

# СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

## BUILDING AND CONSTRUCTION

Вестник Томского государственного  
архитектурно-строительного университета.  
2024. Т. 26. № 6. С. 71–81.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)  
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo  
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –  
Journal of Construction and Architecture.  
2024; 26 (6): 71–81.  
Print ISSN 1607-1859  
Online ISSN 2310-0044

### НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 621.644.02:539.376.2

DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-6-71-81

EDN: FKJQMK

## ВЛИЯНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ТЕХНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ

Олег Александрович Курасов<sup>1</sup>, Александр Сергеевич Шредер<sup>1</sup>,  
Петр Владимирович Бурков<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский

Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

<sup>2</sup>Томский государственный архитектурно-строительный университет,  
г. Томск, Россия

**Аннотация.** Актуальность. Обеспечение производственной безопасности и повышение надежности газопроводных систем, в частности компрессорных станций, с помощью применения комплексного диагностирования, математического моделирования и комбинированного анализа данных позволяет своевременно определять и прогнозировать изменения в состоянии опасных производственных объектов, предотвращать отказы и деформации промышленной инфраструктуры, а также снижать риски разрушения инженерных конструкций и появления дефектов при транспортировке углеводородов.

**Цель.** Изучение влияния внешних нагрузок, вызванных сезонными изменениями грунта и низкочастотной вибрацией, на напряженно-деформированное состояние трубопроводной обвязки электрических газоперекачивающих агрегатов.

**Методы исследования.** Проведение комплексного диагностирования с использованием продуктов инженерного анализа и программных средств для исследования напряженно-деформированного состояния технологической обвязки компрессорной станции.

**Результаты.** Приведен анализ влияния низкочастотных вибраций на техническое состояние трубопроводной обвязки компрессорной станции. Произведены геодезические измерения и оценка перемещений трубопроводов компрессорной станции вследствие воздействия на них элементов опорной системы и грунтов. Для рассмотрения нагружения трубо-

проводной обвязки за счет изменения высотных отметок создана численная модель в программном комплексе ANSYS Workbench для выявления потенциально опасных участков.

**Ключевые слова:** технологический трубопровод, высотные отметки, напряженно-деформированное состояние, температурный перепад, продольные напряжения, программное обеспечение, вибродиагностика

**Для цитирования:** Курасов О.А., Шредер А.С., Бурков П.В. Влияние динамических процессов на техническое состояние строительных конструкций компрессорной станции // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т. 26. № 6. С. 71–81. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-6-71-81. EDN: FKJQMK

## ORIGINAL ARTICLE

### DYNAMIC PROCESSES AFFECTING STRUCTURAL INTEGRITY OF COMPRESSOR PLANT

Oleg A. Kurasov<sup>1</sup>, Aleksandr S. Shreder<sup>1</sup>, Petr V. Burkov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

<sup>2</sup>Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia

**Abstract.** Integrated diagnostics, mathematical simulation and combined data analysis provide an industrial safety and improve the reliability of pipeline systems, in particular compressor plants. It allows to timely determine and predict changes in pipeline connections to prevent failures and deformations of the industrial infrastructure and reduce the risk of its destruction and defect formation during hydrocarbon transportation.

**Purpose:** The aim of the work is to study the influence of external loads caused by seasonal soil changes and low-frequency vibration on the stress-strain state of pipelines of electric gas-compression units.

**Methodology:** Complex diagnostics using engineering analysis and software for the stress-strain state of the connection integrity. Geodetic measurements of pipeline displacements.

**Research findings:** It is shown how low-frequency vibrations affect the integrity of compressor plant connections. Pipeline displacements due to the influence support system elements and soils are determined. Pipeline connection loading due to changes in elevation points is considered in the proposed numerical model created in the ANSYS finite element program to identify potentially hazardous areas.

**Keywords:** pipeline, elevation points, stress-strain state, temperature difference, longitudinal stress, finite element program, vibrodiagnostics

**For citation:** Kurasov O.A., Shreder A.S., Burkov P.V. Dynamic Processes Affecting Structural Integrity of Compressor Plant. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2024; 26 (6): 71–81. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-6-71-81. EDN: FKJQMK

## Введение

Энергообеспечение в значительной мере зависит от газовой промышленности. Для повышения эффективности транспортировки газа в отдаленные и труднодоступные районы требуются усовершенствование и улучшение систем управления трубопроводами (ТП). Газ доставляется потребителям по связанной сети труб и технических сооружений, составляющих газотранспортную систему

(ГТС) [1]. Гидравлические потери при транспортировке газа приводят к снижению давления на больших расстояниях, в результате чего пластовое давление становится недостаточным для транспортировки газа по трубопроводам. Компрессорная станция (КС) играет важнейшую роль в ГТС, поскольку обеспечивает сжатие газа и поддерживает необходимый расход при транспортировке.

В дополнение к технологиям транспортировки газообразных углеводородов особое внимание уделяется вопросам производственной безопасности объектов трубопроводного транспорта природного газа, в том числе КС. Ростехнадзор предъявляет жесткие требования к процессам перекачки и управления, а также к использованию математических методов для описания изменений состояния объектов [2].

Большинство газопроводных систем топливно-энергетического комплекса (ТЭК) России, по которым транспортируется природный газ, эксплуатируются более 30 лет. В процессе реконструкции чаще всего уделяют большее внимание замене старых газоперекачивающих агрегатов (ГПА) на более новые, а технологические ТП подлежат замене реже. Поэтому становится актуальным вопрос диагностики и контроля за техническим состоянием трубопроводной обвязки (ТПО) ГТС.

Обеспечение долгосрочной, надежной работы и минимизация отказов КС является одним из ключевых аспектов при транспортировке углеводородов в газовой отрасли. Для решения этой задачи необходимы комплексные программы диагностики и инженерного анализа для математического моделирования. Они позволяют оценивать усталостную прочность системы, прогнозировать изменения напряженно-деформированного состояния (НДС) конкретных высоконагруженных конструктивных элементов опасных производственных объектов, предотвращать отказы, разрушения инженерных сооружений и неисправности [3].

Для качественной оценки поведения и характеристик объекта исследования в динамике используется комбинированный подход. Он предполагает объединение данных о состоянии технологического оборудования или ТП и изменении его за определенный период времени. При этом изучается влияние различных нагрузок на деформацию ТП и оборудования [4].

Российская газовая отрасль сталкивается со множеством задач, направленных на обеспечение безопасности трубопроводных систем, поскольку в разных местах могут происходить нежелательные явления. Одно из таких явлений – смещение ТП в регионах с особыми гидрогеологическими и геологическими условиями, где элементы трубопроводных систем взаимодействуют с грунтами с малой несущей способностью. В таких случаях трубопроводно-грунтовая система деформируется, изменяя свое НДС, что может приводить к авариям и сбоям. Проблема укрепления грунтовой основы остается актуальной, и решение этой задачи состоит в разработке новаторских подходов и модернизации существующих методов [5].

Одним из ключевых критериев оценки поведения ТП и оборудования является анализ изменения их НДС из-за основных и дополнительных нагрузок на исследуемую систему. Такие изменения особенно заметны в болотистых районах и на территориях с многолетнемерзлыми грунтами. Требуется проведение диа-

гностических работ для своевременного предотвращения аварий из-за изменения НДС, а также прогнозирование поведения исследуемых объектов [6, 7].

Статические нагрузки вызваны рабочим давлением, температурой и недостатками монтажа. Периодические статические нагрузки связаны с колебаниями давления, температурными деформациями и заменой оборудования во время профилактического обслуживания. Низкочастотные динамические нагрузки возникают из-за пульсаций давления в трубах. Высокочастотные нагрузки создаются источниками механической вибрации и пульсирующим потоком жидкости [8, 9].

Динамические нагрузки могут вызывать усталостные разрушения в трубопроводных системах и оборудовании. Для решения этих проблем необходимо оценить такие характеристики, как качество материалов, конструкция и условия эксплуатации, чтобы гарантировать надежность и безопасность системы. Регулярные осмотры и методы технического обслуживания жизненно важны для раннего выявления признаков износа или повреждения и предотвращения катастрофических поломок.

Гидравлический удар может создавать кратковременные высокочастотные нагрузки. Динамическое воздействие на ТП можно разделить на две категории: силовое и кинематическое возбуждение. Кинематическое возбуждение, согласно ГОСТ 24346–80, вызывает колебания системы путем придания заданных движений определенным участкам, не зависящим от состояния системы. Эти колебания создаются требуемым периодическим перемещением отдельных точек оси ТП. ТП технологической обвязки КС испытывает значительные балочные колебания из-за наличия внешних и внутренних источников кинематического возбуждения и нефункциональных опор [10, 11, 12].

Безопасная эксплуатация технологических трубопроводов КС имеет решающее значение для транспортировки газа. ТП работают в сложных условиях, и аварии могут привести к значительным экономическим и экологическим последствиям, а также человеческим жертвам. Для обеспечения надежности и безопасности существенная реконструкция и модернизация оборудования может оказаться дорогостоящей и нецелесообразной. Для того чтобы избежать аварийных сценариев, связанных с изменением НДС ТП [13, 14], необходимо оперативно проводить различные диагностические мероприятия. Реализация программы прогнозируемого технического обслуживания позволяет выявлять и устранять потенциальные проблемы до того, как они перерастут в аварийные ситуации. Принятие упреждающих мер по поддержанию целостности технологических трубопроводов КС необходимо для обеспечения безопасной и эффективной работы по транспортировке газа.

Для обеспечения эффективного планирования технического обслуживания, строительства и восстановительных работ важно проводить прогнозную оценку поведения исследуемого объекта. Полученная информация также может быть использована для корректировки расчетных данных в соответствии с методическими рекомендациями и требованиями научно-технической документации на трубопроводные конструкции [15, 16, 17].

Таким образом, целью настоящего исследования является оценка влияния поперечных напряжений на основе проведенных измерений изменения вы-

сотных отметок технологического ТП КС от проектных на НДС ТП с помощью программного обеспечения [18]. Необходимо выполнить следующие задачи:

- измерить вибрации и высотные отметки;
- оценить НДС технологического ТП;
- определить наиболее опасные участки;
- дать рекомендации по уменьшению нагрузок.

#### Постановка задачи, методы исследования

Объектом исследования является ТПО КС, входящая в состав томской ГТС. В ходе эксплуатации ТПО подвергается сезонным колебаниям высот, а также возможной деформации ТП вследствие комплексного воздействия разрушающих факторов на обвязку, что приводит к росту механических напряжений в ней. На рис. 1 показаны реперные точки фундамента электрического газоперекачивающего агрегата (ЭГПА), изменения высотных отметок которых было измерено с использованием нивелира.

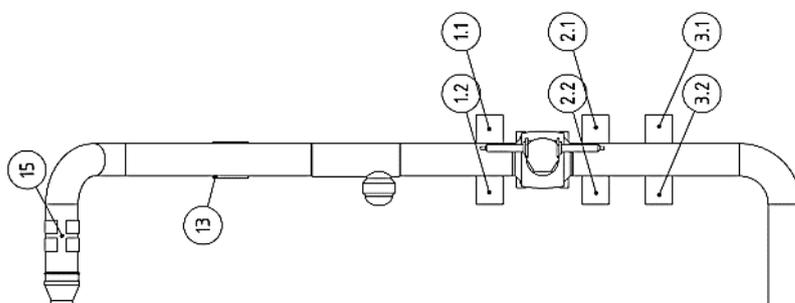


Рис. 1. Схема расположения контрольных точек фундаментов ГПА

Fig. 1. Schematic of reference point arrangement of gas-compressor unit foundations

Обследование одной из обвязки ТП ЭГПА показало относительно большое изменение проектного положения ТПО линии всасывания, которое в совокупности с воздействующими факторами на объект может приводить к значительным механическим напряжениям, влияющим на НДС технологической обвязки (рис. 2).

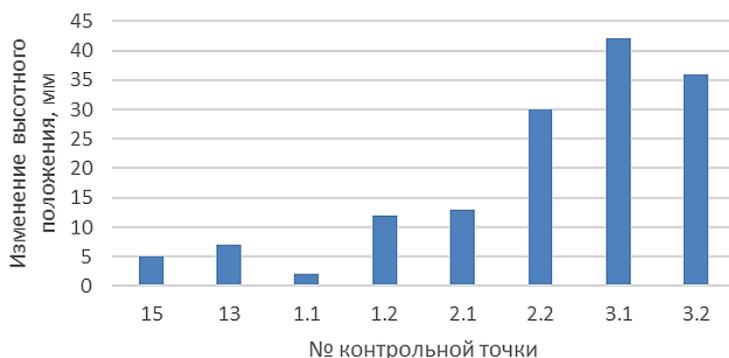


Рис. 2. Изменения высотного положения контрольных точек ГПА

Fig. 2. Block-diagram of elevation points for gas-compressor unit

Для оценки НДС в непроецированном положении с возможным кинематическим нагружением была смоделирована обвязка всасывающего нагнетателя в ANSYS Workbench. Расчеты проводились при задании номинальных рабочих нагрузок. Обвязка представляет собой систему с отводами, тройниками и запорной арматурой (рис. 3). Разработка конечно-элементной модели была подготовлена на основе следующих исходных данных:

- проектные чертежи ТП основного назначения;
- исполнительная схема фундаментов и проектные чертежи опор ТПО ЭГПА;
- сертификаты качества на трубы и соединительные фасонные изделия;
- паспорта на запорно-регулирующую арматуру;
- исполнительная схема сварных стыков ТП;
- параметры эксплуатации ТП на номинальном и рабочем режимах (давление 5,4 МПа и температура транспортируемого газа, перепад температур  $\Delta T = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) [13].

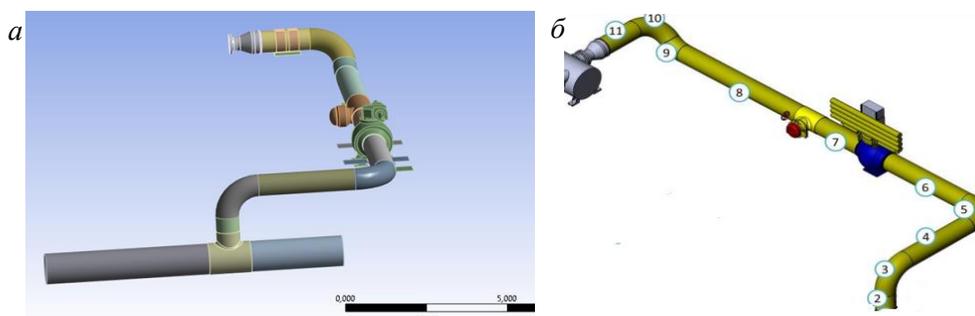


Рис. 3. Математическая модель технологического ТП (а); нумерация элементов ТПО (б)  
Fig. 3. Mathematical model of piping (a); piping element numbering (b)

### Обсуждение результатов исследования

По результатам расчетного моделирования получены следующие значения максимальных продольных напряжений в ТП от расчетных нагрузок и воздействий  $\sigma_{пр}$  (МПа), рассчитанные согласно СНиП 2.05.06–85\* (таблица).

Как видно по данным таблицы, расчетные значения, полученные с помощью программного обеспечения, являются относительно большими, а в отводе под номером 3 продольные напряжения от расчетных нагрузок находятся на границе с предельно допустимыми и равны 159 МПа. В таком случае стоит вопрос о разрешении работы ЭГПА на номинальных режимах и требовании проведения дополнительного диагностирования. В процессе моделирования были учтены только статические составляющие, без учета динамики. Если анализировать влияние различных факторов на возникновение напряжений в ТПО, то могут наложиться и другие ограничения на режим эксплуатации КС. В процессе работы ГПА возникают динамические нагрузки, представленные в виде вибрации, которые понижают надежность трубопроводной арматуры. Эти нагрузки можно выразить через среднеквадратичные значения (СКЗ) виброскорости в характерных точках ТПО ГПА.

Таблица продольных напряжений ТПО  
Longitudinal stresses of piping connections

№ элемента	Элемент ТПО	Максимальные расчетные продольные напряжения в трубопроводе, МПа		Максимальные продольные напряжения в трубопроводе от расчетных нагрузок и воздействий $\sigma_{пр}$ , МПа	
		Растяжение	Сжатие	Растяжение	Сжатие
Отводы					
3	720×16	159	-9	159	-68
5		81	0		
9		76	0		
10		87	0		
Трубы					
2	720×16	180	-9	252	-163
4		133	0		
6		117	-61		
7		102	0		
8		100	0		
11		98	0		

Были зафиксированы значения вибрации в характерных точках ТПО исследуемого объекта (рис. 4) в частотном диапазоне от 4 до 2500 Гц. Эксплуатационные характеристики ГПА: давление газа на входе нагнетателя – 3,58 МПа, на выходе – 4,40 МПа. Температура газа на входе нагнетателя – 2 °С, на выходе – 19 °С. Степень сжатия – 1,224. Измерения проводились виброметром типа SKF Microlog CMXA 70, датчик типа CMSS2200. Замеры проводились во взаимно перпендикулярных направлениях: горизонтальном (четный номер точки) и вертикальном (нечетный номер точки).

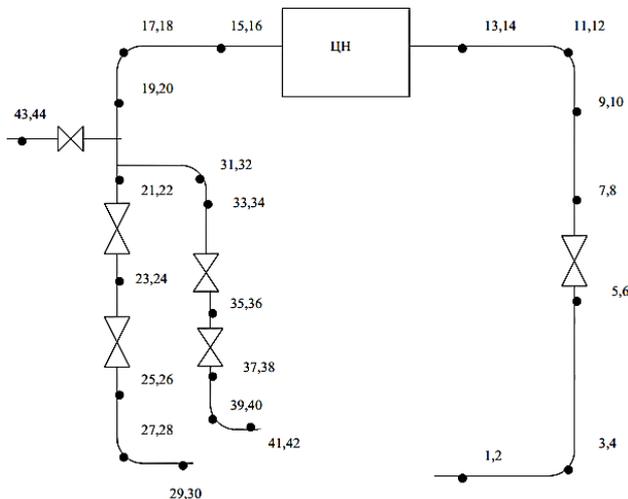


Рис. 4. Схема расположения точек измерения вибрации ТПО  
Fig. 4. Arrangement of measurement points for piping vibrations

Значения виброскорости в характерных точках показаны на рис. 5.

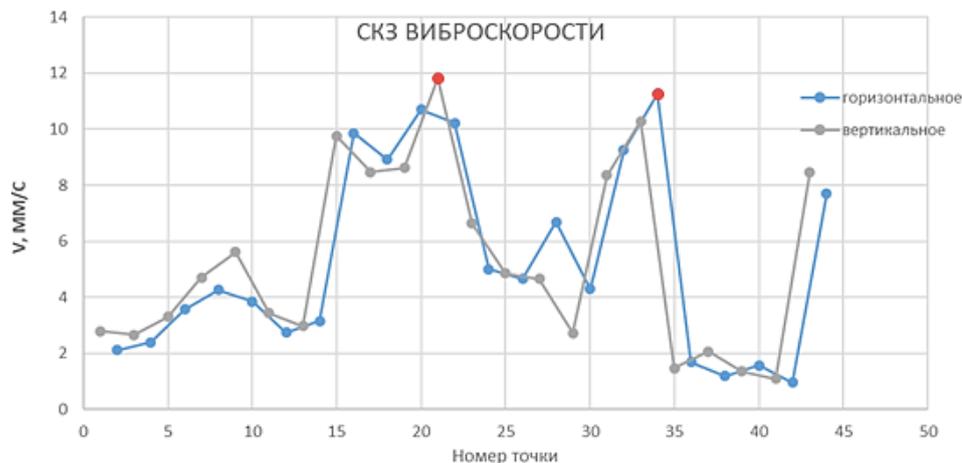


Рис. 5. Значения виброскорости в характерных точках  
Fig. 5. Vibration velocity values at certain points

Исследование показало, что уровень СКЗ виброскорости в точках 21 и 34 превышает допустимые нормы. Нормы показателей виброскорости для ТПО, согласно нормативным документам (СТО Газпром 2-2.3-324-2009): допустимо – до 11,2 мм/с; требует принятия мер – от 11,2 до 18 мм/с; недопустимо – свыше 18 мм/с.

По данным, приведенным на рис. 5, видно изменение значений виброскорости по всему участку, а именно совпадение тенденции изменения виброскорости как в горизонтальном, так и вертикальном направлениях, а также резкое увеличение значений виброскорости в точках, близлежащих к ГПА, и на участках с зарождением пульсаций давления в тупиковых ответвлениях [18].

### Заключение

Таким образом, для достижения поставленных целей в ходе проведенного исследования выполнены следующие задачи и получены результаты:

– Произведены замеры изменения высотных положений ТПО ГПА, выполнены расчеты статического нагружения при нормальных рабочих нагрузках в программном обеспечении ANSYS Workbench, которые показали повышенные значения продольных напряжений относительно расчётных. На основании полученных данных можно сделать вывод о том, что работа при номинальном режиме крайне опасна.

– Осуществлены замеры вибрации ТПО ГПА, которые выявили превышение допустимых норм согласно СНиП 2.05.06-85\*. Для более глубокого исследования влияния динамических процессов на ТПО ГПА необходимо на основе полученных данных провести дополнительное программное моделирование для оценки параметров вибрации ТПО.

Полученные результаты говорят о повышенном износе технологического оборудования и требуют дополнительного исследования, в рамках которого

планируется произвести модальный газодинамический расчет в программном обеспечении для выяснения влияния потока газа в ТПО ГПА.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Kurasov O.A., Burkov P.V.* Substantiation of methods of improving safety of pipeline gas transportation // E3S Web of Conferences : 2021 Topical Issues of Rational Use of Natural Resources, TI 2021, Saint Petersburg, 31 мая – 06 июня 2021 г. V. 266. EDP Sciences : EDP Sciences, 2021. DOI: 10.1051/e3sconf/202126601012. EDN: VJQECF
2. *Коршаков А.А., Коробков Г.Е., Душин В.А., Набиев Р.Р.* Обеспечение надежности магистральных трубопроводов. Уфа : ООО «ДизайнПолиграфСервис», 2000. 170 с.
3. *Burkov P.V., Burkova S.P., Knaub S.A.* Stress and Strain State Analysis of Defective Pipeline Portion // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Yurga, 21–23 мая 2015 г. V. 91. Yurga : Institute of Physics Publishing, 2015. P. 012055. DOI: 10.1088/1757-899X/91/1/012055. EDN: VALAEN
4. *Антропов П.Г., Долинина О.Н., Кузьмин А.К., Шварц А.Ю.* Использование интеллектуальных систем для диагностики неисправностей газоперекачивающих агрегатов // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 6. С. 115. EDN: RVCPLD
5. *Жданова Ю.Ю.* Повышение надежности работы компрессорной станции путем стабилизации пространственного положения трубопроводной обвязки электроприводных газоперекачивающих агрегатов // Проблемы геологии и освоения недр : труды XXV Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных, посвященного 120-летию горно-геологического образования в Сибири, 125-летию со дня основания Томского политехнического университета, Томск, 5–9 апреля 2021 г. Т. 2. Томск, 2021. С. 404–406.
6. *Рамазанов Р.М., Рамазанов М.И., Губайдуллин К.Ж.* Диагностирование состояния трубопроводных обвязок компрессорных станций // Достижения науки и образования. 2020. № 2 (56). С. 5–10.
7. *Короленок А.М., Левитский Д.Н., Лопатин А.С. и др.* Совершенствование технического обслуживания и ремонта оборудования компрессорных станций // Магистральные и промышленные трубопроводы: проектирование, строительство, эксплуатация и ремонт. Том 1. Москва : Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина, 2005. С. 6–21. EDN: XCBIDR
8. *Курасов О.А.* Совершенствование методов оценки технического состояния магистральных газопроводов на основе физико-математического моделирования // Инновационные процессы в науке и технике XXI века. Том 2. Тюмень : Тюменский индустриальный университет, 2023. С. 248–250. EDN: VFUIMV
9. *Kurasov O.A., Burkov P.V.* Risk assessment and ranking after design improvement of the gas transmission system // Topical Issues of Rational Use of Natural Resources : Scientific conference abstracts, St Petersburg, 17–19 июня 2020 г. V. 1. Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский горный университет, 2020. С. 111–112. EDN: PKXKIP
10. *Котов С.С., Воронин К.С.* Анализ факторов, влияющих на напряженно-деформированное состояние технологических трубопроводов на компрессорной станции // Тюменский научный журнал. 2024. № 2. С. 18–24. DOI: 10.24412/3034-154X-2024-2-18-24
11. *Семушкин А.В., Подлозный А.О., Черникова Е.А., Щуровский В.А.* Методические принципы параметрической диагностики технического состояния газотурбинных газоперекачивающих агрегатов // Вести газовой науки. 2017. № 1 (29). С. 22–31. EDN: ZHROJR
12. *Микаэлян Э.А.* Особенности применения вибродиагностики газоперекачивающих агрегатов при эксплуатации // Газовая промышленность. 2011. № 2 (656). С. 68–72. EDN: NCJQRH
13. *Ванчин А.Г.* Выбор оптимальной последовательности диагностирования центробежного нагнетателя в условиях компрессорной станции магистрального газопровода // Нефтегазовое дело. 2012. Т. 10. № 1. С. 31–35. EDN: PATHUN
14. *Паранук А.А., Буякин А.В., Румянцев С.В., Субочев О.Г.* Разработка методики диагностирования узлов газоперекачивающего агрегата по данным вибродиагностики // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 6-2. С. 270–276. DOI 10.17513/snt.38733. EDN: FDQWNX

15. *Хайруллина Р.Р., Валеев А.Р.* Оценка негативного воздействия низкочастотных вибраций на технологические трубопроводы компрессорных станций // *Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья.* 2020. № 5–6. С. 23–28. DOI:10.24411/0131-4270-2020-6-23-28
16. *Решетов А.А.* Моделирование как средство повышения эффективности вибродиагностического контроля газоперекачивающих агрегатов // *Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика.* 2013. № 8. С. 40–51. EDN: SQKXJD
17. *Устюжанин А.В., Свердлик Ю.М., Репин Д.Г.* Применение акустического анализа для исследования возбудимости тупиковых ответвлений в обвязках компрессорных станций // *Газовая промышленность.* 2018. № 11. С. 42–49.
18. *Ковязин А.В.* Оценка напряженно-деформированного состояния трубопроводной обвязки центробежного нагнетателя // *Вестник науки и образования.* 2020. № 25-1 (103). С. 15–19.

## REFERENCES

1. *Kurasov O.A., Burkov P.V.* Substantiation of Methods of Improving Safety of Pipeline Gas Transportation. In: *Proc. E3S Web of Conferences '2021 Topical Issues of Rational Use of Natural Resources'*, Saint-Petersburg, 2021. V. 266. DOI:10.1051/e3sconf/202126601012. EDN: VJQECF
2. *Korshak A.A., Korobkov G.E., Dushin V.A., Nabiev R.R.* Reliability of Main Pipelines. Ufa: ООО "DizainPoligrafServis", 2000. 170 p. (In Russian)
3. *Burkov P.V., Burkova S.P., Knaub S.A.* Stress and Strain State Analysis of Defective Pipeline Portion. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.* 2015; 91: 012055. DOI: 10.1088/1757-899X/91/1/012055. EDN: VALAEN
4. *Antropov P.G., Dolinina O.N., Kuz'min A.K., Shvarts A.Yu.* Intelligent Systems for Diagnostics of Gas Compressor Faults. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya.* 2013; (6): 115. EDN: RVCPLD (In Russian)
5. *Zhdanova Yu.Yu.* Reliability Improvement of Compressor Station by Stabilizing Spatial Position of Pipeline Connections of Electric-Driven Gas Pumping Units. In: *Proc. 25th Int. Sci. Symp. 'Problems of Geology and Subsoil Development'*, vol. 2. Tomsk, 2021. Pp. 404–406. (In Russian)
6. *Ramazanov R.M., Ramazanov M.I., Gubaidullin K.Zh.* Diagnostics of Compressor Station Pipelines. *Dostizheniya nauki i obrazovaniya.* 2020; 2 (56): 5–10. (In Russian)
7. *Korolenok A.M., Levitskii D.N., Lopatin A.S., et al.* Maintenance and Repair Improvement of Compressor Station Equipment. In: *Main and Field Pipelines: Design, Construction, Operation and Repair*, V. 1. Moscow, 2005. Pp. 6–21. EDN: XCBIDR (In Russian)
8. *Kurasov O.A., Burkov P.V.* Evaluation Improvement of Technical Condition of Main Gas Pipelines Using Physical and Mathematical Modeling. *Innovatsionnye protsessy v nauke i tekhnike XXI veka.* 2023; (2): 248–250. EDN: VFUIMV (In Russian)
9. *Kurasov O.A., Burkov P.V.* Risk assessment and ranking after design improvement of the gas transmission system. In: *Proc. Int. Sci. Conf. 'Topical Issues of Rational Use of Natural Resources'*, Saint-Petersburg, 17–19 June 2020. vol. 1. 2020. Pp. 111–112. EDN: PKXKIP
10. *Kotov S.S., Voronin K.S.* Analysis of Factors Influencing Stress-Strain State of Compressor Station Pipelines. *Tyumenskii nauchnyi zhurnal.* 2024; (2): 18–24. DOI: 10.24412/3034-154X-2024-2-18-24 (In Russian)
11. *Semushkin A.V., Podloznyi A.O., Chernikova E.A., Shchurovskii V.A.* Methodology of Parametric Diagnostics of Technical Condition of Gas Turbine Gas Pumping Units. *Vesti gazovoi nauki.* 2017; 1 (29): 22–31. EDN: ZHROJR (In Russian)
12. *Mikaelyan E.A.* Vibration Diagnostics of Gas Pumping Units During Operation. *Gazovaya promyshlennost'.* 2011; 2 (656): 68–72. EDN: NCJQRH (In Russian)
13. *Vanchin A.G.* Selection of Best Diagnostics of Centrifugal Blower of Compressor Station of Main Gas Pipeline. *Neftegazovoe delo.* 2012; 10 (1): 31–35. EDN: PATHUN (In Russian)
14. *Paranuk A.A., Bunyakin A.V., Rummyantsev S.V., Subochev O.G.* Methodology Development of Diagnostics of Gas Pumping Unit Components Based on Vibrodiagnostic Data. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii.* 2021; (6-2): 270–276. – DOI: 10.17513/snt.38733. EDN: FDQWNX (In Russian)
15. *Khairullina R.R., Valeev A.R.* Negative Impact from Low-Frequency Vibrations on Process Pipelines of Compressor Stations. *Transport i khranenie nefteproduktov i uglevodorodnogo syr'ya.* 2020; (5–6): 23–28. DOI:10.24411/0131-4270-2020-6-23-28 (In Russian)

16. Reshetov A.A. Modeling as a Means of Increasing the Efficiency of Vibration Diagnostic Control of Gas Pumping Units. *Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika*. 2013; (8): 40–51. EDN: SQKXJD (In Russian)
17. Ustyuzhanin A.V., Sverdlik Yu.M., Repin D.G. Acoustic Analysis in Investigation of Excitability of Compressor Plant Connections. *Gazovaya promyshlennost'*. 2018; (1): 42–49. (In Russian)
18. Kovyazin A.V. Stress-Strain State of Pipeline Connections of Centrifugal Blower. *Vestnik nauki i obrazovaniya*. 2020; 103 (25-1); 15–19. (In Russian)

#### Сведения об авторах

*Курасов Олег Александрович*, аспирант, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, oak18@tpu.ru

*Шредер Александр Сергеевич*, аспирант, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, ass106@tpu.ru

*Бурков Петр Владимирович*, докт. техн. наук, ст. научный сотрудник, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2; профессор, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, burkovpv@mail.ru

#### Authors Details

*Oleg A. Kurasov*, Research Assistant, National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Ave., 634050, Tomsk, Russia, oak18@tpu.ru

*Aleksandr S. Shreder*, Research Assistant, National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Ave., 634050, Tomsk, Russia, ass106@tpu.ru

*Petr V. Burkov*, DSc, Professor, National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin Ave., 634050, Tomsk, Russia, Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia, burkovpv@tpu.ru

#### Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.  
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Authors contributions

The authors contributed equally to this article.  
The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 19.02.2024  
Одобрена после рецензирования 14.06.2024  
Принята к публикации 31.10.2024

Submitted for publication 19.02.2024  
Approved after review 14.06.2024  
Accepted for publication 31.10.2024