

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗРУШЕНИЯ МЕТАЛЛОПЛАСТОВЫХ ТРУБ

Виноградов Д.А., Фаттахов М.М., Сергеев С.М.,
Салагаева Е.В., Юнусова А.И.

Уфимский государственный нефтяной технический университет

С целью прогноза характера разрушения металлопластовых труб проведены исследования их напряженно-деформированного состояния методом конечных элементов. Натурные испытания металлопластовых труб подтвердили данные теоретических и экспериментальных исследований.

Одним из эффективных и перспективных методов повышения эксплуатационной надежности и коррозионной стойкости трубопроводных систем различного назначения является применение трубопроводов из полимерных материалов. При этом их отличает большая пропускная способность и значительно меньшие затраты на изготовление и монтаж. Однако ограничивающим фактором более широкого применения труб из термопластов являются рабочие давления (до 1 МПа). В связи с этим повышение несущей способности пластмассовых труб, например, за счет их армирования позволит значительно расширить область их применения.

В начале 80-х годов прошлого столетия отечественной промышленностью, с учетом наших разработок и рекомендаций [1-3], освоено производство металлопластовых труб, которые с успехом применяются на нефтепромыслах Западного Урала, Сибири, Кавказа и Удмуртии при рабочих давлениях до 4,0 МПа (испытательное давление – 6,0 МПа).

Металлопластовые трубы (МПТ) изготавливаются методом экструзии из полиэтилена низкого давления марок 289-136, 289-137 по ТУ 6-05-1983-87, с одновременным армированным стальным сварным проволочным каркасом с последующим оформлением законцовок под сварное, резьбовое, муфтовое или фланцевое соединение труб между собой. В каждой точке пересечения продольные и спиральные проволоки свариваются автоматической контактной сваркой. Законцовки под соединения привариваются к трубе с использованием сварки трением.

Таблица 1

Технические характеристики МПТ

		Обозначение			
		МПТ 95	МПТ 115	МПТ 140	МПТ 200
Тип соединения		Резьбовое раструбное; Фланцевое; Сварное	Фланцевое; Сварное		
Наружный диаметр, мм	номинальный	95	115	140	200
	Допустимое отклонение	±0,5	±0,8	±1,0	±1,0
Толщина стенки, мм	номинальная	11,0	11,5	12,0	12,5
	Допустимое отклонение	+1,0 -0,5			
Вес 1 пм, кг		6,75	8,45	10,18	15,15
Физико-механические свойства	растягивающая осевая нагрузка, не менее, кН	6,0	6,0	9,0	14
	Разрывное давление, не менее, МПа	18,0	16,0	12,0	9,5

- Температурный режим: от –45°С до 80°С
- Рабочее давление до 4,0 МПа
- Длина: 2,5 – 11,5 м

С целью прогноза характера разрушения металлопластовых труб было исследовано их напряженно-деформированное состояние методом конечных элементов с использованием пакета COSMOS/M.

Конечноэлементная модель конструкции металлопластовой трубы содержит 2129 конечных элементов (КЭ) и 720 узлов. Армирующая стальная сетка моделировалась трехмерными стержневыми КЭ, а полиэтиленовая заливка – толстостенными оболочечными КЭ. Фрагмент сетки конечных элементов представлен на рис. 1. Там же показаны номера конечных элементов (1033-1097), расположенных в одном ряду сетки и моделирующих арматуру в окружном направлении.

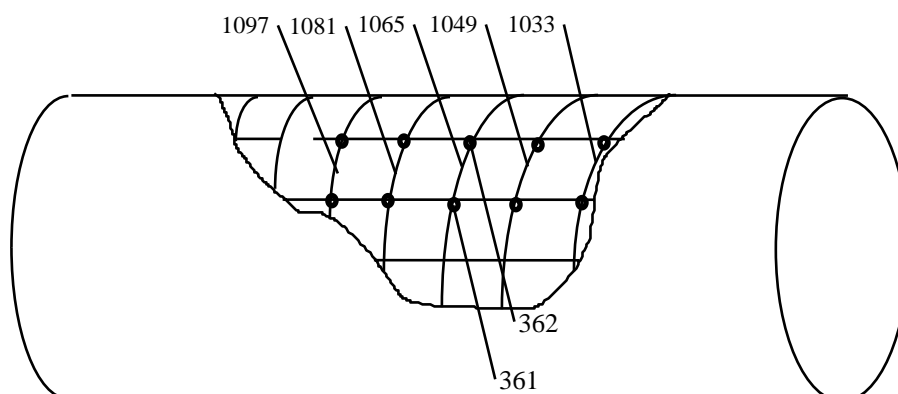


Рисунок 1. Сетка конечных элементов

Результаты исследования напряженно - деформированного состояния конструкции металлопластовых труб с помощью конечноэлементной модели МПТ представлены в таблице 2.

Таблица 2

Распределение напряжений в МПТ при давлении 4МПа

Диаметр труб, мм	Толщина стенки, мм	Размер ячейки, мм x мм	Диаметр арматуры, мм	Напряжения по Мизесу в ПЭ элементах, $\sigma_{эв}$, МПа	Напряжения в продольной арматуре, $\sigma_{прод}$, МПа	Напряжения в окружной арматуре, $\sigma_{окр}$, МПа	Коэффициент запаса прочности, $\sigma_T/\sigma_{окр}$
89	10.5	6 x 6	2.5	0.714212	-0.13237	180.75	1.72
89	10.5	6 x 6	3.0	0.504532	-0.059557	127.67	2.43
89	10.5	8 x 8	2.5	0.933721	-0.23781	236.25	1.31
89	10.5	8 x 8	3.0	0.663100	-0.10799	167.76	1.85
89	10.5	10 x 10	2.5	1.14126	-0.45901	289.01	1.07
89	10.5	10 x 10	3.0	0.814721	-0.21863	206.27	1.50
95	10.5	6 x 6	2.5	0.769539	-0.13227	194.66	1.59
95	10.5	6 x 6	3.0	0.543624	-0.057260	137.50	2.25
95	10.5	8 x 8	2.5	1.00507	-0.27118	254.31	1.22
95	10.5	8 x 8	3.0	0.713771	-0.12307	180.58	1.72
95	10.5	10 x 10	2.5	1.23153	-0.44840	311.81	0.99
95	10.5	10 x 10	3.0	0.879157	-0.21225	222.55	1.39
115	12.0	6 x 6	2.5	0.931415	-0.26904	235.67	1.32
115	12.0	6 x 6	3.0	0.659495	-0.11706	166.84	1.86
115	12.0	8 x 8	2.5	1.20952	-0.56914	307.36	1.01
115	12.0	8 x 8	3.0	0.861841	-0.26034	218.90	1.42
115	12.0	10 x 10	2.5	1.47755	-0.96814	375.89	0.82
115	12.0	10 x 10	3.0	1.05895	-0.45407	269.25	1.15
132	12.0	6 x 6	2.5	1.08445	-0.77566	274.70	1.13
132	12.0	6 x 6	3.0	0.768042	-0.38976	194.46	1.59
132	12.0	8 x 8	2.5	1.40847	-2.5616	358.48	0.86
132	12.0	8 x 8	3.0	1.00385	-1.3762	255.29	1.21
132	12.0	10 x 10	2.5	1.73090	-1.1641	438.44	0.71
132	12.0	10 x 10	3.0	1.24026	-0.60425	314.03	0.99

Результаты исследования напряженно-деформированного состояния металлопластовой трубы с использованием приведенной выше модели показали, что наиболее напряженным элементом конструкции является арматура в окружном направлении. В предположении упругой работы арматуры при внутреннем давлении 12 МПа в средней части трубы для наиболее напряженных элементов растягивающие напряжения достигают 565 МПа. Распределение напряжений по длине трубы для средней части является практически равномерным. При таком высоком уровне растягивающих напряжений возможно разрушение арматуры в окружном направлении. Предположим, что в силу каких-то случайных факторов первым разрушился конечный элемент номер 1065, образованный узлами 361 и 362. Удаляем этот элемент из сетки КЭ и проводим расчет для новой сетки при том же уровне внутреннего давления (12 МПа). Удаление элемента 1065 моделирует возникновение концентратора напряжений в окрестности первой точки разрушения окружной арматуры. Наличие такого концентратора приводит к резкому росту напряжений (до 760 МПа) в соседних наиболее напряженных КЭ с номерами 1049 и 1081.

На следующем этапе расчета удаляем из сетки КЭ три элемента – 1049, 1065, 1081. Это приводит к росту напряжений в КЭ с номерами 1033, 1097 до 1034 МПа. При этом напряжения по Мизесу в узлах 361-362, принадлежащих оболочечным КЭ возрастает до 15,6 МПа.

Проведенный анализ напряженно-деформированного состояния металлопластовой трубы для рассмотренных вариантов сетки КЭ позволяет сделать вывод о том, что при внутреннем давлении, равном 12 МПа, в металлопластовой трубе может возникнуть и начать распространяться трещина в продольном направлении.

Для контроля полученных расчетным путем результатов и выводов было проведено экспериментальное исследование металлопластовой трубы при внутреннем давлении 12 МПа. Натурные испытания показали, что в результате разрушения окружной арматуры в направлении образующей трубы возникает сквозная трещина длиной 120 мм и шириной 4 мм. Таким образом, прогноз о характере разрушения трубы, сделанный на основании расчетных результатов, полностью подтвердился экспериментальными данными.

На рис.2 представлен разрушенный образец МПТ диаметром 89 мм производства ООО «МЕПОС», эксплуатируемой на выкидной линии нефтяной скважины в НГДУ «Чекмагушнефть» в течение 9,5 лет. Анализ МПТ показал, что разрушение произошло при запуске насоса на выходе из трубопровода при закрытой задвижки и поднятии давления до 6,0 МПа, т.е. гидроудара. При этом диаметр проволоки из-за коррозионного разрушения местами уменьшился с 2,5 мм до 2.0 мм.



Рисунок 2. Образец разрушенной МПТ

Очевидно, эта труба попала на монтаж трубопровода будучи дефектной и оказалась самым слабым звеном.

Как показали последующие исследования [4], основным дефектом металлопластовых труб является проникновение транспортируемой среды до арматуры (проволоки) по дефектам в месте приварки законцовок и перемещения транспортируемой среды по капиллярам на границе «арматура-полиэтиленовая матрица» вдоль тела трубы. Но и при отсутствии такого проявления арматура может находиться в контакте с транспортируемой средой и подвергаться

коррозионному разрушению по механизму «щелевой коррозии», ослабляя несущую способность трубопровода. В связи с этим для исключения попадания дефектных труб на монтаж трубопровода был разработан дефектоскоп – индикатор, успешно применяемый в настоящее время АНК «Башнефть» (г.Уфа) и в ЗАО «Полимак» (г. Екатеринбург).

Литература

1. РД 39Р – 00147105 – 021 – 01. Инструкция по монтажу трубопроводов из металлопластовых труб со сварными соединениями. – Уфа: ИПТЭР, 2000. – 25с.
2. РД 39 – 00147105 – 022 – 01. Инструкция по эксплуатации, ревизии, ремонту и отбраковке трубопроводов из металлопластовых труб со сварными соединениями. – Уфа: ИПТЭР, 2000. – 8с.
3. РД 39Р – 00147105 – 023 – 01. Инструкция по проектированию трубопроводов из металлопластовых труб. – Уфа: ИПТЭР, 2000. – 12с.
4. Пермяков Н.Г., Агапчев В.И. и др. Метод контроля качества металлопластовых труб. Сб. научн. Трудов «Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов», Уфа : ТРАНСТЭК, 2003. - № 62, с. 172-174.