
МУНАЙ ГАЗ ИНЖЕНЕРИЯСЫ ЖӘНЕ ГЕОЛОГИЯ
OIL AND GAS ENGINEERING, GEOLOGY
НЕФТЕГАЗОВАЯ ИНЖЕНЕРИЯ И ГЕОЛОГИЯ

УДК 69.07
МРНТИ 67.11.35

<https://doi.org/10.55452/1998-6688-2026-23-1-367-384>

¹Молдагалиев А.Б.,

к.т.н., ORCID ID: 0000-0002-4286-8401,
e-mail: arm_mold81@mail.ru

¹Сулейменов У.С.,

д.т.н., ORCID ID: 0000-0001-7798-1044,
e-mail: u.suleimenov2019@mail.ru

^{1*}Жанабай Н.Ж.,

к.т.н., ORCID ID: 0000-0002-8153-1449,
*e-mail: nurlan.zhanabay777@mail.ru

¹Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова,
г. Шымкент, Казахстан

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕСТА РАСПОЛОЖЕНИЯ
КОМПОЗИТНЫХ НАКЛАДОК НА ЧАСТОТЫ КОЛЕБАНИЙ
МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА**

Аннотация

В данной работе проведено численное исследование типового участка магистрального надземного газопровода усиленными композитными накладками, установленными на опоры на предмет анализа частот колебаний. Исследование проведено методом конечных элементов в программном комплексе ANSYS Workbench. В исследовании в качестве нагрузки рассмотрены случаи с внутренним рабочим и критическим давлением. Результат исследования показал, что в вариации установки композитных накладок при условии критического давления первые 11 частот колебаний показали более низкое значение, а начиная с 12 частоты более низкие значения показали в условиях рабочего давления. Вместе с тем в условиях рабочего давления расположение композитной накладки в вариации между опорами 2 и 3, а также в вариации между опорами 3 и 4 показало одинаковые результаты, то есть изменение происходило только в 1, 4 и 5 формах. В вариации, когда накладка установлена между опорами 1 и 2, изменению подверглись 1, 3 и 5 формы. В условиях критического давления расположение композитной накладки в вариации между опорами 2 и 3, а также в вариации между опорами 1 и 5 показало одинаковые результаты, то есть изменение происходило в 1, 2 и 5 формах. В вариации, когда накладка установлена между опорами 3 и 4, изменению подверглись 1, 3 и 5 формы. При сравнении всех трех случаев было установлено, что значение частот колебаний при установке композитных накладок посередине в большинстве случаев превышает, то есть из перечисленных двадцати частот в 60–70% показатель частот больше относительно других двух случаев. Таким образом, полученные результаты исследований можно использовать для выбора места расположения накладки из углепластика для бандажирования газопроводов в условиях региона с сейсмической активностью.

Ключевые слова: стальной газопровод, усиление труб, композитная накладка, конечно-элементный анализ, место расположения.

Введение

Одна из основных стратегий развития нефтегазового комплекса Казахстана заключается в развитии транспортного направления, которое ориентировано в основном на экспорт, транзит добываемого сырья, а также на обеспечение внутренних потребностей по всей стране, которого можно достичь на основе бесперебойной и надежной поставки. В республике на данный момент в секторе транспортировки газа свою деятельность осуществляют четыре крупные квазигосударственные компании: АО «Интергаз Центральная Азия» [1], ТОО «Азиатский Газопровод» [2], ТОО «Газопровод Бейнеу – Шымкент» [3], АО «КазТрансГаз Аймак» [4], которые входят в состав национальной компании АО «Казмунай Газ» [5]. Их основные технические характеристики показаны в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики компаний

№	Наименование компании	Общая протяженность магистральных газопроводов, км	Мощность, млрд м ³ в год
1	АО «Интергаз Центральная Азия»	12481	164
2	ТОО «Азиатский Газопровод»	3916	55
3	ТОО «Газопровод Бейнеу – Шымкент»	1450	15
4	АО «КазТрансГаз Аймак»	975	3
Итого		18822	237

Статистические показатели по транспортировке указанных компаний за 2020 г. представлены на рисунке 1.

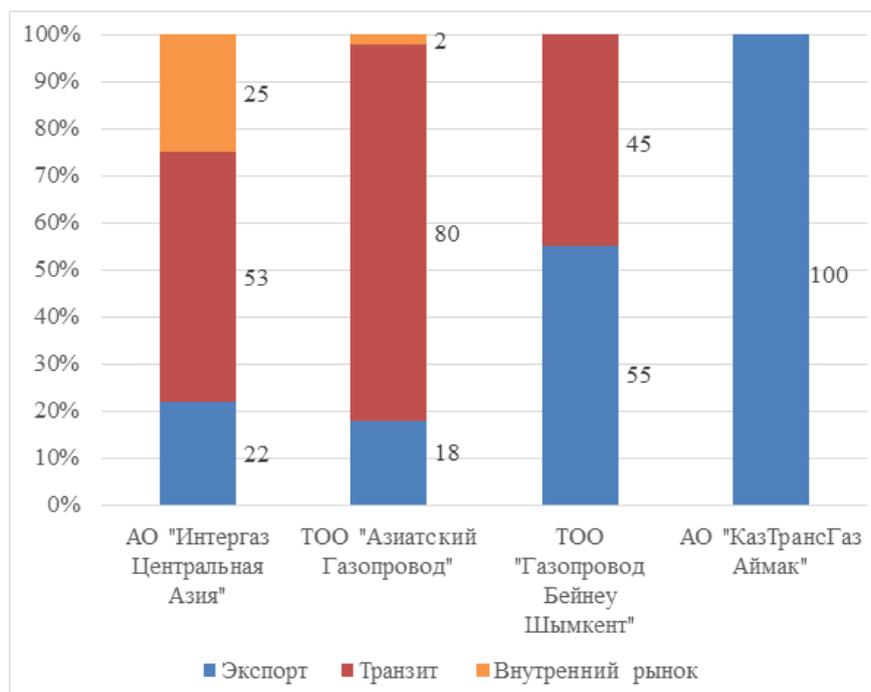


Рисунок 1 – Структура транспортировки газа по направлениям за 2020 г., %

Данные по транспортировке газа за период 2018–2020 гг. показаны в таблице 2.

Таблица 2 – Объем транспортировки газа за период 2018–2020 гг., млн м³

№	Наименование компании	2018	2019	2020
1	АО «Интергаз Центральная Азия»	80 134	72 961	57 753
	экспорт	18 873	19 069	12 687
	транзит	47 693	40 229	30 788
	внутренний рынок	13 568	13 663	14 278
2	ТОО «Азиатский Газопровод»	49 270	45 870	39 776
	экспорт	5484	7090	7011
	транзит	42 960	38 280	31 878
	внутренний рынок	826	500	886
3	ТОО «Газопровод Бейнеу – Шымкент»	8352	10 087	12 694
	экспорт	5255	7091	7011
	внутренний рынок	3097	2996	5682
4	АО «КазТрансГаз Аймак»	2622	2554	2603
	внутренний рынок	2622	2554	2603
	Итого	140 378	131 472	112 826

Учитывая, что в республике насчитывается внушительный парк трубопроводного транспорта, возникает вопрос увеличения срока безопасной эксплуатации конструкций. Данная проблема усугубляется тем, что более 30% территории республики находится в сейсмически активных районах [6], а более 70% эксплуатируемых магистральных трубопроводов отнесены к разряду изношенных [7], где незначительные воздействия [8, 9] могут спровоцировать разрушения [10–12].

Учитывая указанные обстоятельства, исследования, посвященные усилению участка магистрального трубопровода композитными накладками с учетом внутреннего давления и места расположения самой накладки, являются весьма актуальными. Результаты подобных исследований могут представлять интерес для ряда специализированных компаний, научно-исследовательских и проектных институтов.

За последние годы в направлении оценки [13] и разработки методов повышения прочностных характеристик магистральных трубопроводов [14], а также других конструкций в виде оболочек уделялось значительное внимание в части оценки вмятин правильной [15] и неправильной формы [16], а также сварных стыков горизонтальных [17] и вертикальных [18]. Однако появление новых материалов, которые применимы в вопросе прочностных характеристик к подобным конструкциям, требует проведения дальнейших исследований. Вместе с тем из обзора работ известно, что данное направление в международном масштабе также имеет свою нишу [19]. Так, в работе [20] исследованы вопросы прогнозирования разрыва по причине образования одиночных трещиноподобных дефектов, образованных в результате коррозии. Оценка динамической надежности конструкции с несколькими трещинами исследована в работе [21]. Предлагаемые модели [20, 21] обеспечивают только прогнозы давления разрушения, а способы локализации разрушений не описаны. В работе [22] представлены результаты исследования сравнения традиционного метода оценки остаточной прочности Фон Мизеса и подхода механики разрушения. Оба подхода показали свою эффективность только в вопросе оценки остаточной прочности. Вопросы трещин в трубопроводах исследованы в работе [23], где также представлены только результаты причины образования дефектов. В исследовании [24] была проведена серия симуляций и экспериментов, основанных на испытании широкой пластины на растяжение. Было исследовано влияние размеров и параметров располо-

жения дефектов, прилегающих к спиральному сварному шву трубопровода, на возникновение и распространение трещин. Результаты моделирования касались только вопросов возникновения трещин и показали, что размеры дефекта влияли на возникновение и распространение трещины. Исследование образования растрескиваний в чугунных трубах [25] тоже показало, что в основном на появление дефекта большое влияние оказывает коррозия [26]. Однако в данных исследованиях [25, 26] также не освещены вопросы локализации появления трещин, в основном работа была направлена на вопросы прогнозирования. Исследования с применением метода конечных элементов в различных программных комплексах показаны в работах [27, 28]. Однако в этих работах также рассматривается вопрос только распространения трещин и критическое давление разрыва трубопроводов. Сравнение теоретических и экспериментальных исследований распространения трещин по окружности показаны в работах [29], где исследованы вопросы сопротивления разрушению только по окружности трубопровода [30]. Вместе с тем в нормативных правилах по проектированию магистральных трубопроводов для транспортировки сырья в национальном [31, 32] и международном масштабе [33–37] представлены только традиционные меры повышения прочностных характеристик, основанные на нормировании геометрических размеров и химической защиты корпуса конструкции. Проведенный литературный обзор показывает [13–37], что в основном исследования направлены на прогнозирование, оценку или усиление прочностных характеристик за счет подбора нужной геометрии. В связи с чем вопросы целесообразности усиления способом бандажирования композитными накладками требует продолжения исследований [9, 38]. Необходимо исследовать вопросы влияния места расположения самих накладок, а также их влияние на частоты колебаний, что является актуальным. Полученные результаты данного исследования могут представлять интерес для ряда специализированных организаций, научно-исследовательских и проектных институтов.

Целью данной работы является исследование влияния места расположения композитных накладок на частоты колебаний магистрального газопровода с учетом внутреннего давления. Полученные результаты исследования позволят в дальнейшем производить правильную оценку места расположения композитных накладок в вопросе выбора правильных частот колебаний, что непременно позволит продлить срок службы трубопровода.

Для достижения цели была поставлена следующая задача:

- ♦ исследовать влияние места расположения композитных накладок на значения частот колебаний с учетом рабочего и критического внутреннего давления магистрального газопровода

Материалы и методы

В качестве объекта исследования был выбран отрезок магистрального стального газопровода с толщиной стенки 11,9 мм и диаметром 1047 мм, усиленный композитными накладками (рисунок 2).

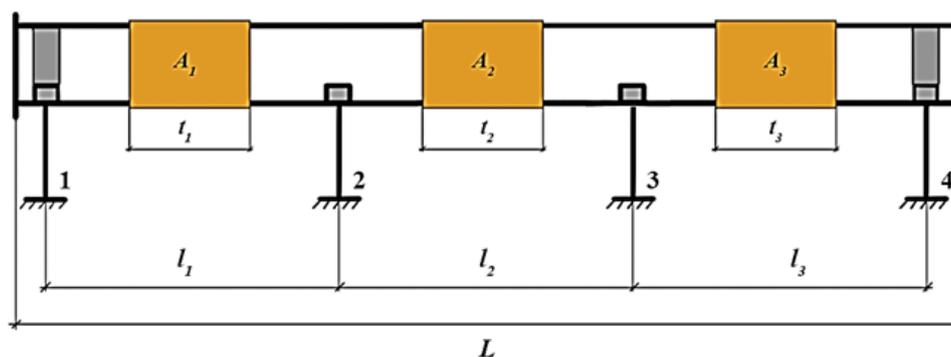


Рисунок 2 – Отрезок магистрального стального газопровода с композитными накладками:
1, 2, 3, 4 – нумерация опор; L – длина отрезка (4000 мм); l1, l2, l3 – длина подотрезков между опорами (1280 мм); A1, A2, A3 – композитные накладки; t1, t2, t3 – длина композитных накладок (800 мм)

Схемы расположения накладок между опорами представлена на рисунках 3–5.



Рисунок 3 – Схема расположения наклейки между свободноподвижными опорами 2 и 3 [38]



Рисунок 4 – Схема расположения наклейки между опорой 1 с жесткой заделкой и свободноподвижной опорой 2



Рисунок 5 – Схема расположения наклейки между свободноподвижной опорой 3 и продольноподвижной опорой 4

Исследуется труба, изготовленная из стали X70. Использовались физико-механические характеристики материала по стандарту [39]: плотность $\rho = 7810 \text{ кг/м}^3$, модуль Юнга $E = 2,06 \text{ ГПа}$, временное сопротивление $\sigma_B = 570 \text{ МПа}$, предел текучести $\sigma_T = 505 \text{ МПа}$. Рассматривается два варианта давления: рабочее давление $P_1 = 7,5 \text{ МПа}$ и критическое давление $P_2 = 9,8 \text{ МПа}$. В качестве композитных накладок используется углепластик, который является ортотропным материалом с инженерными механическими характеристиками: модули Юнга $E_{xx} = 35 \text{ ГПа}$, $E_{\varphi\varphi} = 35 \text{ ГПа}$, $E_{zz} = 8 \text{ ГПа}$, модули сдвига $G_{x\varphi} = 6 \text{ ГПа}$, $G_{\varphi z} = 30 \text{ ГПа}$, $G_{xz} = 30 \text{ ГПа}$, коэффициенты Пуассона $\nu_{x\varphi} = 0,01$, $\nu_{\varphi z} = 0,09$, $\nu_{xz} = 0,09$, плотность $\rho = 1477 \text{ кг/м}^3$.

Анализ проведен в программном комплексе ANSYS [40], где конечно-элементная модель и сходимость численных исследований описаны в предыдущей работе авторов [38] на основе [41, 42].

Результаты и обсуждения

Исследуется влияние места расположения накладок между опорами на спектр частот и формы колебаний упрочненной трубы. Частичные результаты исследования авторов трубы с накладкой, расположенной между опорами 2 и 3, представлены в работе [38] (рисунок 3).

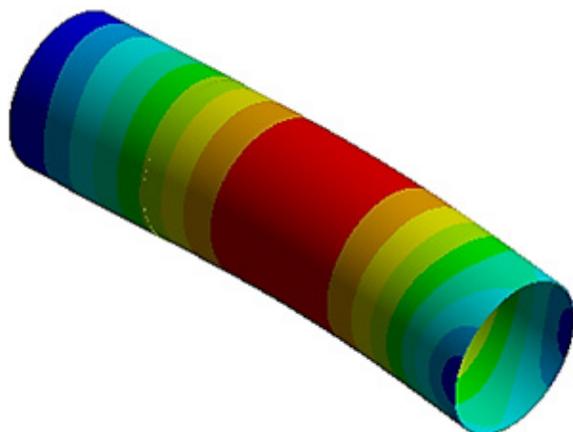
В таблице 3 представлены результаты исследования трубы с накладкой, расположенной между опорами 1 и 2 (рисунок 4).

Таблица 3 – Частоты колебаний усиленной композитной накладки длиной 800 мм и толщиной 4 мм (рисунок 4)

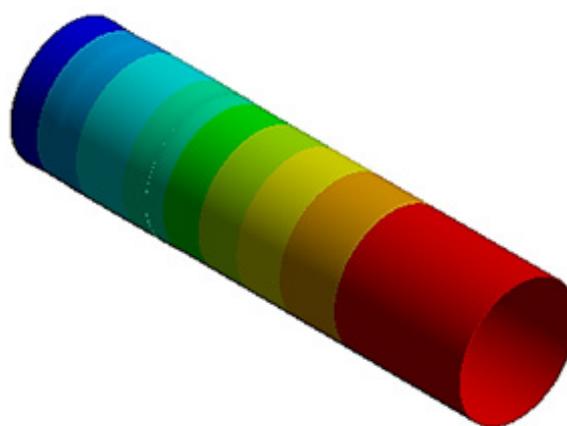
№ частоты	Частоты колебаний, в Гц	
	Рабочее давление	Критическое давление
1	10,492	3,3799
2	10,492	3,3814
3	35,303	32,58
4	36,628	32,581
5	36,629	35,379
6	36,734	35,496
7	62,415	57,942
8	62,416	57,943
9	71,266	68,522
10	85,989	81,225
11	85,991	81,227
12	93,276	99,723
13	93,276	99,726
14	94,013	100,84
15	94,013	103,35
16	97,242	105,11
17	97,242	105,11
18	99,902	106,7
19	104,28	106,7
20	104,28	108,04

Частоты с первой по 11 более низкие для критического давления, а с 12 – для рабочего.

Формы колебаний, соответствующие приведенным в таблице 3 первым шести значащим частотам, приведены на рисунках 6 и 7. Для рабочего и критического давления первая, пятая и шестая формы совпадают.



а



б

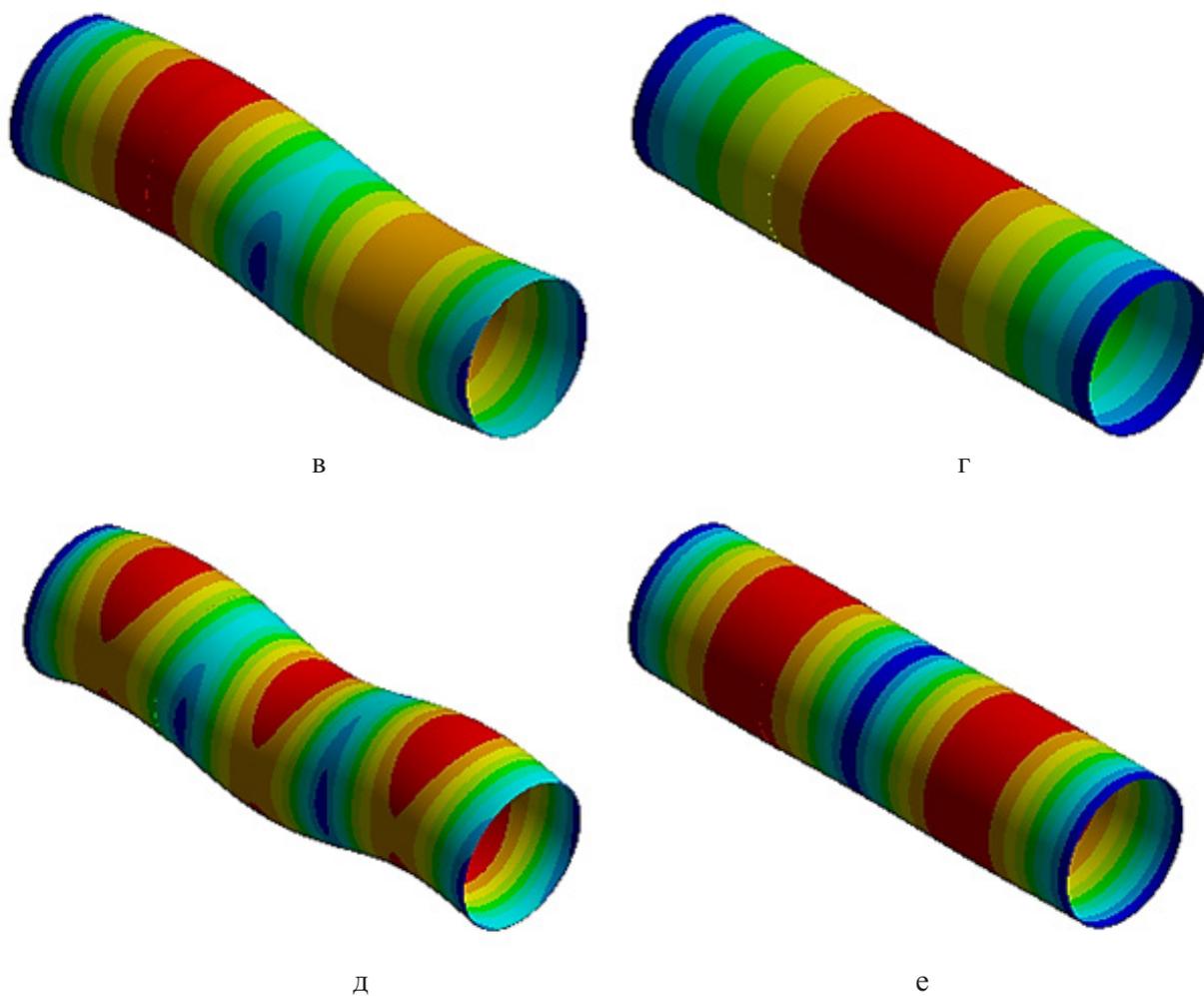
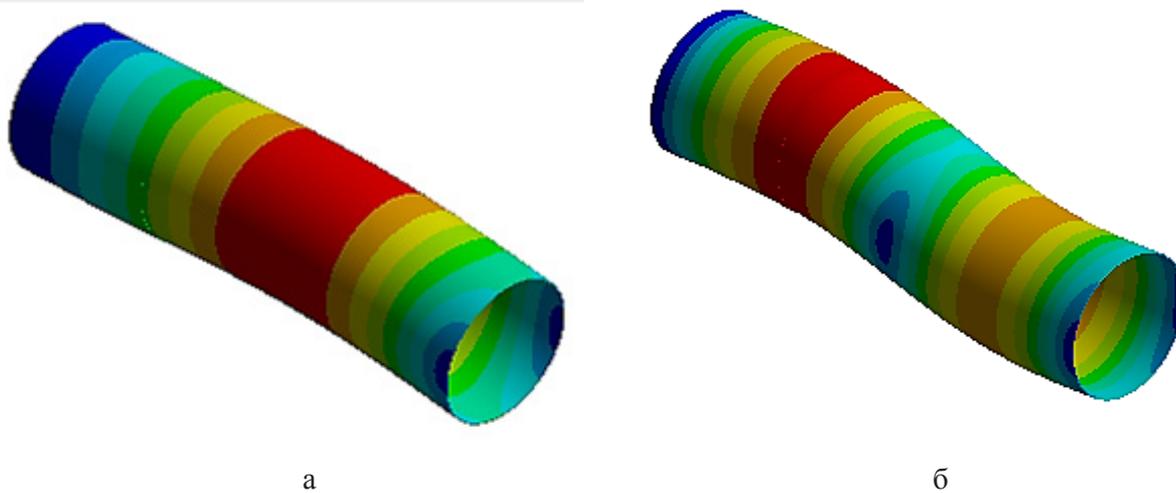


Рисунок 6 – Формы колебаний трубы, усиленной композитной накладкой, расположенной между опорой с жесткой заделкой и свободноподвижной опорой, при рабочем давлении: а – первая форма; б – вторая форма; в – третья форма; г – четвертая форма; д – пятая форма; е – шестая форма



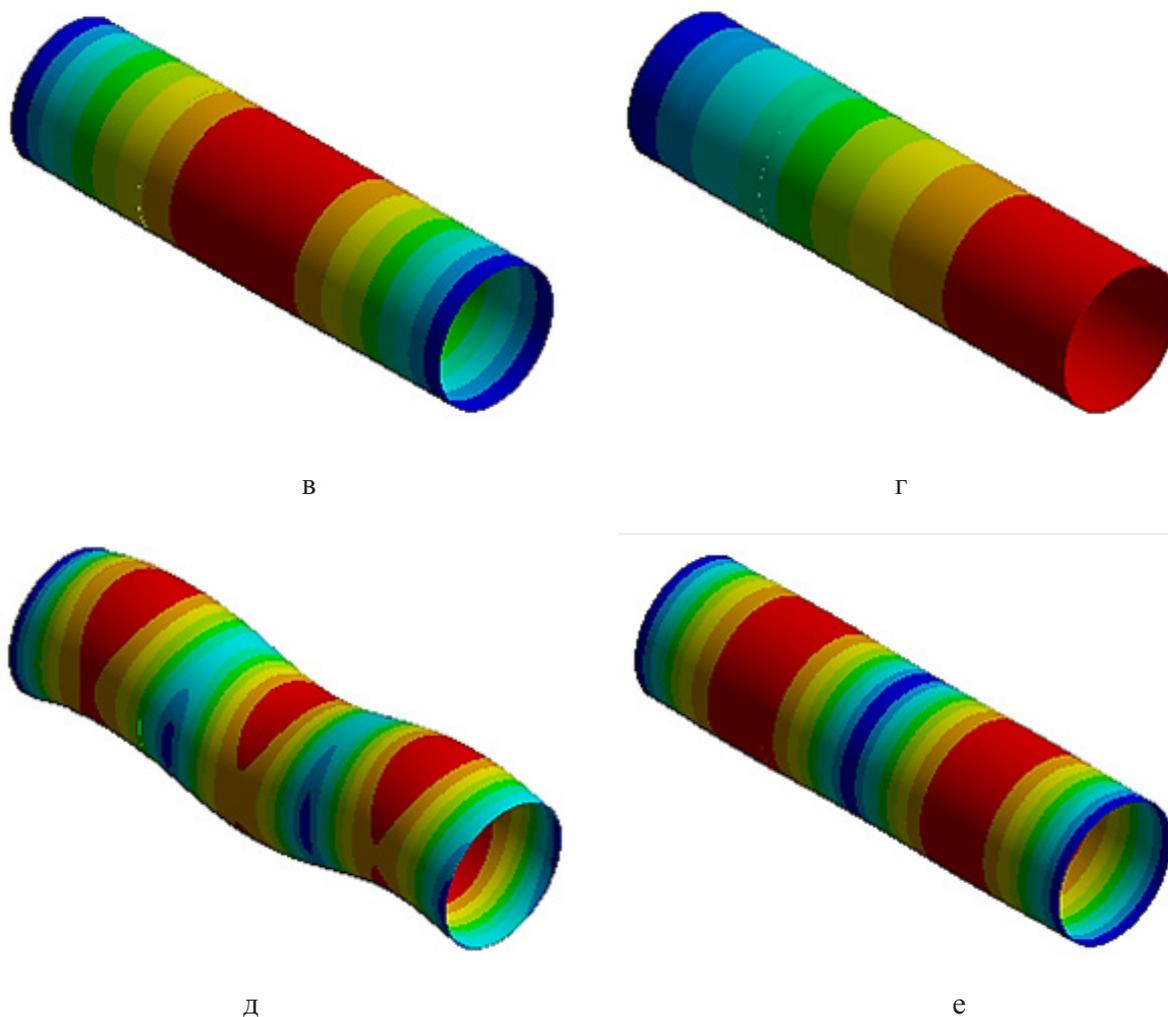


Рисунок 7 – Формы колебаний трубы, усиленной композитной накладкой, расположенной между опорой с жесткой заделкой и свободноподвижной опорой, при критическом давлении: а – первая форма; б – вторая форма; в – третья форма; г – четвертая форма; д – пятая форма; е – шестая форма

В таблице 4 представлены результаты первых 20 частот исследования трубы с накладкой, расположенной между опорами 3 и 4, как показано на рисунке 5.

Таблица 4 – Частоты колебаний усиленной композитной накладкой длиной 800 мм и толщиной 4 мм трубы минимального радиуса (рисунок 5)

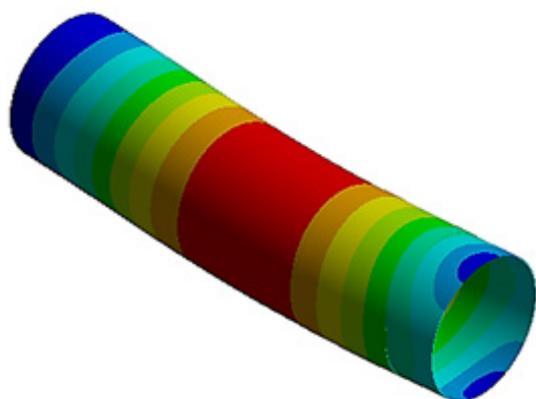
№ частоты	Частоты колебаний, в Гц	
	Рабочее давление	Критическое давление
1	10,708	4,6119
2	10,711	4,6183
3	32,925	33,155
4	36,72	33,192
5	37,13	33,196
6	37,134	35,36

Продолжение таблицы 4

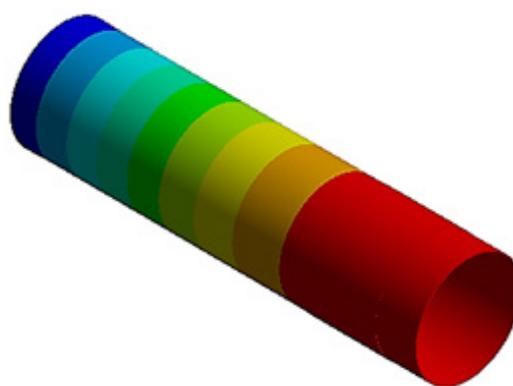
7	62,839	58,427
8	62,84	58,428
9	71,238	68,483
10	86,178	81,509
11	86,178	81,509
12	92,557	99,965
13	92,557	99,966
14	94,597	102,42
15	94,597	103,39
16	97,886	104,65
17	97,886	104,65
18	101,48	106,89
19	104,42	106,89
20	104,42	108,84

Частоты с первой по 11 более низкие для критического давления, а с 12 – для рабочего.

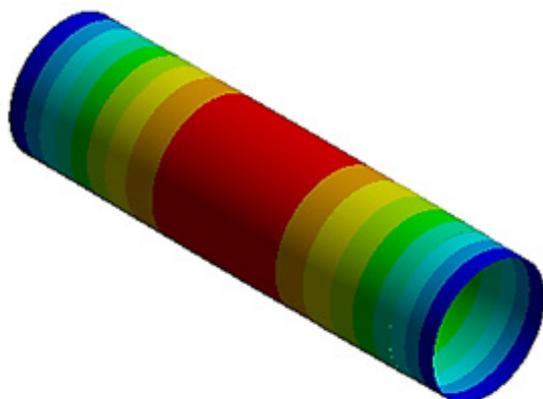
Формы колебаний, соответствующие приведенным в таблице 4 первым шести значащим частотам, приведены на рисунках 8 и 9.



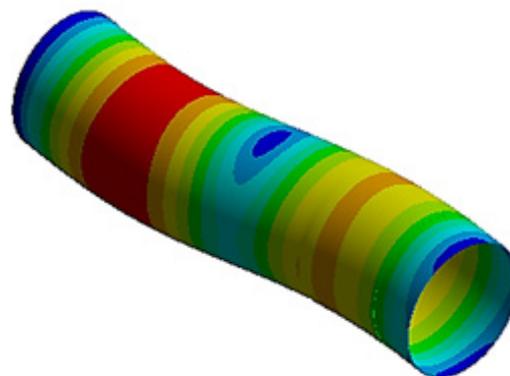
а



б



в



г

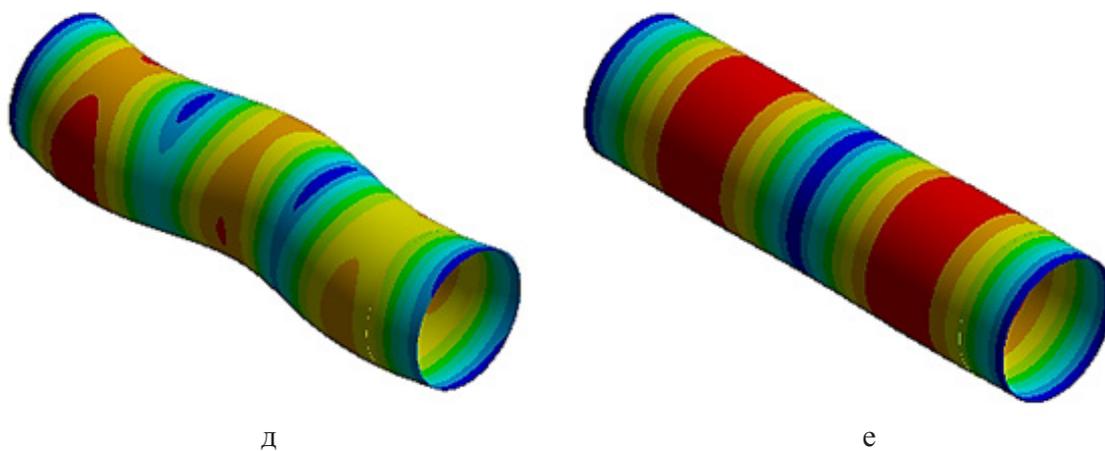
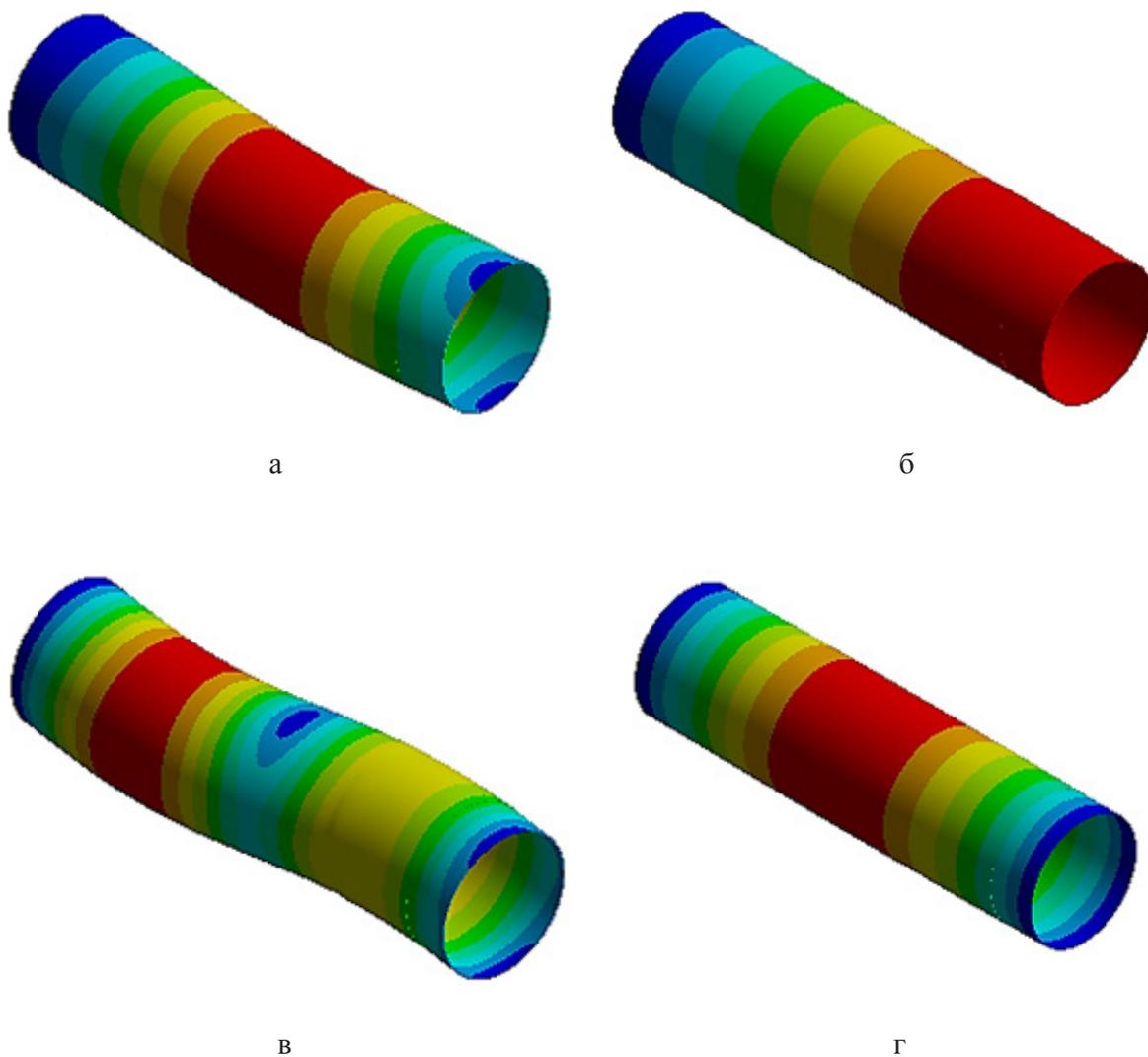


Рисунок 8 – Формы колебаний трубы, усиленной композитной накладкой, расположенной между свободноподвижной опорой и продольноподвижной опорой, при рабочем давлении: а – первая форма; б – вторая форма; в – третья форма; г – четвертая форма; д – пятая форма; е – шестая форма



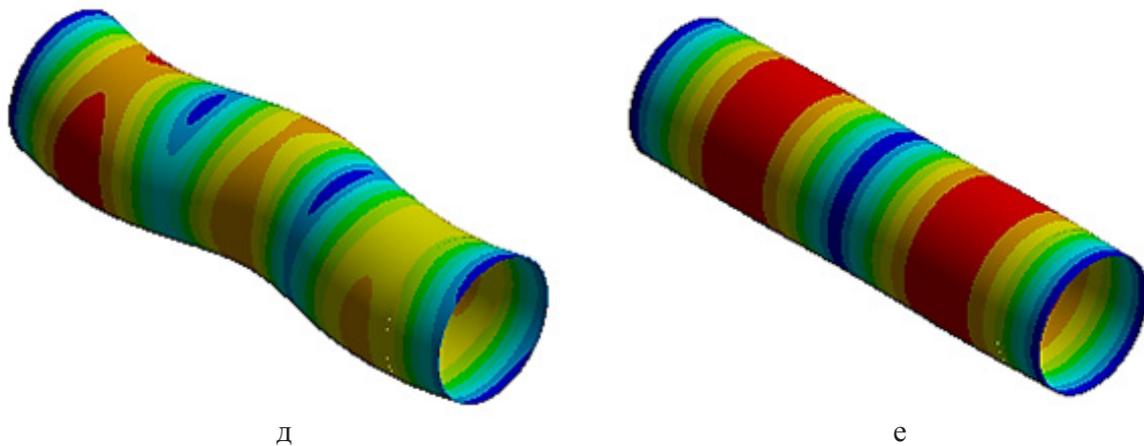


Рисунок 9 – Формы колебаний трубы, усиленной композитной накладкой, расположенной между свободноподвижной опорой и продольноподвижной опорой, при критическом давлении: а – первая форма; б – вторая форма; в – третья форма; г – четвертая форма; д – пятая форма; е – шестая форма

Для рабочего и критического давления первая, вторая, пятая и шестая формы совпадают.

Представленное автором исследование является частью одного комплексного исследования по применению композитных накладок в качестве способа усиления трубопроводов. Данное исследование является продолжением работ авторов [9, 38]. В данной работе проведено исследование типового участка магистрального надземного газопровода усиленными композитными накладками, установленными на опоры на предмет анализа частот колебаний (рисунок 2). В исследовании в качестве нагрузки выбрано внутреннее рабочее и критическое давление. Исследование проведено методом конечных элементов в программном комплексе ANSYS Workbench [38]. Результаты анализа первых двадцати частот колебаний, когда композитная накладка расположена посередине между опорами 2 и 3, показали (рисунок 3), что частоты с первой по 11 более низкие для критического давления, чем для рабочего. Начиная с 12 частоты, более низкие для рабочего давления, чем для критического [38]. Вместе с тем при анализе первых шести форм колебаний было установлено, что при рабочем давлении наиболее подвержены изменению формы 1, 4 и 5. Критическое давление показало, что изменению подвержены формы колебаний под номерами 1, 2 и 5 [38]. Вторым и третьим этапами анализа частот колебаний при установке композитной наклейки в левой части, между опорами 1 и 2 (рисунок 4) или установке в правой части между опорами 3 и 4 (рисунок 5) показали аналогичный результат (таблицы 3 и 4), то есть частоты колебаний по 11 в случае критического давления ниже, чем при рабочем, а начиная с 12 частоты – наоборот, как и в случае установки композитной наклейки посередине (рисунок 3). Однако касаясь форм колебаний в случае рисунка 4 при рабочем давлении наиболее подвержены изменению 1, 3 и 5. При критическом внутреннем давлении изменение форм совпадает в случае рисунка 3. В случае рисунка 5 в условиях рабочего давления формы колебаний подвержены изменению аналогично в случае рисунка 3, а критическое давление показало, что изменение происходит в 1, 3 и 5 формах колебаний.

При сравнении всех трех случаев по значениям частот колебаний было установлено, что частоты колебаний при установке композитных накладок посередине (рисунок 3) в большинстве случаев превышают относительно рисункам 4 и 5, то есть из перечисленных 20 частот в 60–70% при случае с рисунком 3 значение частот больше относительно других двух случаев. Вместе с тем при анализе видно, что имеется достаточно много парных частот колебаний, что свидетельствует о качественной выбранной конечно-элементной модели [9, 38].

Обоснованность выбранного способа подтверждается ранее проведенными исследованиями автора по усилению вертикальных стальных оболочек с применением метода пред-

варительного напряжения, где предлагаемый способ показал свою эффективность. Следует отметить, что полученные результаты комплексного исследования в дальнейшем могут быть использованы как для новых проектируемых трубопроводов, так и для усиления эксплуатируемых трубопроводов. В качестве недостатка работы можно отметить то, что при анализе не учитывалась вариация усилия натяжения композитной накладки. Однако это допущение существенно не влияет на результат, а трение можно учесть при дополнительных расчетах.

Ограничением данного исследования является то, что исследование проводилось на прямом участке трубопровода. Однако это позволило опробовать научную идею, обосновать некоторые предположения и подобрать конструктивные решения. В связи с чем необходимо расширить область исследования бандажированных трубопроводов в направлении исследования криволинейных участков трубопровода.

Заключение

Проведено численное исследование влияния места расположения композитных накладок на частоты колебаний магистрального газопровода ANSYS Workbench. Газопровод был смоделирован при условии рабочего и критического давления. При этом исследованы разные вариации места установки композитных накладок. В исследовании рассмотрены первые 20 частот колебаний и первые шесть форм. В результате было установлено, что в вариации установки композитных накладок при условии критического давления первые 11 частот колебаний показали более низкое значение, а начиная с 12 частоты более низкие значения показали в условиях рабочего давления. Вместе с тем в условиях рабочего давления расположение композитной накладки в вариации между опорами 2 и 3, а также в вариации между опорами 3 и 4 показало одинаковые результаты, то есть изменение происходило только в 1, 4 и 5 формах. В вариации, когда накладка установлена между опорами 1 и 2, изменению подверглись 1, 3 и 5 формы. В условиях критического давления расположение композитной накладки в вариации между опорами 2 и 3, а также в вариации между опорами 1 и 5 показало одинаковые результаты, то есть изменение происходило в 1, 2 и 5 формах. В вариации, когда накладка установлена между опорами 3 и 4, изменению подверглись 1, 3 и 5 формы. При сравнении всех трех случаев по значениям частот колебаний было установлено, что значение частот колебаний при установке композитных накладок посередине в большинстве случаев превышает, то есть из перечисленных 20 частот в 60–70% показатель частот больше относительно других двух случаев. Таким образом, полученные результаты исследований можно использовать для выбора места расположения накладки из углепластика для бандажирования газопроводов в условиях региона с сейсмической активностью.

Благодарность/источник финансирования

Исследование проводилось в рамках грантового финансирования Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан ИРН AP14872527.

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что конфликта интересов нет.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Официальный сайт АО «Интергаз Центральная Азия». URL: <https://intergas.kz/ru> (дата обращения: 24.08.2024).
- 2 Официальный сайт ТОО «Азиатский Газопровод». URL: <https://qsamruk.kz/company/agp> (дата обращения: 24.08.2024.)
- 3 Официальный сайт газопровод «Бейнеу-Бозой-Шымкент». URL: <https://bsgp.kz> (дата обращения: 24.08.2024.).

- 4 Официальный сайт национальной компании АО «QazaqGaz». URL: <https://qazaqgaz.kz> (дата обращения: 24.08.2024)
- 5 Официальный сайт национальной компании АО «КазМұнайГаз». URL: <https://www.kmg.kz/ru> (дата обращения: 24.08.2024).
- 6 СП РК 2.04-01-2017. Строительная климатология. Свод правил Республики Казахстан. – Астана, 2017. – 43 с. URL: https://online.zakon.kz/m/document/?doc_id=37599018 (дата обращения: 24.08.2024)
- 7 Zona. kz. URL: <https://zonakz.net/2021/03/12/iznos-kazaxstanskix-gazoprovodov-sostavlyaet-boleee-70/> (дата обращения: 24.08.2024).
- 8 Zhangabay N., Ibraimova U., Suleimenov U., et al. Factors affecting extended avalanche destructions on long-distance gas pipe lines: Review // *Case Studies in Construction Materials*. – 2023. – No.19. – e02376. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02376>
- 9 Moldagaliyev A., Zhangabay N., Suleimenov U., Avramov K., Raimberdiyev T., Chernobryvko M., Umbitaliyev A., Jumabayev A., Yeshimbetov S. Deformation features of trunk pipelines with composite linings under static loads // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2023. – Vol. 5. – No. 7(125). – P. 34–42. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.287025>
- 10 In the West Kazakhstan Region, a worker was killed as a result of a gas pipeline rupture. URL: https://www.kt.kz/rus/incidents/v_zko_v_rezultate_razriva_gazoprovoda_pogib_rabochij_1153537406.html (accessed: 30.08.2024).
- 11 Gas Line Explodes in Nigeria, Killing at Least 260 // *The New York Times*, 2006. URL: <https://www.nytimes.com/2006/12/27/world/africa/27nigeria.html> (accessed: 30.08.2024)
- 12 Natural gas explosion kills nearly 300 at Texas school, History. 13 November 2009. URL: <https://www.history.com/this-day-in-history/natural-gas-explosion-kills-schoolchildren-in-texas> (accessed: 28.08.2024)
- 13 Ibraimova U., et al. Development of method for calculation of pre-strained steel cylindrical sheaths in view of the winding angle, pitch and thickness // *Case Studies in Construction Materials*. – 2023. – Vol. 19. – e02233. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02233>
- 14 Suleimenov U., Zhangabay N., Utebayeva A., Mohamad N., Moldagaliyev A., Abshenov K., Buganova S., Daurbekova S., Ibragimova Z., Dosmakanbetova A. Determining the features of oscillations in prestressed pipelines // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2021. – Vol. 6. – No. 7/114. – P. 85–92. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.246751>
- 15 Suleimenov U., Zhangabay N., Utebayeva A., Masrah A.A.M., Dosmakanbetova A., Abshenov Kh., Buganova S., Moldagaliyev A., Imanaliyev K., Duissenbekov B. Estimation of the strength of vertical cylindrical liquid storage tanks with dents in the wall // *Eastern – European Journal of enterprise technologies*. – 2022. – Vol. 1. – No.7/115. – P. 6–20. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.252599>
- 16 Zhangabay N., Sapargaliyeva B., Suleimenov U., Abshenov K., Utebayeva A., Kolesnikov A., Baibolov, K., Fediuk R., Arinova D., Duissenbekov B. Analysis of Stress-Strain State for a Cylindrical Tank Wall Defected Zone // *Materials*. – 2022. –Vol. 15. – No. 16. – P. 5732. <https://doi.org/10.3390/ma15165732>
- 17 Suleimenov U., Zhangabay N., Abshenov K., Utebayeva A., Imanaliyev K., Mussayeva S., Moldagaliyev A., Yermakhanov M., Raikhanova G. Estimating of the stress-strain state of the vertical mounting joint of the cylindrical tank wall taking into account imperfections // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. –2022. – Vol. 3. – No. 7 (117). – P. 14–21. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.258118>
- 18 Zhangabay N., Suleimenov U., Utebayeva A., Kolesnikov A., Baibolov K., Imanaliyev K., Moldagaliyev A., Karshyga G., Duissenbekov B., Fediuk R., Amran M. Analysis of a stress-strain state of a cylindrical tank wall vertical field joint zone // *Buildings*. – 2022. – Vol. 12. – P. 1445. <https://doi.org/10.3390/buildings120914445>
- 19 Reis J.M.L. et al. Strength of dissimilar adhesively bonded DCB joints and its connection with the failure pressure of composite repair systems // *Composite Structures*. – 2023. – Vol. 304. – P. 116441. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2022.116441>
- 20 Kiswendsida J., Huang Q. Probabilistic burst pressure prediction model for pipelines with single crack-like defect // *International Journal of Pressure Vessels and Piping*. – 2024. – Vol. 207. – P. 105084. <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2023.105084>
- 21 Jiang S., Li Y. Dynamic reliability assessment of multi-cracked structure under fatigue loading via multi-state physics model // *Reliability Engineering & System Safety*. – 2021. – Vol. 213. – P. 107664. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2021.107664>

22 Mondal Ch., Sutra Dhar A. Burst pressure assessment of corroded pipelines using fracture mechanics criterion // *Engineering Failure Analysis*. – 2019. – Vol. 104. – P. 139–153. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.05.033>

23 Xie M., Wang Y., Zhao J., Pei X., Zhang T. Prediction of pipeline fatigue crack propagation under rockfall impact based on multilayer perceptron // *Reliability Engineering & System Safety*. – 2024. – Vol. 242. – P. 109772. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2023.109772>

24 Zhang D., Zhu H., Zhang C., Wang J., Guo H. Crack initiation and propagation of defects adjacent to the X65 pipeline spiral weld under axial tensile force // *International Journal of Pressure Vessels and Piping*. – 2022. – Vol. 200. – P. 104814. <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2022.104814>

25 Hossain A., Sutra Dhar A. Stress intensity factors for external corrossions and cracking of buried cast iron pipes // *Engineering Fracture Mechanics*. – 2021. – Vol. 250. – P. 107778. <https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2021.107778>

26 Wang W., Zhou A., Fu G., Li Ch., Robert D., Mahmoodian M. Evaluation of stress intensity factor for cast iron pipes with sharp corrosion pits // *Engineering Failure Analysis*. – 2017. – Vol. 81. – P. 254–269. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2017.06.026>

27 Okodi A., Lin M., Yoosef-Ghods N., Kainat M., Hassanien Sh., Adeeb S. Crack propagation and burst pressure of longitudinally cracked pipelines using extended finite element method // *International Journal of Pressure Vessels and Piping*. – 2020. – Vol. 184. – P. 104115. <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2020.104115>

28 Ameli I., Asgarian B., Lin M., Agbo S., Cheng R., Duan D., Adeeb S. Estimation of the CTOD-crack growth curves in SENT specimens using the eXtended finite element method // *International Journal of Pressure Vessels and Piping*. – 2019. – Vol. 169. – P. 16–25. <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2018.11.008>

29 Parool N., Qian X., Koh C. A modified hybrid method to estimate fracture resistance curve for pipes with a circumferential surface crack // *Engineering Fracture Mechanics*. – 2018. – Vol. 188. – P. 1–19. <https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2017.05.046>

30 Xu J., Zhang Z., Østby E., Nyhus B., Sun D. Constraint effect on the ductile crack growth resistance of circumferentially cracked pipes // *Engineering Fracture Mechanics*. – 2010. – Vol. 77. – P. 671–684. <https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2009.11.005>

31 СП РК EN 1998-4:2006/2012. Проектирование сейсмостойких конструкций. Ч. 4. Бункеры, резервуары и трубопроводы. – 2012 (дата обращения: 29.08.2024).

32 СП РК EN 1993-4-3:2007-2011. Проектирование стальных конструкций. Ч. 4-3. Трубопроводы (дата обращения: 27.08.2024).

33 Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance. Part 4: Silos, tanks, and pipelines. – 2006 (accessed: 25.08.2024).

34 Eurocode 3: Design of steel structures. Part 4: Silos, tanks, and pipelines. – 2005 (accessed: 26.08.2024).

35 API Specification 5L. 46th ed. Washington DC: American Petroleum Institute, 2018 (accessed: 24.08.2024).

36 ANSI/ASME B31G–1984. Manual for Determining the Remaining Strength of Corroded Pipelines. New York: ASME (accessed: 30.08.2024).

37 ANSI/ASME B31.8–73. Gas Transmission and Distribution Piping Systems (accessed: 27.08.2024).

38 Moldagaliyev A., Zhangabay N., Bonopera M., Raimberdiyev T., Yeshimbetov S., Galymzhan S., Anarbayev Y. Finite-element analysis of oscillations in damaged pipeline sections reinforced with a composite material // *Modelling and Simulation in Engineering*. – 2024. – Article ID 2827002. – 15 p. <https://doi.org/10.1155/2024/2827002>

39 ГОСТ 14959–2016. Металлопродукция из рессорно-пружинной нелегированной и легированной стали. Технические условия. – М., 2016. – 32 с. (дата обращения: 30.08.2024).

40 ANSYS 19.2 delivers faster problem-solving capabilities across entire portfolio. – 2018 (accessed: 30.08.2024).

41 Hallquist J.O. LS-DYNA Theory Manual. Livermore: Livermore Software Technology Corporation (LSTC), 2006. – 680 p. (accessed: 24.08.2024).

42 Barbero E.J. Finite Element Analysis of Composite Materials Using ANSYS. CRC Press, 2013. – 366 p. <https://doi.org/10.1201/b16295> (accessed: 30.08.2024).

REFERENCES

- 1 Intergas Central Asia JSC. Official website. URL: <https://intergas.kz/ru> (accessed: 24.08.2024). (In Russian).
- 2 Asian Gas Pipeline LLP. Official website. URL: <https://qsamruk.kz/company/agp> (accessed: 24.08.2024). (In Russian).
- 3 Beineu–Bozoy–Shymkent Gas Pipeline. Official website. URL: <https://bsgp.kz> (accessed: 24.08.2024). (In Russian).
- 4 QazaqGaz NC JSC. Official website. URL: <https://qazaqgaz.kz> (accessed: 24.08.2024). (In Russian).
- 5 KazMunayGas NC JSC. Official website. URL: <https://www.kmg.kz/ru> (accessed: 24.08.2024). (In Russian).
- 6 SP RK 2.04-01-2017. Construction Climatology. Code of Practice of the Republic of Kazakhstan. Astana, 2017. 43 p. URL: https://online.zakon.kz/m/document/?doc_id=37599018 (accessed: 24.08.2024). (In Russian).
- 7 Zona.kz. Wear of Kazakhstan gas pipelines exceeds 70%. URL: <https://zonakz.net/2021/03/12/iznos-kazaxstanskix-gazoprovodov-sostavlyaet-bolee-70/> (accessed: 24.08.2024).
- 8 Zhangabay, N., Ibraimova, U., Suleimenov, U., et al. Factors affecting extended avalanche destructions on long-distance gas pipelines: Review. *Case Studies in Construction Materials*, 19, e02376 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02376>
- 9 Moldagaliyev, A., Zhangabay, N., Suleimenov, U., Avramov, K., Raimberdiyev, T., Chernobryvko, M., Umbitaliyev, A., Jumabayev, A., Yeshimbetov, S. Deformation features of trunk pipelines with composite linings under static loads. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (7(125)), 34–42 (2023). <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.287025>
- 10 In the West Kazakhstan Region, a worker was killed as a result of a gas pipeline rupture. URL: https://www.kt.kz/rus/incidents/v_zko_v_rezultate_razriva_gazoprovoda_pogib_rabochij_1153537406.html (accessed: 30.08.2024).
- 11 Gas line explodes in Nigeria, killing at least 260. *The New York Times*. 2006. URL: <https://www.nytimes.com/2006/12/27/world/africa/27nigeria.html> (accessed: 30.08.2024).
- 12 Natural gas explosion kills nearly 300 at Texas school. *History.com*. 13 November 2009. URL: <https://www.history.com/this-day-in-history/natural-gas-explosion-kills-schoolchildren-in-texas> (accessed: 28.08.2024).
- 13 Ibraimova, U., et al. Development of method for calculation of pre-strained steel cylindrical sheaths in view of the winding angle, pitch and thickness. *Case Studies in Construction Materials*, 19, e02233 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02233>
- 14 Suleimenov, U., Zhangabay, N., Utebayeva, A., Mohamad, N., Moldagaliyev, A., Abshenov, K., Buganova, S., Daurbekova, S., Ibragimova, Z., Dosmakanbetova, A. Determining the features of oscillations in prestressed pipelines. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (7(114)), 85–92 (2021). <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.246751>
- 15 Suleimenov, U., Zhangabay, N., Utebayeva, A., Masrah, A.A.M., Dosmakanbetova, A., Abshenov, Kh., Buganova, S., Moldagaliyev, A., Imanaliyev, K., Duissenbekov, B. Estimation of the strength of vertical cylindrical liquid storage tanks with dents in the wall. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (7 (115)), 6–20 (2022). <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.252599>
- 16 Zhangabay, N., Sapargaliyeva, B., Suleimenov, U., Abshenov, K., Utebayeva, A., Kolesnikov, A., Baibolov, K., Fediuk, R., Arinova, D., Duissenbekov, B. Analysis of stress-strain state for a cylindrical tank wall defected zone. *Materials*, 15(16), 5732 (2022). <https://doi.org/10.3390/ma15165732>
- 17 Suleimenov, U., Zhangabay, N., Abshenov, K., Utebayeva, A., Imanaliyev, K., Mussayeva, S., Moldagaliyev, A., Yermakhanov, M., Raikhanova, G. Estimating of the stress-strain state of the vertical mounting joint of the cylindrical tank wall taking into account imperfections. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(7 (117)), 14–21 (2022). <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.258118>
- 18 Zhangabay, N., Suleimenov, U., Utebayeva, A., Kolesnikov, A., Baibolov, K., Imanaliyev, K., Moldagaliyev, A., Karshyga, G., Duissenbekov, B., Fediuk, R., Amran, M. Analysis of a stress-strain state of a cylindrical tank wall vertical field joint zone. *Buildings*, 12, 1445 (2022). <https://doi.org/10.3390/buildings120914445>

- 19 Reis, J.M.L. et al. Strength of dissimilar adhesively bonded DCB joints and its connection with the failure pressure of composite repair systems. *Composite Structures*, 304, 116441 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2022.116441>
- 20 Kiswendsida, J., Huang, Q. Probabilistic burst pressure prediction model for pipelines with single crack-like defect. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 207, 105084 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2023.105084>
- 21 Jiang, S., Li, Y. Dynamic reliability assessment of multi-cracked structure under fatigue loading via multi-state physics model. *Reliability Engineering & System Safety*, 213, 107664 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.res.2021.107664>
- 22 Mondal, Ch., Sutra Dhar, A. Burst pressure assessment of corroded pipelines using fracture mechanics criterion. *Engineering Failure Analysis*, 104, 139–153 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.05.033>
- 23 Xie, M., Wang, Y., Zhao, J., Pei, X., Zhang, T. Prediction of pipeline fatigue crack propagation under rockfall impact based on multilayer perceptron. *Reliability Engineering & System Safety*, 242, 109772 (2024). <https://doi.org/10.1016/j.res.2023.109772>
- 24 Zhang, D., Zhu, H., Zhang, C., Wang, J., Guo, H. Crack initiation and propagation of defects adjacent to the X65 pipeline spiral weld under axial tensile force. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 200, 104814 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2022.104814>
- 25 Hossain, A., Sutra Dhar, A. Stress intensity factors for external corrossions and cracking of buried cast iron pipes. *Engineering Fracture Mechanics*, 250, 107778 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2021.107778>
- 26 Wang, W., Zhou, A., Fu, G., Li, Ch., Robert, D., Mahmoodian, M. Evaluation of stress intensity factor for cast iron pipes with sharp corrosion pits. *Engineering Failure Analysis*, 81, 254–269 (2017). <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2017.06.026>
- 27 Okodi, A., Lin, M., Yoosef-Ghods, N., Kainat, M., Hassanien, Sh., Adeeb, S. Crack propagation and burst pressure of longitudinally cracked pipelines using extended finite element method. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 184, 104115 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2020.104115>
- 28 Ameli, I., Asgarian, B., Lin, M., Agbo, S., Cheng, R., Duan, D., Adeeb, S. Estimation of the CTOD-crack growth curves in SENT specimens using the eXtended finite element method. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 169, 16–25. <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2018.11.008>
- 29 Parool, N., Qian, X., Koh, C. A modified hybrid method to estimate fracture resistance curve for pipes with a circumferential surface crack. *Engineering Fracture Mechanics*, 188, 1–19 (2018). <https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2017.05.046>
- 30 Xu, J., Zhang, Z., Østby, E., Nyhus, B., Sun, D. Constraint effect on the ductile crack growth resistance of circumferentially cracked pipes. *Engineering Fracture Mechanics*, 77, 671–684 (2010). <https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2009.11.005>
- 31 SP RK EN 1998-4:2006/2012. Proektirovanie sejsmostojkih konstrukcij. Part. 4. Bunkery, rezervuary i truboprovody, 2012 (accessed: 29.08.2024). (In Russian).
- 32 SP RK EN 1993-4-3-2007-2011. Proektirovanie stal'nyh konstrukcij. Part. 4–3. Truboprovody (accessed: 27.08.2024). (In Russian).
- 33 Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance. Part 4: Silos, tanks, and pipelines, 2006. (accessed: 25.08.2024).
- 34 Eurocode 3: Design of steel structures. Part 4: Silos, tanks, and pipelines, 2005 (accessed: 26.08.2024)
- 35 API Specification 5L. 46th ed. Washington DC: American Petroleum Institute, 2018 (accessed: 24.08.2024).
- 36 ANSI/ASME B31G–1984. Manual for Determining the Remaining Strength of Corroded Pipelines. New York: ASME (accessed: 30.08.2024).
- 37 ANSI/ASME B31.8–73. Gas Transmission and Distribution Piping Systems (accessed: 27.08.2024).
- 38 Moldagaliyev, A., Zhangabay, N., Bonopera, M., Raimberdiyev, T., Yeshimbetov, S., Galymzhan, S., Anarbayev, Y. Finite-element analysis of oscillations in damaged pipeline sections reinforced with a composite material. *Modelling and Simulation in Engineering*, 2024, Article ID 2827002, 15 p. <https://doi.org/10.1155/2024/2827002>
- 39 GOST 14959–2016. Metalloprodukcija iz resorno-pruzhinnoj nelegirovannoj i legirovannoj stali. Tehnicheskie uslovija. M., 2016. 32 p. (accessed: 30.08.2024). (In Russian).
- 40 ANSYS 19.2 delivers faster problem-solving capabilities across entire portfolio, 2018 (accessed: 30.08.2024). (In English).

41 Hallquist J.O. LS-DYNA Theory Manual. Livermore: Livermore Software Technology Corporation (LSTC), 2006. 680 p. (accessed: 24.08.2024).

42 Barbero E.J. Finite Element Analysis of Composite Materials Using ANSYS. CRC Press, 2013. 366 p. <https://doi.org/10.1201/b16295> (accessed: 30.08.2024).

¹Молдағалиев А.Б.,

Т.Ф.К., ORCID ID: 0000-0002-4286-8401,
e-mail: arm_mold81@mail.ru

¹Сулейменов У.С.,

Т.Ф.Д., ORCID ID: 0000-0001-7798-1044,
e-mail: u.suleimenov2019@mail.ru

^{1*}Жаңабай Н.Ж.,

Т.Ф.К., ORCID ID: 0000-0002-8153-1449,
*e-mail: nurlan.zhanabay777@mail.ru

¹КЕАҚ. М. Әуезова атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті,
Шымкент қ., Қазақстан

МАГИСТРАЛЬДЫҚ ГАЗ ҚҰБЫРЫНЫҢ ТЕРБЕЛІС ЖИЛІГІНЕ КОМПОЗИТТІК ТӨСЕМДЕРДІҢ ОРНАЛАСУ ОРНЫНЫҢ ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ

Аңдатпа

Бұл жұмыста негізгі жер үсті газ құбырының типтік учаскесіндегі тербеліс жиіліктерін талдау мақсатында, тіректерге орнатылған күшейтілген композиттік төсемдерге сандық зерттеу жүргізілді. Зерттеу ANSYS Workbench бағдарламалық кешеніндегі соңғы элементтер әдісімен орындалды. Есептеулер кезінде жүктеме ретінде ішкі жұмыс қысымы және критикалық қысым жағдайлары қарастырылды. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, критикалық қысым жағдайында композиттік төсемдердің әртүрлі орналасу нұсқаларында тербелістің алғашқы он бір жиілігі төмен мәндерді көрсетті, ал он екінші жиіліктен бастап жұмыс қысымы жағдайындағы көрсеткіштер төмендей бастады. Сонымен қатар, жұмыс қысымы жағдайында композиттік төсемді 2 мен 3-тіректер арасына, сондай-ақ 3 пен 4-тіректер арасына орналастыру нұсқалары ұқсас нәтиже берді: өзгерістер тек 1, 4 және 5-формаларда ғана байқалды. Ал төсем 1 мен 2-тіректер арасына орнатылған нұсқада 1, 3 және 5-пішіндер (формалар) өзгеріске ұшырады. Критикалық қысым жағдайында композиттік төсемді 2 мен 3-тіректер арасына, сондай-ақ 1 мен 5-тіректер арасына орналастыру кезінде нәтижелер бірдей болып, өзгерістер 1, 2 және 5-формаларда көрініс тапты. Төсем 3 пен 4-тіректер арасына қойылғанда, 1, 3 және 5-пішіндер өзгерді. Салыстырмалы талдау барысында тербеліс жиіліктерінің мәндері бойынша барлық үш жағдайда да композиттік төсемдерді ортаға орнатқан кезде жиілік көрсеткіштерінің басым бөлігі жоғары болатыны анықталды. Атап айтқанда, қарастырылған жиырма жиіліктің 60–70%-ында жиілік көрсеткіші басқа екі нұсқаға қарағанда жоғары болды. Осылайша, алынған зерттеу нәтижелерін сейсмикалық белсенді аймақтарда газ құбырларын нығайту (бандаждау) үшін көміртекті пластик төсемінің тиімді орнын таңдауда пайдалануға болады.

Тірек сөздер: болат газ құбыры, құбырларды нығайту, композициялық төсем, ақырлы элементті талдау, орналасқан жері.

¹**Moldagaliyev A.,**

Cand. Tech. Sc., ORCID ID: 0000-0002-4286-8401,

e-mail: arm_mold81@mail.ru

¹**Suleimenov U.,**

Dr. Tech. Sc., ORCID ID: 0000-0001-7798-1044,

e-mail: u.suleimenov2019@mail.ru

¹**Zhangabay N.,**

Cand. Tech. Sc., ORCID ID: 0000-0002-8153-1449,

e-mail: nurlan.zhanabay777@mail.ru

¹NAO South Kazakhstan University named after M. Auezov,
Shymkent, Kazakhstan

STUDY OF THE INFLUENCE OF THE LOCATION OF COMPOSITE OVERLAYS ON THE VIBRATION FREQUENCIES OF A MAIN GAS PIPELINE

Abstract

In this paper, a numerical study of a typical section of an overhead main gas pipeline with reinforced composite linings mounted on supports for the analysis of vibration frequencies is carried out. The study was conducted using the finite element method in the ANSYS Workbench software package. The study considers cases with internal working and critical pressure as a load. The result of the study showed that in the variation of the installation of composite linings under the condition of critical pressure, the first eleven oscillation frequencies showed a lower value, and starting from the twelfth frequency, lower values were shown in the operating pressure condition. At the same time, under operating pressure conditions, the location of the composite lining in the variation between supports 2 and 3, as well as in the variation between supports 3 and 4, showed the same results, that is, the change occurred only in 1,4 and 5 forms. In the variation, when the pad is installed between the supports 1 and 2, the shapes 1,3 and 5 were changed. Under conditions of critical pressure, the location of the composite lining in the variation between supports 2 and 3, as well as in the variation between supports 1 and 5, showed the same results, that is, the change occurred in 1,2 and 5 forms. In the variation, when the pad is installed between the supports 3 and 4, the shapes 1,3 and 5 were changed. When comparing all three cases according to the values of the oscillation frequencies, it was established that the value of the oscillation frequencies when installing composite linings in the middle in most cases exceed, that is, of the twenty frequencies listed, 60-70% of the chatot index is higher relative to the other two cases. Thus, the obtained research results can be used to select the location of a carbon fiber lining for banding gas pipelines in a region with seismic activity.

Keywords: steel gas pipeline, pipe reinforcement, composite lining, finite element analysis, location.

Received: September 6, 2024; revised: October 20, 2024; accepted: January 15, 2026.