

*Валимхаметов А.В.,
студент магистратуры
3 курс, механический факультет
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический
университет»
Россия, г. Уфа*

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО- ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ С НЕПОДВИЖНЫМИ ОПОРНЫМИ КОНСТРУКЦИЯМИ

***Аннотация:** В данной статье рассматривается вопрос об оценке напряженно-деформированного состояния трубопровода с опорами с применением метода конечных элементов.*

***Ключевые слова:** опора, напряженно-деформированное состояние, метод конечных элементов, трубопровод, опора, коэффициент надежности, программное обеспечение «старт», оценка прочности и надежности.*

***Annotation:** In this article, we consider spring support stress-strain state assessment, using the finite element method.*

***Key words:** support, stress-strain state, the finite element method.*

Рассмотрены особенности программной системы СТАРТ при оценке прочности трубопроводной системы на опорах, с учетом коэффициентов надежности. Приведен пример расчета.

Трубопроводные системы являются ремонтируемыми системами длительного пользования. Длительные сроки эксплуатации трубопроводных систем возможны только благодаря тому, что их рабочее состояние поддерживается за счет выполнения профилактических мероприятий и капитальных ремонтов, а также ремонтно-восстановительных работ при

ликвидации аварий [1].

Известно, что надежность любой технической системы будет тем выше, чем выше надежность каждого ее элемента и чем меньше число этих элементов. Тем не менее, система, составленная из самых надежных элементов, не исключает возможности ее выхода из строя [2].

В настоящее время накоплен значительный фактический материал по трубопроводным конструкциям, их отказам, опыту эксплуатации в различных климатических зонах. На базе этих материалов появилась возможность разработать концепцию конструктивной надежности опорных конструкций при проектировании различных трубопроводных систем, основные ее положения и инженерные подходы к оценке надежности и ресурса.

Опоры трубопроводов - ответственные детали трубопроводной системы. Именно опора воспринимает усилие от трубопровода и передает их несущим конструкциям либо грунту. Надежность работы трубопроводов в значительной мере зависит от правильности и прочности их закрепления [3]. При эксплуатации трубопроводов возникают осевые, вертикальные, боковые (поперечные) нагрузки, а также крутящие моменты. Для восприятия этих нагрузок и применяются опоры трубопроводов.

Опоры неподвижные - применяются для трубопроводных систем надземной прокладки или для трубопроводов подземной бесканальной прокладки. Такие опоры служат для восприятия и сглаживания усилий, появляющихся в трубопроводах в результате температурных колебаний [4-7].

Повреждаемость опор в первую очередь зависит от срока их службы и применения прогрессивных технических решений и современных технологий, и материалов.

Программная система «СТАРТ» предназначена для расчета характеристик прочности трубопроводов, в том числе на различных типах опор, при статическом и циклическом нагружении. При оценке прочности коэффициенты условий работы, надежности и безопасности принимаются по СНиП 2.05.06-85 [8].

Стандартные крепления и компенсаторы, используемые в программной системе СТАРТ приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Стандартные крепления и компенсаторы, используемые в программной системе СТАРТ [8]

Наименование опоры	Характеристика опоры
Мертвая	Препятствует линейным и угловым перемещениям трубопровода по всем направлениям
Неподвижная	Препятствует линейным перемещениям трубопровода по всем направлениям
Направляющая односторонняя	Препятствует линейным перемещениям трубопровода поперек оси трубы. Если закрепляемая точка принадлежит горизонтальному или почти горизонтальному участку трубопровода, то при перемещении трубопровода вверх опора выключается из работы
Направляющая двухсторонняя	Препятствует линейным перемещениям трубопровода поперек оси трубы и вдоль вертикальной оси.
Скользящая	Препятствует линейному перемещению трубопровода вниз. При перемещении трубопровода вверх выключается из работы
Пружинная	Ограничивает линейное перемещение трубопровода по вертикали
Постоянного усилия	Обеспечивает передачу постоянного усилия на трубопровод независимо от перемещения закрепляемой точки

Крепления, характеристики работы которых отличаются от приведенных в таблице 1, относятся к категории нестандартных.

Такие крепления описываются комбинацией связей. Для крепления (опоры) - это внешние связи, накладываемые на узел с целью предотвращения

перемещений.

В тех случаях, когда связь двухсторонняя, ее реакция может быть направлена по оси в любую сторону (рисунок 1, а) и углы можно записывать как для вектора R , так и для вектора R_1 (не имеет значения для какого именно вектора).

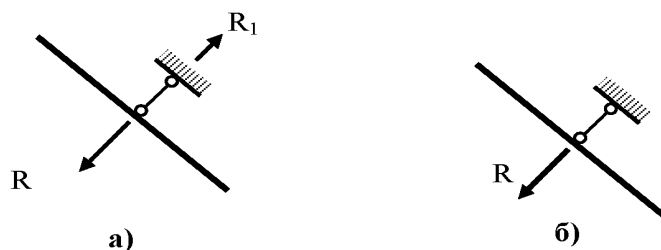






Рисунок 1 – Виды реакций опор

Для односторонней связи направление ее реакции должно приниматься единственно возможным, а именно согласно перемещению, которому связь не препятствует (рисунок 1, б). В этом случае нужно записывать углы для направления вектора R .

Условные графические обозначения опор в программной системе СТАРТ приведены в таблице 2 [].

Таблица 2 - Обозначения графические условные

Изображение на схеме	Изображение на панели инструментов	Название
		Опора неподвижная с заземлением (мёртвая)
		Опора скользящая
		Опора пружинная
		Опора направляющая односторонняя
		Опора направляющая двухсто-

		ронняя
		Опора постоянного усилия
		Опора неподвижная без защемления (шарнирная)

На рисунке 2 приведен исследуемый в программной системе СТАРТ участок трубопровода на опорах.

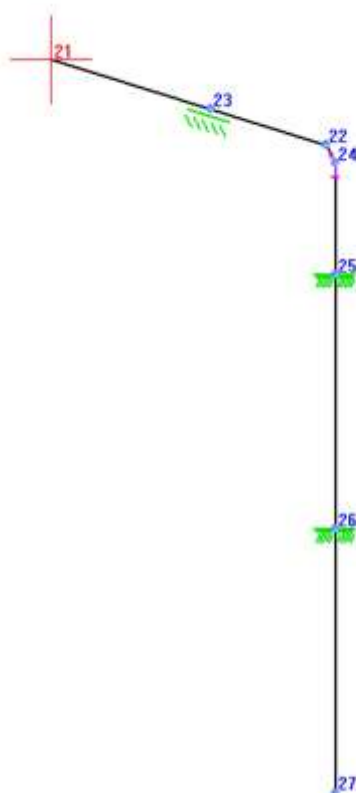


Рисунок 2 – Участок трубопровода

Результаты расчета в программе «СТАРТ» приведены в таблицах 3-7.

Таблица 3 - Напряжения по документу РТМ 38.001-94 (режим ПДН) ...

Эквивалентное количество полных циклов 1000

Элемент	Начальный конечный узел	Напряжения от весовой нагрузки в рабочем состоянии, (МПа)		Напряжения от всех воздействий в рабочем состоянии, (МПа)		Циклическая прочность, амплитуда напряжений, (МПа)	
		рас чётн ое	допусти мое	рас чётн ое	допусти мое	эквивален тное	допусти мое
Участок	21	46.9 2	179.30	46.9 2	244.50	37.54	687.14
	23	47.0 5	179.30	49.2 2	244.50	37.54	687.14
Участок	23	47.0 5	179.30	49.2 6	244.50	37.54	687.14
	22	47.7 7	179.30	50.6 8	244.50	40.51	687.14
Участок	22	47.6 7	179.30	50.2 1	244.50	40.14	687.14
	24	47.7 3	179.30	50.7 7	244.50	40.79	687.14
Отвод крутоизогн утый	24	57.6 1	176	98.4 7	240	81.74	846.43
Участок	24	47.8 1	179.30	51.5 0	244.50	41.49	687.14
	25	47.5	179.30	49.4	244.50	39.66	687.14

		7		7			
Участок	25	47.6 0	179.30	49.4 7	244.50	39.79	687.14
	26	46.9 9	179.30	46.9 4	244.50	37.55	687.14
Участок	26	47	179.30	46.9 3	244.50	37.54	687.14
	27	46.9 2	197.23	46.9 2	268.95	37.54	687.14

Таблица 4 - Предельные нагрузки на крепления и оборудование

Номер узла	Силы вдоль глобальной оси - (мин-макс), (кГс)			Моменты вокруг глобальной оси - (мин-макс), (тс м)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
23	-38.20	0	-134.40	0	0	0
	0.20	711.70	479.40	0	0	0
25	0	-0.50	-81.20	0	0	0
	37.90	567.50	303.50	0	0	0
26	-1.20	-0.60	-150.10	0	0	0
	29	265.30	303.50	0	0	0

Таблица 5 - Нагрузки и перемещения в креплениях

Номер узла	Ос	Рабочее состояние			Холодное состояние			Состояние при испытаниях		
		Силы, кГс	Моменты, тс м	Перемещения, мм	Силы, кГс	Моменты, тс м	Перемещения, мм	Силы, кГс	Моменты, тс м	Перемещения, мм
23	X	-	0	-7510.1	0.2	0	0	-	0	-9843

		28. 40			0			38. 20		
	Y	538 .60	0	142553. 5	1.2 0	0	0.1	711 .70	0	183244. 6
	Z	339 .40	0	89825.8	- 134 .40	0	0	479 .40	0	123433. 3
25	X	28. 30	0	7501.4	1	0	0.1	37. 90	0	9762.1
	Y	429 .80	0	113749. 6	- 0.5 0	0	0	567 .50	0	146121. 9
	Z	206 .40	0	54636.5	- 81. 20	0	0	303 .50	0	78140
26	X	21. 80	0	5773.2	- 1.2 0	0	-0.1	29	0	7455.2
	Y	201 .30	0	53283	- 0.6 0	0	0	265 .30	0	68304
	Z	206 .40	0	54632.1	- 150 .10	0	0	303 .50	0	78140

Таблица 6 - Перемещения - Рабочее состояние

Номер узла	Перемещение вдоль глобальной оси, (мм)			Поворот вокруг глобальной оси, (градус)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
21	-25759	142550.6	130370.9	-1255.59	35.50	-565.15
22	5809.2	142555.6	60223	-1257.02	35.50	-565.37
23	-7510.1	142553.5	89825.8	-1255.94	35.50	-565.23
24	7917.9	139455.9	55339.7	-1257.79	35.68	-565.49
25	7501.4	113749.6	54636.5	-1259.33	35.91	-565.55
26	5773.2	53283	54632.1	-1260.01	36.06	-565.51
27	3978.9	-9389.1	54627.7	-1259.89	36.08	-565.47

Таблица 7 - Усилия - Рабочее состояние (Все воздействия)

Элемент	Начальный конечный узел	Силы вдоль оси, (кГс)			Моменты вокруг оси, (тс м)		
		X	Y	Z	X	Y	Z
Участок	21	0.20	0	0	-0	-0	0
	23	-0.20	0	65.70	-0.06	0	-0
Участок	23	3.10	22.30	11.40	0.06	-0	0
	22	-3.10	-22.30	36.50	-0.08	0	-0
Участок	22	3.10	22.30	-36.50	0.08	-0	0
	24	-3.10	-22.30	43.60	-0.08	0.01	-0
Отвод крутоизогнутый	24						
Участок	24	3.10	22.30	-52.30	0.08	-0.01	-0
	25	-	-	89.60	-0.06	0.01	0

		3.10	22.30				
Участок	25	2.70	22.40	-89.60	0.06	-0.01	-0
	26	- 2.70	- 22.40	187.30	-0	-0	0
Участок	26	- 0.10	0	101.20	0	0	-0
	27	0.10	0	0	-0	-0	0

Используя результаты расчета, выполненные в программной системе СТАРТ, можно варьируя коэффициентами условий работы, надежности и безопасности, осуществлять поиск оптимальных (в некотором смысле) решений для обеспечения требуемой надежности как трубопроводных опор, так и трубопроводной системы на опорах – в целом.

Использованные источники:

1. Кузнецова, В.А. Надежность и эффективность в технике. Справочник. / В.А. Кузнецова. - М.: Машиностроение, 1990. - 336 с.
2. Патрушев, В.И. Надежность и эффективность в технике: Справочник. / В.И. Патрушев. - М.: Машиностроение, 1988. - 316 с.
3. Мюллер, П. Методы принятия технических решений: Пер. с нем. / П. Мюллер. - М.: Мир, 1990. - 208 с.
4. Кравец, В.А. Системный анализ безопасности в нефтяной и газовой промышленности. Учебник для вузов / В.А. Кравец. - М.: Недра, 1984. - 117с.
5. Хенли, Э.Дж. Надежность технических систем и риск / Э.Дж. Хенли. - М: Машиностроение, 1984. - 250 с.
6. Половко, А.М. Основы теории надежности / А.М. Половко. - М: Наука, 1964. - 400 с.
7. Александровская, Л.Н. Статистические методы анализа безопасности сложных технических систем. Учебник / Л.Н. Александровская. - М: Лотос, 2001. - 300 с.

8. Программная система «СТАРТ». Расчет прочности и жесткости трубопроводов. Руководство пользователя. Версия 4.62. – М.: Инженерно-промышленная нефтехимическая компания. Научно-техническое предприятие Трубопровод, 2009. – 164 с.