

Благодарности. Авторы выражают благодарность д.ф.-м.н., профессору Ю.П. Шаркееву, к.т.н. М.А. Химич, к.т.н. В.В. Чебодаевой, Гусевой Т.С.

«Исследования выполнены с использованием оборудования ЦКП «Нанотех» ИФПМ СО РАН» и в Томском материаловедческом центре коллективного пользования.

Список использованных источников:

1. Влияние режимов селективного лазерного воздействия на пористость образцов из порошков кобальта, хрома и молибдена / Н.А. Сапрыкина, А.А. Сапрыкин, Ю.П. Шаркеев [и др.] // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2021. – № 8 (105). – С. 22–28.
2. Синтез трехкомпонентного сплава на основе алюминия методом селективного лазерного плавления / Н.А. Сапрыкина, В.В. Чебодаева, А.А. Сапрыкин [и др.] // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2022. – Т. 24. – № 4. – С. 151–164.
3. Olakanmi E.O. A review on selective laser sintering/melting (SLS/SLM) of aluminium alloy powders: Processing, microstructure, and properties / E.O. Olakanmi, R.F. Cochrane, K.W. Dalgarno // Prog. Mater. Sci. – 2015. – 74. – P. 401–477.
4. Effect of heat treatment on AlSi10Mg alloy fabricated by selective laser melting: Microstructure evolution, mechanical properties and fracture mechanism / W.Li, S.Li, J.Liu // Mater. Sci. Eng. A. – 2016. – 663. – P. 116–125.
5. Damage mechanisms in selective laser melted AlSi10Mg under as built and different post-treatment conditions / L. Zhao, J.G.S. Macías, L.P. Ding [et al.] // Mater. Sci. Eng. A. – 2019. – 764. – Article 138210.
6. 3D printing of high-strength aluminium alloys / J.H. Martin, B.D. Yahata, J.M. Hundley [et al.] // Nature. – 2017. – 549. – P. 365–369.
7. Microstructure and mechanical properties of Al-12Si and Al-3.5Cu-1.5Mg-1Si bimetal fabricated by selective laser melting / P. Wang, C.S. Lao, Z.W. Chen [et al.] // J. Mater. Sci. Technol. – 2020. – 36. – P. 18–26.
8. Microstructure characterization of SLMprocessed Al-Mg-Sc-Zr alloy in the heat treated and HIPed condition / A.B. Spierings, K. Dawson, P. Dumitraschkewitz [et al.] // Addit. Manuf. – 2018. – 20. – P. 173–181.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТРУБОПРОВОДА С ГИБКОЙ ОПОРОЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ В ОСЛОЖНЕННЫХ УСЛОВИЯХ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

В.Ю. Тимофеев^{2,а}, к.т.н., доц., П.В. Бурков¹, д.т.н., проф., В.П. Бурков¹, ст. преп., С.П. Буркова¹, к.т.н., доц.

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

634050, г. Томск, пр. Ленина 30

²Юргинский технологический институт (филиал)

Национального исследовательского Томского политехнического университета

652055, Кемеровская область, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

E-mail: ^а tv-yitpri@mail.ru

Аннотация. В статье приведено исследование жесткой и гибкой опор надземных трубопроводов. Проведено исследование напряженно-деформированного состояния трубопровода методом конечных элементов при воздействии на него нагрузок, вызванных последствием эксплуатации в вечной мерзлоте. Приведено обоснование преимуществ разработанной конструкции гибкой опоры перед жесткой опорой.

Ключевые слова: трубопроводный транспорт, напряженно-деформированное состояние, гибкая опора, численный эксперимент, осложненные условия

Abstract: The paper presents a study of rigid and flexible supports for above-ground pipelines. The stress-strain state of a pipeline has been investigated by the finite element method under the influence of loads caused by the consequences of operation in permafrost. The paper substantiates the advantages of the developed design of the flexible support over the rigid support.

Keywords: pipeline transport, strain-stress state, flexible support, numerical experiment, challenging condition.

Одним из ключевых факторов стабилизации и развития экономики РФ является стабильная и безаварийная работа трубопроводного транспорта. Смена рынков сбыта нефти и газа обуславливают необходимость строительства нового и реновацию уже существующего трубопроводного транспорта, а также дальнейшего совершенствования технологий и оборудования, обеспечивающих их доставку потребителю. Большинство месторождений нефти и газа в РФ расположены в районах Крайнего севера и Сибири, в которых осложненные условия вечной мерзлоты широко распространены.

Важнейшим фактором, определяющим эксплуатационные характеристики трубопроводов в условиях вечной мерзлоты, является их взаимодействие с окружающими грунтами. Для избежания силового, теплового, влажностного, химического, коррозионного воздействия со стороны грунта используют надземные трубопроводы на опорах. Тип применяемых опор определяется характеристиками местности и области, где они находятся, такими как сейсмичность, многолетнемерзлые грунты и т. д. При прокладке трубопровода надземным способом на опорах, окружающий грунт воздействует на трубу через опоры. Опоры трубопровода находятся в грунте и имеют с ним непосредственную жесткую связь, таким образом при любых относительных движениях грунта опоры перемещаются относительно оси трубопровода, что приводит к изгибам, большим пространственным перемещениям, провисанию участков трубы вследствие потери контакта с опорой (рисунок 1). При определенных значениях это приводит к разрушению самой магистральной трубы и его отдельных элементов [1]. Причины пространственных движений грунта могут быть разные, но в основном это протаивание или промерзание несущего грунта опор, сезонное изменение температуры окружающей среды, некачественная рекультивация грунтов при строительстве сопровождающееся морозным пучением грунта [1]. Кроме того смещение опор надземного участка магистрального нефтепровода может привести к тому, что соседние опоры потеряют контакт с трубопроводом и возникнет провисание трубы [1]. Контакт трубопровода с твердыми поверхностями, например, с жесткими скальными грунтами при переходах создает дополнительные нагрузки на стенки трубы в области контакта [2]. Свойства грунтовых оснований существенно влияют на напряженно-деформированное состояние надземного перехода. В частности, увеличение жесткости грунтового основания сопровождается постепенным уменьшением напряжений в надземном сечении перехода, а максимальный изгибающий момент в подземном сечении увеличивается [3]. Все эти негативные факторы, которые являются причиной непроектных нагрузок, предвидеть сложно. Поэтому разработка конструкций опор, которые могли бы компенсировать подвижки грунта, не передавая нагрузки на трубопровод является актуальной научно-технической задачей.



Рис. 1. Последствия промерзания грунта:
а – выпучивание грунта и смещение опоры, б – поломка опоры

В данной работе предлагается исследовать и сравнить напряженно-деформированное состояние участка трубопровода с двумя типами опор. Первый тип опор это уже применяемые – жесткие опоры, и второй тип – предлагаемая конструкция гибкой опоры (рисунок 2).

Опоры представляют собой элемент конструкции в виде ложементов с диаметром, совпадающим с диаметром трубы, и выполненным из материала аналогичного материалу трубы. Жесткая опора (рисунок 2а) имеет контур поддерживаемого трубопровода, гибкая опора (рисунок 2б) имеет два стержня, на которых она закреплена. Длина каждого стержня гибкой опоры равна 200 мм, диаметр 2,5 мм. Опоры выполняются из аналогичной стали что и труба.

Для исследования используется метод конечных элементов и программное обеспечение его реализующее – SOLIDWORKS Simulation. В качестве объекта исследования принят участок трубопровода диаметром 102 мм, толщина стенки 3,5 мм, длина участка трубопровода 2400 мм (согласно ГОСТ 31443–2012), материал трубопровода сталь 20Г (предел текучести – 275 МПа, предел прочности при растяжении – 385 МПа, модуль упругости – $2,04 \cdot 10^5$ МПа, коэффициент Пуассона – 0,29).

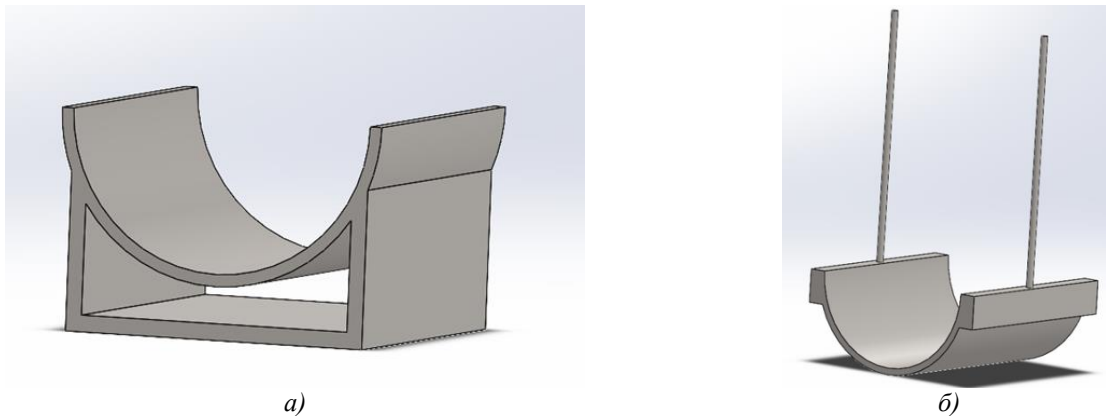


Рис. 2. Конструкции исследуемых опор:
а – конструкция жесткой опоры, б – конструкция гибкой опоры

Для постановки задачи используем наихудший случай нагружения, когда края трубопровода смещаются по вертикали вследствие потери контакта с соседними опорами при одной действующей опоре. В таком случае нагрузка q_1 будет распределена по участку трубопровода условно равномерно (рисунок 3), но точно нагрузка будет приложена на торцах (рисунок 4).

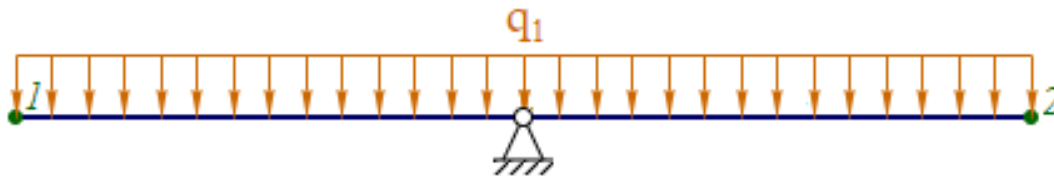


Рис. 3. Расчетная схема участка трубопровода

На центральном участке трубопровод закреплен опорой, которая не позволяет ему перемещаться вместе с крайними гранями 1 и 2 (рисунок 3), создавая тем самым напряжения изгиба в материале трубы. Для проведения численного эксперимента методом конечных элементов составим расчетную схему в SOLIDWORKS Simulation приложим нагрузки и граничные условия (рисунок 4).

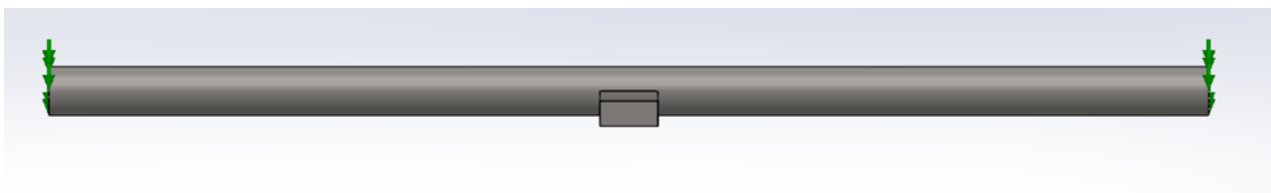
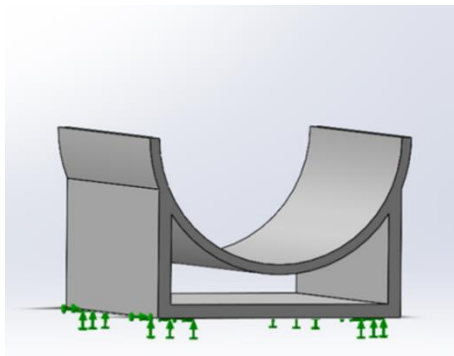


Рис. 4. Расчетная схема участка трубопровода для расчета методом конечных элементов

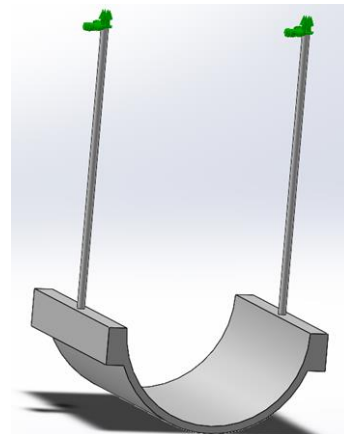
Для задания граничных условий будет использована функция «зафиксированная геометрия» SOLIDWORKS Simulation. Для жесткой опоры это нижнее основание, для гибкой опоры это верхние концы стержней (рисунок 5).

Задание нагрузки производится с условиями обеспечения заданного перемещения граничных участков трубопровода 1 и 2 (рисунок 3). Для этого нагрузка подбирается таким образом чтобы обеспечить перемещение участков 1 и 2 (рисунок 3) на 7 и 14 мм, после чего будут определены напряжения на опасных участках трубопровода.

На рисунке 6 представлены результаты численного моделирования, эпюра эквивалентных напряжений по Мизесу, модели с жесткой опорой трубопровода.



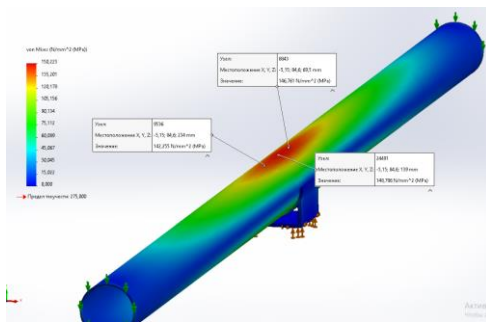
а)



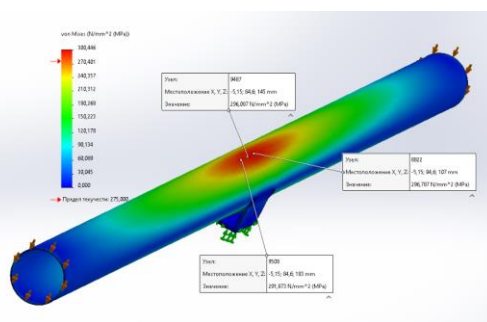
б)

Рис. 5. Задание граничных условий :

а – граничные условия жесткой опоры, б – граничные условия конструкции гибкой опоры



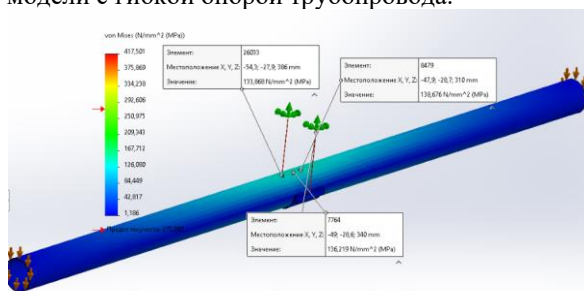
а)



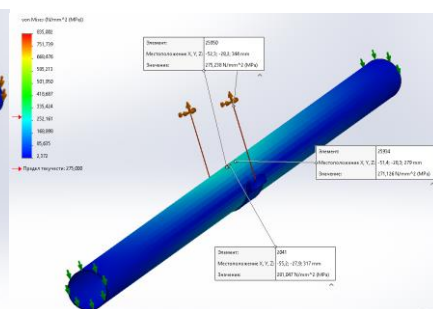
б)

Рис. 6. Результаты численного эксперимента для жесткой опоры: а – эпюра эквивалентных напряжений по Мизесу при заданном перемещении 7 мм, б – эпюра эквивалентных напряжений по Мизесу при заданном перемещении 14 мм

На рисунке 7 представлены результаты численного моделирования, эпюра эквивалентных напряжений по Мизесу, модели с гибкой опорой трубопровода.



а)



б)

Рис. 7. Результаты численного эксперимента для гибкой опоры:

а – эпюра эквивалентных напряжений по Мизесу при заданном перемещении 7 мм,
б – эпюра эквивалентных напряжений по Мизесу при заданном перемещении 14 мм

Результаты численных экспериментов получены с помощью функции «зондирование» SOLIDWORKS Simulation и сведены в таблицы 1 и 2.

Таблица 1

Напряжения в опасных областях нагружения при смещении 7 мм

Опора	Эквивалентное напряжение, МПа			Среднее эквивалентное напряжение, МПа
Жесткая	142	147	149	146
Гибкая	134	139	136	136,3

Таблица 2

Напряжения в опасных областях нагружения при смещении 14 мм

Опора	Эквивалентное напряжение, МПа			Среднее эквивалентное напряжение, МПа
Жесткая	296	297	292	295
Гибкая	275	281	271	275,7

Из таблиц видно, что и при смещении на 7 мм и при смещении на 14 мм средние эквивалентные напряжения по Мизесу, возникающие в трубопроводе, при гибкой опоре меньше на 6,8 %, что свидетельствует о преимуществе данной конструкции опоры при прочих равных условиях. Кроме того, при перемещении грани трубы на 7 мм и на 14 мм конструкция с гибкой опорой выдерживает заданные нагрузки и возникающие напряжения не превышают предела текучести материала, в то время как в конструкция с жесткой опорой при перемещении грани на 14 мм эквивалентные напряжения превышают предел текучести материала. Также определено что конструкция с гибкой опорой, с возможностью перемещения в сторону смещения трубы, уменьшает возникающие напряжения на верхней образующей трубы.

На основе полученных результатов были выработаны рекомендации для разработки научно обоснованной конструкции гибкой опоры:

- подбором материала стержней гибкой опоры можно регулировать разницу смещения крайних граней трубы и места контакта с опорой, что позволит управлять возникающими в трубе напряжениями;
- гибкая опора дает возможность перемещаться в сторону смещения трубы, что уменьшает на 6,8 % процента возникающие напряжения на верхней образующей трубы.

Список использованных источников:

1. Закирова Э.А., Гаррис Н.А. Как избежать выпучивания опор надземных трубопроводов в районах пучинистых грунтов / Э.А. Закирова, Н.А. Гаррис // Нефтегазовое дело. – 2016. – Т. 15 – № 5. – С. 85–92.
2. Юлмухаметов А.А. Параметрический анализ статического изгиба трубопровода / А.А. Юлмухаметов // Труды Института механики им. Р.Р. Мавлютова УНЦ РАН. – 2016. – Т. 11. – № 1. – С. 24–29. – ISSN 2542–0380.
3. Analytical model of oil pipeline overground transitions, laid in mountain areas / Andriy S. Velychkovych, Andriy V. Andrusyak, Tetiana O. [et al.] – Electronic resource. – URL: <https://doi.org/10.2516/ogst/2019039> (date of treatment 27.11.2022).
4. Analysis of buried pipelines subjected to ground surface settlement and heave / George P. Kouretzis, Dimitrios K. Karamitros, and Scott W. Sloan // Can. Geotech. – 2015. – J. № 52. – P. 1058–1071.
5. Buckling phenomenon for straight and curved pipe under pure bending / Hartono Yudo Takao Yoshikawa // Journal of Marine Science and Technology – 2015. – № 20. – P. 94–103.

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРНЫХ ПЕРЕСТРОЕК ВБЛИЗИ ОБЛАСТИ СОПРЯЖЕНИЯ РАЗНОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ В УСЛОВИЯХ СДВИГОВОЙ ДЕФОРМАЦИИ

А.И. Дмитриев^а, д.ф.-м.н., г.н.с., А.Ю. Никонов^б, к.ф.-м.н., н.с.

Институт физики прочности и материаловедения

Сибирского отделения Российской академии наук (ИФПМ СО РАН)

634055, г. Томск, просп. Академический, 2/4; тел. (3822)-28-68-26

E-mails: ^аdmitr@ispms.ru; ^бanickonoff@ispms.ru

Аннотация: В работе исследовано механическое поведение образцов биметалла, образованных металлами с различным типом кристаллической решётки, в условиях сдвиговой деформации. С помощью компьютерного моделирования методом молекулярной динамики анализируются механизмы перестройки атомной решётки вблизи области сопряжения двух металлов.