

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Тюменский государственный нефтегазовый университет»

И. А. Иванов, С. Я. Кушнир, С. А. Пульников

ГЕОТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА

*Допущено Учебно-методическим объединением вузов
Российской Федерации по нефтегазовому образованию
в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по направлению подготовки бакалавров 131000
«Нефтегазовое дело», по представлению Ученого совета
ГОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет»*

Тюмень
ТюмГНГУ
2011

УДК 624.131+621.644.07+621.642.07

ББК 39.76

И 20

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор Н. А. Малюшин

доктор технических наук, профессор Г. Г. Васильев

Иванов, И. А.

И 20 Геотехнические проблемы трубопроводного транспорта : учебное пособие / И. А. Иванов, С. Я. Кушнир, С. А. Пульников. - Тюмень : ТюмГНГУ, 2011. – 208 с.

ISBN 978-5-9961-0385-0

Учебное пособие базируется на результатах многолетних научных исследованиях, выполненных авторами и их учениками, акцентирующих внимание на геотехнических проблемах при проектировании, строительстве и эксплуатации магистральных газопроводов и нефтехранилищ. В работе изложены новые данные о влиянии фактора вибронагружения на устойчивость подземных магистральных газопроводов, на их коррозионное разрушение, образование арочных выбросов и оголенных участков, а также на устойчивость призм обвалования. Отдельно затронуты вопросы эксплуатации магистральных газопроводов в условиях мерзлых грунтов, сопоставлен и оценен отечественный и зарубежный опыт. Приведены результаты исследований силового взаимодействия естественных неоднородных грунтовых оснований с конструктивными частями вертикальных стальных резервуаров.

Пособие предназначено для специалистов в области проектирования и эксплуатации нефтегазопроводов и нефтехранилищ, а также для студентов и аспирантов, занимающихся проблемами трубопроводного транспорта.

УДК 624.131+621.644.07+621.642.07

ББК 39.76

ISBN 978-5-9961-0385-0

© Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего
профессионального образования
«Тюменский государственный
нефтегазовый университет», 2011

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	5
Глава 1. Грунтовый фактор как параметр эксплуатационной надежности магистральных газопроводов.....	7
1.1. Причины недостаточной изученности проблемы	7
1.2. Установление степени влияния грунтового фактора на эксплуатационную надежность магистральных газопроводов	10
1.3. Особенности грунтовых условий и эксплуатации МГ в условиях Западно-Сибирского региона	17
Глава 2. Грунтовый фактор как параметр интенсивности коррозии стенок подземного трубопровода	22
2.1. Актуальность проблемы коррозионной защиты трубопроводов ..	22
2.2. Исследования интенсивности механохимической коррозии от уровня НДС и вибронагружения стенки газопровода	29
2.3. Влияние осадки трубопровода в слабонесущем грунте на механохимический эффект	33
Глава 3. Вибронагружение как фактор продольной устойчивости магистральных газопроводов	45
3.1. Полевые исследования по определению вибронагружения подземного магистрального газопровода	45
3.2. Моделирование процессов силового взаимодействия вибронагруженного трубопровода с окружающим грунтом	56
3.3. Методика экспериментальных исследований влияния вибронагружения трубопровода на механические свойства грунтов	60
3.4. Анализ результатов экспериментальных исследований	62
3.5. Обработка результатов экспериментальных исследований.....	74
Глава 4. Проблемы пространственной устойчивости подземных магистральных газопроводов	83
4.1. Актуальность проблемы и характерные случаи потери устойчивости подземных газопроводов	83
4.2. Современные подходы к оценке силового взаимодействия подземного трубопровода с грунтом и особенности процесса аркообразования	89
Глава 5. Механизм аркообразования действующего подземного газопровода с учетом переменного обводнения прилегающих участков	98
5.1. Аппроксимация зависимостей сопротивления грунта продольным и поперечным перемещениям трубы	98

5.2.	Определение продольной силы и продольных перемещений подземного газопровода при пуске его в эксплуатацию	104
5.3.	Определение продольных перемещений подземного газопровода в область аркообразования	109
5.4.	Расчет продольных перемещений с учетом переменного обводнения примыкающего участка	111
5.5.	Условия образования арки на потенциально опасном участке	118
Глава 6.	Теоретическое обоснование устройства устойчивых призм обвалования подземных магистральных газопроводов	130
6.1.	Проблема оголенных участков магистральных газопроводов	130
6.2.	Назначение призм обвалования и анализ нормативных документов, регламентирующих их проектирование и устройство с позиции механики грунтов	139
6.3.	Факторы, влияющие на устойчивость призм обвалования МГ	141
6.4.	Пути решения проблемы проектирования и устройства призм обвалования подземных магистральных газопроводов в пойменной части подводных переходов	144
Глава 7.	Неоднородные грунтовые основания вертикальных стальных резервуаров.....	149
7.1.	Общие положения. Актуальность проблемы.....	149
7.2.	Анализ причин аварийности резервуаров	150
7.3.	Неравномерные осадки РВС в условиях слабых грунтов	154
7.4.	Консолидация грунтов оснований резервуаров и формирование в них деформаций	157
7.5.	Работа конструктивных частей резервуара при взаимодействии с грунтом.....	163
7.6.	Напряженно-деформированное состояние конструктивных частей резервуара.....	166
Глава 8.	Определение коэффициента постели грунтового основания РВС с учетом его распределительной способности	169
8.1.	Устройство грунтовых оснований РВС и технические требования, предъявляемые к ним.....	169
8.2.	Определение коэффициента постели для днища резервуара любого объема.....	174
8.3.	Определение коэффициента постели под подошвой фундаментного кольца резервуара большой вместимости	187
8.4.	Влияние области неоднородности грунтов естественного основания РВС на определение коэффициента постели для днища и фундаментного кольца.....	192
Список литературы.....		199

ВВЕДЕНИЕ

Эксплуатационная надежность нефтегазотранспортной системы всегда была и остается в настоящее время актуальной научной и производственной проблемой. На нефтегазопроводах России ежегодно происходит около 40 тысяч аварий и отказов. При этом теряется не менее 3% добычи нефти и газа. Именно поэтому вопросы эксплуатационной надежности магистральных трубопроводов и безопасная их эксплуатация постоянно находятся в центре внимания руководителей подразделений и служащих в нефтегазовой отрасли. Сложность проблемы обусловлена тем, что до последнего времени трубопроводную систему считали системой технической. На самом деле эта система геотехническая.

Протяженность магистральных трубопроводов находящихся в эксплуатации ОАО «Газпром» составляет 152 тысячи километров. При этом эксплуатируются трубопроводы различных диаметров и назначения. Из них только газопроводы больших диаметров (1020-1420 мм) составляют 61% общей протяженности. В нашей самой крупной в мире газопроводной системе 85% газопроводов со сроком службы от 10 до 30 лет и 14% - более 30 лет.

Значительная доля аварий и отказов связана с не решенными геотехническими проблемами трубопроводного транспорта. Сложные инженерно-геологические и эксплуатационные условия магистральных газопроводов Западной Сибири - участки с вечно мерзлыми грунтами, обширная зона болот и слабых грунтов, значительные температурные перепады в течение года - усложняют постановку и решение задач по обеспечению их пространственной устойчивости. Бесспорно, что в таких условиях основным фактором, определяющим эксплуатационную надежность подземных трубопроводов, является их взаимодействие с окружающими грунтами.

Следует отметить, что применяемая в настоящее время в соответствии с нормами РФ методика расчета на общую устойчивость магистрального газопровода обеспечивает надежные результаты для участков в минеральных грунтах. Однако для трубопровода, прокладываемого в слабонесущих грунтах, указанная методика требует существенной доработки. Это относится как к вопросу уточнения параметров взаимодействия трубопровода с обводненным грунтом, так и совершенствования самих расчетных положений.

Одним из основных недостатков существующих норм является отсутствие учета фактора времени и сезонности протекающих процессов на обводненных участках трасс при оценке прочности и устойчивости трубопровода. Весьма не простая проблема оценки влияния времени эксплуатации на состояние трубопровода и состояние вдольтрассовых грунтов каждый раз оказывается исследованной и проверенной в недостаточной степени для возможного включения в нормы.

Таким образом, для обеспечения гарантийной эксплуатационной надежности грунтовых сред и трубопроводных систем при достаточной их экономичности требуется разработать методы прогноза нелинейной зависимости сопротивления грунтовой среды, представленной в числе других и слабыми грунтами, при характерных подвижках трубопроводов.

Имеется также целый ряд других геотехнических задач в области нефтегазового строительства, необходимость решения которых диктуется практикой строительства: геотехнические проблемы и недостатки норм имеют место и при сооружении стальных вертикальных резервуаров, относящихся к категории особо ответственных сооружений, что накладывает особые требования к проведению инженерно-геологических изысканий, качеству проектных, строительных работ и регламенту дальнейшей их эксплуатации.

Для конструктивных частей эксплуатируемых резервуаров (окрайка, стенка, днище) характерно сложное напряженно-деформированное состояние, определяемое различными факторами, среди которых одним из решающих является силовое взаимодействие резервуара с его естественным грунтовым основанием.

Влиянию грунтового основания резервуара на перемещения указанных конструктивных частей резервуара и формирование их напряженно-деформированного состояния посвящено значительное число исследований как отечественных, так и зарубежных авторов. Однако ряд проблем остаются недостаточно изученными и требуют дополнительных исследований. В частности, не полностью определена динамика развития осадки основания резервуара при сложных инженерно-геологических условиях с учетом реологических процессов в его грунтовом основании; отсутствуют адекватные расчетные схемы, описывающие работу стенок и днища резервуара с учетом значительных удлинений днища, характерных при наличии слабых грунтов; недостаточно выявлены связи характеристик грунтов, слагающих естественное основание резервуара, с механизмом формирования напряженно-деформированного состояния его конструктивных частей.