

ПРОМАТОМНАДЗОР МЧС РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
ОАО «БЕЛТРАНСГАЗ»
РУП «ГОМЕЛЬТРАНСНЕФТЬ ДРУЖБА»
НОВОПОЛОЦКОЕ РУП ТН «ДРУЖБА»
ЧУП «ЗАПАД-ТРАНСНЕФТЕПРОДУКТ»
ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

НАДЕЖНОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ МАГИСТРАЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА

*Материалы
VI международной научно-технической
конференции*



Новополоцк
ПГУ
2008

УДК 622.69
Н17

Редакционная коллегия:

канд. техн. наук, доц. Липский В.К. (*председатель*)
канд. техн. наук Бордовский А.М.
д-р техн. наук, проф. Голуб М.В., Захаревич С.М.

Рецензенты:

д-р техн. наук, проф. Прохоров А.Д. (Москва)
д-р техн. наук, проф. Сосновский В.Л. (Гомель)

Н17 **Надежность и безопасность магистрального трубопроводного транспорта** : материалы VI международной научно-технической конференции. – Новополоцк : УО «ПГУ», 2008. – 248 с.

ISBN 978-985-418-253-7.

В сборник включены статьи по проблемам обеспечения безопасности при эксплуатации, диагностике и техническом обслуживании трубопроводов и оборудования нефтегазопроводов и нефтегазохранилищ, а также по экологическим, экономическим и правовым аспектам этой проблемы.

Материалы предназначены для научных и инженерно-технических работников, занятых проектированием, сооружением и эксплуатацией трубопроводного транспорта, а также для преподавателей вузов, аспирантов, магистрантов и студентов.

УДК 622.69

ISBN 978-985-418-253-7

© Учреждение образования
«Полоцкий государственный университет», 2008

1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ, НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

УДК 621.643

ВИДЫ НАГРУЗОК, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА ТРУБОПРОВОД ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ В СЕЙСМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ ЗОНАХ

Е.В. Андреева

ООО «Институт ВНИИСТ», Москва, Россия

Значительная часть территории России, где в перспективе будет осуществляться строительство трубопроводов, относится к зонам с повышенной сейсмичностью. Для трубопроводов, в особенности при подземной прокладке, наличие зон сейсмического риска является важным фактором, поскольку трубопроводы могут подвергаться продольным деформациям и изгибам, что впоследствии может привести к образованию разрывов на поверхности трубы. Поэтому сочетание множественных горизонтальных и вертикальных подвижек должно лежать в основе разработки трубопроводных сетей, проектируемых для сейсмически опасных участков.

Магистральные трубопроводы составляют важную часть в составе нефтегазовых и гидротранспортных комплексов. В настоящее время значительные объемы трубопроводного строительства приходится на сейсмически опасные районы различных регионов страны и зарубежья.

Анализ последствий землетрясений показал, что разрушение или даже единичный разрыв крупного магистрального трубопровода ведет к серьезным нарушениям в энергетическом и сырьевом снабжении обширных районов, к возникновению больших очагов пожаров и взрывов, прекращению водоснабжения, экологическим и другим катастрофам.

Нарушения работы магистральных трубопроводов в сейсмических районах вызываются колебаниями и подвижками почвы, возникающими вследствие динамических воздействий во время землетрясений и мощных взрывов. Установлено, что, хотя эти воздействия носят пространственный характер, вертикальные перемещения в подавляющем большинстве слу-

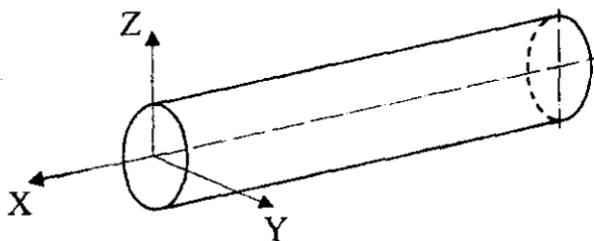
чаев меньше горизонтальных. Характерно, что зачастую трубопроводы разрушаются в результате осевого растяжения (сжатия), особенно в случаях совпадения распространения сейсмической волны с направлением трубопровода.

Магистральные трубопроводы представляют собой протяженные гибкие конструкции, состоящие из прямолинейных и криволинейных участков, и допускают, в определенных пределах, возможность пластической деформации или подвижки без разрушения целостности конструкции.

Первичные множественные смещения, вызванные сейсмической деятельностью, наблюдаются чаще всего на горизонтальной плоскости, параллельной земной поверхности, в сочетании с движениями гораздо более мелкими и потому менее существенными по вертикали. Зачастую именно эти мелкие вертикальные смещения игнорируются на этапе проектирования сетей.

Сочетание множественных горизонтальных и вертикальных подвижек должно лежать в основе разработки трубопроводных сетей, проектируемых для так называемых сейсмически опасных участков. Масштабы сейсмических смещений варьируются от сантиметров до нескольких дециметров в зависимости от силы землетрясения, близости к его эпицентру и жесткости конструкций.

Таким образом, при первичном движении трубопровода происходит взаимодействие между грунтом и трубопроводом. Смещения могут происходить в одном осевом и двух перпендикулярных направлениях (рисунок).



Направления смещения трубопровода
при сейсмическом воздействии

Осевой упругий элемент зависит от веса трубопровода и от коэффициента трения между естественным грунтом и трубопроводом.

Максимальная осевая нагрузка грунта t_u для полностью заглубленного трубопровода может быть выражена:

$$t_u = \pi D \alpha c + \pi D H \bar{\gamma} \cdot \left(\frac{1 + K_0}{2} \right) \cdot \tan \delta, \quad (1)$$

где D – внешний диаметр трубопровода, м; α – коэффициент адгезии; c – связность грунта или сопротивление сдвигу, кН/м² (для совершенно сыпучих песков $c = 0$); H – глубина до оси трубопровода, м; $\bar{\gamma}$ – удельный вес погруженного грунта, кН/м³; K_0 – коэффициент давления в состоянии покоя: $K_0 = 1 - \sin \Phi$ (Φ – внутренний угол трения грунта); δ – угол трения в точке соприкосновения для трубопровода и грунта.

Поперечные горизонтальные смещения зависят от сжимаемости и толщины рыхлого грунта, размещенного вокруг трубопровода. Сжимаемостью называют способность дисперсных горных пород уменьшаться в объеме (уплотняться) при всестороннем сжатии.

Оценка сжимаемости производится по коэффициенту уравнения уплотнения, написанного в предположении изотропного сжатия вещества:

$$\Delta \varepsilon = m_v \Delta \sigma, \quad (2)$$

где $\Delta \varepsilon$ – относительное уменьшение высоты образца при увеличении давления на торце на величину $\Delta \sigma$; m_v – коэффициент относительной сжимаемости.

Сжатие даже крупными ступенями давления $\Delta \sigma$ может выявить значение «структурной прочности» σ_{sr} , начиная с которого сжимаемость заметно увеличивается вследствие лавинообразного разрушения межчастичных связей.

Считается, что при $\sigma \leq \sigma_{sr}$ объем породы практически не уменьшается и находится в состоянии одноосного сжатия. Сжимаемость проявляется, лишь когда $\sigma > \sigma_{sr}$, при этом грунт раздроблен и испытывает равномерное объемное сжатие, которое следует характеризовать изотропным распределением давления.

Под действием нагрузки в определенных зонах грунта связи между частицами разрушаются, и происходит смещение одних частиц относительно других – грунт приобретает способность неограниченно деформироваться. Разрушение грунта происходит в виде перемещения одной части массива относительно другой.

Свойства деформации характеризуются модулем деформации, коэффициентом Пуассона, коэффициентами сжимаемости и консолидации, модулями сдвига и объемного сжатия.

Деформационные свойства дисперсных грунтов определяются их сжимаемостью под действием нагрузки, обусловленной смещением частиц относительно друг друга и соответственно уменьшением объема пор вследствие деформации частиц породы, воды, газа.

При определении сжимаемости грунтов различают показатели, характеризующие зависимость конечной деформации от нагрузки и изменение деформации грунта во времени при постоянной нагрузке. К первой характеристике показателей относятся коэффициент уплотнения, коэффициент компрессии, модуль осадки; ко второй – коэффициент консолидации.

Во время как осевые и горизонтальные смещения характеризуются симметричным отношением (одно и то же отношение сила/смещение независимо от направления движения), вертикальная компонента является несимметричной. Фактически при движении, направленном вниз, трубопровод действует как ленточный фундамент, тогда как при движении вверх трубопровод пытается прорвать грунт. Следовательно, сила ограничения, связанная с прорывом вверх, будет значительно меньше, чем смятие, действующее вниз.

Вертикальные поперечные смещения, действующие в направлении вверх, зависят от веса засыпки, сжимаемости и вида грунта вокруг трубопровода. В связи с этим трубопроводы, прокладываемые в сейсмических районах, независимо от вида прокладки (подземной, наземной или надземной) необходимо рассчитывать на основные и особые сочетания нагрузок с учетом сейсмических воздействий.

Расчет на сейсмические воздействия выполняется на основе двухуровневого подхода, который характеризуется следующими требованиями:

- трубопровод должен выдерживать воздействие так называемого проектного землетрясения при минимальных повреждениях или полном отсутствии таковых. В этом случае трубопровод должен продолжать работать при минимальных перерывах в нормальной эксплуатации без необходимости в значительных ремонтных работах;

- трубопровод должен выдерживать воздействие максимального расчетного землетрясения без разрывов. В этом случае трубопроводу могут быть нанесены значительные повреждения, в результате которых будет прервана эксплуатация, а для их устранения потребуются провести ремонтные работы в одном или нескольких местах.

СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОГО ТРУБОУКЛАДОЧНОГО ФЛОТА ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И РЕМОНТА МОРСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ

А.И. Беспалов

*Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина,
Москва, Россия*

В настоящее время не вызывает сомнения то, что будущее нефтяной и газовой промышленности связано с месторождениями, расположенными в акваториях морей и океанов. В связи с тем, что в ближайшие 10 лет ожидается резкое увеличение объемов строительства морских трубопроводов в России и в мире, российским компаниям необходимо создать свой современный трубоукладочный флот. Это позволит занять нишу на достаточно доходном рынке морского сооружения и обеспечить выполнение работ по укладке на российских проектах морских трубопроводов.

Российская Федерация имеет самые обширные в мире шельфовые зоны, площадь составляет почти 22 % общей площади континентального шельфа Мирового океана. Перспективными для добычи нефти и газа являются 70 % этих территорий. Извлекаемые ресурсы углеводородов на континуальном шельфе составляют около 100 млрд. т условного топлива. Основная их часть находится в замерзающих морях с тяжелым ледовым режимом, суровыми природно-климатическими условиями и слабо развитой инфраструктурой.

Освоение нефтегазовых месторождений в арктическом регионе будет сопряжено со значительными капиталовложениями, затрачиваемыми на строительство дорогостоящих гидротехнических сооружений.

Для огромных месторождений Арктики экономически целесообразным видом транспортировки углеводородов являются трубопроводы.

Исходя из анализа перспективных проектов производства строительства морских трубопроводов в ближайшие годы, можно сделать вывод об актуальности для нашей страны решения всех вопросов, связанных с морскими трубопроводными проектами. Выделены основные назначения перспективных морских трубопроводов России: транспортировка добываемой продукции; экспортные поставки газа по транснациональным морским газопроводам и снабжение газом потребителей страны [1]. По самым скромным подсчетам по российским проектам до 2030 года необходимо построить около 11500 км подводных магистралей (табл. 1). Это – транспортная

система Штокмановского ГКМ; экспортный трубопровод NORD STREAM; магистральный трубопровод, пересекающий Байдарацкую Губу; газопровод «Джубга – Лазаревское – Сочи», «Голубой поток-2», «Южный поток»; трубопроводы в Баренцевом, Карском, Печерском, Каспийском и в дальневосточных морях. Основные объемы строительства планируются на второе десятилетие XXI века.

Таблица 1

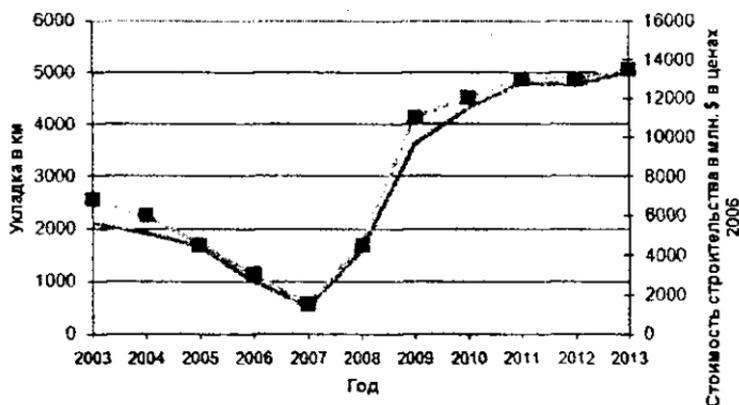
Итоговая таблица прогнозных объемов строительства морских трубопроводов

Регион строительства	Протяженность планируемых трубопроводов (S-метод), км	Протяженность планируемых трубопроводов (J-метод), км	Сроки реализации основных проектов, по годам	Диаметры, дюйм	Максимальные глубины, м
Балтийское море	2456	–	2008 – 2014	48	200
Баренцево море	2440	–	2009 – 2023	18 – 46	320
Печорское море	300	–	2009 – 2020	32	250
Карское море – Пряймальский шельф	1770	–	2008 – 2030	40	100
Карское море – акватория Обской и Тазовской губ	250*	–	2008 – 2030	20 – 40	12
Черное море	760	2000	2009 – 2030	20 – 32	2200
Охотское море	500	–	2015 – 2030	20 – 28	200
Каспийское море	1000**	–	2008 – 2030	20 – 32	500
Итого	9476	2000	–	–	–

* – ТУС II поколения, ** – закрытая акватория для ТУС международных компаний.

Исходя из объемов строительства морских трубопроводов в ближайшие 5 лет (в мировом масштабе) ожидается значительное увеличение объемов работ по укладке. Ежегодно будет укладываться до 5500 км подводных магистралей. К 2013 году объем рынка будет составлять ~ 13 млрд. долл. США. На рисунке 1 представлены объемы строительства морских трубопроводов по различным регионам в период с 2003 по 2013 год.

Основная масса этих проектов с точки зрения строительства (большая глубина укладки, большие диаметры трубопроводов) относится к дорогостоящим и сложным, соответственно, выполнить работы по этим проектам может ограниченное количество трубоукладочных судов.



Объемы строительства трубопроводов в мире

--- Объемы строительства трубопроводов
 —■— Стоимость строительства

Рис. 1. Итоговые объемы строительства морских трубопроводов

Необходимо отметить, что большинство судов (в основном с якорной системой позиционирования) достаточно старые. Несмотря на то, что показатели работы этих судов все еще высоки, они подвержены серьезным авариям, что может привести к необходимости ставить судно в сухой док для выполнения ремонтных работ и в итоге отразиться на объемах строительства трубопроводов и загруженности трубоукладочных судов.

Приблизительно половина проектов по укладке морских трубопроводов находится за пределами глубин, на которых могут быть применены суда с якорной системой позиционирования. Это в свою очередь приведет к чрезмерно активной эксплуатации судов с динамическим позиционированием [2].

Сооружение объектов на глубоководных участках (более 500 м) является на сегодняшний день самым быстрорастущим рынком морского строительства.

Многие мировые компании мира, занимающиеся строительством морских нефтегазовых объектов, придерживаются стратегии увеличения своего присутствия на рынке глубоководного сооружения (рис. 2). Для этого им необходимо модернизировать существующий строительный флот.

Все вышесказанное свидетельствует о том, что в мощностях на рынке укладки трубопроводов в ближайшей перспективе будет ощущаться растущий дефицит, и единственным выходом из сложившейся ситуации на

рынке морских трубоукладочных судов для российских компаний является создание своего современного строительного флота.

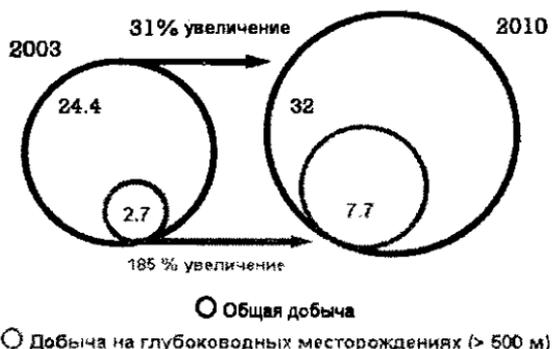


Рис. 2. Мировая добыча нефти на морских месторождениях (млн. баррелей в сутки)

Для реализации российских проектов необходимо создать современный строительный флот, флагманом которого послужит универсальное строительное судно нового поколения. Данное судно предназначено для строительства и ремонта подводных трубопроводов диаметром от 300 до 1524 мм (60") при глубине моря до 2000 м. Район эксплуатации – неограниченный, включая моря арктического бассейна в свободный ото льда период времени. Судно также будет использоваться для установки различных подводных конструкций (объекты подводно-добычного комплекса), должно быть оснащено кранами общей грузоподъемностью до 2000 т. Ввиду короткого навигационного периода предполагаемых районов строительства судно должно быть полупогружного или катамаранного типа, что обеспечит лучшую устойчивость при сложных гидрологических условиях. На судне необходимо установить оборудование по укладке морских трубопроводов S-методом: 4-х секционный стингер с изменяющимся радиусом кривизны (от 80 до 400 м); натяжные устройства и спускоподъемные лебедки мощностью до 1500 т.

Установка столь мощных натяжных устройств позволит производить укладку трубопровода, заполненного водой, сложные ремонтные операции, использовать одновременную разработку траншею плугом и укладку трубопровода. Установка мощных натяжных устройств и стингера с изменяющимся радиусом кривизны позволит осуществлять глубоководную укладку трубопровода методом вертикального спуска (J-метод).

Все это в целом облегчит проведение ремонтных работ, повысит надежность укладки трубопроводов на больших глубинах, уменьшит затраты по снижению опасности возникновения смятия трубопровода.

Учитывая всё возрастающую ответственность России в вопросах охраны природы, предполагаемое судно должно иметь смешанную систему позиционирования, что позволит значительно снизить нагрузку на окружающую среду. Такое решение позволит существенно сократить эксплуатационные расходы при укладке трубопровода на относительно малых глубинах (до 400...600 м) с использованием только якорной системы позиционирования вследствие значительной экономии топлива за счет отказа от работы подруливающих устройств и двигателей, входящих в систему динамического позиционирования и имеющих значительную мощность (до 30...40 тыс. кВт и более).

Преимущества и недостатки систем позиционирования трубоукладочного флота представлены в таблице 2.

Таблица 2

Преимущества и недостатки систем позиционирования трубоукладочного флота

Системы позиционирования	Преимущества	Недостатки
 <p>Якорное позиционирование</p>	<p>Экономия топлива</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Нецелесообразно использовать на больших глубинах. 2. Трудности установки якорей вблизи морских платформ, трубопроводов, островов, маршрутов движения судов. 3. Привлечение дополнительных судов – якорезавозчиков. 4. Необходимость перекладки якорей, возможные задержки при штормах
 <p>Динамическое позиционирование</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Возможность работы практически на всех глубинах. 2. Нет необходимости в применении якорезавозчиков 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Взмучивание придонного грунта на небольших глубинах. 2. Дополнительный расход топлива

Исходя из вышеперечисленных условий, универсальное судно будет способно производить весь комплекс морских строительных работ на глубинах до 2000 м по перспективным российским проектам.

Привлечение иностранного подрядчика в среднем составляет около 30 % бюджета строительства морских трубопроводов, в связи с высокой стоимостью технических средств освоения континентального шельфа (предварительная стоимость данного судна составляет 800 млн. долл. США). Данное универсальное судно будет иметь плотный график работы по российским проектам, что свидетельствует о рентабельности создания собственного трубоукладочного флота.

Исходя из вариантов создания собственного трубоукладочного флота, можно рассмотреть следующие: строительство нового трубоукладочного судна; покупку и переоборудование готового судна; аренду.

С точки зрения капитальных вложений в варианте аренды судна они минимальны. Вариант создания нового судна – самый капиталоемкий. После проведения расчета технико-экономических показателей различных вариантов можно сделать вывод, что на ближайшую перспективу (около 10 лет) вариант с покупкой и переоборудованием готового судна наиболее целесообразен (внутренняя норма доходности проекта – 22 %, дисконтированный срок окупаемости – 5,2 лет). Но если учесть долгосрочные перспективы до 2030 года, создание собственного трубоукладочного судна является самым интересным вариантом – внутренняя норма доходности 27 %.

С учетом объемов и сложности строительства российских морских объектов можно сделать вывод о целесообразности данного инвестиционного проекта. На первых этапах возможна аренда или покупка «трубоукладочного судна – б/у иномарки», но для дальнейшего развития морских нефтегазовых объектов целесообразно строить собственное трубоукладочное судно. Создание собственного высокотехнологичного строительного флота – это дорогостоящая задача и быстро её решить нельзя. Это цель второго десятилетия XXI века и без поддержки государства справиться с выполнением поставленных задач будет достаточно сложно. Поэтому на сегодняшний день вопросы создания флота для реализации шельфовых проектов стоят очень остро и требуют скорейшего решения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горяинов, Ю.А. Морские трубопроводы / Ю.А. Горяинов, А.С. Федоров, Г.Г. Васильев. – М.: Недра-Бизнесцентр, 2001. – 131 с.
2. Бородавкин, П.П. Морские нефтегазовые сооружения / П.П. Бородавкин. – М.: Недра-Бизнесцентр, 2007. – 408 с.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И УСТРОЙСТВУ СТАЛЬНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ

В.К. Липский¹, Л.М. Спиридёнок¹, И.А. Свирко²

¹УО «Полоцкий государственный университет», Новополоцк, Беларусь.

²ОАО «Нефтезаводмонтаж», Новополоцк, Беларусь

В настоящее время на предприятиях Республики Беларусь большинство резервуаров имеют значительный срок эксплуатации. Построенные в 60 – 70-е годы прошлого столетия резервуары в ближайшие годы будут иметь отбраковочные толщины и потребуют замены. Ежегодно значительное количество резервуаров подвергается реконструкции и ремонту в результате влияния коррозии, осадки, выхода из строя плавающих крыш, понтонов, усталостного разрушения металла из-за различных дефектов несовершенства геометрической формы, влияния циклических нагрузок и т.д.

Вертикальные цилиндрические резервуары для нефти и нефтепродуктов представляют собой весьма ответственные инженерные сооружения, авария которых может привести к экономическому и экологическому ущербу, несоизмеримому со стоимостью самого сооружения.

Вопрос надежности резервуаров является объектом постоянного внимания органов Государственного надзора в части промышленной, пожарной и экологической безопасности. Приказом Минстройархитектуры Республики Беларусь с 1.07.2007 года введен в действие технический кодекс установившейся практики ТКП 45-5.04-41-2006(02250) «Стальные конструкции. Правила монтажа», который содержит раздел «Монтаж резервуарных конструкций». Однако в Беларуси отсутствуют технические нормативные правовые акты (ТНПА), отражающие правила проектирования и устройства резервуаров на стадии изготовления. Действующий СНиП II-23-81* «Нормы проектирования.

Стальные конструкции» при проектировании резервуаров требует соблюдения дополнительных требований, отражающих особенности их работы. Можно привести примеры основных зарубежных стандартов, предъявляющих требования к проектированию и устройству резервуаров:

- в России – ПБ 03-605-03 «Правила устройства вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов»;

- на Украине – ВБН В.2.2-58.2-94 «Резервуары вертикальные стальные для хранения нефти и нефтепродуктов с давлением насыщенных паров не выше 93,3 кПа;

- в Казахстане – СН РК3.05-24-2004 «Инструкция по проектированию, изготовлению и монтажу вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов»;

- в странах Европейского Союза – стандарт prEN14015:2003 «Технические условия для проектирования и устройства наземных вертикальных цилиндрических стальных сварных резервуаров для хранения жидкостей при температуре окружающей среды и выше»;

- в США – стандарт API 650 «Сварные стальные резервуары для хранения нефтепродуктов».

В Республике Беларусь ТНПА аналогичного статуса отсутствуют. Именно поэтому ОАО «Нефтезаводмонтаж» выступило инициатором необходимости разработки технического кодекса установившейся практики – ТКП «Стальные вертикальные цилиндрические резервуары для хранения нефти и нефтепродуктов. Правила проектирования и устройства».

В августе 2007 года специалисты ОАО «Нефтезаводмонтаж» совместно с кафедрой трубопроводного транспорта УО «Полоцкий государственный университет» разработали и направили техническое задание на разработку ТКП в РУП «Стройтехнорм».

Необходимость разработки ТКП обусловлена значительным прогрессом в технологии изготовления резервуаров, повышением требований к качеству их изготовления, внедрением новых, передовых методов изготовления, сварки и антикоррозионной защиты, необходимостью строительства новых и замены исчерпавших эксплуатационный ресурс резервуаров.

При разработке нормативной базы по резервуарам предстоит изучить имеющуюся нормативную базу других стран, при этом учесть следующее:

1) расчет резервуаров по европейскому стандарту и американским нормам выполняется на основе метода допускаемых напряжений, тогда как отечественная и российская методики расчетов основаны на методе предельных состояний;

2) узел сопряжения стенки и примыкающих к ней листов днища (уторный узел) представляет наиболее нагруженную и ответственную часть вертикальных цилиндрических стальных резервуаров. Однако в существующих нормативных документах методика расчета этого узла не дается. Расчетная часть нового нормативного документа по проектированию резервуаров должна содержать удобную для практического применения методику расчета узла сопряжения стенки и днища;

3) ключевым этапом проектирования резервуаров является назначение толщин стенки из условия прочности и устойчивости. Сравнение оте-

чественных и зарубежных нормативных документов по резервуаростроению показывает, что методики прочностного расчета этих сооружений, регламентированные ПБ 03-605-03 и СНиП II-23-81*, основаны на устаревших представлениях о работе стенки под нагрузкой. Необходимо рассмотреть новые существующие методы уточненного расчета стенки резервуара, которые могут рассматриваться как основа расчетной части новых нормативных документов по проектированию резервуаров;

4) в современном резервуаростроении возрастает доля применения резервуаров с защитной стенкой (установленных в стальном стакане). Это связано с повышением требований надежности и экологической безопасности отдельных резервуаров и терминалов. Методика расчета двустенного резервуара должна производиться с учетом влияния несосимметричной гидродинамической нагрузки от разливающегося продукта, предполагая, что традиционная конструкция двустенного резервуара без усиления основной и защитной стенки не обеспечит локализацию аварии после разрушения основного резервуара;

5) узел приема-раздачи является одной из наиболее проблемных зон, требующих особого внимания при проектировании резервуаров. Наличие концентраторов напряжений в сварных швах, циклический характер действия нагрузок и осадки основания являются неблагоприятными факторами, ухудшающими условия работы конструктивных элементов узла приема-раздачи. Нормативные требования по проверке прочности врезок в стенку резервуара отсутствуют в отечественных нормах, а в американском стандарте носят рекомендательный характер. Таким образом, имеет место парадоксальная ситуация, связанная с тем, что наиболее напряженные участки стенки резервуара не регламентируются расчетом, что противоречит здравому смыслу;

6) геометрическая точность корпусов резервуаров, оказывающая существенное влияние на их надежность и долговечность, является постоянной проблемой резервуаростроения. Технология изготовления резервуаров методом рулонирования хотя и является более промышленной, однако имеет свои существенные недостатки. Сворачивание, разворачивание рулонов и формообразование краев полотнищ стенки приводит к охрупчиванию и снижению ударной вязкости металла, создает дополнительные напряжения и деформации, которые впоследствии в совокупности с другими факторами отрицательно влияют на прочность и долговечность конструкции. Поэтому в новых нормативных документах необходимо предусмотреть требования к изготовлению резервуаров методом рулонирования в за-

висимости от объема резервуара, а также требования к геометрической точности листовых конструкций на стадии их изготовления;

7) срок службы резервуаров для нефти и нефтепродуктов определяется, в основном, скоростью коррозии их внутренних поверхностей. Большинство эксплуатирующихся в республике стальных резервуаров не имеют внутренней антикоррозионной защиты, поэтому влияние этого фактора возрастает еще больше. Реальный срок службы резервуаров без защиты от коррозии составляет 20...25 % от ресурса, оцениваемого без учета коррозионного фактора. В настоящее время при заказе и проектировании резервуаров все чаще применяют практику утолщения стенки на величину припуска на коррозию 2...3 мм, что нецелесообразно при наличии современных антикоррозионных материалов, позволяющих выполнять долговременную защиту от коррозии на срок до 20 лет. Разработка в ТКП положений и требований к антикоррозионной защите резервуаров позволит значительно увеличить срок их службы. Защита резервуаров от коррозии должна проводиться на основании анализа условий эксплуатации, климатических факторов, атмосферных и иных воздействий на наружные поверхности резервуаров, а также вида и степени агрессивного воздействия хранимого продукта и его паров на внутренние поверхности. По результатам анализа должен быть разработан отдельный проект или раздел в составе проекта КМ (конструкции металлические) по антикоррозионной защите резервуара с указанием системы защиты и срока службы при выполнении принятых в проекте технических решений.

Разработка ТКП позволит проектным организациям и промышленным предприятиям Республики Беларусь развивать направление по проектированию и выпуску резервуаров, повысить надежность, долговечность и экологическую безопасность этих сооружений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сафарян, М.К. Металлические резервуары и газгольдеры / М.К. Сафарян. М.: Недра, 1987. – 200 с.
2. Новые решения конструкций, технологии сооружения и ремонта стальных резервуаров: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Самара, 2007. – 204 с.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ
ФУНКЦИОНАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ IDEF0
ПРИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОПАСНОСТЕЙ
В МАГИСТРАЛЬНОМ ТРУБОПРОВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ**

А.Н. Воронин, Н.Н. Пистуневич

УО «Полоцкий государственный университет», Новополоцк, Беларусь

202462 -
Предлагается использовать методологию функционального моделирования IDEF0 при идентификации опасностей на предприятии магистрального трубопроводного транспорта. Начальным этапом при данной методологии функционального моделирования является выявление бизнес-процессов, происходящих на предприятии и ведущих к основной цели деятельности предприятия. Так как целью создания функциональной модели предприятия трубопроводного транспорта является идентификация опасностей на предприятии, то в качестве «входов» предлагается использовать опасные факторы влияния, а в качестве «выходов» – опасности, создавая удобство при идентификации опасностей. Причем в данном случае этот подход позволит исследовать опасности именно в процессах деятельности предприятия (процессный подход), а не в опасных производственных объектах, т.е. это позволит отойти от элементов (статике) и перейти к процессам (динамике), учитывающим временной фактор.

Постановка задачи. Становление и расширение торговых отношений на мировой арене определяется во многом при полноценном участии стандартизации и технического нормирования. Именно поэтому для проведения успешной деятельности по интеграции Республики Беларусь в мировое экономическое сообщество необходимо адаптировать национальную систему стандартизации к требованиям, предъявляемым мировым сообществом.

Существование различных подходов в национальной и международной системах стандартизации, а также стремление Республики Беларусь стать членом ВТО оказали влияние на проведение реформирования национальной системы технического нормирования и стандартизации. В 2004 году в Республике Беларусь был принят и вступил в действие Закон «О техническом нормировании и стандартизации» [1]. Концептуально реализация данного Закона предусматривает поэтапный переход на новую систему техниче-

УДК 006.621.6.033 ПДУ

ского нормирования и стандартизации. В частности, предстоит провести структурную перестройку нормативной базы, сформировавшейся за многие десятилетия. Необходимость такой перестройки определяет своей стратегической целью улучшение такой характеристики продукции национальных производителей и сферы услуг, как безопасность. Потребительские же характеристики продукции и сферы услуг будут полностью определяться производителями, что на рынке создаст многовариантное предложение продукции-аналога. В такой ситуации спрос на продукцию и сферу услуг будет являться функцией ее потребительских характеристик, что будет способствовать повышению конкурентоспособности продукции и сферы услуг.

Системообразующим фактором новой системы технического нормирования и стандартизации является обязательное обеспечение требований безопасности продукции на всех этапах ее жизненного цикла, содержащихся в технических регламентах, и добровольное соблюдение потребительских свойств продукции, содержащихся в стандартах. Безопасность можно рассматривать как отсутствие опасности либо сведение вероятности ее возникновения, а также масштабов последствий до приемлемого уровня – допустимого риска. Отсюда следует, что одним из ключевых понятий реформы технического нормирования и стандартизации являются понятия «опасность» и «риск». Согласно Рекомендациям по разработке технических регламентов «опасность – источник причинения вреда жизни, здоровью и наследственности человека, имуществу и окружающей среде» [2]. Дефиниция второго термина трактуется как «сочетание вероятности причинения вреда жизни, здоровью и наследственности человека, имуществу и окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений и последствий этого вреда». Данная интерпретация отвечает подходу, когда риск рассматривается как математическое ожидание последствий возникновения опасности, что является наиболее удобным и находит широкое применение для решения ряда задач научного и практического характера.

Так, в Рекомендациях по разработке технических регламентов предусмотрен перечень опасностей, которые необходимо учесть при рассмотрении объектов технического нормирования и стандартизации [2]:

- опасность от излучения;
- биологическая опасность;
- взрывоопасность;
- механическая опасность;
- пожарная опасность;
- промышленная опасность;

- термическая опасность;
- химическая опасность;
- электрическая опасность;
- ядерная и радиационная опасность;
- опасность от электромагнитной несовместимости в части нарушения работы приборов и оборудования.

Таким образом, в целях разработки технических нормативных правовых актов в рамках нового закона возникла объективная необходимость, когда в каждой отрасли промышленности следует выработать алгоритм проведения процедуры идентификации (выявления), таксономии (классификации и ранжирования), квантификации (количественного выражения) номенклатуры опасностей и создать методологию вышеуказанных процедур.

Основная часть. Ситуация, заключающаяся в поиске адекватного подхода к идентификации, таксономии и квантификации номенклатуры источников причинения вреда жизни, здоровью и наследственности человека, имуществу и окружающей среде, возникла и перед отраслью магистрального трубопроводного транспорта, входящего в состав энергетического комплекса страны. Признано, что магистральный трубопроводный транспорт является одним из самых экологически безопасных видов транспорта, и в то же время потенциальные масштабы проявления опасностей могут аккумулировать значительно больший ущерб, наносимый экологической, экономической и социальной системам. Поэтому процедура идентификации опасностей – одна из первых на пути создания новой технической нормативно-правовой базы – является наиболее актуальной в целях реализации реформирования системы технического нормирования и стандартизации.

Решая задачу идентификации опасностей объектов магистрального трубопроводного транспорта различного функционального назначения, в целях обеспечения простоты и удобства выполнения процедуры следует руководствоваться средствами моделирования, т.е. необходимо создать модель отрасли, соответствующую целевому назначению. Существенным является то обстоятельство, что зарождение и проявление опасностей в отрасли магистрального трубопроводного транспорта происходит при выполнении процессов, находящихся между собой в состоянии взаимозависимости и взаимовлияния. Это дает основание полагать, что основными элементами при создании модели отрасли магистрального трубопроводного транспорта будут взаимосвязи и процесс.

Так как отрасль магистрального трубопроводного транспорта прежде всего представляет собой систему, то в создании модели рациональным будет применение системного подхода, который каждый объект (процесс) рассматривает как систему с множеством входов и выходов. Главной причиной множественности входов и выходов в модели является то, что всякая реальная система взаимодействует с объектами окружающей среды неограниченным числом способов. Строя модель системы, из этого бесчисленного множества связей необходимо отобрать конечное их число. Критерием отбора при этом является целевое назначение модели [3].

При помощи подобного подхода эта задача решается в области системы менеджмента качества в рамках ISO 9001:2000, поэтому наработанный опыт в данной сфере может представлять непосредственный интерес и для моделирования предприятия магистрального трубопроводного транспорта.

Для вышеизложенных целей целесообразно использовать методологию функционального моделирования структуры процессов *IDEF0*, ориентированную на процессный подход. Данная методология в совокупности с возможностью графического представления производственной деятельности предприятия (отрасли) в виде прямоугольных блоков (процессов) и дуг (взаимосвязей) делает такую структуру объектов процесса удобной для применения, так как обладает наглядностью и простотой.

В соответствии с методологией функционального моделирования структуры процессов *IDEF0* объекты процесса (функции) типа «вход» разделяются на три категории» [4]:

- собственно входы (перерабатываемые ресурсы);
- управление (неперерабатываемые, изнашиваемые ресурсы);
- механизмы (неперерабатываемые, изнашиваемые ресурсы).

«Входы» процесса представляют собой ресурсы, которые будут в результате выполнения процесса подвергнуты изменению. Отличительная черта «входов» заключается в том, что они в том или ином виде, полностью или частично войдут в состав «выхода» процесса. «Механизмы» процесса – неперерабатываемые, но частично изнашиваемые ресурсы. Их можно легко идентифицировать, задавая вопрос: «С помощью чего выполняется преобразование «входов» в «выходы»? «Управление» процесса можно легко идентифицировать, задавая вопрос: «На основании чего выполняется преобразование «входов» в «выходы» [4].

Для того чтобы средствами моделирования охватить всю деятельность предприятия магистрального трубопроводного транспорта, целесообразным будет создать функциональную, информационную и поведенческую модели.

Чтобы модель предприятия магистрального трубопроводного транспорта по методологии *IDEFO* была полностью конгруэнтна поставленным целям (идентификации опасностей), предлагается произвести некоторые преобразования в объектах процесса типа «вход» и «выход». В качестве «входов» процесса будут использованы «факторы влияния» [5] на опасность, а в качестве «выходов» – опасности. В условиях, при которых производственная деятельность предприятия включает несколько процессов, в качестве «выходов» кроме опасностей будут также представлены и факторы влияния, зарождающиеся в одном процессе и переходящие в следующий процесс. Тогда объекты процесса типа «вход», «выход» можно представить следующим образом (рисунок).



Объекты процесса типа «вход», «выход»

Применение данного подхода можно продемонстрировать на примере предприятия магистрального трубопроводного транспорта – компрессорной станции.

Для более тщательного процесса идентификации опасностей объекта, а в нашем случае компрессорной станции, необходимо процесс «транспортировать газ» декомпозировать до элементарного уровня либо уровня, удовлетворяющего поставленным целям.

Заклучение. В данной статье предлагается использовать методологию функционального моделирования *IDEFO* при идентификации опасностей на предприятии магистрального трубопроводного транспорта. Начальным этапом при данной методологии функционального моделирования является выявление бизнес-процессов, происходящих на предприятии и ведущих к основной цели деятельности предприятия.

Так как целью создания функциональной модели предприятия трубопроводного транспорта является идентификация опасностей на предприятии, то в качестве «входов» предлагается использовать опасные факторы

влияния, а в качестве «выходов» – опасности, создавая удобство при идентификации опасностей.

Применение процессного подхода в методологии моделирования *IDEFO* в совокупности с предложенным подходом, в котором в качестве объектов типа «вход» используются факторы влияния, а в качестве объектов типа «выход» – опасности и факторы влияния, позволит более наглядно «увидеть» тот перечень опасностей, который свойственен предприятию магистрального трубопроводного транспорта. Причем в данном случае этот подход позволит исследовать опасности именно в процессах деятельности предприятия (процессный подход), а не в опасных производственных объектах, т.е. это позволит отойти от элементов и перейти к процессам.

ЛИТЕРАТУРА

1. О техническом нормировании и стандартизации: Закон Респ. Беларусь от 5 января 2004 г., № 262-3. – Минск: Госстандарт, 2004. – 67 с.
2. Технические регламенты. Рекомендации по разработке. – Минск: БелГИСС, 2004. – 32 с.
3. Перегудов, Ф.И. Введение в системный анализ: учеб. пособие для вузов / Ф.И. Перегудов, Ф.П. Тарасенко. – М.: Высш. шк., 1989. – 367 с.
4. Серенков, П.С. Методы менеджмента качества. Методология описания сети процессов: моногр. / П.С. Серенков, А.Г. Курьян, В.Л. Соломахо. – Минск: БНТУ, 2006. – 484 с.
5. Оценка эффективности системы защиты окружающей среды при авариях на магистральных нефтепроводах / В.К. Липский [и др.] // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В. Прикладные науки. – 2006. – № 3. – С. 155 – 162.