

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2020, №1, Том 12 / 2020, No 1, Vol 12 <https://esj.today/issue-1-2020.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/25SAVN120.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Дербичев В.С., Иншаков Р.С., Роман К.С., Дудин Р.В., Гулая Ю.В., Шульгин В.Е. Компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния участка газопровода при провисании // Вестник Евразийской науки, 2020 №1, <https://esj.today/PDF/25SAVN120.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:

Derbichev V.S., Inshakov R.S., Roman K.S., Dudin R.V., Gulaya Ju.V., Shulgin V.E. (2020). Computer simulation of the stress-strain state of a pipeline section during sagging. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 1(12). Available at: <https://esj.today/PDF/25SAVN120.pdf> (in Russian)

УДК 05.23.00

ГРНТИ 05.23.03

Дербичев Вячеслав Сергеевич

ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия
Студент 2-го курса кафедры «Нефтегазовое дело и нефтехимии»
Магистрант
E-mail: slavka564@mail.ru

Иншаков Роман Сергеевич

ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия
Студент 2-го курса кафедры «Нефтегазовое дело и нефтехимии»
Магистрант
E-mail: romawushu@mail.ru

Роман Константин Сергеевич

ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия
Студент 2-го курса кафедры «Нефтегазовое дело и нефтехимии»
Магистрант
E-mail: kpocc_god@mail.ru

Дудин Роман Валерьевич

ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия
Студент 2-го курса кафедры «Нефтегазовое дело и нефтехимии»
Магистрант
E-mail: dudin.rv@students.dvfu.ru

Гулая Юлия Васильевна

ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия
Студент 2-го курса кафедры «Нефтегазовое дело и нефтехимии»
Магистрант
E-mail: gulaya.yuv@students.dvfu.ru

Шульгин Владислав Евгеньевич

ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия
Студент 2-го курса кафедры «Нефтегазовое дело и нефтехимии»
Магистрант
E-mail: shulgin.ve@students.dvfu.ru

Компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния участка газопровода при провисании

Аннотация. Трубопроводные системы транспорта углеводородного сырья – сложные инженерные сооружения. При их проектировании должно учитываться множество факторов, в том числе нагрузки и воздействия, которые будет воспринимать конструкция при эксплуатации. К таким нагрузкам для газопровода, проложенного подземным способом, относят: рабочее давления, вес перекачиваемого продукта, вес самой трубы, давление вышележащего грунта, давление грунта снизу и т. д. Все эти параметры формируют картину напряженно-деформированного состояния газопровода, которая играет одну из ключевых роль при механическом расчете системы, в том числе и подборе марки стали, из которого будет изготовлена труба. Целью работы является расчет напряженно-деформированного состояния участка газопровода при провисании. В работе проводилась серия компьютерного моделирования нагруженного состояния газопровода различных геометрических размеров и выполненного из двух различных марок стали. В работе применяется моделирование в добавлении Simulation, предназначенного для проведения прочностных расчетов конструкций в упругой зоне, программного комплекса SolidWorks. Дается оценка возможности применения данного продукта для проведения расчетов напряженно-деформированного состояния трубопроводных систем. По итогам работы были получены численные значения максимального значения напряжения и перемещения, возникающего в газопроводе под действием нагрузок, а также значение минимального коэффициента запаса прочности. Результаты сведены в восемь таблиц. Также представлены некоторые эпюры напряжения и перемещения, полученные в ходе выполнения моделирования. В заключении представлена серия выводов о возможности использования программных комплексов для расчета напряженно-деформированного состояния газопроводов при проектировании.

Вклад авторов.

Дербичев Вячеслав Сергеевич – автор оказывал участие в написании статьи. Производил создание графического материала. Одобрил окончательную версию статьи перед её подачей для публикации.

Иншаков Роман Сергеевич – автор внес главный вклад в написание статьи. Ему принадлежит идея статьи. Производил моделирование в программе SolidWorks. Принимал участие в написании статьи. Производил координацию работы научного коллектива.

Роман Константин Сергеевич – автор производил построение моделей в программе SolidWorks

Дудин Роман Валерьевич – автор оказывал участие в поиске общей информации для написания статьи. Собрал, проанализировал и сгруппировал информацию для включения в текст статьи

Гулая Юлия Васильевна – автор оказывал координацию членов коллектива по поиску информации. Производил поиск информации по вопросу, поднятому в статье, в зарубежных источниках.

Шульгин Владислав Евгеньевич – автор оказывал участие в поиске общей информации для написания статьи. Собрал, проанализировал и сгруппировал информацию для включения в текст статьи.

Ключевые слова: трубопроводный транспорт газа; газопровод; провисание; напряженно-деформированное состояние; слабый грунт; нагрузки; моделирование; SolidWorks Simulation

Введение

Расчет напряженно-деформированного состояния (НДС) газопроводов является одним из ключевых процессов проектирования трубопроводной системы. В процессе эксплуатации газопровод воспринимает различные виды нагрузок, такие как давление грунта, вес самой трубы, вес перекачиваемого продукта, давление газа на стенки и т. д. Все они должны быть оценены с достаточной степенью точности.

В процессе эксплуатации газопроводов из-за воздействия различных факторов могут возникать дополнительные нагрузки, которые могут существенно влиять на оценку напряженно-деформированного состояния. Также к существенному изменению НДС может приводить изменение пространственного положения газопровода. Это может происходить по ряду причин: вибрации газопровода, осадка грунта, уплотнение грунта, нарушение целостности траншеи [1]. Это, в свою очередь, может приводить к перенапряженному состоянию газопровода и, как следствие, разрыву сварных швов и нарушению целостности трубы.

Исследованию данной проблемы посвящены работы [1–7; 9].

В настоящее время с развитием вычислительной техники, в том числе программных комплексов, в которых с большой степенью реализованы возможности метода конечных элементов (МКЭ) [8], задачи по изменению НДС стали содержать в себе все больше условий, т. е. появилась возможность применять на конструкции большее количество нагрузок и усилий и локально их располагать, и, как следствие, снизить количество допущений исследуемых моделей до минимума.

Цель и задачи работы

Целью настоящей работы является расчет максимально допустимых напряжений в газопроводе, изучение его поведения и исследование напряженно-деформированного состояния при его провисании в результате прокладки в слабых грунтах или в следствии нарушения целостности траншеи.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

1. Построить модель газопровода, приближенную к реальным условиям.
2. Определить воздействия, нагрузки и допущения, связанные с постановкой задачи.
3. Произвести компьютерное моделирование задачи в современном программном комплексе, в котором реализованы возможности МКЭ, при различных условиях для сравнения результатов.
4. Построить эпюры напряжения и перемещения, получить коэффициент запаса прочности.
5. Сделать выводы и привести рекомендации по анализу напряженно-деформированного состояния газопровода на основе моделирования в программных комплексах.

Методология

Моделирование задачи производилось с помощью добавления Simulation, назначение которого является расчет на прочность конструкций в упругой зоне, программного комплекса SolidWorks 2016 [10].

Постановка задачи

Исходные данные к расчету:

- Магистральный газопровод для транспорта природного газа.
- Рабочее давление в газопроводе – 7,0 МПа.
- Наружный диаметр газопровода – 530 мм.
- Стенка газопровода – δ мм.
- Длина рассматриваемого участка – l .
- Прокладка участка газопровода – подземная.
- Глубина залегания – 2 м.
- Грунт – суглинок плотностью 1500 кг/м³.
- Материал трубы – сталь ВСт2пс и сталь 10.
- Параметры стали:

Марка стали	ВСт2пс	10
Предел прочности при растяжении, МПа	380	465
Предел текучести, МПа	225	350

Действующие нагрузки:

- Рабочее давление.
- Вес самой трубы.
- Вес перекачиваемого газа – пренебрегаем (первоначальный расчет показал ничтожность влияния данного параметра в сравнении с остальными нагрузками).
- Давление вышележащего грунта.
- Давление грунта снизу (принимается 20 % от значения давления вышележащего грунта) [2].

Рассмотрим участок подземного газопровода. Допустим, что часть газопровода подвергается вертикальному перемещению (провисанию) из-за усадки грунта под трубой. Это может произойти в результате уплотняемости посредством отфильтровывания воды из пор грунта или вследствие нарушения целостности траншеи в результате природных действий. А часть (по обе стороны от исследуемого участка) – заземлена грунтом. Поэтому модель, участвующая в расчете, будет представлять из себя трубу длиной l с зафиксированной геометрией торцов на обоих концах, которая воспринимает на себя нагрузки, приведенные выше.

На рисунке 1 приведен общий вид задачи, описание которой приведено выше. На рисунке 2 представлена расчетная схема, где $q_{гр}$ – давление вышележащего грунта, $q_{сн}$ – давление грунта снизу, Q – вес самой трубы (воздействия на трубу рабочего давления не

показано). На рисунке 3 показано, как выглядит подготовка модели к расчету в добавлении Simulation программного комплекса SolidWorks 2016 с определением действующих нагрузок и креплений, согласно общему виду задачи и расчетной схемы.

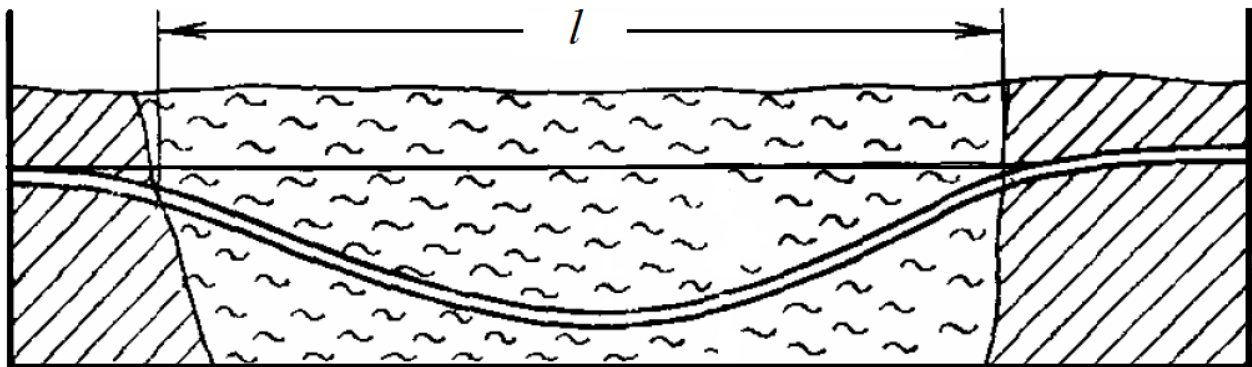


Рисунок 1. Общий вид задачи (составлено авторами)

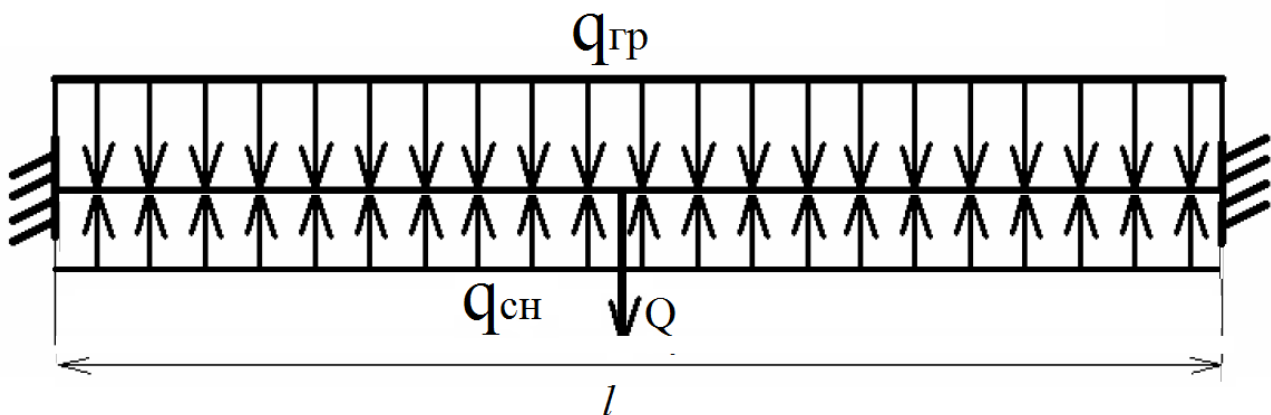


Рисунок 2. Расчетная схема задачи (составлено авторами)

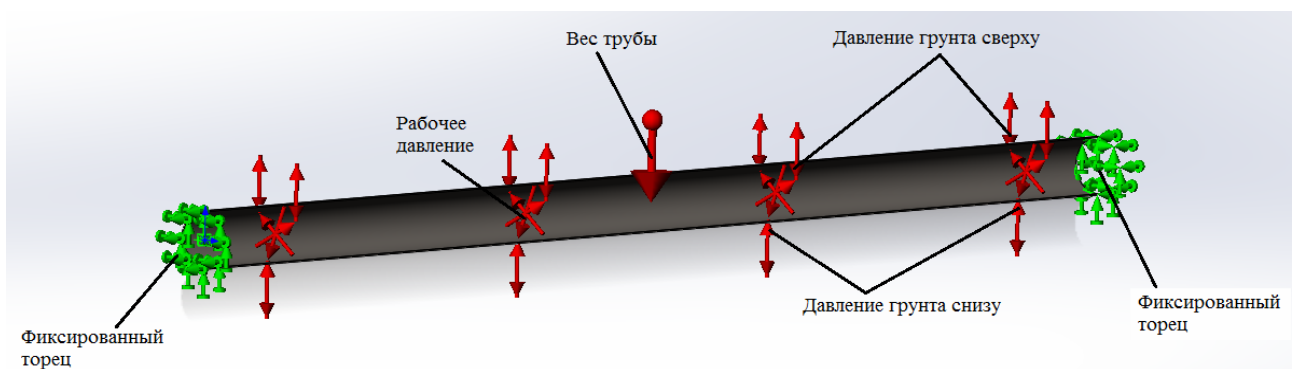


Рисунок 3. Модель газопровода в добавлении Simulation программного комплекса SolidWorks 2016 с обозначением действующих нагрузок (составлено авторами)

Результаты моделирования

Результаты моделирования задачи в добавлении Simulation программного комплекса SolidWorks 2016 при различных марках стали, толщины стенки и длины рассматриваемого участка газопровода сведены в таблицы 1–6. Так же приведены эпюры напряжения и перемещения некоторых экспериментов, представленные на рисунках 4–6.

Таблица 1

Результаты моделирования: максимальные значения напряжения, возникающее на участке исследуемого газопровода, изготовленного из стали марки ВСт2пс, при различной толщине стенки δ и длины рассматриваемого участка l

Наружный диаметр 530 мм	Максимальное значение напряжения, возникающее на участке исследуемого газопровода, МПа		
	Толщина стенки δ , мм		
	6	8	10
Длина участка l , м			
4	359,6	267,8	207,9*
5	366,6	268,2	212,3*
6	369,7	279,4	224,2*
7	408,7	307,5	236,3

* обозначены значения, не превышающие значение предела текучести, стали (225 МПа) (составлено авторами)

Таблица 2

Результаты моделирования: максимальные значения перемещения, возникающее на участке исследуемого газопровода, изготовленного из стали марки ВСт2пс, при различной толщине стенки δ и длины рассматриваемого участка l

Наружный диаметр 530 мм	Максимальное значение перемещения, возникающее на участке исследуемого газопровода, мм		
	Толщина стенки, мм		
	6	8	10
Длина участка l , м			
4	1,00	0,76	0,609
5	1,72	1,30	1,05
6	2,79	2,25	1,82
7	4,77	3,76	3,03

Составлено авторами

Таблица 3

Результаты моделирования: минимальное значение коэффициента запаса прочности на участке исследуемого газопровода, изготовленного из стали марки ВСт2пс, при различной толщине стенки δ и длины рассматриваемого участка l

Наружный диаметр 530 мм	Минимальное значение коэффициента запаса прочности		
	Толщина стенки, мм		
	6	8	10
Длина участка l , м			
4	0,63	0,84	1,11
5	0,61	0,83	1,06
6	0,59	0,81	1,0
7	0,55	0,73	0,95

Составлено авторами

Таблица 4

Результаты моделирования: максимальные значения напряжения, возникающее на участке исследуемого газопровода, изготовленного из стали марки 10, при различной толщине стенки δ и длины рассматриваемого участка l

Наружный диаметр 530 мм	Максимальное значение напряжения, возникающее на участке исследуемого газопровода, МПа		
	Толщина стенки δ , мм		
	6	8	10
Длина участка l , м			
4	359,6	267,8*	207,9*
5	366,5	268,2*	212,4*
6	376,7	282,1*	222,3*
7	409,8	307,5*	236,3*

Наружный диаметр 530 мм	Максимальное значение напряжения, возникающее на участке исследуемого газопровода, МПа		
	Толщина стенки δ , мм		
Длина участка l , м	6	8	10
8,9		347,4*	
11,45			339,3*

* обозначены значения, не превышающие значение предела текучести, стали (350 МПа) (составлено авторами)

Таблица 5

Результаты моделирования: максимальные значения перемещения, возникающее на участке исследуемого газопровода, изготовленного из стали марки 10, при различной толщине стенки δ и длины рассматриваемого участка l

Наружный диаметр 530 мм	Максимальное значение перемещения, возникающее на участке исследуемого газопровода, мм		
	Толщина стенки, мм		
Длина участка l , м	6	8	10
4	0,97	0,73	0,59
5	1,66	1,26	1,02
6	2,86	2,18	1,76
7	4,79	3,64	2,92

Составлено авторами

Таблица 6

Результаты моделирования: минимальное значение коэффициента запаса прочности на участке исследуемого газопровода, изготовленного из стали марки 10, при различной толщине стенки δ и длины рассматриваемого участка l

Наружный диаметр 530 мм	Минимальное значение коэффициента запаса прочности		
	Толщина стенки, мм		
Длина участка l , м	6	8	10
4	0,97	1,30	1,70
5	0,95	1,31	1,65
6	0,93	1,24	1,58
7	0,85	1,14	1,48

Составлено авторами

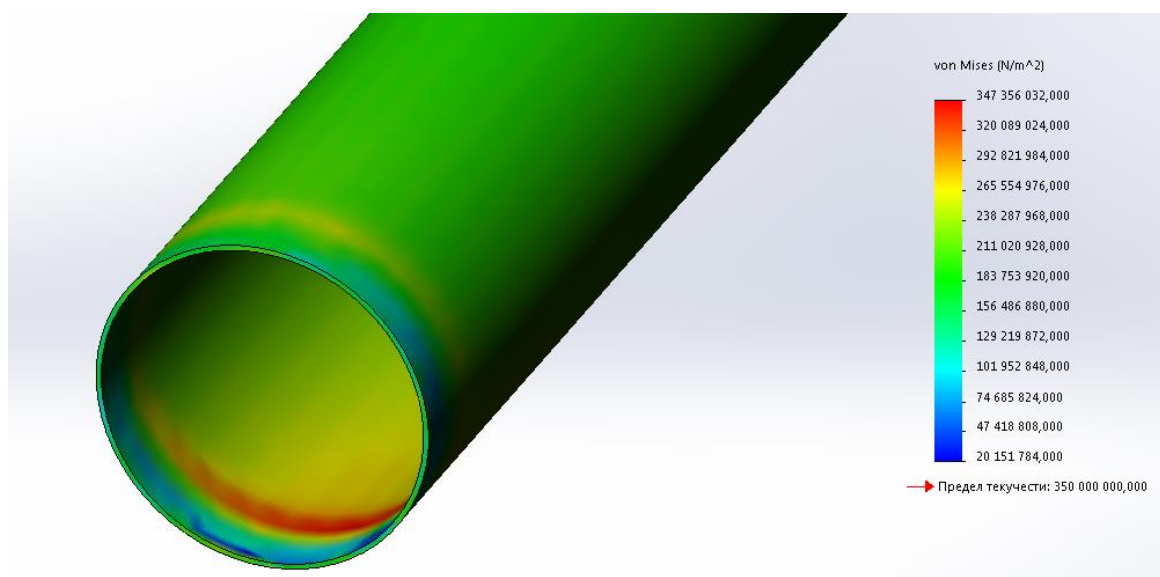


Рисунок 4. Эпюра напряжения при длине исследуемого участка 8,9 м, толщине стенки 8 мм газопровода, изготовленного из стали марки 10 (составлено авторами)

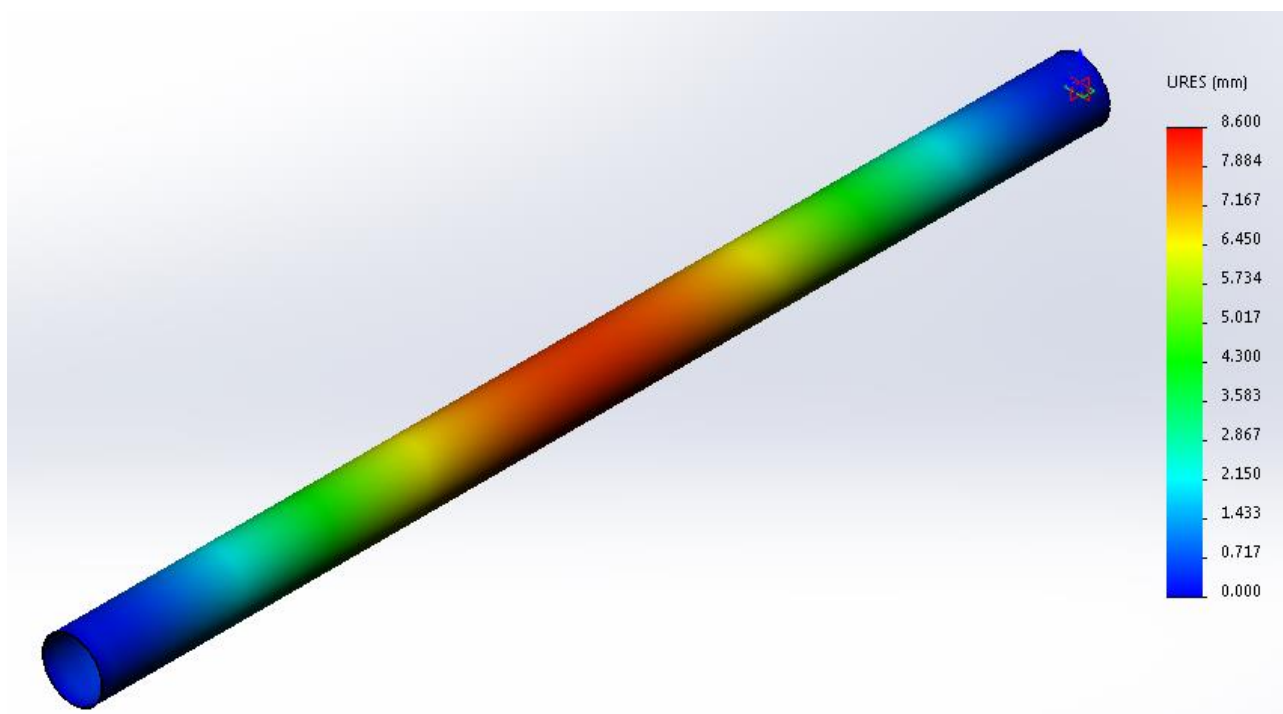


Рисунок 5. Эюра перемещения при длине исследуемого участка 8,9 м, толщине стенки 8 мм газопровода, изготовленного из стали марки 10 (составлено авторами)

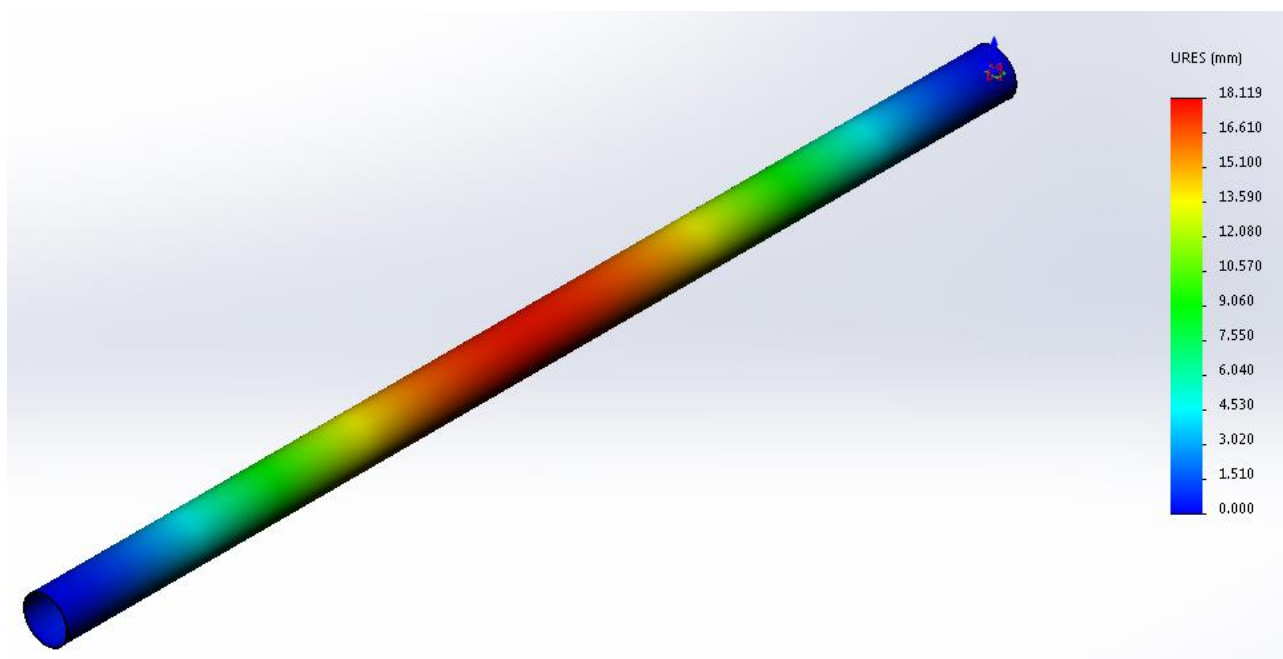


Рисунок 6. Эюра перемещения при длине исследуемого участка 11,45 м, толщине стенки 10 мм газопровода, изготовленного из стали марки 10 (составлено авторами)

Рассмотрим аналогичную задачу и проследим влияние такого параметра, как рабочее давление газопровода, на картину его напряженно-деформированного состояния. Примем геометрические размеры газопровода 530×8 мм, изготовлен из стали марки 10 и длину исследуемого участка $l = 12$ м. Результаты сведены в таблицу 7.

Таблица 7

Результаты моделирования задачи по влиянию рабочего давления на напряженно-деформированное состояние газопровода

Рабочее давление, МПа	Максимальное значение напряжения, МПа	Максимальное значение перемещения, мм	Коэффициент запаса прочности
7,5	464,8	26,7	0,75
7,0	450,9	26,7	0,78
6,5	437,1	26,7	0,80
6,0	423,9	26,6	0,83
5,0	400,8	26,6	0,87
4,0	378,7	26,6	0,92
3,0	357,8	26,5	0,98
2,0	338,6	26,5	1,03

Составлено авторами

Также рассмотрим напряженно-деформированное состояние газопровода, выведенного из эксплуатации, например, при ремонте. В этом случае ремонтируемый участок освобождается от грунта, т. е. газопровод в данном случае будет висеть в воздухе, имея опоры, закрепленные в грунте, с двух сторон от исследуемого участка. Тогда на газопровод будет действовать только его собственный вес (давление газа уже не учитывается, т. к. газопровод освобожден от перекачиваемого продукта). Проследим значения напряжения, возникающие в газопроводе, в зависимости от длины провисающего участка (не учитывая увеличение напряженного состояния в сварных швах между соединенными трубами). Результаты сведены в таблицу 8.

Таблица 8

Результаты моделирования задачи по провисании газопровода 530×6 мм, изготовленный из стали марки ВСт2пс

Труба 530×6 сталь марки ВСт2пс			
Длина участка l , м	Максимальное значение напряжения, МПа	Максимальное значение перемещения, мм	Коэффициент запаса прочности
20	20,73	4,87	10,90
30	46,72	24,4	4,78
40	81,41	76,4	2,76
Моделирование с последующим увеличением длины пролета газопровода ограничено вычислительными мощностями техники			

Составлено авторами

Выводы

В результате моделирования установлено:

- Предельная длина провисающих участков газопровода, при котором произойдет разрушение оболочки трубы, для приведенных в статье условий нахождения газопровода в грунте. Она составляет для газопровода 530×10 из стали марки ВСт2пс \cong 6 метров, для газопровода 530×8 из стали марки ВСт2пс \cong 8,9 метров, для газопровода 530×10 из стали марки ВСт2пс \cong 11,45 метров.

- Максимальные значения напряжения возникают в зоне нижней образующей трубопровода на границе заземления трубы грунтом.

- Максимальные значения перемещения наблюдаются ровно в середине исследуемого участка.

- Значения напряжений по длине газопровода величина переменная, это, в основном, связано с изменчивостью свойств и характеристик грунта, в который уложен газопровод.
- Компьютерное моделирование позволяет дать предварительную оценку напряженно-деформированного состояния газопровода, уложенного в грунте на определенной глубине, работающего под определенным давлением. Полученные результаты могут учитываться при принятии проектных решений, но при этом должно быть понимание, что они не дают реальную картину НДС в силу того, что любая модель всегда имеет некоторые допущения, например, отсутствие неравномерности распределения давления грунта на конструкцию, наличие слабых зон в месте сварки секций труб и т. д.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурков П.В. Исследование силовых факторов системы среда – трубопровод / Бурков П.В., Буркова С.П., Вергинская О.В., – Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2011. № S2. С. 153–157.
2. Велиюлин Э.И. Расчет напряженно-деформированного состояния газопровода при капитальном ремонте с использованием труб повторного применения / Велиюлин Э.И., Решетников А.Д., Кошелев, Р.В., – Территория Нефтегаз. 2013. № 12. С. 96–103.
3. Калмыкова К.Г. Компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния участка магистрального газопровода в условиях осадки слабосвязанных грунтов / Калмыкова К.Г., Бурков П.В., Буркова С.П., – Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2012. № S3. С. 343–348.
4. Кононенко Т.В. компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния участка магистрального газопровода «Нижне-квакчинское газоконденсатное месторождение – г. Петропавловск-камчатский» / Кононенко Т.В., Бурков П.В., Буркова С.П., – Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2012. № S3. С. 349–355.
5. Захаркин Ф.И. Определение напряженно-деформированного состояния участков МГ, находящихся в непроектном положении / Захаркин Ф.И., Фомин В.А., – Газовая промышленность. 2008. № 12 (625). С. 40–43.
6. Расчетно-экспериментальные методы оценки напряженно-деформированного состояния газопроводов, расположенных на оползневых участках. – Сб. тр./ В.И. Городниченко, В.П. Черний, В.А. Марков, Ф.И. Захаркин // Двенадцатая международная деловая встреча «Диагностика-2002». – Т. 3, ч. 2. – М.: ИРЦ Газпром, 2002. – С. 81–84.
7. В.В. Шевчук. Напряженно-деформированное состояние системы геологическая среда- трубопровод в условиях криолитозоны / В.В. Шевчук, Е.М. Иваник, В.И. Лавренюк, Н.В. Лавренюк, – Геофизический журнал. – 2008. – № 1. – С. 74–80.
8. Иншаков Р.С., Цыбуля И.И., Вязкова Е.А., Цырендашиев Н.Б., Панасенко Н.Л., Яснюк Т.И. Компьютерное моделирование в ANSYS Fluent гидравлического стенда, созданного для проверки эффективности действия завихрителя, снижающего гидравлические потери в трубопроводе // Вестник Евразийской науки, 2018 №6, <https://esj.today/PDF/25SAVN618.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.
9. Тагиров М.Б. Исследование напряженно-деформированного состояния потенциально опасного участка магистрального газопровода / Тагиров М.Б., Мустафин Ф.М., Аскарров Р.М., Бакиев Т.А., – Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2017. № 2. С. 9–14.
10. Алямовский, А.А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation / А.А. Алямовский. – Москва: ДМК-Пресс, 2010. – 464 с.

Derbichev Vyacheslav Sergeevich

Far eastern federal university, Vladivostok, Russia
E-mail: slavka564@mail.ru

Inshakov Roman Sergeevich

Far eastern federal university, Vladivostok, Russia
E-mail: romawushu@mail.ru

Roman Konstantin Sergeevich

Far eastern federal university, Vladivostok, Russia
E-mail: kposs_god@mail.ru

Dudin Roman Valerievich

Far eastern federal university, Vladivostok, Russia
E-mail: dudin.rv@students.dvfu.ru

Gulaya Julia Vasilievna

Far eastern federal university, Vladivostok, Russia
E-mail: gulaya.yuv@students.dvfu.ru

Shulgin Vladislav Evgenievich

Far eastern federal university, Vladivostok, Russia
E-mail: shulgin.ve@students.dvfu.ru

Computer simulation of the stress-strain state of a pipeline section during sagging

Abstract. Pipeline transportation systems for hydrocarbon raw materials are complex engineering structures. When designing them, many factors must be taken into account, including the loads and effects that the structure will perceive during operation. Such loads for an underground gas pipeline include: operating pressure, weight of the product being pumped, weight of the pipe itself, overlying soil pressure, bottom pressure, etc. All these parameters form a picture of the stress-strain state of the pipeline, which plays one of the key roles in the mechanical calculation of the system, including the selection of the steel grade from which the pipe will be made. The aim of the work is to calculate the stress-strain state of the pipeline section during sagging. A series of computer simulations of the loaded state of a gas pipeline of various geometric sizes and made of two different steel grades was carried out. In this work, we use modeling in the addition of Simulation, intended for carrying out strength calculations of structures in the elastic zone, the SolidWorks software package. The possibility of using this product for calculating the stress-strain state of pipeline systems is evaluated. Based on the results of the work, numerical values of the maximum stress and displacement occurring in the gas pipeline under the action of loads were obtained, as well as the value of the minimum safety factor. The results are summarized in eight tables. Also presented are some stress and displacement plots obtained during the simulation. In conclusion, a series of conclusions on the possibility of using software systems for calculating the stress-strain state of gas pipelines during design is presented.

Keywords: pipeline transport of gas; gas pipeline; sagging; stress-strain state; weak soil; load; modeling; SolidWorks Simulation