

**И. Г. Силина, Е. А. Гильмияров, В. А. Иванов**

I. G. Silina, E. A. Gilmiyarov, V. A. Ivanov

*Тюменский государственный нефтегазовый университет, г.Тюмень**Ключевые слова: магистральный трубопровод; подводный переход; методы ремонта; восстановление проектного положения; берегоукрепления**Key words: main pipeline; submerged crossing; repair methods; restoration of the design position, coast protection*

Одной из важнейших задач нефтегазовой отрасли является обеспечение надежной и бесперебойной работы системы магистральных трубопроводов. В связи с разнообразным рельефом и климатическими условиями трасса трубопровода делится на участки различной сложности. Одновременно с этим, несмотря на небольшую удельную протяженность, наиболее ответственными из них являются подводные переходы магистральных трубопроводов. Поэтому к ним предъявляются повышенные требования по качеству эксплуатации, диагностике и ремонтным работам, так как при нарушении герметичности стенки трубы даже незначительные утечки транспортируемого продукта могут привести к серьезным экологическим последствиям. Сложность решаемых задач, направленных на качественную эксплуатацию транспортной системы, обуславливает возникновение многообразных методов ремонта подводных переходов, частично отличающихся от аналогичных работ, проводимых на линейной части магистральных трубопроводов.

Подводный переход (ПП) — участок трубопровода, пересекающий водную преграду по дну или ниже уровня дна и имеющий определенные конструктивные особенности. Проектное положение трубопровода в ПП обеспечивается специальными методами строительства. Традиционно подводный переход прокладывается по дну реки или водоема траншейным способом. При данном способе производятся работы по устройству линейной части, затем футеровка, балластировка и укладка трубопровода в траншею, а также берегоукрепительные работы. Виды производимых работ (например, укладка трубопровода или монтаж и закрепление грузов) различаются в зависимости от характеристик преодолеваемой водной преграды. На техническое состояние участка трубопровода, проложенного траншейным способом, оказывают влияние русловые процессы, коррозия стенки трубы и механические повреждения трубопровода и др.

Кроме традиционных методов прокладки ПП существуют так называемые бестраншейные методы: метод наклонно-направленного бурения (ННБ) и микротоннелирование. Основными преимуществами данных способов перед традиционными является отсутствие

необходимости в проведении большого объема земляных работ и исключение влияния русловых процессов.

Очевидно, что выбранная схема строительства в дальнейшем (наряду с характером повреждений) определяет методы ремонта ПП.

При значительном повреждении подводного участка, при его длительной эксплуатации или наличии большого количества устраненных ранее дефектов осуществляется прокладка новой нитки в створе существующего ПП. Данный метод приравнивается к строительству нового перехода и осуществляется по всем строительным нормам и правилам. Он применяется при большом износе трубопровода, невозможности применения других методов ремонта и требует крупных материальных и временных затрат.

Как упоминалось выше, ПП магистральных трубопроводов (МТ) подвергаются воздействиям русловых процессов, в результате чего образуются оголенные участки и провисания, являющиеся потенциально опасными дефектами. Наиболее распространенными видами восстановления проектного положения трубопровода являются подсадка и засыпка. Засыпка производится либо укладкой мешков с цементно-песчаной смесью, либо отсыпкой гравийно-песчаной смесью (при наличии местных материалов) в случае, исключающем возможность подсадки (дополнительного заглубления) на участках с плотными неразмываемыми грунтами. Использование этой простой схемы ремонта позволяет не прерывать эксплуатацию ПП на время проведения профилактических работ. В случае провисания, приводящего к аварийному состоянию трубопровода, применяется его дополнительное заглубление (подсадка) с использованием компенсирующих вставок. Подсадка производится как в русловой, так и на береговой части ПП при остановке его работы и расчленении трубопровода или при сохранении его целостности. Рассмотренные схемы ремонта пригодны для устранения предаварийных ситуаций, то есть при появлении оголенных и провисших участков длиной, близкой к критической. Применение же данных конструкций в качестве метода постоянного ремонта нежелательно из-за дополнительно возникающих русловых деформаций, приводящих к размыванию соседних участков ПП или усилению размыва берега, противоположного тому, на котором велись восстановительные работы.

Таким образом, сложные изменения русловых процессов делают целесообразным использование предупредительных мер по обеспечению необходимой величины заглубления трубопровода и предотвращению размывания береговых и русловых участков ПП. Существуют два вида сооружений, используемых в данных целях: активные и пассивные. Активная защита подводных переходов представляет собой сооружения, влияющие на направление и структуру потока (боны, гасители скорости) или накапливающие и удерживающие донные отложения, образовавшиеся при размывании русла. Однако многие средства активной защиты имеют ограниченное применение на реках малого и среднего размера в связи с резкими изменениями происходящих русловых процессов, что делает сложным прогноз переформирования русла при установке русловыправительных сооружений и, как следствие, уменьшает срок службы вышеуказанных конструкций. Примером активной защиты трубопровода, используемой на мелких реках, могут служить сквозные шпоры, устанавливаемые для предотвращения и устранения размыва берегов. Данная конструкция водонепроницаема, состоит из скрепленных друг с другом деревянных панелей и вбитых в дно сваями. Сквозные шпоры применяются на мелких несудоходных реках при низком уровне воды и устанавливаются перпендикулярно потоку. Устранение размывов участков происходит за счет удержания шпорами донных отложений, переносимых течением.

К методам пассивной защиты относят работы по обустройству береговых насыпей или берегоукрепительных сооружений, имеющих различные преимущества и недостатки в зависимости от применяемого материала. Одним из классических методов по укреплению берегов является посадка растительности вдоль береговой линии (биологический метод), которая дает желаемый эффект только при длительном использовании. Крепление береговых склонов каменной или гравийной насыпью требует меньших денежных затрат на сооружение, так как порой не возникает нужды в привозимых материалах. Впрочем, экономические выгоды от использования насыпей уменьшаются с увеличением срока эксплуатации, так как эти конструкции сильно подвержены размыву, делая необходимой периодическую повторную засыпку берега. Более того, выносимый течением материал засоряет русло реки и ухудшает ее гидрологию. Укладка бетонных плит на береговом склоне обеспечивает надежную защиту от размыва, к тому же плиты имеют высокую устойчивость к ударной нагрузке от предметов, переносимых потоком воды (например, от ледовых глыб). Возможности использования бетонных плит ограничены их высокой стоимостью, уменьшением прочности бетона с течением времени из-за его разрушения корневой системой растений, а также затруднениями при укреплении склонов малого радиуса кривизны. Последнее устраняется использованием универсальных гибких защитных бетонных матов (УГЗБМ) вместо

плит, которые в случае необходимости легко демонтируются и повторно укладываются, уменьшая затраты на сооружения берегового укрепления. Одним из наиболее экономичных и эффективных решений по защите берегов от размыва являются специально разработанные для этой цели габионы. Габион представляет собой ящик из металлической сетки двойного кручения, заполненный камнем, галькой или щебнем. Особой разновидностью габиона является матрац Рено, представляющий собой параллелепипед большой площади и относительно малой высоты (0,2–0,3 м). Для предотвращения выноса течением заполнителя габиона ячейки выполнены в форме шестиугольников размером меньшим, чем камни-заполнители. Очевидно, что габионные конструкции имеют высокую водопроницаемость, к тому же пространство между камнями со временем заполняется мелкодисперсным грунтом, что способствует росту растений, и, как следствие, укреплению сооружения корневой системой растений. Таким образом, габионы становятся естественной частью ландшафта и имеют длительный срок службы, что наряду с относительной экономичностью обуславливает широкое применение данной берегоукрепительной конструкции.

Также на надежность подводного перехода влияет герметичность трубопровода, то есть отсутствие аварийных сквозных повреждений. Характер повреждения зависит от вида механического воздействия, коррозионных процессов, материала стенки трубы, изоляции и т. д. В зависимости от величины и вида дефекта осуществляются различные схемы ремонта. Так, например, для устранения мелких сквозных повреждений (диаметром менее 50 мм) применяют аварийные хомуты, разъемные зажимы, пробки и другие специальные приспособления. Применение этих методов позволяет оперативно ликвидировать малые утечки. Для устранения единичных сквозных дефектов большего диаметра производят накладку пластыря с последующим бандажированием или установкой на него постоянного металлического хомута. Еще одним методом восстановления герметичности трубопровода, содержащего единичные дефекты, является наложение металлических заплат при помощи подводной сварки. Рассмотренные меры являются временными, и дефектный участок подлежит демонтажу при ближайшем капитальном ремонте. При ремонте участка трубы, содержащего несколько близкорасположенных дефектов, целесообразно применять композиционные муфты. Помимо приведенных выше методов, существуют схемы ремонта, предполагающие замену дефектного участка трубопровода. Ремонт трубопровода с подъемом его на поверхность применяется при дефектах изоляции или повреждении тела трубы на достаточно большой протяженности. Этот вид ремонта, в сравнении с подводными методами, обеспечивает более высокое качество проводимых ремонтных работ. Подъем участка на поверхность может осуществляться с использованием плавсредств, а в зимний период может производиться со льда.

Технология ремонта с применением кессонов и полукессонов позволяет производить ремонт подводной части трубопровода без поднятия его на поверхность реки или водоема при создании условий для проводимых работ, аналогичных условиям на земной поверхности. Конструкция камер позволяет устанавливать их на трубопроводы диаметром от 325–1 420 мм на глубину до 30 м при скорости потока до 1,5 м/с. Ремонт осуществляется с использованием стандартных приборов и средств контроля путем вырезки дефектного участка длиной не более двух диаметров и вставки новой катушки или установкой муфт. Сварочные, изоляционные и другие работы производятся в кессоне теми же методами, что и при ремонте в нормальных условиях на поверхности.

Кроме указанных выше видов ремонта ППМТ, осуществляемых полным или частичным демонтажем старой нитки, а также использованием специальных наружных приспособлений, существуют методы внутритрубного ремонта, позволяющие восстановить несущую способность трубопровода без замены линейной части ПП.

Наибольшее распространение в России получил метод «труба в трубе», который заключается в протаскивании или проталкивании нового трубопровода меньшего диаметра внутри старого отремонтированного дефектного трубопровода (кожуха) с последующим заполнением зазора между ними строительным раствором, инертным газом или речной водой с электрической или ингибиторной защитой. Основным недостатком данной схемы ремонта является уменьшение проходного сечения трубы. Более современные методы, описанные ниже, устраняют недостатки классического метода «труба в трубе».

ГФК-лайнер (метод «чулка») заключается во введении в изношенный трубопровод гибкого композитного рукава, который при распрямлении плотно прилегает к стенкам восстанавливаемого трубопровода и после отвердевания (под воздействием ультрафиолетового излучателя и горячего водяного пара) принимает его форму. При этом сохраняется прежнее значение пропускной способности трубы, так как величина внутреннего диаметра практически не изменяется.

Технология «саблайн» осуществляется протягиванием через ремонтируемый трубопровод предварительно деформированной U-образной полиэтиленовой трубы, скрепленной

полипропиленовыми бандажами. Для придания протянутой трубе формы ремонтируемого трубопровода ее концы герметизируют, закачивая внутрь воду под давлением 2–3 атм., за счет чего бандажки рвутся и ПЭ труба плотно прилегает к внутренней поверхности дефектного трубопровода. Метод «Саблайн» позволяет производить ремонт ПП большого диаметра с высокой эффективностью при незначительных материальных и временных затратах.

Технология «свэджлайнинг» не требует специальных растворов для плотного соединения трубопроводов. Это достигается тем, что изначально ПЭ труба изготавливается с большим внешним диаметром, чем внутренний диаметр дефектного ПП, после чего она сжимается матрицей «Свэджлайнинг» и протягивается при помощи закрепленной в начале тянущей головки. Для заполнения коррозионных дефектов на внутреннюю поверхность трубопровода роботом распыляются цементный раствор или эпоксидная смола. Особое внимание при этом необходимо уделить предварительной подготовке поверхности.

Однако применение внутритрубного ремонта ПП по всей его длине не всегда оправдано. Для устранения локальных повреждений используются гильзы различных исполнений. Так, достаточно эффективным методом герметизации и частичного упрочнения ремонтируемого участка ПП является использование гофрированных гильз, имеющих малую толщину. После доставки к месту повреждения гильза подвергается радиальным деформациям, принимая нужную форму и образуя с трубопроводом монолитную конструкцию благодаря нанесенной на ее наружную поверхность мастики или расплавов полимеров. Также такую конструкцию гильз можно использовать для соединения и закрепления ПЭ труб: нагретая гильза расплавляет материал полимерных труб, который герметизирует стыки между ними.

Еще одним вариантом устройства для внутритрубного локального ремонта ПП является гильза, изготовленная из металлического сплава с эффектом памяти формы (в частности, никелида титана). После размещения конструкции в необходимом положении производят ее нагревание до срабатывания сплава и приобретения гильзой заданной формы.

Надежность магистральных трубопроводов при длительной эксплуатации напрямую зависит от качества проводимых работ по восстановлению несущей способности, непосредственное влияние на которое оказывает соответствие выбранной схемы ремонта условиям пролегания и характеру повреждений дефектного участка. Для грамотного выбора методов ремонта ПП необходимо учитывать их особенности и возможности применения, рассмотренные выше.

- Таким образом, для сохранения необходимого заглубления ПП приоритетным является использование защитных методов, так как они не вызывают дополнительные русловые переформирования. Эффективно сочетать активную и пассивную защиту ПП от размыва, особенно на реках малого и среднего размеров. Также целесообразно комбинировать различные виды береговых укреплений. Так, на практике хорошо зарекомендовало себя совместное применение матрацев Рено и геотекстиля, габионов и бетонных матов. Для оптимизации методов активной защиты ПП следует усовершенствовать существующие методики расчета и прогнозирования русловых процессов.

- Методы ремонта ПП с подъемом участка на поверхность и с применением кессонов являются взаимодополняющими: экономичность их использования зависит от характеристик ремонтируемого объекта, поэтому выбор схемы ремонтных работ следует осуществлять только после подробного изучения обоих методов применительно к рассматриваемому участку.

- Маневренность работ при осуществлении подводной сварки, а также постоянное совершенствование сварочных технологий обуславливают востребованность данного метода устранения аварий. Для повышения качества проводимых работ необходима автоматизация процесса, поскольку при проведении сварки в тяжелых подводных условиях неизбежно возникают дефекты сварных соединений.

- С возрастанием числа ПП, проложенных бестраншейными методами, соответственно большее распространение получают внутритрубные схемы ремонта. Среди них предпочтительным является применение полимерных труб для восстановления дефектных ПП, так как они позволяют устранять повреждения трубопроводов сложной конфигурации, обеспечивают высокую экологичность проводимых работ, надежную коррозионную защиту, быстрый монтаж и долговечность. Однако проведение ремонта с применением полимерных труб требует наличия специальной техники, в основном производимой за рубежом, и квалифицированных работников. Поэтому в связи с актуальностью данного метода предприятиям по ремонту ПП желательно создать собственную техническую и кадровую базы.

- Использование гильз является перспективным методом внутритрубного локального ремонта, но требует дальнейшей разработки и внедрения в производство.

### **Список литературы**

1. Иванов В. А., Кузьмин С. В. и др. Сооружение подводных переходов магистральных трубопроводов: Курс лекций. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2003. – 217 с.
2. Шаммазов А. М., Мугаллимов Ф. М., Нефедова Н. Ф. Подводные переходы магистральных нефтепроводов. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2000. – 237 с.
3. Бахтизин Р. Н., Галлямов А. К., Мастобаев Б. Н., Нечваль А. М., Хасанов М. Р., Юкин А. Ф. Транспорт и хранение высоковязких нефтей и нефтепродуктов, применение электроподогрева. – М., 2004.
4. Бахтизин Р. Н., Баширова Э. М., Миронова И. С. // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – 2011. – № 4. – С. 27-31.

### **Сведения об авторах**

**Силина Ирина Георгиевна**, Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень, e-mail: i\_g\_silina@mail.ru

**Гильмияров Евгений Адикович**, Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень, e-mail: egilmiyarov@list.ru

**Иванов Вадим Андреевич**, д. т. н., профессор кафедры «Транспорт углеводородных ресурсов» Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень, тел. 89088733877, e-mail: Ivanov\_v\_a@list.ru

### **Information about the authors**

**Silina I. G.**, Tyumen State Oil and Gas University, e-mail: i\_g\_silina@mail.ru

**Gilmiyarov E. A.**, Tyumen State Oil and Gas University, e-mail: egilmiyarov@list.ru

**Ivanov V. A.**, Doctor of Engineering, professor of the chair «Transport of hydrocarbon resources», Tyumen State Oil and Gas University, phone: 89088733877, e-mail: Ivanov\_v\_a@list.ru