

УДК 621.643.053-192

## ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПОДВОДНЫХ ПЕРЕХОДОВ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

*А.Г. КУЛЬБЕЙ*

*(Полоцкий государственный университет)*

*Рассмотрен вопрос повышения надежности подводных переходов магистральных трубопроводов. Показана важность проведения мониторинга состояния подводных переходов на этапах сооружения и эксплуатации, а также управление надёжностью подводных переходов при помощи выделенных структурно-функциональных элементов.*

Вопрос о повышении надёжности подводных переходов может быть решен в первую очередь за счет системы мониторинга.

Вопрос о необходимости мониторинга нефте- и газопроводов может быть решён лишь однозначно: мониторинг необходим. Состояние объекта не стационарно. Без знаний состояния объекта в предыдущие моменты времени (знания предыстории) невозможно точно определить его текущее состояние.

Касательно линейной части магистральных трубопроводов, среди объектов, подверженных мониторингу, следует выделить трубопровод (металл трубы, изоляционное покрытие, пригрузка) и окружающий грунт как систему, передающую воздействия на трубопровод. Поэтому должен проводиться комплексный мониторинг и тела трубы, и окружающей среды.

Рассмотрим составляющие мониторинга тела трубы. Металл трубопровода подвержен утративанию своих свойств с течением времени. Утонение стенки трубопровода (из-за коррозионного, абразивного износа и других процессов потерь металла) и появление концентраторов напряжений в местах дефектов труб приводит к отказу трубопровода, т.е. невыполнению трубопроводом своих функций (выдерживанию металлом трубы заданных напряжений в стенке трубы). Значит, необходимо отслеживать характеристики металла труб.

Такие конструкции, как изоляционные покрытия, защитный кожух либо пригрузку, можно считать вспомогательными. Нанесение изоляционного покрытия и установка средств электрохимической защиты является способом, позволяющим замедлить процесс утраты металлом своих свойств и отсрочить момент отказа трубопровода. Пригрузка и защитный кожух лишь создают условия для лучшего выполнения трубопроводом своих функций.

В настоящее время на белорусских трубопроводных предприятиях уже завершился переход от ремонта линейной части, согласно графику ППР, к выборочному ремонту трубопровода согласно его текущему техническому состоянию. Заключение о состоянии трубопровода выдается на основании анализа данных внутритрубных инспекционных снарядов.

Рассмотрим составляющие мониторинга окружающей среды. Линейная часть каждого магистрального трубопровода по условиям эксплуатации представляет собой уникальное сочетание внешних воздействий, оказываемых на трубопровод. Поэтому следует выделить участки, где залегающий трубопровод имеет схожие условия эксплуатации. На фоне остальной линейной части - это подводные переходы (ПП), пересечения с искусственными препятствиями (дороги, коммуникации) и болотами.

Мониторинг линейной части и пересечений с искусственными препятствиями с проверкой проектного положения трубопровода достаточно выполнять ежегодно, в отличие от мониторинга подводных переходов, который желательно проводить несколько раз в год (в паводковый период, в послепаводковый - межженный период, в зимний период). Это обуславливается различной интенсивностью размыва русловой части ПП в эти периоды.

Нужно отметить, что обычных наблюдений о скорости и уровне воды недостаточно. Необходимы: береговая и русловая геодезическая съёмка (в створах ниток и по боковым дополнительным створам) для возможности суждения о плановых и профильных переформированиях; водолазное обследование с целью обнаружения провисающих или оголенных участков; определения глубины заложения труб под грунтом; визуальное наблюдение состояния береговых укреплений.

По статистическим данным, большинство подводных переходов в Республике Беларусь уже через год-два после строительства «страдают» размывом русла реки, что приводит к оголению и провисанию трубопровода. Это связано в основном с несоблюдением величины проектного заглубления трубопровода, а если трубопровод и был правильно заглублен, то размыв происходит из-за неверного выбора места ПП, т.е. неверного учёта характеристик реки.

Данные о характеристике русловых процессов в месте прокладки ПП требуется собирать в течение десятков лет, как того требует нормативная документация. На практике же, в связи с неожиданным возникновением потребности строительства трубопровода, такая информация зачастую отсутствует,

Существует два выхода из создавшейся ситуации:

- ежегодные наблюдения за состоянием бесчисленного множества участков различных рек, т.е. каждой реки от истока до устья;
- строительство ПП по данным наблюдений за несколько лет с применением этих данных на более длительный срок (что дает ошибку), и проведение обязательного ежегодного мониторинга ПП.

Первый вариант даёт снижение затрат на сооружение и эксплуатацию ПП, так как дюкер не будет размываться, но требует огромных ежегодных усилий для обеспечения мониторинга за реками до строительства. Второй - укорачивает срок наблюдения за состоянием русла до строительства, но более скоро потребует проведения ремонтных работ. По статистике, уже через год после строительства приходится производить подсыпку грунта, усиление его песчано-гравийной смесью или укладку мешков с песчаной смесью.

Рассматривая задачу оценки безопасности подводных переходов магистральных трубопроводов, предполагается использовать модель, которая включает в себя следующие параметры;

- проектные и конструктивные решения подводного перехода;
- условия эксплуатации и состояние окружающей среды;
- возможные варианты развития аварийной ситуации и варианты последствий аварий.

Функционирование модели неосуществимо без учета изменений состояния окружающей среды за всё время существования подземных переходов магистральных трубопроводов, особенно происходящих на этапах сооружения и эксплуатации. Поэтому необходимо решить вопрос об организации мониторинга состояния подводных переходов магистральных трубопроводов.

При мониторинге подводных переходов магистральных трубопроводов немалое значение предполагается уделять проведению наблюдений и контролю за загрязнением окружающей природной среды вредными веществами, особенно на этапе сооружения, что играет решающую роль при планировании и проведении природоохранных мероприятий.

В структурном отношении мониторинг экологического состояния должен включать в себя следующие основные направления;

- наблюдение за состоянием природной среды, факторами, воздействующими на окружающую среду;
- ~ оценка фактического состояния природной среды;
- прогноз и оценка возможных изменений в состоянии окружающей среды;
- контроль за источниками воздействия на природную среду объектов трубопровода;
- проверка соблюдения нормативов предельно допустимых выбросов (ПДВ) и предельно допустимых сбросов (ПДС);
- контроль загрязнения атмосферного воздуха и проверка обеспечения предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ;
- сбор, обработка и хранение информации;
- подготовка документации о величине выбросов и сбросов по формам статистической отчетности;
- передача информации в информационно-аналитические центры;
- анализ текущей информации, составление долгосрочного экологического прогноза;
- подготовка предложений по планированию и ведению природоохранной деятельности.

Перечень контролируемых компонентов должен быть расширен с учетом их реального содержания в воде в месте расположения станции, в первую очередь в части контроля содержания углеводородов, метанола, диэтиленгликоля и других веществ в воде.

Качественное выполнение гидрологических наблюдений должно быть обеспечено функционированием в течение всего периода эксплуатации перехода планово-высотной геодезической сети. На основании материалов гидрологических наблюдений и русловых съемок дна на участке подводного перехода должны определяться данные высотных и плановых деформаций дна и берегов за период эксплуатации перехода и проводиться оценка надежности и эффективности креплений береговых склонов.

Для поддержания высокого уровня надёжности подводного перехода необходимо отдельно осуществлять контроль по критериям, приведенным в табл. 1, позволяющим определить предельное состояние подводного перехода.

Таблица 1

Критерии неисправного и предельного состояний подводного перехода

| Неисправное состояние   | Предельное состояние   |
|---|--|
| Размыв берегов<br>Понижение отметок дна в зоне перехода свыше 0,5 м<br>Наличие незначительных механических повреждений                                      | Обнаженные и провисающие участки свыше 70 % критической длины<br>Наличие вибрации трубопровода под воздействием течения  |
| Обнаженные и провисающие участки<br>Повреждения изоляции<br>Наружная коррозия, не превышающая 12 % от проектной<br>Нарушение устойчивости балластных грузов | Наружная коррозия, превышающая 12 % от проектной<br>Наличие трещин и мест утечки газа<br>Отсутствие части балластных грузов и значительные нарушения в их расположении |
| Неисправность или отсутствие береговых информационных знаков и реперов  | Значительные повреждения крепления берегов с оголением трубопровода  |

В несущих элементах подводных переходов могут реализовываться совершенно различные предельные состояния как в отдельности, так и в совокупности своих комбинаций.

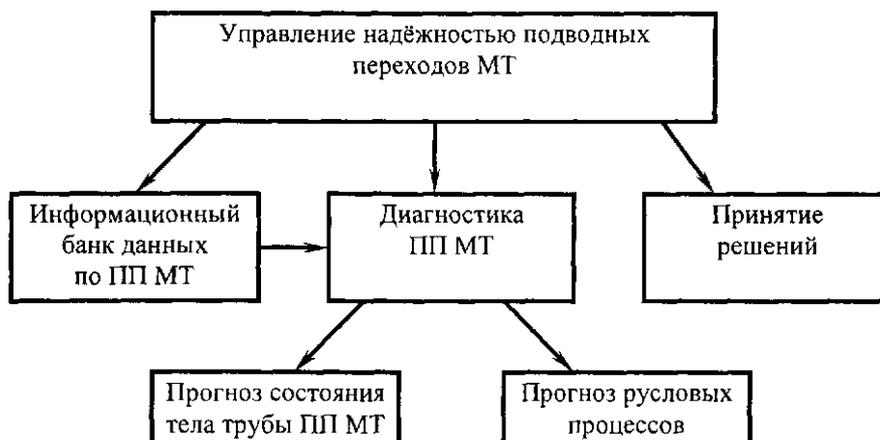
Классификация наиболее распространенных аварийных ситуаций и их последствий за последние годы представлена в табл. 1.

Аварийное состояние на подводных переходах трубопроводов представляет собой с точки зрения восстановления работоспособности наиболее трудный случай. Это обусловливается рядом факторов, и прежде всего:

- протяженностью перехода;
- диаметром и конструктивными решениями подводного перехода;
- сезонными погодными условиями и природно-климатическими условиями трассы.

Аварийный ремонт, помимо ущерба окружающей среде и потребителям, требует больших затрат в связи с его непредсказуемостью по срокам и видам. Максимальный перевод средств из сферы аварийного ремонта в сферу профилактического капитального ремонта является в настоящее время основной задачей газотранспортных предприятий, при этом особую проблему составляет аварийный ремонт переходов через малые реки и ручьи, которые строились без применения подводно-технических работ. Как правило, при строительстве трубы укладывались с отступлением от проектных отметок, в то же время нередко случаи, когда малые реки и ручьи меняют свое русло во время паводков. Все это приводит к оголению трубопроводов, и ремонтировать такие переходы крайне трудно. Незначительная ширина и глубина этих рек, отсутствие запорной арматуры, резервных ниток, зачастую невозможность отключения трубопровода по режиму не позволяют выполнять ремонт традиционными методами.

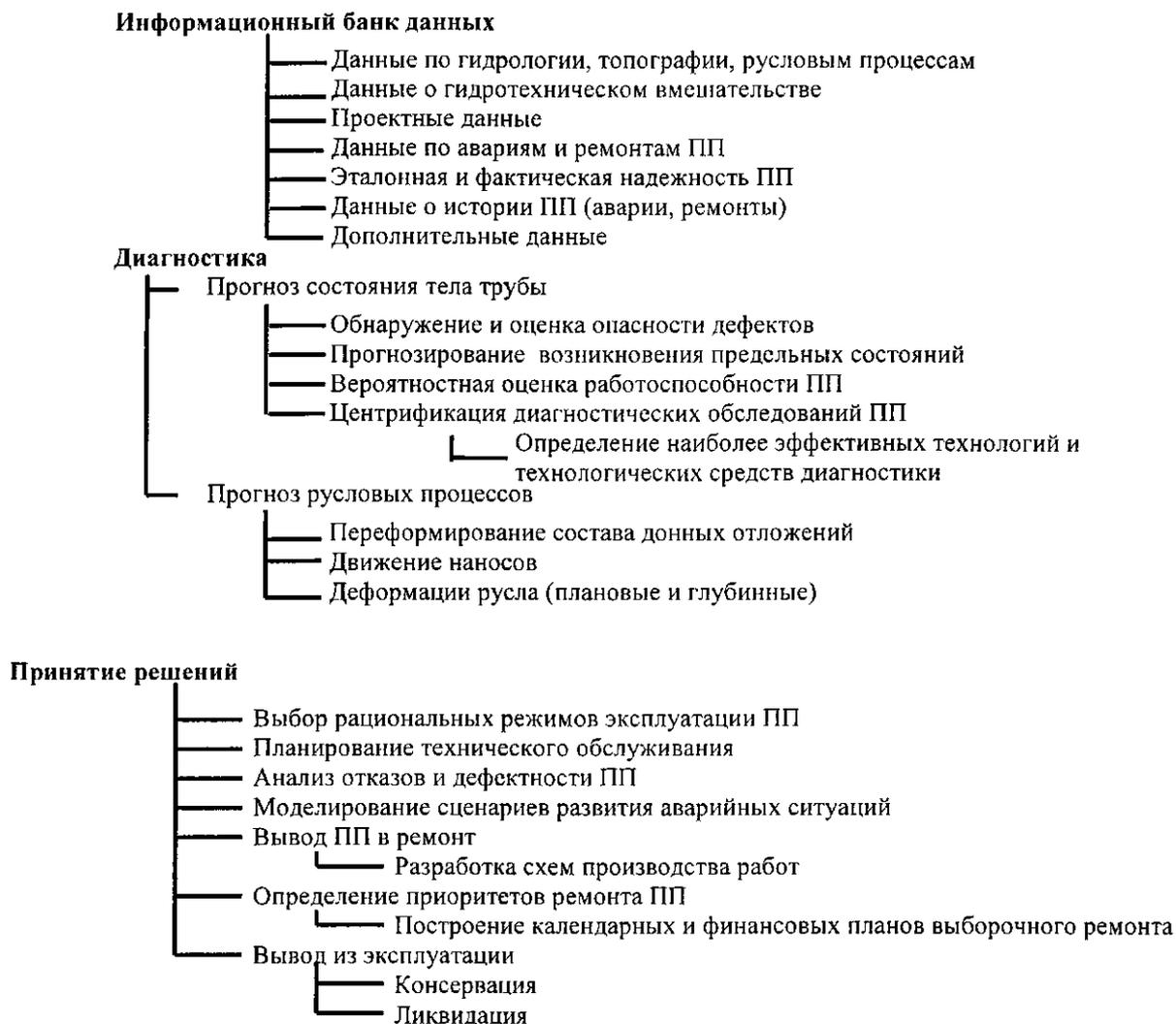
На рисунке приведена предполагаемая модель по структурно-функциональным элементам.



Предполагаемая модель по структурно-функциональным элементам:

МТ - магистральные трубопроводы; ПП МТ - подводные переходы магистральных трубопроводов

Структурно-функциональные элементы управления надёжностью подводных переходов:



Описание структурно-функциональных элементов управления надёжностью подводных переходов приведено в табл. 2.

Таблица 2

Описание структурно-функциональных элементов

| Информационный банк данных                           |  |
|--|--|
| Данные по гидрологии, топографии, русловым процессам | Требуются для получения общей картины влияния внешних факторов (например, течения и характеристики грунта) на общее положение трубопровода, а также для выявления наибольших опасностей, которым подвергается трубопровод  |
| Данные о гидротехническом вмешательстве              | Во время строительства подводного перехода происходит нарушение подводного и прибрежного ландшафта, разрыхление слежавшегося грунта, находящегося непосредственно в траншее и около неё. Обычно гидротехническое вмешательство несет отрицательный эффект с точки зрения надёжности дальнейшей эксплуатации подводного перехода, так как нарушенный грунт легче подвергается размыву потоком реки                |
| Проектные данные                                     | Предусматривается включение данных о проектной толщине стенки трубы, проектных давлениях трубопровода (рабочем и давлении испытания), профиль перехода с указанием скорости течения, проектная глубина заложения, данные о характеристиках используемой стали, марке труб и заводе-изготовителе, данные о изоляции и установках ЭХЗ, грунтах в районе прохождения трассы и т.д., знаках закрепления трубопровода |

Продолжение табл. 2

|   |   |
|---|---|
| Данные по авариям и ремонтам ПП   | Включаются данные по всем авариям и инцидентам, произошедшим на подводных переходах вообще (это позволит анализировать весь перечень опасностей, которым подвержен подводный переход)   |
| Эталонная и фактическая надежность ПП   | Сравнение эталонной надежности (надежности, заложенной в проекте подводного перехода) с его фактической надежностью (которая должна определяться периодически, желательно ежегодно). Производя сравнение ежегодных характеристик (параметров) с эталонными, можно сделать вывод о текущем состоянии подводного перехода и, кроме того, получить прогноз об изменении состояния подводного перехода с целью определения сроков следующего вывода ПП в ремонт (в балансе предприятия, эксплуатирующего ПП – это заложение расходов в смету на следующий год)  |
| Данные об истории ПП (аварии, ремонты)  | Включаются данные по всем авариям и инцидентам, произошедшим на подводном переходе, и особенно по ремонтам, т.е. данные о характере ремонтных мероприятий, производимых на подводном переходе (береговые укрепления, подсыпка, ремонт изоляции и установок катодной защиты, данные о ремонтах тела трубы)   |
| Дополнительные данные   | Фиксируется наличие у ПП специфических особенностей. Сюда же должны быть включены данные об антропогенной активности на водоеме (для реки – выше и ниже по течению), т.е. наличие населенных пунктов, предприятий, мостов, портов при судоходности реки. На сегодняшний день остается открытым вопрос о протяженности зоны влияния вверх и вниз по течению реки, о которой должна собираться информация. Антропогенные факторы выше по течению могут быть причиной аварии на ПП, а населенные пункты, предприятия и т.д. ниже по течению могут оказаться реципиентами в результате аварии на подводном переходе   |
| <b>Диагностика (прогноз состояния тела трубы)</b>                                 |   |
| Обнаружение и оценка опасности дефектов   | Своевременное обнаружение дефекта избежать или предупредить (при помощи своевременного ремонта) процессы разрастания (увеличения) дефекта не приведет к возникновению аварийной ситуации  |
| Прогнозирование возникновения предельных состояний                                | Расчет нагрузок и воздействий на тело трубы позволит (с учетом установленности характера и скорости их изменения) определить время наступления второго и третьего предельных состояний (потеря устойчивости и возникновение трещин) согласно теории прочности твердых тел. Расчет по первому предельному состоянию (разрушению оболочки) не производится, так как оно наступает позже второго и третьего предельных состояний и его наступление считается недопустимым. Потеря устойчивости трубопровода связана с размывом бронирующего слоя грунта, а возникновение макротрещин – с коррозионным растрескиванием трубы под напряжением. Это же прогнозирование позволит определить остаточный ресурс секции подводного перехода |
| Вероятностная оценка работоспособности ПП   | Составление прогноза о возникновении предельных состояний и оценки остаточного ресурса, базирующегося на аналитическо-вероятностном подходе   |
| Центрификация диагностических обследований ПП                                     | Данные о диагностических исследованиях должны храниться не только у предприятия, эксплуатирующего данный трубопровод, но и, например, в Научном Центре при Промагмондзоре Республики Беларусь, что позволит получить общую картину состояния ПП МТ для различных диаметров, транспортируемого продукта, климатических условий эксплуатации. В дальнейшем, проводя исследования по таким обобщенным данным, можно более точно производить прогнозирование возникновения предельных состояний для конкретного подводного перехода магистрального трубопровода   |
| Определение наиболее эффективных технологий и технологических средств диагностики | Ранжирование технологий и технологических средств по критерию эффективности наиболее объективно сможет провести Научный Центр (см. предыдущую строку таблицы), где будет скапливаться информация о достоверности диагностических выводов предприятий и организаций, предлагающих свои услуги (технологии, технические средства) в области диагностики состояния ПП магистральных трубопроводов  |
| <b>Диагностика (прогноз русловых процессов)</b>                                   |   |
| Переформирование состава донных отложений   | В процессе строительства происходит изъятие грунта из траншеи ПП, а после укладки нитки трубопровода траншея (наиболее часто) заполняется привозным грунтом. Привозной и находящийся рядом естественный грунты имеют различную склонность к размыву, из-за чего происходит переформирование состава донных отложений в створе подводного перехода   |

Окончание табл. 2

|  |   |
|--|---|
| Движение наносов   | Движение наносов является естественным процессом и характерен для всех рек. Характер движения наносов для различных подводных переходов неодинаков: на некоторых участках происходит размыв наносов с последующим оголением трубопровода, на некоторых, наоборот, происходит намыв донных отложений. Характер движения наносов зависит от ряда факторов (например, распределения скорости течения по сечению реки, разности значений крутости отложений в створе перехода и на участках выше и ниже по течению, характеристик паводков, типа меандрирования реки и многих других) |
| Деформации русла (плановые и глубинные)                        | Подводные переходы эксплуатируются на протяжении нескольких десятков лет, а за это время русло реки претерпевает значительные как плановые, так и глубинные деформации. Их величина зависит от конкретной гидрологической ситуации, а также от типа меандрирования реки, распределения скорости течения по сечению реки, крупности донных отложений, прибрежных грунтов и ряда других факторов  |
| <b>Принятие решений</b>  |   |
| Выбор рациональных режимов эксплуатации ПП                     | Соблюдением режима эксплуатации можно добиться снижения цикличности нагрузок, которые возникают при падении/увеличении рабочего давления  |
| Планирование технического обслуживания                         | Изменение периодичности и полноты технического обслуживания   |
| Анализ отказов и дефектности ПП                                | Анализ отказов и дефектности ПП позволит выявить наиболее опасные внешние факторы, снижающие надёжность подводных переходов   |
| Моделирование сценариев развития аварийных ситуаций            | При помощи моделирования сценариев развития аварийных ситуаций и их анализа можно выявить наиболее опасные места и разработать меры по снижению ущерба аварии   |
| Вывод ПП в ремонт  | Принятие решения о выводе ПП в ремонт   |
| Разработка схем производства работ                             | Принятие схем, наиболее удобных к внедрению на данном подводном переходе  |
| Определение приоритетов ремонта ПП                             | На основании полученных данных по состоянию ряда ПП возможно их ранжирование по степени аварийной опасности и выбор первоочередности их ремонта   |
| Построение календарных и финансовых планов выборочного ремонта | Построение календарных и финансовых планов выборочного ремонта  |
| Вывод из эксплуатации  | Проработка последних стадий жизненного цикла подводного перехода  |
| Консервация  | Консервация подводного перехода   |
| Ликвидация   | Ликвидация подводного перехода  |

Качественный анализ вышеприведенных структурно-функциональных элементов позволит выделить факторы, неблагоприятно влияющие на надёжность подводного перехода, а количественный анализ позволит выявить наиболее неблагоприятные из них.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Харионовский В.В. Надёжность и ресурс конструкций газопроводов. - М.: Недра, 2000. - 467 с.
2. Системная надёжность трубопроводного транспорта углеводородов / В.Д. Черняев, К.В. Черняев, В.Л. Березин и др.; Под ред. В.Д. Черняева. - М.: Недра, 1997. - 517 с.
3. Забела К.А. Ликвидация аварий и ремонт подводных трубопроводов. - М.: Недра, 1986. - 148 с.
4. Western European oil pipeline spills on land decline. // Oil and Gas J. - 1994. - Vol. 92, № 6.
5. Утечки нефти из нефтепроводов в странах Западной Европы // Трубопроводный транспорт нефти. - 1994.-№5.-С. 36-37.