

УДК 656.56:004.9

DOI 10.52928/2070-1616-2023-48-2-113-116

**РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА НЕФТЕПРОДУКТА  
В МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ  
С ПЕРЕДАЧЕЙ ДАННЫХ В СИСТЕМЫ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ***канд. техн. наук, доц. Л.М. СПИРИДЁНОК**(Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой)**Т.С. КАЗМИРКИВСКАЯ**(Приемо-сдаточный пункт НС «Солнечногорская», Володарское РНПУ,  
филиал АО «Транснефть–Верхняя Волга», Россия)**М.А. ПЕТРОЧЕНКО**(Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой)*

*Рассматриваются источники возникновения потерь нефтепродукта на магистральных трубопроводах. Показана актуальность данной проблемы. Определены предмет и объект исследования, поставлены задачи для определения факторов, влияющих на возникновения различных видов потерь нефтепродукта при перекачке, определены причины появления аварийных, естественных и эксплуатационных потерь. Представлена система точного определения места утечки, которая позволит обеспечить уменьшение сверхнормативных потерь нефти и нефтепродукта при несанкционированных врезках, а также экологических последствий при разливе продукта в окружающую среду.*

***Ключевые слова:** потери нефтепродукта, магистральный нефтепровод, несанкционированные врезки, утечки нефтепродукта, методы обнаружения утечек, мобильный комплекс.*

**Введение.** Трубопроводный транспорт является наиболее экономически и экологически выгодным для транспортировки нефти и нефтепродукта на значительные расстояния. Однако при перекачке нефтепродукта возникают различные виды его потерь, такие как эксплуатационные, естественные и аварийные. Эксплуатационные и естественные потери относятся к нормативным, и их величина в настоящее время рассчитывается и учитывается. Однако потери, возникающие при аварийных разливах нефтепродукта, несанкционированных врезках при хищении перекачиваемого нефтепродукта, нельзя считать. Несанкционированные врезки приносят огромные убытки компаниям, они связаны как с потерей нефтепродукта, так и с экологическими последствиями при его разливе в окружающую среду<sup>1</sup> [1].

Официальная статистика ПАО «Транснефть», которая транспортирует 83% всех нефтепродуктов в Российской Федерации, показала, что в период с 2008 по 2018 гг. было зафиксировано более 5000 незаконных врезок в магистральные нефтепроводы. Экономический ущерб от несанкционированных врезок исчисляется сотнями и более тонн в сутки потерянному продукту. Для Республики Беларусь также существует проблема несанкционированных врезок, хотя в последнее время она успешно решается. Одним из решений вопроса обнаружения и ликвидации несанкционированных врезок является проведение мониторинга герметичности линейной части нефте- и нефтепродуктопроводов<sup>2</sup> [2]. Основной проблемой выявления несанкционированных врезок является протяженность линейной части магистральных нефте- и нефтепродуктопроводов. В Республике Беларусь и особенно Российской Федерации протяженность трубопроводов достигает нескольких тысяч километров, при этом на трубопроводах могут одновременно существовать десятки, а то и сотни несанкционированных врезок. Поэтому важнейшим вопросом при обнаружении утечек из трубопровода является обеспечение точного места выхода нефти или нефтепродукта, что поможет организовать оперативную работу по обнаружению и устранению несанкционированных отборов.

**Основная часть.** Проблема обнаружения и устранения несанкционированных отборов в настоящее время является актуальной для России, Республики Беларусь, а также других стран. Она решается непрерывным мониторингом герметичности магистральных нефте- и нефтепродуктопроводов (МННПП). Непрерывный мониторинг в пределах технологического участка МННПП в режиме реального времени обеспечивается системами обнаружений утечек (далее – СОУ). Основная функция СОУ – это выявление факта возникновения утечки и установление ее координат и интенсивности. Системы работают по заданным алгоритмам на всех режимах функционирования МННПП, включая нестационарные, переходные режимы и режим остановленной перекач-

<sup>1</sup> Российский статистический ежегодник 2021: статист. сб. / под ред. П.В. Малкова. – М.: Изд-во Федер. службы гос. статистики, 2021. – 692 с.

<sup>2</sup> Мансуров А.С. Способы борьбы с аварийным разливом нефти // Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации: сб. ст. XLII Междунар. науч.-практ. конф. / г. Пенза (15 февр. 2021 г.). – Пенза: Наука и Просвещение, 2021. – С. 40–42.

ки. Система обеспечивает формирование сигнала тревоги о возможном наличии утечки и отображение информации в реальном масштабе времени, помогающей оперативно принять решение по устранению утечки. В Республике Беларусь, России и в странах Запада (США, Германия, Франция и др.) наличие СОУ на магистральных трубопроводах регулируется на законодательном уровне. В них представлены описание методов обнаружения утечек и требования к следующим видам СОУ:

- определение утечек по волне давления;
- балансовый метод обнаружения утечек;
- комбинированные системы обнаружения утечек.

Методы, применяемые для обнаружения утечек на МННПП основываются на различных принципах измерения давления и расхода потока. Каждый из этих методов имеет преимущества и недостатки.

Метод определения утечек по изменению волны давления основан на сопоставлении данных расчетного профиля наблюдаемого давления во всех точках трубопровода. При возникновении утечки или несанкционированной врезки появляется излом в профиле давления. Алгоритм определения утечек по волне давления основан на регистрации фронта волны изменения давления, которая возникает в месте утечки из трубопровода. Место возникновения утечки вычисляются по разнице времени прихода фронта волны в конечные сечения исследуемого участка МННПП.

Балансовый метод включает определение расходов в начальном и конечном сечении контролируемого участка трубопровода, что позволяет учитывать количество продукта в самой трубе.

К комбинированным методам СОУ относятся:

- метод «давление–расход» основан на применении математической модели расчета давления и расхода в системе, который определяет факт утечки и ее координаты. Для обеспечения корректных граничных условий необходимо измерять расход и давление на концах контролируемого СОУ участка. Все измерения должны сопровождаться метками времени;

- метод диагностики утечек на основе анализа давлений в изолированных секциях при закрытых задвижках. Метод основан на анализе изменений давления в секциях за определенный период и позволяет определять утечки, имеющие малые величины. При использовании данного метода необходимо, чтобы были перекрыты линейные задвижки, т.е. трубопровод был разделен на несколько участков.

Все вышеперечисленные методы требуют использования стационарной установки оборудования. Кроме того, перечисленные методы не позволяют обеспечить точные координаты утечки продукта в трубопроводе. Для более точного определения места утечки специалистами ПАО «Транснефть», бывшими выпускниками Полоцкого государственного университета имени Евфросинии Полоцкой, была предложена разработка мобильного комплекса измерения расхода в МННПП с передачей данных в системы диспетчеризации для локализации участков МННПП. Главным условием работы мобильного комплекса является его передвижение между уже существующими, врезными расходомерами, показывающими разницу в расходе. Мобильный комплекс представляет собой передвижную базу, состоящую из спецавтомобиля, оснащенного расходомерами. Основным требованием к выбору спецавтомобиля является его высокая проходимость и возможность работы в экстремальных условиях. Например, специалистами ПАО «Транснефть» предлагается использовать спецавтомобиль АРОК на базе КАМАЗ 43118 (рисунок 1). Для Республики Беларусь как базовый можно использовать отечественный автомобиль МАЗ с установкой на нем необходимого для работы оборудования.



Рисунок 1. – Спецавтомобиль АРОК  
на базе КАМАЗ 43118

В автомобиле должны быть предусмотрены пассажирский и технологический отсеки. В технологическом отсеке располагается все необходимое оборудование, в пассажирском – блоки принятия пищи, отдыха и ночлега для случаев длительных командировок.

Для измерения расхода можно использовать накладные ультразвуковые расходомеры. Данные расходомеры имеют ряд преимуществ, к которым можно отнести возможность в короткое время организовать точку измерения расхода на новых и существующих объектах. Монтаж накладных датчиков осуществляется без врезки в трубопровод, что, следовательно, позволяет уменьшить затраты на установку расходомера. Например, специалистами ПАО «Транснефть» предлагается использовать расходомеры Стримлюкс (рисунок 2).



**а** – расходомер отдельно от тела трубы; **б** – расходомер на теле трубы; **в** – расходомер модульного типа

**Рисунок 2. – Расходомеры Стримлюкс**

Устанавливать расходомеры Стримлюкс можно несколькими способами:

- устанавливать расходомер отдельно от тела трубы (см. рисунок 2, *а*);
- устанавливать расходомер на тело трубы (см. рисунок 2, *б*);
- устанавливать расходомер отдельно от трубы в виде модуля (см. рисунок 2, *в*).

При любом из перечисленных способов расходомер использует два накладных ультразвуковых датчика, которые работают одновременно как ультразвуковой передатчик и ультразвуковой приемник. Накладные ультразвуковые датчики крепятся к трубопроводу снаружи на определенном расстоянии друг от друга. Ультразвуковые датчики могут быть установлены следующими способами:

- V-образно, когда ультразвук пересекает трубу дважды;
- W-образно (используется редко), когда ультразвук пересекает трубу четыре раза;
- Z-образно, когда накладные ультразвуковые датчики монтируются на противоположных сторонах трубы и ультразвук пересекает трубопровод один раз.

Выбор способа монтажа зависит от трубопровода и характеристик жидкости. Расходомер работает по принципу поочередной передачи и приема частотно-модулированного всплеска звуковой энергии между двумя ультразвуковыми датчиками и измерения времени, за которое звуковой сигнал проходит между ними. Разница в измеренном времени прохождения сигнала прямо и точно определяет скорость жидкости в трубопроводе.

Расходомер включает в себя стандартный интерфейс связи RS-485 и необходимый протокол передачи данных. Его аппаратные средства поддерживают модем для передачи данных по сети на базе телефонной линии. С помощью преобразователя RS232/RS485 расходомер может быть подключен к сетевой шине RS485. Можно также использовать модуль кратких сообщений GSM для передачи данных расхода жидкости на удаленный компьютер. С помощью модуля GSM можно проверять данные расхода жидкости и статус расходомера с сотового телефона.

При работе данной системы можно использовать накладной расходомер, датчики которого устанавливаются на тело трубы. В этом случае управление расходомером может совершаться с удаленного компьютера. Протокол передачи данных основан на принципе ведущий/ведомый. Ведущий (удаленный компьютер) отправляет команду, ведомый (расходомер) реагирует на нее.

При установке датчиков расходомера на тело трубы необходимо произвести земляные работы по вскрытию участка трубопровода. Для производства земляных работ, на спецавтомобиль предлагается оснастить мини-экскаватором на прицепе. В настоящее время спецавтомобили комплектуются с гидравлическими манипуляторами. Недостатком этой комплектации является работа навесного оборудования от вала отбора мощности или штатной гидравлики. Использование мини-экскаватора на прицепе позволит производить земляные работы вне зависимости от спецавтомобиля, но в его составе, при передвижении к контрольному участку трубопровода. Например, специалистами ПАО «Транснефть» предлагается использовать мини-экскаватор на прицепе Landformer 150D. Внедрение предлагаемой разработки позволит преобразовать спецавтомобиль в мобильный комплекс измерения расхода в МННПП. Данное предложение специалистов ПАО «Транснефть» можно использовать на МННПП Республики Беларусь.

**Заключение.** Мобильный комплекс, предложенный специалистами ПАО «Транснефть», для измерения расхода в МННПП с передачей данных в системы диспетчеризации позволит:

- проводить непрерывный мониторинг герметичности МННПП;
- оперативно обнаруживать утечки нефти и нефтепродукта для локализации участков МННПП;
- более точно определять координаты возникших утечек продукта и их интенсивность.

Применение мобильного комплекса для мониторинга и обнаружения утечек на МННПП позволит обеспечить уменьшение сверхнормативных потерь нефти и нефтепродукта при несанкционированных врезках, что даст минимизировать экономический ущерб трубопроводным организациям при транспортировке нефти и нефтепродукта. Кроме этого, оперативная реакция обслуживающей организации на потери продукта обеспечит уменьшение экологических последствий при его разливе в окружающую среду.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Болотов Г.Б. Примеры и некоторые статистические данные о разливах нефти и нефтепродуктов // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. – 2021. – № 4(41). – С. 123–128.
2. Плюхина Е.Е. Метод обнаружения несанкционированных врезок на трубопроводах // Вестн. Оренбург. гос. ун-та. – 2011. – № 16(135). – С. 92–95.

#### REFERENCES

1. Bolotov, G.B. (2021). Primery i nekotorye statisticheskie dannye o razlivakh nefi i nefteproduktov. *Geologiya i poleznye iskopaemye Zapadnogo Urala*, 4(41), 123–128. (In Russ., abstr. in Engl.)
2. Plyukhina, E.E. (2011). Metod obnaruzheniya nesanktsionirovannykh vrezok na truboprovodakh. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*, 16(135), 92–95. (In Russ., abstr. in Engl.)

Поступила 01.09.2023

### DEVELOPMENT OF A MOBILE COMPLEX FOR MEASURING THE CONSUMPTION OF PETROLEUM PRODUCTS IN MAIN PIPELINES WITH DATA TRANSFER TO DISPATCHING SYSTEMS

**L. SPIRIDENOK**

*(Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk)*

**T. KAZMIRKIVSKAYA**

*(Acceptance and delivery point of the Solnechnogorskaya NS, Volodarsky RNPU, branch of Transneft-Upper Volga JSC, Russia)*

**M. PETROCHENKO**

*(Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk)*

*The article deals with the problem of the occurrence of losses of petroleum products on the main pipelines. The purpose of the study is revealed. The authors defined the subject and object of the study, set tasks to determine the factors influencing the occurrence of various types of losses of petroleum products during pumping, and also determined the causes of emergency, natural and operational losses. The article considers a system for accurately determining the location of the leak, which will ensure the reduction of excess losses of oil and petroleum products during unauthorized tie-ins, as well as environmental consequences when the product is spilled into the environment.*

**Keywords:** oil product losses, main oil pipeline, unauthorized tie-ins, oil product leaks, leak detection methods, mobile complex.