используются лупы, рулетки, штангенциркули, линейные мерительные приборы. Достоинствами метода являются легкость и быстрота исполнения, невысокая

стоимость проведения осмотра, возможность быстрого принятия решений относительно дальнейшей обработки изделия. Недостатки: ограниченность выявляемых дефектов исключительно внешней поверхностью, не возможность фиксации внутренних нарушений структуры материала.

Метод капиллярного контроля широко применяется для выявления поверхностных дефектов в сварных швах. Технология основана на принципе проникновения специальной жидкости-пенетранта внутрь микрополостей и трещин благодаря капиллярному эффекту. Поверхность предварительно тщательно очищается, затем равномерно наносится слой жидкости, обладающей высокой проникающей способностью. Излишки удаляются, а поверх обработанной зоны накладывается специальный проявитель. Под действием капиллярных сил оставшийся в дефектах пенетрант выходит наружу, образуя яркие следы, видимые глазу оператора.

Преимуществами данного метода являются высокая чувствительность к мельчайшим трещинам и микропорам, простота реализации и доступность необходимого оборудования, компактность и мобильность, удобство в работе вне лаборатории, низкая себестоимость процедуры. Недостатки метода фиксация лишь внешних повреждений, требует строгого соблюдения подготовительного этапа, исключающего остатки масел, жира и прочих загрязнений.

Магнитный метод основан на нанесении магнитного порошка на поверхность шва. обнаружение поверхностных и подповерхностных дефектов в стальных изделиях производится путем намагничивания. Над дефектами возникают магнитные поля рассеяния, которые визуализируются. Преимущества данного метода – высокая чувствительность к мелким поверхностным трещинам, обнаружение подповерхностных дефектов (до 2-3 мм), простота и наглядность результатов, портативность оборудования. Недостатками являются применение только для ферромагнитных материалов (сталь, чугун), невозможность обнаружения глубоких дефектов, необходимость очистки поверхности, потребность в электричестве, размагничивание после контроля.

Ультразвуковой контроль один из самых распространенных и универсальных методов. Этот метод направлен на точное определение глубины и размера дефектов, возникающих в стенках трубопроводов. Для измерений используется специальное устройство — преобразователь, которое излучает ультразвуковые волны высокой частоты прямо в материал. Волны проходят сквозь металл и частично отражаются от границ дефектов или внутренней стороны стенки. Возвращающиеся сигналы регистрируются прибором (дефектоскопом), позволяя точно определить толщину стенки, глубину изъянов и их пространственное расположение.

Преимуществами метода являются высокая чувствительность к внутренним дефектам, возможность определить точные размеры и глубину залегания дефекта, портативность оборудования, высокая производительность. Недостатки: требует высокой квалификации, трудности с контролем материалов с крупной зернистой структурой.

Радиографический контроль предполагает просвечивание сварного шва рентгеновскими лучами либо гамма-излучением. Лучи свободно проходят через металлы, однако любые неоднородности, такие как пустоты, раковины, посторонние включения или недостаточный провар, задерживают меньшую долю излучения, создавая тёмные пятна на специальном детекторе (фотоплёнке или цифровой панели). Таким образом, получившаяся картина отражает внутреннюю структуру шва, позволяя легко распознавать даже мелкие дефекты, незаметные визуально. Особенностью метода является его способность выявлять скрытые дефекты внутри металла, что повышает точность и информативность обследования.

Преимуществами являются объективность и документальность (наличие непосредственно снимка), высокая эффективность для выявления внутренних дефектов. Недостатками высокая стоимость оборудования и эксплуатации, меры строгой

радиационной безопасности, трудности с обнаружением трещин, ориентированных не по направлению луча.

Вихретоковый метод основан на исследовании изменений электромагнитного поля, создаваемого специальными датчиками вблизи диагностируемой поверхности. Генерируя переменное электромагнитное поле, датчики индуцируют в материале объекта так называемые вихревые токи. Любые отклонения в структуре материала (трещины, отверстия, полости) меняют характеристики протекания этих токов, что фиксируется оборудованием и интерпретируется как признак наличия дефекта.

Преимуществом данного метода является возможность точной диагностики дефектов даже в труднодоступных зонах, таких как внутренние поверхности трубопроводов, стыки и узлы, без необходимости разборки или вскрытия конструкции.

Для эффективного выявления дефектов применяется комплекс методов неразрушающего контроля, каждый из которых имеет свои преимущества и области применения. Визуальный и капиллярный методы позволяют обнаруживать поверхностные несплошности, в то время как ультразвуковой и радиографический методы дают возможность диагностировать внутренние дефекты.

Современное развитие дефектоскопии характеризуется активной модернизацией и интеграцией методов. Создание мультисенсорного оборудования, такого как магнитно-вихретоковые дефектоскопы, а также внедрение передового программного обеспечения и облачных технологий значительно повышают производительность, точность и доступность контроля. Эти инновации позволяют не только ускорить процесс исследований, но и обеспечить удаленный доступ к данным, что делает систему мониторинга состояния нефтепроводов более гибкой и надежной.

Таким образом, проведение качественной дефектоскопии сварных швов трубопроводов, в том числе на подводных переходах, имеет огромное значение как с точки зрения экологии, так и экономики. Надежность трубопроводов напрямую влияет на сокращение количества аварий и инцидентов, связанных с утечками нефти, что предотвращает нанесение вреда окружающей среде и уменьшает экономические потери, вызванные остановкой производственного процесса. Современные методы диагностики позволяют выявлять даже самые мелкие дефекты, повышая общую безопасность и стабильность функционирования нефте-транспортных сетей.

Перспективы дальнейшего совершенствования технологических процессов дефектоскопии связаны с внедрением инновационных методик, автоматизации процессов контроля и применением цифровых технологий. Новые разработки позволят повысить точность диагностики, уменьшить временные затраты и оптимизировать расходы на обслуживание трубопроводов. Внедрение таких технологий обеспечит дополнительный вклад в повышение эффективности и экологической безопасности транспортируемой продукции, способствуя устойчивому развитию нефтегазовой отрасли.

### **Список литературы:**

1. Денисов, Д. Г. Влияние состояния подводных переходов магистральных нефтепроводов на окружающую среду / Д. Г. Денисов, В. С. Сердюк // Россия молодая: передовые технологии – в промышленность. – 2013. – № 3. – С. 114-116. – EDN RQCWVB.
2. Сыч, К. М. Влияние разрушения подводных переходов нефтепроводов на экологическое состояние водной преграды / К. М. Сыч, Д. С. Калимуллина // Нефтегазовый терминал : Сборник научных трудов международной научно-технической конференции магистрантов им. профессора Н.А. Малюшина, Тюмень, 10 марта 2018 года / Под общей редакцией М.А. Александрова. Том Выпуск 14. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2018. – С. 272-274. – EDN YPKWXR.
3. Бигус, Г. А. Методы неразрушающего контроля при проведении периодического контроля и мониторинга опасных производственных объектов / Г. А. Бигус, Д. И. Галкин // Сварка и диагностика. – 2007. – № 1. – С. 13-16. – EDN JWPCIX.

4. Котенкова, Д. А. Методы диагностики технического состояния магистральных трубопроводов / Д. А. Котенкова, Л. Х. Фокеева // Актуальные вопросы современной науки и практики : Сборник научных статей по материалам IV Международной научно-практической конференции, Уфа, 27 декабря 2020 года. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью "Научно-издательский центр "Вестник науки", 2020. – С. 52-57. – EDN ZLCTZL.

5. Кочкурова, Н. В. Экологические аспекты проектирования и эксплуатации трасс газопроводов, в том числе при пересечении водных объектов / Н. В. Кочкурова, А. М. Фадеев, А. К. Уткина // Проблемы экологии Волжского бассейна : Труды 9-й всероссийской научной конференции, Нижний Новгород, 03–04 декабря 2024 года. – Нижний Новгород: Волжский государственный университет водного транспорта, 2024. – С. 44. – EDN KRGPZD.

## **FLAW DETECTION OF PIPELINE WELDS: ENVIRONMENTAL, ECONOMIC ASPECTS AND PROSPECTS OF MODERNIZATION OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS**

Natalia V. Kochkurova, Dmitry E. Smirnov, Artem M. Fadeev,

*Abstract. The creation of underwater crossings of oil pipelines is accompanied by environmental risks. The article highlights the impact of leaks from oil pipelines on the environment, the need for maintenance of oil pipelines for their safe operation, and also discusses the issues of an innovative method of non-destructive testing and its components for detecting defects in oil pipelines.*

*Keywords: non-destructive testing, flaw detection, welds, pipeline, safety, ultrasonic inspection, radiography, capillary inspection, pipeline repair.*