

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ



УДК 681.5.08

### Проблема управления промышленной безопасностью на нефтепроводах: проектирование систем обнаружения утечек сырья

Д.И. Яворский

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

#### Аннотация

В работе была рассмотрена важная проблема сырьевой отрасли — обеспечение безопасности территорий вблизи трасс трубопроводов. Актуальность данной проблемы не вызывает сомнений, поскольку ежегодно в стране регистрируется значительное количество разливов нефти на магистральных трубопроводах, что наносит серьезный вред экологии. В данной работе подробно освещен метод проектирования систем обнаружения утечек нефти с использованием нейронных сетей. Применение нейросетевых технологий позволяет существенно сократить время на обнаружение утечек, что в свою очередь способствует своевременному ремонту и ликвидации чрезвычайных ситуаций.

**Ключевые слова:** нефтегазовая промышленность, сырьевая отрасль, утечка нефти, магистральные нефтепроводы, трубопровод, транспортировка нефти, система обнаружения утечек, нейронная сеть

**Для цитирования.** Яворский Д.И. Проблема управления промышленной безопасностью на нефтепроводах: проектирование систем обнаружения утечек сырья. *Молодой исследователь Дона*. 2025;10(2):63–66.

### The Problem of Oil Pipeline Safety Management: Design of Crude Oil Leak Detection Systems

Daniil I. Yavorskii

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

#### Abstract

The work studies an important for the raw material industry problem — ensuring safety of locations near trunk pipelines. The relevance of this problem is beyond doubt, because a significant number of trunk pipeline oil spills are registered every year throughout the country, which causes serious damage to the environment. The paper describes in detail the method of designing the oil leak detection systems based on the use of the neural networks. The use of neural network technologies can significantly reduce the leak detection time, thus, can contribute to timely repairs and elimination of emergency situations.

**Keywords:** oil and gas industry, raw material industry, oil leak, oil trunk pipelines, pipeline, oil transportation, leak detection system, neural network

**For citation.** Yavorskiy DI. The Problem of Oil Pipeline Safety Management: Design of Crude Oil Leak Detection Systems. *Young Researcher of Don*. 2025;10(2):63–66.

**Введение.** Магистральные нефтепроводы представляют собой трубопроводы, предназначенные для транспортировки больших объемов сырья на значительные расстояния, использующие давление в диапазоне от 1,18 МПа до 15 МПа. Одной из важнейших проблем в сырьевой отрасли является обеспечение безопасности на территории, расположенной вблизи трасс трубопроводов. Эта проблема актуальна, так как по статистическим данным ежегодно в стране фиксируется около 10 тысяч разливов нефти на магистральных трубопроводах, что приводит к загрязнению почвенной и морской среды, нанося серьезный вред экологии. Целью данной статьи являлся анализ методов проектирования систем обнаружения утечек нефти и повышения безопасности на магистральных нефтепроводах через модернизацию управления параметрами системы обнаружения утечек.

В процессе анализа нефтепроводов выявлена проблема возникновения утечек, которые могут случаться по нескольким причинам. Во-первых, это низкий технический уровень и качество трубопроводов, а также недостатки в организации ремонтных работ. Во-вторых, высокий уровень износа производственных фондов также является значимым фактором. В-третьих, неправильное распределение производственных сил может приводить к концентрации производств повышенного риска на ограниченных площадях. Необходимо обеспечить постоянный мониторинг состояния нефтепроводов, что возможно реализовать с применением искусственных нейронных сетей. Повышение точности определения местоположения утечки способствует уменьшению потерь сырья и снижает вред для экологии.

**Основная часть.** Магистральные трубопроводы, длина которых превышает 50 км, имеют диаметр от 219 до 1 220 мм и предназначены для перекачки и транспортировки сырья из нефтехранилищ в пункты потребления. Для обеспечения безопасности окружающей природы магистральные трубопроводы подразделяются на пять категорий, как показано на рис. 1 [3].

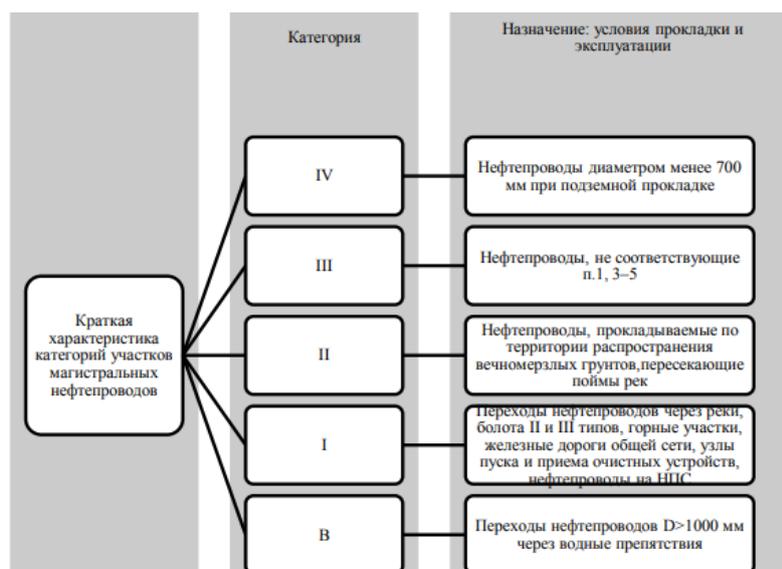


Рис. 1. Категории участков трубопроводов

Для разработки наиболее эффективного метода обнаружения утечек необходимо проанализировать существующие способы, которые используются наиболее часто и считаются наиболее эффективными в вопросе обеспечения промышленной безопасности магистральных трубопроводов. Первым таким методом является метод определения утечек на основе анализа профиля давления. Этот метод основывается на моделировании распределения давления вдоль трубопровода: расход сырья до места утечки увеличивается, а после него — уменьшается. В процессе диагностики используется квазистационарный профиль, отклонение которого фиксируется на контрольных точках трубопровода. Нарушение герметичности трубопровода приводит к снижению давления в оборудовании. Этот метод позволяет оценить интенсивность утечки сырья и обеспечивает постоянный мониторинг трубопровода [1].

Другим методом определения утечек нефти является балансировый метод, который позволяет выявить наличие утечек на больших расстояниях между датчиками расхода. Этот метод учитывает изменение массы сырья, которое снижается в случае утечки. Он позволяет наиболее точно определить массу различных напоров утечек, однако не указывает на конкретное место поломки, для чего требуется дополнительное оборудование.

Еще одним методом является метод «давление-расход», в рамках которого измеряются расход и давление в начале и конце участка нефтепровода. Полученные значения должны незначительно отличаться. Этот метод позволяет определить наличие утечек и их координаты с использованием контрольно-измерительных приборов.

Таким образом, система обнаружения утечек сырья на трубопроводах является важным компонентом в обеспечении экологической безопасности. Общая схема системы должна включать детекторы, определяющие факт утечки. В качестве детекторов используются датчики, измеряющие параметры сырья и потока (давление, скорость и расход). Информация от датчиков обрабатывается и передается на пульт управления, который контролирует работу трубопровода [2].

На сегодняшний день все технологии являются полуавтоматическими, что подразумевает наличие диспетчера для выполнения управляющих функций. В предлагаемой системе обнаружения утечек важной задачей является замена работы оператора автоматизированным устройством, которое с помощью сигналов от датчиков будет определять состояние трубопроводов. Методы разработки таких автоматизированных систем можно разделить

на три части: первая часть сфокусирована на использовании инженерных методов, заключающихся в исследовании объекта управления и разработке структуры системы управления; вторая часть — на исследовании объекта управления с точки зрения математических методов, включая разработку математической модели; третья часть предполагает внедрение технологий искусственного интеллекта в систему управления.

При разработке систем обнаружения утечек необходимо использовать нейронные сети. Эти технологии позволят управлять объектами, проектировать системы и прогнозировать потенциальные неполадки в работе оборудования. Системы контроля состояния трубопроводов существенно упрощают управление удаленно расположенными предприятиями. Управление с помощью нейронных сетей позволит эффективно контролировать работу нефтепроводов и сырьевых предприятий, объединяя все объекты в единую структуру.

Мониторинг и управление нефтепроводной инфраструктурой обеспечивают интеллектуальные датчики. В процессе работы применяются сенсорные системы, использующие новые технологии беспроводного зондирования и автоматизированного вычисления, а также роботизированную технику и системы обработки больших объемов информации.

Системы обнаружения утечек сырых материалов представляют собой программный комплекс, который включает датчики и автоматизированные комплексы. Архитектура таких систем, приведенная на рисунке 2 (рисунок автора), должна состоять из трех уровней.

Нижний уровень включает в себя средства измерения состояния сырья: датчики давления, установленные на входе и выходе магистрального нефтепровода для измерения давления; датчики температуры, также установленные на входе и выходе для измерения температуры; расходомеры, которые определяют количество жидкости, проходящей по трубопроводу, тем самым рассчитывающие расход сырья.

Средний уровень состоит из локальных станций систем обнаружения утечек, установленных на опорах небольших участков нефтепровода. Эта технология занимается сбором технологической информации с оборудованием нижнего уровня, полученные данные накапливаются в информационных пакетах и впоследствии передаются на общий сервер.

Верхний уровень включает сервер системы обнаружения утечек и автоматизированные рабочие места. Мониторинг и обнаружение факта утечек осуществляются с помощью программного обеспечения, использующего технологии нейронных сетей для определения и анализа состояния магистральных трубопроводов на основе информации, полученной с нижних уровней [5, 6].

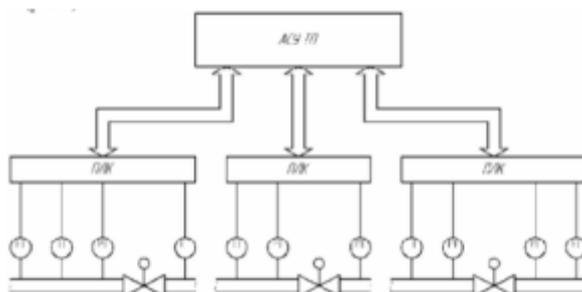


Рис. 2. Архитектура системы обнаружения утечек

В системе обнаружения утечек используется многослойная нейронная сеть, включающая входной и выходной слои, а также несколько скрытых слоев. Входной слой состоит из пяти нейронов, ответственных за прием показаний на трубопроводе. Для перехода на следующий уровень нейросети информационный поток проходит через матрицу весов [4].

Для получения итогового значения в нейронной сети используются функции активации, в частности сигмоидальная функция, принимающая неопределенные значения на входе и выдающая бинарный результат (0 или 1), свидетельствующий об отсутствии или наличии утечек соответственно. Изображение работы нейросети представлено на рис. 3.

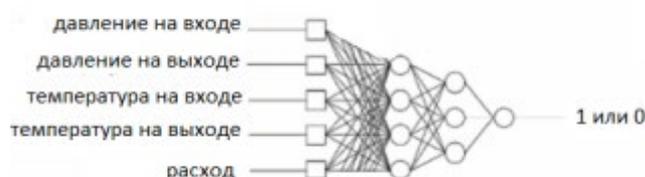


Рис. 3. Нейросеть для установления факта утечек сырья из трубопровода

**Заключение.** Таким образом, повышение уровня промышленной безопасности на трубопроводах для транспортировки сырья возможно путем разработки и внедрения систем обнаружения утечек, обеспечивающих постоянный мониторинг трубопроводов, минимизацию времени на уведомление об утечках и организацию ремонтных работ.

В данной работе были изучены методы проектирования систем обнаружения утечек сырья с помощью нейронных сетей. Применение нейросетевых технологий позволяет сократить время на обнаружение утечек, что способствует своевременному ремонту и ликвидации чрезвычайных ситуаций. Нейронные сети способны обнаруживать утечки сырья из трубопровода на основании данных, получаемых с установленных на нефтепроводах датчиков. Дальнейшие исследования должны быть направлены на развитие технологий прогнозирования возникновения утечек.

#### Список литературы

1. Васильев Т.Г., Коробков Г.Е., Коршак А.А., Лурье М.В., Писаревский В.М., Прохоров А.Д. и др. *Трубопроводный транспорт нефти*. Вайншток С.М. (ред.). Т. 1. Москва: Недра-Бизнесцентр; 2012. 407 с. URL: <https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-truboprovodnyytransportnefitom1.pdf> (дата обращения: 18.01.2025).
2. Крылов Г.В. *Эксплуатация и ремонт нефтепроводов и нефтехранилищ*. Москва: Образовательно-издательский центр «Академия»; 2012. 560 с
3. Лурье М.В. *Математическое моделирование процессов трубопроводного транспорта нефти, нефтепродуктов и газа*. Москва: Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина; 2003. 336 с.
4. Безумнов Д.Н., Воронова Л.И. О развитии и стандартизации технологии интернета вещей. в сборнике: технологии информационного общества. В: *Труды XII Международной отраслевой научно-технической конференции «Технологии информационного сообщества», Москва, 14–15 марта 2018 года*. Москва: Издательский дом Медиа публишер; 2018. С. 293–294.
5. Воронов В.И., Воронова Л.И., Генчель К.В. Применение параллельных алгоритмов в нейронной сети для распознавания жестового языка. В: *Труды VII Международной научно-технической и научно-методической конференции «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании», Санкт-Петербург, 28 февраля — 01 марта 2018 года*. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича. 2018. С. 207–212.
6. Воронова Л.И., Воронов В.И. *Machine Learning: Регрессионные методы интеллектуального анализа данных*. Учебное пособие. Москва: Московский технический университет связи и информатики; 2018. 82 с.

#### Об авторах:

**Даниил Игоревич Яворский**, студент кафедры автоматизации и математического моделирования в нефтегазовой отрасли Донского государственного технического университета, (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), [daniil89895077650@gmail.com](mailto:daniil89895077650@gmail.com)

**Конфликт интересов:** автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

*Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.*

#### About the Author:

**Daniil I. Yavorskii**, Student of the Automation and Mathematical Modeling in the Oil and Gas Industry Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), [daniil89895077650@gmail.com](mailto:daniil89895077650@gmail.com)

**Conflict of Interest Statement:** the author declares no conflict of interest.

*The author has read and approved the final manuscript.*