

Таблица 1

Наименование элемента конструкции	Наименование дефекта	Глубина дефекта, мм	Толщина листа по проекту, мм
Центральная часть днища	1-Группа язвенной коррозии	2	6
Центральная часть днища	2-Группа вырывов металла	3.2	6

Расчеты показали, что напряжения на границе образования дефекта составляют 126211 Па, в ходе расчетов задавалось поэтапное постепенное утонение данного участка, моделируя тем самым коррозионный износ в течение времени, напряжения в металле при этом значительно возрастают. С изменением формы и увеличением глубины проникновения дефекта, возрастают как напряжения, так и перемещения в металле. На последнем этапе расчета, при толщине металла, равной 2,8 мм, напряжения превышают предел прочности ( $\sigma=430$  МПа), а перемещения составляют 311Е-5мм. По результатам анализа установлено, что напряжения в днище резервуара много меньше предела текучести для стали 09Г2С. Также установлено, что максимальные перемещения образуются на границе образования дефекта толщиной 3 мм, и они составляют 311Е-5 мм. Стоит отметить, что напряженно-деформированное состояние служит причиной увеличения скорости коррозионного износа, вдобавок на скорость коррозии воздействует не только уровень, но и вид напряженного состояния. Можно сделать вывод, что резервуар с такими дефектами не соответствует требованиям РД-16.01-60.30.00-КТН-063-1-05, и требует капитального ремонта. В практике диагностирования резервуаров по его результатам изношенные или дефектные участки, как правило, заменяют на новые. Но при этом может произойти соединение поверхностей с разной толщиной листов, что может вызвать концентрацию напряжений и, как следствие, привести к разрушению или образованию новых видов дефектов.

#### Литература

1. Гималетдинов Г.М., Саттарова Д.М. Способы очистки и предотвращения накопления донных отложений в резервуарах // Нефтегазовое дело.-2006.
2. Коновалов Н.И., Мустафин Ф.М., Коробков Г.Е., Ахияров Р.А., Лукьянова И.Э. Оборудование резервуаров: учебное пособие для вузов . – 2-е изд., перераб. и доп. - Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2005. – 214 с.

### КОРРОЗИОННЫЙ ИЗНОС ТРУБОПРОВОДА

Ю.С. Кисаева, М.И. Медникова

Научный руководитель профессор П.В. Бурков

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Трубопроводный транспорт — важнейшая и неотъемлемая составляющая топливно-энергетического комплекса России. Транспортировка нефти, газа и нефтепродуктов по трубопроводам является эффективным, безопасным и наиболее дешевым способом транспорта на значительные расстояния. Стабильность обеспечения регионов России топливно-энергетическими ресурсами в значительной мере зависит от надежности трубопроводов. С помощью трубопроводного транспорта перемещается 99 % добываемой нефти, более 50 % производимой продукции нефтепереработки. Перекачиваемые углеводородные среды содержат коррозионно-активные компоненты, негативно воздействующие на внутреннюю металлическую поверхность, и тем самым, снижающие степень надежности промышленных трубопроводов. Значительная часть аварий трубопроводного транспорта являются следствием коррозионных повреждений. При совместном движении нефти, газа и воды по нефтепромышленным коммуникациям происходит перемешивание фаз, что, естественно приводит к образованию различных видов эмульсий. Известно, что перекачка вместе с нефтью даже 1...2 % воды, в виде эмульгированных глобул, способствует более интенсивному коррозионному износу оборудования, снижает пропускную способность трубопровода и повышает вероятность порыва труб. [1] Коррозия железа обуславливается наличием в воде кислорода, агрессивной углекислоты и сероводорода. Большая часть трубопроводов западной Сибири, да и России в целом находится на территории с резко выраженной сезонностью. Данное условие является причиной возникновения негативных процессов, которые в конечном результате приводят к таким явлениям как выпучивания трубопроводов. Метод конечных элементов является одним из основных методов, применяемых при исследовании напряженно-деформированного состояния (НДС), как систем трубопроводного транспорта, так и многих других задач. Удобной и многофункциональной программой является Ansys. Это объясняется тем, что, обладая рядом достоинств: широким спектром решаемых задач, высокой точностью, приближенностью к реальным условиям, доступным пользователю интерфейсом, широким набором моделей материалов, она имеет развитый встроенный алгоритмический язык программирования, позволяющий автоматизировать отдельные трудоемкие процедуры моделирования. Техническое обследование образца трубопровода, взаимодействующего непосредственно с водой, с заданной массой и площадью позволило рассчитать скорость коррозии, равную 0,034 г/м<sup>2</sup> ч. В процессе работы в программе ANSYS были получены графики распределения напряжений Мизеса (рис.1.) и графики

распределения перемещений (рис.2), а так же модель трубы (рис.3). Данные основаны на результатах технического диагностирования на предварительно проведенных расчетах.

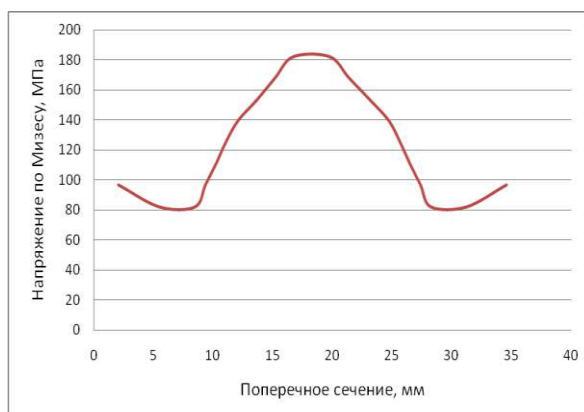


Рис.1 График распределения напряжений по Мизесу

В результате было получено, что минимальная остаточная толщина трубы 8,6 мм (номинальная толщина 14 мм), максимальная толщина коррозии 6, мм. Во всех областях нижней части трубопровода была обнаружена коррозия потока. Оценка остаточного ресурса трубопровода показала, что данная скорость коррозии сократит срок эксплуатации трубопровода на один год.

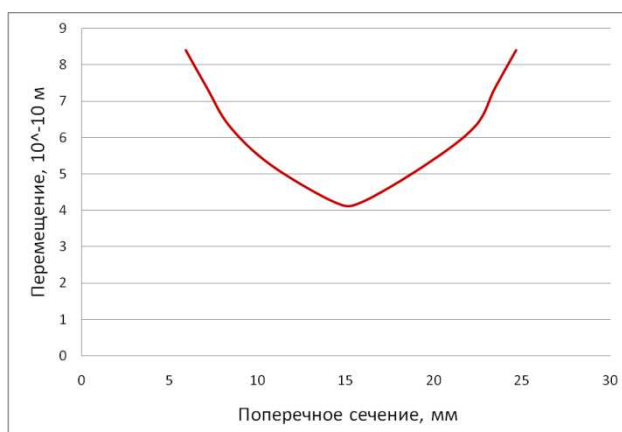


Рис. 2 График распределения перемещений

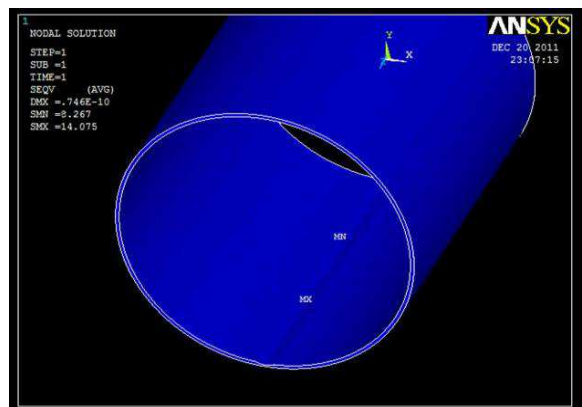


Рис. 3 Модель трубы, выполненная в программе ANSYS

Литература

1. Абрамова Р.Н., Чухарева Н.В. Коррозионные повреждения при транспорте скважинной продукции, — Томский политехнический университет — 2009.
2. Бергштейн Н.В., Левченко Д.Н., Николаева, Н.М. Худякова А.Д., «Эмульсии нефти с водой и методы их разрушения», — издательство «Химия» — 1967.
3. Бурков П.В., Буркова С.П., Вертинская О.А., Горный информационно-аналитический бюллетень — отдельный выпуск — 2011 — №2 — 154 с.
4. Быков Л.И., Васильев Г.Г., Мустафин Ф.М., «Защита трубопроводов от коррозии», — Санкт-Петербург. — ООО «Недра», — 2005.
5. Зырянов А.Б., Тарасов М.Ю., Журнал «Нефтяное хозяйство», — 2008 — № 09 — 105 — 107 с.
6. Исмаилов Ф.С. — Журнал «Нефтепромысловое дело» — 2010 — №9 — 27 — 30 с.

**ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ  
ТРУБОПРОВОДОВ В МЕРЗЛОМ ГРУНТЕ НА СИЛЬНО ОБВОДНЕННЫХ УЧАСТКАХ  
ТРАССЫ**

**А.В. Кузнецов, А.О.Шамуратов**

Научный руководитель профессор П. В. Бурков

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

При определении работоспособности трубопроводов Западной Сибири необходимо проанализировать механическое взаимодействие трубы с вечномерзлым грунтом. Так же требуется численно оценить пучение мёрзлых грунтов на напряжённо-деформированное состояние конструкции [1].

Целью данной работы является изучение поведения трубопровода в мёрзлом грунте на сильно обводненных участках трассы, а также исследование его напряженно-деформированного состояния.

Первой группой неблагоприятных для работы трубопровода факторов являются оттаивание и неравномерные осадки или провалы. Ко второй относятся факторы, обусловленные вмержанием труб в замерзающий или оттаивший грунт. Вертикальные перемещения конструкции могут часто возникать как в зимнее, так и в летнее время. Равномерно распределенные вдоль газопровода силы морозного пучения, действующие на трубопровод вертикально снизу вверх, а так же набухание грунта наблюдается на сильно обводненных участках трассы.[2] Благодаря силе адсорбции на поверхностях минеральных частиц и капиллярной силе, которая образует ледяной покров вокруг газопровода. Образование льда в капиллярах происходит при более высоких давлениях, в сравнении со значениями давления в «свободной» воде. Разность между размерами зависит от давления: чем меньше размеры, тем выше разность. Это значит, что понижение температуры грунта, повышает разность давления в замороженном грунте между водой и льдом. В результате, давление вспучивания, действующее на полный объем грунта, практически, обуславливает давление льда. Сила веса грунта и сопротивление разрыву и сжатию грунта противодействует давлению льда. Основная особенность процесса вспучивания - это результат разности низкого давления в «свободной» воде и высокого давления во льду, а именно процессы в мелкопористой структуре, особых свойствах воды и льда в порах грунта и возле них. Когда в воде поддерживается более низкое давление, то на ограниченной поверхности раздела фаз вода-лед-грунт обуславливается более высокое давление льда. Неизменный приток воды обеспечивается более низким давлением в воде, соседствующей со льдом в порах грунта. При этом силы, которые могут вытягивать адсорбированную воду из водонасыщенного грунта, достаточно велики и способны выбрасывать воду на высоту 120 м [3]. Наибольшую величину нормальных сил морозного пучения можно оценить опираясь на величину давления, которое развивают кристаллы льда при ограниченном замерзании воды.

Максимальное давление способно развиться только при полном отсутствии расширения воды. Это давление, при температуре  $t = -22\text{ }^{\circ}\text{C}$  измеряется величиной, порядка 211 МПа. Если же температура выше  $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ , то давление будет значительно меньше. Чтобы оценить величины давления, возникающие в замерзающей воде в условиях невозможности её расширения при температурах выше  $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ , пользуются эмпирической зависимостью Бриджмена-Таммана [4]:

$$p = 1 + 12,7t - 0,159t^2, \quad (1)$$

где  $P$  - давление в толще льда, МПа;  $t$  - абсолютное значение величины отрицательной температуры,  $^{\circ}\text{C}$ .

Тем не менее, указанные давления способны образоваться только при замерзании воды в жёстком сосуде. Если же вода замерзает в грунтах, то фактическое давление будет меньше приведенных величин. Теоретически, замерзание грунтов протекающих при  $t = -0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а так же при учете атмосферного давления и давления на грунт (0,127 Мпа), не должно возникнуть по причине того, что грунт не будет промерзнуть. Грунты, имеющие довольно низкую температуру замерзания перовой воды, при нормальных условиях, давление растущих кристаллов льда может достигать до 8 МПа. Данная задача решается экспериментально, так как она не имеет аналитического решения. Для получения равномерно распределённой нагрузки на трубопровод от сил морозного пучения, направленных вертикально, снизу вверх, необходимо умножить величину нормальной силы на наружный диаметр оболочки.

При замерзании грунтов, у боковых граней конструкции, возникают касательные силы морозного пучения, которые направлены по касательной к поверхности, граничащей с замерзшим грунтом [5]. Напряженно-