

$$\frac{\partial \sigma}{\partial t} + (u \cdot \nabla) \sigma = (\nabla u)^T \cdot \sigma + \sigma \cdot (\nabla u) - \frac{2}{\tau} (\sigma - \tau) \quad (2)$$

В уравнении (2) ν – кинематическая вязкость среды, а η – вклад вязкости полимера в общую вязкость ν_{Σ} . Заметим, что в данном виде приведённые уравнения (1) – (2) полностью описывают динамику полимерной присадки и потока сырья. Вышеперечисленные модели работают в области некритичных растяжений.

Заключение

Библиографический анализ показывает, что на настоящий момент нет аналитических зависимостей, приемлемых для инженерного расчета: выражения либо слишком сложны для моделирования существующих систем и требуют значительных вычислительных мощностей, либо не отражают всей полноты и сложности анализируемой задачи. Исходя из этой проблемы, интерес представляют эмпирические и полуэмпирические зависимости, которые на данный момент успешнее справляются с задачами прогнозирования (эффекта воздействия ПТП. Кроме этого: необходимо отметить нужду в проведении точных экспериментов (методом Доплеровской анемометрии) для УВ сырья с фиксацией ряда параметров, упущенных при проведении подобных экспериментов; проведение численного эксперимента (DNS, LES) позволит сверить экспериментальные данные с данными математической модели и вывести эмпирические упрощения и методику инженерного расчета; нетривиальными выступают вопросы уяснения роли влияния градиента температуры, допущения о многофазности сред в определяющих уравнениях при моделировании течений. Всё вышеперечисленное является предметом задач дальнейших исследований.

Литература

1. Abdul-Hadi Ali A. and Khadom Anees A. Studying the Effect of Some Surfactants on Drag Reduction of Crude Oil Flow // Chinese Journal of Engineering, vol. 2013, Article ID 321908, 6 pages, 2013.
2. Jubran B. A., Zurigat Y. H. & Goosen M. F. A. Drag Reducing Agents in Multiphase Flow Pipelines: Recent Trends and Future Needs// Petroleum Science and Technology, 2015, 23:11-12, 1403-1424.
3. Kharlamov S. et al // Suppression of flow pulsation activity by relaxation process of additive effect on viscous media transport 2015 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 27 012061.
4. Karami H.R., Mow la D., Investigation of the effects of various parameters on pressure drop reduction in crude oil pipelines by drag reducing agents// Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics 177–178 (2012) 37–45.
5. Lumley J.L., Drag reduction by additives //Annu. Rev. Fluid Mech. 1 (1969) 367–384.
6. Musacchio S., Vincenzi D. Deformation of a flexible polymer in a random flow with long correlation time// J. Fluid Mech. 670 326 (2011).
7. Toms B.A., Some observation on the flow of linear polymer solution through straight tubes at large Reynolds number, Proceedings of the 1st International Congress on Rheology, vol. 2, North Holland, Amsterdam, The Netherlands, 1948, pp. 135–141.
8. Virk P. S. Drag reduction fundamentals// AIChE Journal Volume 21, Issue 4 July 1975 Pages 625–656.
9. Wang Yi, Yu Bo, Zakin Jacques L., and Shi Haifeng Review on Drag Reduction and Its Heat Transfer by Additives// Advances in Mechanical Engineering Volume 2011, Article ID 478749, 17 pages.
10. Witold Brostow Drag reduction in flow: Review of applications, mechanism and prediction// Journal of Industrial and Engineering Chemistry 14 (2008) 409–416.

СПОСОБЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОЙ РАБОТЫ ПОДВОДНЫХ ПЕРЕХОДОВ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Е. В. Демченко

Научный руководитель, доцент Н. А. Антропова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Подводные трубопроводы, запроектированные и построенные с учетом всех факторов, неблагоприятно воздействующих на их работоспособность, могут находиться в эксплуатации десятки лет, сохраняя при этом свою работоспособность. Однако большое число подводных переходов через реки и другие внутренние водоемы выходят из строя (разрушаются или приходят в состояние, требующее немедленного ремонта) раньше окончания эксплуатационного срока, несмотря на двойное и даже тройное резервирование.

На сегодняшний день обеспечение безопасной работы подводных переходов магистральных трубопроводов является одной из наиболее актуальных проблем, что связано с большим количеством водных преград на территории Российской Федерации, пересекаемых магистральными нефте и газопроводами. К примеру, магистральный газопровод «Сила Сибири» на участке Чаянда-Ленск (км 0-208) пересекает 48 водных преград с различной шириной, глубиной, скоростью течения и глубиной эрозии [3]. Помимо этого необходимость тщательного учета факторов, влияющих на надежность и работоспособность подводных переходов, обуславливают сложность строительства, эксплуатации и ремонта подводных трубопроводов, а также ущерб, наносимый окружающей среде вследствие аварий и утечек транспортируемых продуктов.

В результате проведенных исследований было выявлено, что около 80% всех аварийных ситуаций возникает в результате размыва грунта вокруг труб, что приводит к образованию оголенных участков трубопровода, подвергающихся силовому воздействию потока. Оставшиеся 20% разрушений приходится на такие факторы, как коррозия, механические повреждения трубопровода, дефекты труб и конструкций, не выявленные в процессе строительства и др.

Исходя из этого, можно сделать вывод, что способы обеспечения безопасной работы подводных переходов магистральных трубопроводов должны быть, прежде всего, связаны с предотвращением преждевременного размыва грунта, а также повышением надежности и работоспособности подводных переходов.

Основными причинами размыва грунта являются неправильный выбор створа перехода, недостаточное заглубление труб в грунте, а также нарушение естественного состояния грунта при устройстве траншей, как подводных, так и береговых.

Створ подводного трубопровода необходимо выбирать с учетом всех гидрологических характеристик водной преграды и их возможных изменений. Существует гидроморфологическая теория русловых процессов [2], которая позволяет обоснованно прогнозировать изменения положения русла и берегов рек на длительный период. Согласно данной теории существуют следующие типы русловых процессов: ленточно-грядовый, побочный, осередковый, ограниченное меандрирование, незавершенное меандрирование, свободное меандрирование. Каждый из этих типов достаточно изучен, и имеет четкие количественные определители, которые позволяют установить, как и в каком направлении будут изменяться плановые и высотные отметки русла и берегов.

Для ленточно-грядового и побочного типов русловых процессов характерны устойчивые берега, поэтому створы переходов должны размещаться на плессовых участках, при этом глубина заложения труб может быть минимальной. При осередковом типе переход следует располагать на участках наибольших глубин. На участках ограниченного меандрирования створ подводного перехода должен проходить на плессовых участках с врезкой в берега настолько, чтобы исключить оголение труб при сползании излучины в период расчетного срока эксплуатации. Особого внимания заслуживают переходы через реки со свободным меандрированием (рис 1), так как данный тип русла характеризуется плановыми смещениями до нескольких сот метров. При данных условиях створ следует размещать в условной точке поворота веера меандр (створ В-В), так как размещение перехода в створе А-А приведет к оголению трубопровода вследствие перемещения русла от исходного (на момент строительства и проектирования) состояния к последующим, вплоть до образования старицы и прорыва меандры. Наиболее благоприятными на реках свободного меандрирования являются створы на прямых участках между меандрами (если они имеются), причем выбирать следует наиболее глубокие участки. Конечно, это требует более тщательных изысканий, большого объема земляных работ, но зато при правильном выборе створа полностью исключается возможность возникновения аварийных ситуаций, связанных с оголением труб в результате переформирования русла.

После выбора створа перехода, необходимо также уделить достаточное внимание и его профилю. Предельная глубина размыва не должна приводить к оголению труб не только в русле, но и в берегах.

Еще одним важным условием, приводящим к размыву грунта, является нарушение его естественного состояния. При рытье траншей грунт перерабатывается и разрыхляется, из-за чего происходит разрушение его структурного сцепления, а также разрыв органических связей (корни деревьев, кустарника, травы). После засыпки труб рыхлый грунт, как правило, в течение первых двух-трех лет после окончания строительства осыпается и уносится течением. Иногда в таких случаях применяют крепление откоса железобетонными плитами, однако они не всегда предохраняют засыпку от обрушения, особенно в тех случаях, когда берег располагается на вогнутой стороне меандр, к тому же уплотненный грунт при двух-трех поднятиях воды в паводок выталкивается, и плиты в беспорядке обрушиваются. Решением данной проблемы может быть укладка труб по профилю, показанному на рис.2 пунктирной линией (угол α следует принять равным $(0,5-0,6)\phi$, где ϕ - угол внутреннего трения разрыхленного грунта засыпки). При описанной схеме крепление берега плитами не требуется, поскольку глубина врезки определяется с учетом прогнозных данных по переформированию береговой линии в соответствии с типом руслового процесса.

Также одним из важнейших факторов, влияющих на эксплуатационную надежность подводных переходов, является выбор правильного метода резервирования. В настоящее время большинство подводных переходов сооружается из двух и более трубопроводов, при этом основная идея резервирования состоит в предположении, что отказы основной и резервной ниток независимы друг от друга. Однако теория русловых процессов, а также опыт эксплуатации показывают, что возникновения аварийной ситуации из-за размыва грунта при расположении одной нитки от другой на расстоянии не более 50 метров происходит на обеих нитках. В результате, вероятность безотказной работы двухниточного перехода при этом оказывается существенно меньшей, чем в исходном предположении о независимости отказов. К тому же увеличение резервных ниток повышает не только затраты на эксплуатацию и текущий ремонт, но и опасность загрязнения водного бассейна. В качестве решения данной проблемы можно рассмотреть способ увеличения надежности трубопровода не путем строительства резервных ниток, а за счет увеличения затрат на повышение уровня надежности однониточного перехода (с учетом того, что затраты на повышение надежности одной нитки не должны превышать затрат на строительство резервной). Примером такого способа является применение конструктивной схемы «труба в трубе» с заполнением межтрубного пространства цементно-песчаным раствором (рис.3). Прочность трубопровода «труба в трубе» выше прочности обычного, следовательно, опасность возникновения аварии под воздействием потока воды в этом случае меньше. Кроме того, средства, которые нужно было затратить на резервную нитку, можно использовать на защитные мероприятия, полностью исключая возможность отказов, вызванных воздействием потока, а также связанных с механическими повреждениями оголенного трубопровода. Помимо этого, при повреждении одной трубы частично разрушается слой бетона, однако, если вторая труба остается целой, то не происходит утечки транспортируемого продукта.

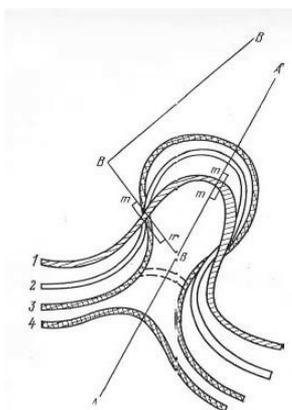


Рис.1. Свободное меандрирование:
1,2,3,4 – изменение положений русла.

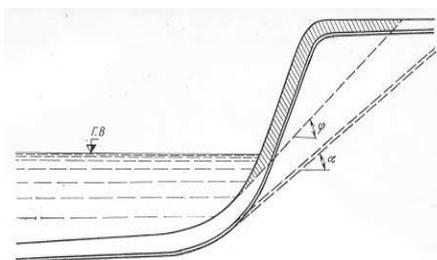
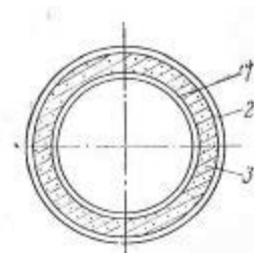


Рис.2. Схема разрушения берега



**Рис.3. Двухтрубная конструкция
с заполнением цементным
раствором**

Однако, несмотря на то, что расчеты показывают, что вероятность безотказной работы трубопровода «труба в трубе» оказывается выше, чем при обычном резервировании, так как для нового варианта конструкции исключаются основные причины, приводящие к авариям, и вероятность одновременного повреждения труб очень мала [1], на сегодняшний день согласно нормативной документации предусматривается прокладка резервной нитки при ширине водных преград при междном горизонте 75 метров и более [4]. Исходя из этого, можно сделать вывод, что предложенные методы обеспечения безопасной работы магистральных трубопроводов следует совершенствовать, чтобы иметь возможность использовать их взамен существующих.

Литература

1. Бородавкин П.П. Подземные магистральные трубопроводы (проектирование и строительство). – М.: Недра, 1982. – 384 с.
2. Попов И.В. Методологические основы гидроморфологической теории руслового процесса: Избранные труды. – СПб.: Нестор- История, 2012. – 304 с.
3. Проект Магистральный трубопровод «Сила Сибири». Этап 1. Участок Чайанда-Ленск. Технология трубопроводного транспорта / Бурданов А.Е., Жмулин В.В., Соляник А.Г. – Документ № 4570П1.00.П.03.Л.ПЗ(2). – 2013. – 78 с.
4. СНиП 2.05.06-85* Магистральные трубопроводы / Госстрой России – М.: ГУП ЦПП, 2001. – 60 с.
5. Чичелов О.В. Прогнозирование работоспособности подводных переходов магистральных газопроводов с учётом неопределённости параметров эксплуатации: Автореферат... дис.канд. тех. наук – Москва, 2002. – 188 с.

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ РЕЗЕРВУАРА ПРИ УСЛОВИИ МЕСТНОГО ИЗМЕНЕНИЯ ГЕОМЕТРИИ СТЕНКИ

А. С. Дмитриева

Научный руководитель, ассистент А. А. Лягова

Национальный минерально-сырьевой Университет «Горный», г. Санкт-Петербург, Россия

Одним из распространенных дефектов геометрии стенки резервуара являются вмятины. Действующие нормативные документы устанавливают достаточно жесткие критерии допускаемой величины стрелки прогиба вмятины [4]. При этом не учитываются ни геометрические размеры (ширина, форма) вмятин, ни их месторасположение по высоте стенки резервуара. Опыт многолетней безотказной эксплуатации резервуаров с данным дефектом формы, не удовлетворяющим требованиям норм [4], свидетельствует об отсутствии достаточной обоснованности вводимых ограничений, что также подтверждено в работах [1-3]. Согласно нормативным документам [4,5] при обнаружении вмятин, выпучин эксплуатация возможна только, если выполнены расчеты напряженно-деформированного состояния (НДС) резервуара и доказано, что в стенке металлоконструкции отсутствуют предельные напряжения и дефект не приводит к потере устойчивости стенки. Цель работы – выполнить анализ НДС стенки резервуара с вмятиной с учетом геометрии формы для определения допустимых условий эксплуатации резервуара.

Объектом исследования являлся резервуар вертикальный стальной с понтоном РВСП-5000 для хранения автобензина, введенный в эксплуатацию в 1962 году, выполненный из стали Ст3 сп (предел текучести – 245 МПа, предел прочности – 370 МПа). Визуально-измерительный контроль резервуара показал, что на расстоянии 8483 мм от дна на поверхности стенки имеется вмятина с геометрическими параметрами: малая ось – 420 мм; большая ось – 1100 мм; стрела прогиба (глубина) – 39,1 мм.

Анализ НДС стенки резервуара методом конечных элементов в программном комплексе SIMULIA Abaqus. Для была построена ¼ резервуара с фактическими толщинами конструктивных элементов, заданы