

УДК/UDC 621.515

DOI: <https://doi.org/10.25206/2588-0373-2026-10-2-5-13>

EDN: STQGNQ

Научная статья/Original article

## СНИЖЕНИЕ ШУМОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРУБОПРОВОДНОЙ ОБВЯЗКИ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ КОМПРЕССОРОВ

А. Д. Ваняшов<sup>1</sup>✉, А. В. Жерелевич<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Омский государственный технический университет,  
Россия, 644050, г. Омск, пр. Мира, 11

<sup>2</sup>ОАО «Сибнефтетранспроект»,  
Россия, 644042, г. Омск, ул. Иртышская набережная, 11/1

✉ [adv@omgtu.ru](mailto:adv@omgtu.ru)

Целью исследования является снижение шумовых показателей газоперекачивающих компрессорных станций при минимизации затрат на звукоизоляцию технологических трубопроводов.

В статье были использованы расчётные методы исследования звукоизолирующей способности материалов и покрытий, а также выполнена оценка снижения уровня аэродинамического шума, издаваемого центробежным компрессором, работающим в составе газоперекачивающего агрегата с приводом от газотурбинной установки мощностью 16 МВт на компрессорной станции магистрального газопровода. Вместо традиционных решений с нанесением звукоизоляционных покрытий на элементы наружной трубопроводной обвязки центробежного компрессора и всей компрессорной станции были рассмотрены альтернативные варианты, которые заключаются в минимизации звукоизоляционных покрытий, локализуя их только на нагнетательном патрубке компрессора для эффекта теплоизоляции. Показано, что увеличение толщины стенки трубопроводов на 50 % выше расчётного значения, соответствующего классу прочности материала трубопровода, в совокупности с применением в проточной части центробежного компрессора безлопаточных диффузоров сказывается на снижении уровня звукового давления в девяти расчётных октавных полосах частот, что аналогично нанесению звукоизоляционного покрытия.

Результаты проведенных исследований подтвердили целесообразность и эффективность по достижению приемлемых уровней шума, а также продемонстрировали упрощение обслуживания и диагностики трубопроводов компрессорной станции.

**Ключевые слова:** компрессорная станция, газоперекачивающий агрегат, центробежный компрессор, трубопроводная обвязка, звукоизоляционные покрытия, звукопоглощающие материалы, акустический расчёт

**Для цитирования:** Ваняшов А. Д., Жерелевич А. В. Снижение шумовых характеристик трубопроводной обвязки центробежных компрессоров. *Омский научный вестник. Серия «Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение»*. 2026. Т. 10, № 2. С. 5–13. <https://doi.org/10.25206/2588-0373-2026-10-2-5-13>. EDN: STQGNQ.



© Ваняшов А. Д., Жерелевич А. В., 2026.  
Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.



# REDUCTION OF NOISE CHARACTERISTICS OF THE PIPING OF CENTRIFUGAL COMPRESSORS

A. D. Vanyashov<sup>1</sup>✉, A. V. Zharelevich<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Omsk State Technical University, Mira Ave., 11, Omsk, 644050, Russia

<sup>2</sup>OJSC "Sibneftetransproekt",

Irtyskaya Naberezhnaya St., bld. 11/1, Omsk, 644042, Russia

✉ adv@omgtu.ru

The purpose of the research is to reduce the noise indicators of gas compressor stations while minimizing the cost of sound insulation of process pipelines.

The authors use calculated methods for studying the sound-insulating ability of materials and coatings. Moreover, the authors conduct an assessment of the reduction in the level of aerodynamic noise emitted by a centrifugal compressor operating as a part of the gas compressor unit of the 16 MW gas turbine at the compressor station of the main gas pipeline. Instead of traditional solutions with sound insulation coatings on the elements of the external piping of the centrifugal compressor and the entire compressor station, the article considers alternative options, which consist in minimizing sound insulation coatings and localizing them only on the discharge nozzle of the compressor for the effect of heat insulation. The authors demonstrate that an increase in the wall thickness of pipelines on 50 % higher than the calculated value corresponding to the strength class of the pipeline material, together with the use of blade-free diffusers in the flow section of the centrifugal compressor affects the decrease in the sound pressure level in nine calculated octave frequency bands, which is similar to the application of a sound insulation coating.

The obtained results confirm their feasibility and effectiveness in achieving acceptable noise levels and also prove simplifying maintenance and diagnostics of the compressor station pipelines.

**Keywords:** compressor station, gas compressor unit, centrifugal compressor, piping, sound insulation coatings, sound absorbing materials, acoustic calculation

**For citation:** Vanyashov A. D., Zharelevich A. V. Reduction of noise characteristics of the piping of centrifugal compressors. *Omsk Scientific Bulletin. Series Aviation-Rocket and Power Engineering*. 2026;10(2):5–13. <https://doi.org/10.25206/2588-0373-2026-10-2-5-13>. EDN: STQGNQ. (In Russ.).



© Vanyashov A. D., Zharelevich A. V., 2026.

The content is available under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

## Актуальность исследования

Обеспечение допустимых шумовых показателей на стадии проектирования линейных и дожимных газоперекачивающих компрессорных станций (КС), в частности основного технологического оборудования — газоперекачивающих агрегатов (ГПА), является важным аспектом в создании комфортных условий обслуживания технологического оборудования в процессе его эксплуатации и влияет на безопасность обслуживающего персонала.

Основными источниками шума на линейных и дожимных компрессорных станциях являются газотурбинные установки (ГТУ) для привода центробежных компрессоров (ЦК), системы очистки циклового воздуха и системы выхлопа продуктов сгорания ГТУ, надземная технологическая трубопроводная обвязка ЦК, регулирующая арматура, системы сброса технологического газа (периодически), аппараты воздушного охлаждения (АВО) газа. Снижение уровня шума до допустимых показателей достигается применением кожухов шумо-теплозащитных для ГТУ, звукопоглощающих экранов в системах воздухозабора и выхлопа, диффузоров. Для надземной трубопроводной обвязки применяют звукопоглощающие (звукоизоляционные) покрытия. Нормирование уровня шума, излучаемого работающим оборудованием, и способы его снижения регламентированы рядом нормативных доку-

ментов: СанПин 1.2.3685–21, ГОСТ 12.2.016.1–91, ГОСТ 27409–97, ГОСТ 30530–97, ГОСТ 30691–2001, ГОСТ Р ИСО 15665–2007, СТО Газпром 2-3.5-051–2006, ВРД 39-1.8-055–2002, СТО Газпром 2-3.5-041–2005, СТО Газпром 2-3.5-042-2005, СТО Газпром 2-3.5-043–2005, СТО Газпром 2-2.1-127–2007, РД 51-00158623-20–94 и т. д. Применительно к шумоизоляции трубопроводной обвязки КС, в части оценки положительных и отрицательных эффектов её применения, значительные исследования выполнены под руководством Л. И. Соколинского [1–8] и А. Л. Терехова [9–11]. Проблемы влияния акустического шума, излучаемого компрессорами на состояние трубопроводов, исследовались в ряде зарубежных работ [12–16]. Исследования эффективности звукоизоляционных покрытий в части снижения уровня звукового давления в ряде стандартных значений октавных полос частот показывают во многом противоречивые результаты, что обусловлено сложностью проведения натурных испытаний в производственных условиях на территории КС из-за взаимного влияния разных источников шума. В то же время лабораторные исследования шумовых характеристик трубопроводной обвязки с различными типами звукоизоляционных материалов не позволяют в точности воспроизвести шумовые характеристики полноразмерных ЦК [17].

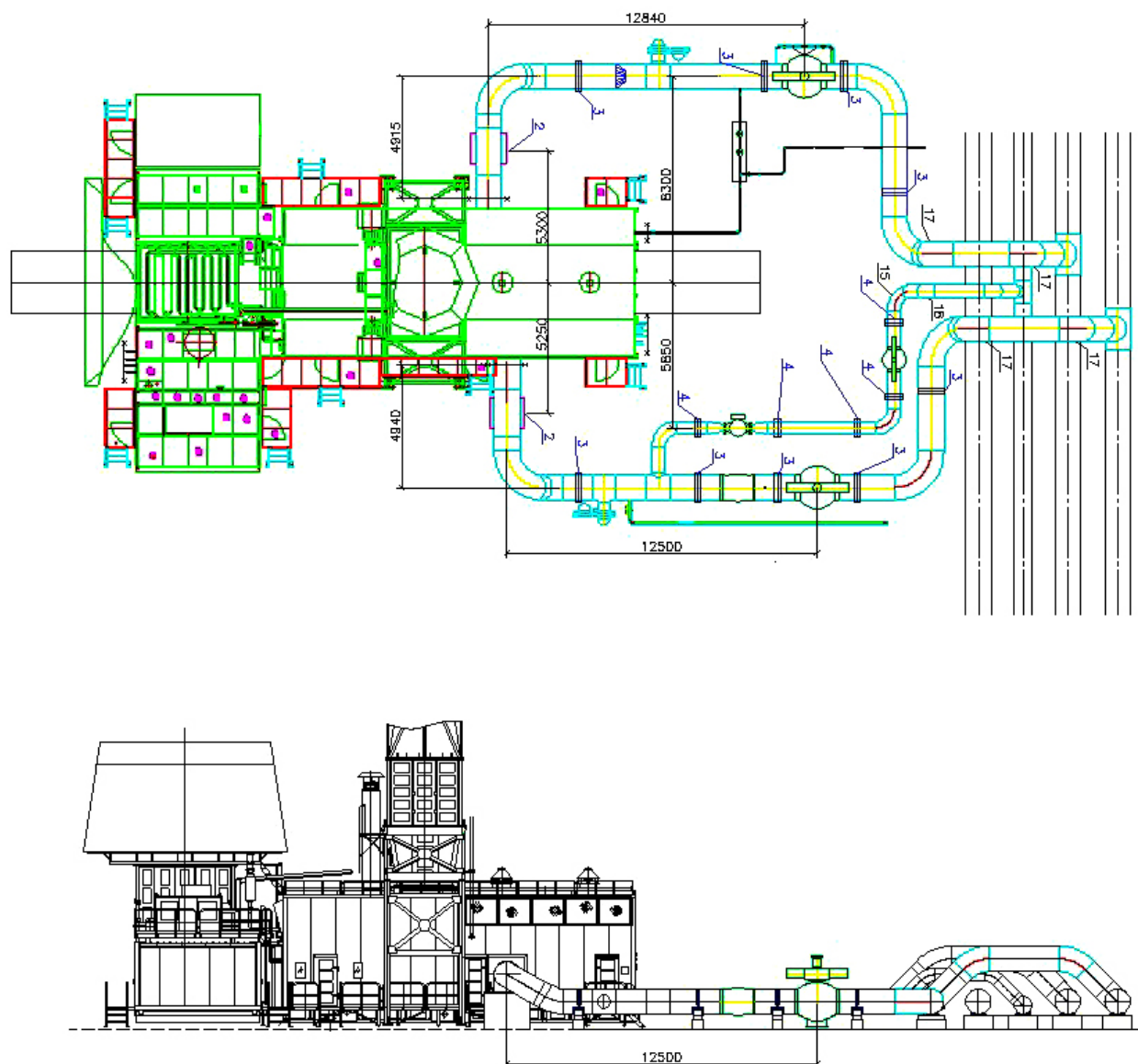


Рис. 1. Схема трубопроводной обвязки газоперекачивающего агрегата  
Fig. 1. Diagram of the gas compressor piping  
Источник / Source: разработано авторами / compiled by the authors

Кроме того, как отмечается в работе [8], наличие наружного покрытия трубопроводов затрудняет диагностическое обследование наружных стенок трубопроводов, скрывает следы начинающихся коррозионных процессов, поэтому для проведения диагностики трубопроводов требуется демонтаж и монтаж изоляционного покрытия и наружного металлического экрана.

Следует отметить, что шумовые эффекты при работе компрессорного оборудования могут существенно изменяться при пусках, остановках и других нестабильных режимах работы [18], при которых любое звукоизоляционное покрытие не обеспечивает допустимых значений уровня шума.

#### Объект исследования

Объектом исследования являлась линейная компрессорная станция магистрального газопровода, оснащённая газоперекачивающими агрегатами, подключаемыми к общецеховым трубопроводам по коллекторной схеме.

Газоперекачивающие агрегаты имеют блочно-контейнерное исполнение с центробежным ком-

прессором и приводом от газотурбинной установки АЛ-31СТ. Единичная мощность ГПА составляет 16 МВт. Рабочее давление магистрального газопровода, к которому подключается КС, составляет  $P_p = 5,4$  МПа.

Общий вид ГПА с трубопроводной обвязкой показан на рис. 1.

Номинальная частота вращения ротора силовой турбины ГТУ и ЦК  $n_{ог} = 5300$  об/мин ( $f_{ог} = 88,33$  Гц). ЦК двухступенчатый с количеством лопаток в рабочих колёсах каждой ступени  $z_\lambda = 11$ . Лопаточная частота на номинальном режиме составляет  $f_\lambda = f_{ог}$ ;  $z_\lambda = 971,63$  Гц. Проточная часть ЦК может быть выполнена как с лопаточными диффузорами (ЛД), так и с безлопаточными диффузорами (БЛД).

Предметом исследования являлась трубопроводная обвязка ГПА и всей КС, в части целесообразности нанесения тепло- и звукоизоляционного покрытия снаружи трубопроводов, а также влияние толщины стенки трубопроводов на снижение акустического шума, излучаемого центробежным компрессором.

Таблица 1. Шумовая характеристика центробежного компрессора типа НЦ-16<sup>3</sup>  
Table 1. Noise characteristic of the НЦ-16 centrifugal compressor type

| Тип<br>диффузора<br>ЦК | Уровни звуковой мощности $L_{p,i}$ , дБ, в октавных полосах частот $f_i$ , Гц |      |     |     |     |     |      |      |      |      | Эквивалентный<br>уровень<br>звуковой<br>мощности, дБА |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|-------------------------------------------------------|
|                        | $N_{\text{окт}}$                                                              | 1    | 2   | 3   | 4   | 5   | 6    | 7    | 8    | 9    |                                                       |
|                        | $f_i$ , Гц                                                                    | 31,5 | 63  | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |                                                       |
| БД                     | $L_{p,i}$ , дБ                                                                | 106  | 107 | 102 | 98  | 98  | 102  | 103  | 98   | 90   | 107                                                   |
| ЛД                     | $L_{p,i}$ , дБ                                                                | 105  | 106 | 101 | 107 | 116 | 118  | 113  | 103  | 89   | 123                                                   |

Таблица 2. Предельно допустимые уровни звукового давления для рабочих мест и территорий с постоянным уровнем шума<sup>4</sup>  
Table 2. Sound pressure limits for workplaces and areas with the constant noise level

| Уровни звукового давления $L_i^{\text{доп}}$ , дБ, в октавных полосах частот $f_i$ , Гц |      |    |     |     |     |      |      |      |      | Эквивалентный<br>уровень<br>звуковой<br>мощности, дБА |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|------|----|-----|-----|-----|------|------|------|------|-------------------------------------------------------|
| $N_{\text{окт}}$                                                                        | 1    | 2  | 3   | 4   | 5   | 6    | 7    | 8    | 9    |                                                       |
| $f_i$ , Гц                                                                              | 31,5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |                                                       |
| $L_i^{\text{доп}}$ , дБ                                                                 | 107  | 95 | 87  | 82  | 78  | 75   | 73   | 71   | 69   | —                                                     |

Особенностью компрессорной станции являлось выполнение всей трубопроводной обвязки в надземном исполнении, включая кольцевые всасывающий и нагнетательный коллекторы, перемычки, линии рециркуляции, входные и выходные шлейфы от узла подключения КС к магистральному газопроводу, обвязка пылеуловителей и АВО газа. Данное решение вызвано наличием скальных грунтов в районе строительства КС. В этом случае для выполнения требований [7, 11] по снижению уровня шума, излучаемого трубопроводами территории КС, они должны быть покрыты звукопоглощающими материалами. Значительный объем звукопоглощающих материалов для покрытия всей надземной трубопроводной обвязки КС и высокая трудоёмкость работ по их нанесению приводит к существенному удорожанию строительно-монтажных работ.

Основные характеристики трубопроводной обвязки КС:

- наружный диаметр трубопроводной обвязки ЦК (от патрубков ЦК до кранов № 1 на всасывающем и № 2 на нагнетательном трубопроводах)  $D_{\text{н.тр}} = 1020$  мм;
- диаметр трубопровода нагнетательного коллектора КС  $D_{\text{н.кол}} = 1020$  мм;
- длина трубопровода от нагнетательного патрубка ЦК до крана № 2  $L_{\text{тр}} = 20000$  мм (20 м);
- максимальная длина коллектора КС (от нагнетательного патрубка ЦК до крана АВО газа)  $L_{\text{КС}} = 200000$  мм (200 м).

В работе рассмотрены два варианта исполнения всасывающего и нагнетательного трубопроводов ЦК, отличающихся принципом выбора толщины стенки:

- $\delta_{\text{тр}} = 12$  мм (из расчета на прочность от действия внутреннего давления  $P_p = 5,4$  МПа);
- $\delta_{\text{тр}} = 18$  мм (увеличенная в 1,5 раза по сравнению с расчётным значением толщины стенки).

### Результаты исследования

В качестве исходной информации по уровню аэродинамического шума, излучаемого ЦК при его работе, приняты данные экспериментальных исследований, приведенных в СТО Газпром 2-3.5-041—2005<sup>1</sup>. Используя наиболее близкие аналоги ГПА в классе мощностей 16 МВт, можно задать шумовые характеристики ЦК типа НЦ-16 с безлопаточными и лопаточными диффузорами. Значения звуковой мощности в октавных полосах частот приведены в табл. 1.

Для территории КС и рабочих мест, располагающихся на этой территории, предельно допустимые значения уровней звукового давления следует принимать в соответствии с СТО Газпром 2-2.1-127—2007<sup>2</sup>, эти значения приведены в табл. 2.

#### Звуковая мощность трубопроводов без изоляционного покрытия

Звукоизоляция стенки трубопровода  $R_i$ , дБ, в октавных полосах частот  $f_i$ , Гц определяется в виде графической зависимости, определяемой координатами характерных точек А, В, С, D, зависящих от наружного диаметра трубопровода  $D_{\text{н.тр}}$  и толщины стенки согласно формулам<sup>5</sup>:

$$\begin{aligned} &— f_B = 1,6 \cdot 10^6 / D_{\text{н.тр}}; R_B = 74 - 20 \cdot \lg(D_{\text{н.тр}} / \delta_{\text{н.тр}}); \\ &— f_C = 1,2 \cdot 10^4 / \delta_{\text{н.тр}}; R_C = 31 \text{ Гц}; \\ &— f_A = 31,5 \text{ Гц}; R_A = \left( N_{\text{окт}}^{(i-1)} + \frac{f_C - f_{(i-1)}}{f_{(i-1)}} - 1 \right) \cdot 6 + R_C; \\ &— f_D = 8000 \text{ Гц}; R_D = \left( 9 - N_{\text{окт}}^{(i-1)} + \frac{f_B - f_{(i-1)}}{f_{(i-1)}} \right) \cdot 9 + R_B, \end{aligned}$$

где  $f_{(i-1)}$  — частота, ближайшая меньшая из стандартного ряда по отношению к рассчитанным частотам  $f_C$  или  $f_B$ ;  $N_{\text{окт}}^{(i-1)}$  — номер октавной полосы, соответствующий частоте, ближайшей меньшей по отношению к рассчитанным частотам  $f_C$  или  $f_B$ .

<sup>1</sup> СТО Газпром 2-3.5-041—2005. Каталог шумовых характеристик газотранспортного оборудования. Введ. 2005—11—10. Москва: ООО «ИРЦ Газпром», 2005. 7 с.

<sup>2</sup> СТО Газпром 2-2.1-127—2007. Регламент проведения акустического расчета на стадии проектирования компрессорных станций, дожимных компрессорных станций, компрессорных станций подземных хранилищ газа. Введ. 2007—10—10. Москва: ООО «ИРЦ Газпром», 2007. 46 с.

<sup>3</sup> СТО Газпром 2-3.5-041—2005. Каталог шумовых характеристик газотранспортного оборудования.

<sup>4</sup> СТО Газпром 2-2.1-127—2007. Регламент проведения акустического расчета на стадии проектирования компрессорных станций, дожимных компрессорных станций, компрессорных станций подземных хранилищ газа.

<sup>5</sup> Там же

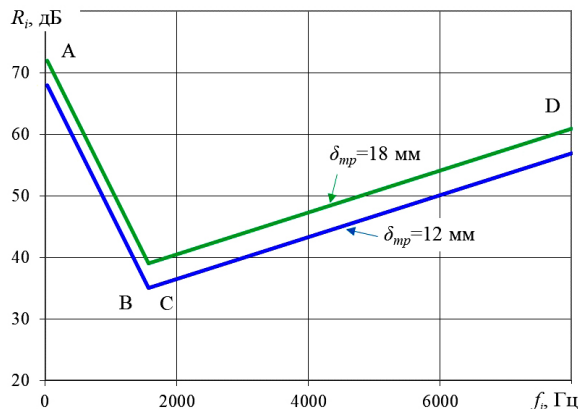


Рис. 2. Частотная характеристика звукоизолирующей способности трубопровода диаметром 1020 мм и толщинами стенки 12 и 18 мм

Fig. 2. Frequency characteristic of the sound insulation capacity of a pipeline with the 1020 mm diameter and with the 12 and 18 mm wall thicknesses

Источник / Source: разработано авторами / compiled by the authors

Рассчитанные значения звукоизоляционной способности трубопровода (без дополнительной шумоизоляции) в характерных точках графически представлены на рис. 2. Значения  $f$  и  $R$  в точках В и С приняты одинаковыми.

Для всего частотного диапазона значения звукоизоляции трубопровода в соответствии с рис. 2 представлены в табл. 3.

Октавные уровни звуковой мощности, излучаемой трубопроводом в отсутствие звукоизолирующего покрытия [12]:

$$L_i^{tp} = L_{pi} + 6 + 10 \cdot \lg \left( \frac{l}{D_{тр}} \right) - R_i$$

Расчет звуковой мощности выполнен для участков трубопроводной обвязки КС, находящихся в зоне обслуживания (рис. 1), т. е. от нагнетательного патрубка ЦК до крана № 2 ( $l = l_{тр} = 20000$  мм) и максимальном удалении от источника шума, до кранов АВО газа ( $l = l_{КС} = 200000$  мм). Результаты расчетов приведены в табл. 4, в ней выделены значения звуковой мощности, превышающие предельно допустимый уровень, указанный в табл. 2.

Из результатов расчета следуют следующие выводы. При выполнении технологических трубопроводов КС с толщиной стенки 12 мм превышение допустимых уровней звукового давления наблюдается:

- в зоне обслуживания (до крана №2): для ЦК с БЛД — в частотном диапазоне 2000 – 4000 Гц; для ЦК с ЛД — в частотном диапазоне 1000 – 4000 Гц;
- на максимальном удалении от источника шума (в коллекторах у АВО): для ЦК с БЛД — в диапазоне 1000 – 4000 Гц; для ЦК с ЛД — в диапазоне 500 – 4000 Гц.

При выполнении технологических трубопроводов КС с толщиной стенки 18 мм превышение допустимого уровня звукового давления:

Таблица 3. Звукоизоляция трубопровода при различных значениях толщины стенки

Table 3. Acoustic insulation of the pipeline at different wall thicknesses

| Толщина стенки трубопровода $\delta_{тр}$ , мм | Звукоизолирующая способность трубопровода диаметром 1020 мм $R_i$ , дБ, в октавных полосах частот $f_i$ , Гц |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                                | $N_{окт}$                                                                                                    | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    |
|                                                | $f_i$ , Гц                                                                                                   | 31,5 | 63   | 125  | 250  | 500  | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| 12,0                                           | $R_i$ , дБ                                                                                                   | 68   | 67,3 | 66,0 | 63,3 | 58,0 | 47,2 | 36,5 | 43,3 | 56,9 |
| 18,0                                           | $R_i$ , дБ                                                                                                   | 72   | 71,3 | 70,0 | 67,3 | 62,0 | 51,2 | 40,5 | 47,3 | 60,9 |

Источник / Source: разработано авторами / compiled by the authors

Таблица 4. Звуковая мощность трубопроводной обвязки КС без изолирующего покрытия при различных значениях толщины стенки на различных расстояниях от источника шума (ЦК)

Table 4. Sound power of compressor station piping without insulating coating at different wall thicknesses and at different distances from the noise source (centrifugal compressor)

| Расстояние<br>от источника<br>шума $l$ , мм | Толщина<br>стенки $\delta_{мп'}$<br>мм | Уровни звуковой мощности трубопровода $L_i^{тп}$ , дБ в октавных полосах частот $f_i$ , Гц |    |     |     |     |      |      |      |      |
|---------------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
|                                             |                                        | 31,5                                                                                       | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| ЦК с БЛД                                    |                                        |                                                                                            |    |     |     |     |      |      |      |      |
| 2000                                        | 12,0                                   | 57                                                                                         | 59 | 55  | 54  | 59  | 74   | 85   | 74   | 52   |
|                                             | 18,0                                   | 53                                                                                         | 55 | 51  | 50  | 55  | 70   | 81   | 70   | 48   |
| 200000                                      | 12,0                                   | 67                                                                                         | 69 | 65  | 64  | 69  | 84   | 95   | 84   | 62   |
|                                             | 18,0                                   | 63                                                                                         | 65 | 61  | 60  | 65  | 80   | 91   | 80   | 58   |
| ЦК с ЛД                                     |                                        |                                                                                            |    |     |     |     |      |      |      |      |
| 2000                                        | 12,0                                   | 56                                                                                         | 58 | 54  | 63  | 77  | 90   | 95   | 79   | 51   |
|                                             | 18,0                                   | 52                                                                                         | 54 | 50  | 59  | 73  | 86   | 91   | 75   | 47   |
| 200000                                      | 12,0                                   | 66                                                                                         | 68 | 64  | 73  | 87  | 100  | 105  | 89   | 61   |
|                                             | 18,0                                   | 62                                                                                         | 64 | 60  | 69  | 83  | 96   | 101  | 85   | 57   |

Источник / Source: разработано авторами / compiled by the authors

Таблица 5. Снижение шума  $\Delta L_i^{\text{ЗПМ}}$ , дБ, в слое звукопоглощающего материала «Foamglas» толщиной 80 мм в октавных полосах частот  $f_i$ , Гц [6]

| $N_{\text{окт}}$               | 1    | 2  | 3   | 4   | 5   | 6    | 7    | 8    | 9    |
|--------------------------------|------|----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| $f_i$ , Гц                     | 31,5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| $\Delta L_i^{\text{ЗПМ}}$ , дБ | 0    | 0  | 0   | 0   | 3   | 5    | 8    | 11   | 11   |

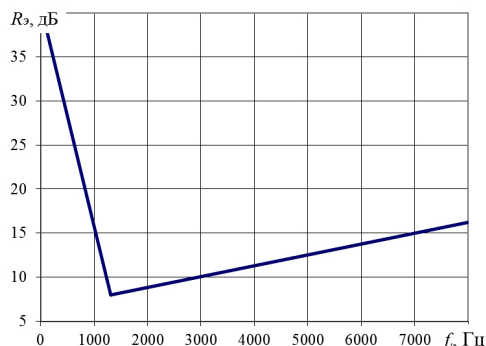


Рис. 3. Частотная характеристика звукоизоляции наружного металлического экрана  
Fig. 3. Frequency characteristic of the sound insulation of the external metal screen

Источник / Source: разработано авторами / compiled by the authors

— в зоне обслуживания (у крана № 2): для ЦК с БЛД — только на частоте 2000 Гц; для ЦК с ЛД — в диапазоне 1000 — 4000 Гц;

— на максимальном удалении от источника шума (в коллекторах у АВО): для ЦК с БЛД — в диапазоне 1000 — 4000 Гц; для ЦК с ЛД — в диапазоне 500 — 4000 Гц.

*Звуковая мощность трубопроводов с изолирующим покрытием*

Для расчета эффективности нанесения звукопоглощающих материалов (ЗПМ) принимаем следующие исходные данные:

- тип ЗПМ — пеностекло «Foamglas»;
- толщина ЗПМ  $\delta_{\text{ЗПМ}} = 100$  мм;
- толщина наружного металлического экрана  $\delta_3 = 2,0$  мм.

Снижение шума в слое ЗПМ принимаем на основании экспериментальных данных, выполненных ООО «Газпром ВНИИГАЗ» на КС «Смоленская» и КС «Торжокская» применительно к трубопроводам технологической обвязки ЦК диаметром 720 мм для ГПА-16 «Урал». Принятые к расчету данные по снижению шума представлены в табл. 5.

Звукоизоляция наружного металлического экрана в октавных полосах определяется в виде графической зависимости, приведенной на рис. 3.

Координаты характерных точек А, В, С, D:

$$f_B = 1,6 \cdot 10^6 / (D_{\text{н. тр}} + 2 \cdot H_{\text{ЗПМ}});$$

$$R_B = 74 - 20 \cdot \lg((D_{\text{н. тр}} + 2 \cdot H_{\text{ЗПМ}}) / \delta_3);$$

$$f_C = 1,2 \cdot 10^4 / \delta_3; R_C = 31 \text{ Гц};$$

$$f_A = 31,5 \text{ Гц}; R_A = \left( N_{\text{окт}}^{(i-1)} + \frac{f_C - f_{(i-1)}}{f_{(i-1)}} - 1 \right) \cdot 6 + R_C;$$

$$f_D = 8000 \text{ Гц}; R_D = \left( 9 - N_{\text{окт}}^{(i-1)} + \frac{f_C - f_{(i-1)}}{f_{(i-1)}} \right) \cdot 9 + R_C.$$

Эффективность звукоизолирующего покрытия «Foamglas» с наружным металлическим экраном для надземных трубопроводов рассчитанная по алгоритму [12], приведена в табл. 6:

$$\Delta L_i^{\text{из}} = \begin{cases} \Delta L_i^{\text{ЗПМ}} + R_i^3 & \text{при } \Delta L_i^{\text{ЗПМ}} \geq 6 \\ (6 + R_i^3)(\Delta L_i^{\text{ЗПМ}} - 2) / 4 & \text{при } 2 < \Delta L_i^{\text{ЗПМ}} < 6, \\ 0 & \text{при } \Delta L_i^{\text{ЗПМ}} \leq 2 \end{cases}$$

Из полученных результатов очевидна эффективность ЗПМ «Foamglas» только в октавных полосах частот 1000 Гц и более.

Уровни звуковой мощности трубопровода с изолирующим покрытием в октавных полосах частот  $f_i$  рассчитаны по формуле  $L_i^{\text{тр.из}} = L_i^{\text{тр}} - \Delta L_i^{\text{из}}$  и приведены в табл. 7.

Как следует из полученных результатов расчета и экспериментальных данных по звукоизолирующей способности материала «Foamglas», покрытие им надземных трубопроводов КС по всей длине не рационально, поскольку изоляционное покрытие имеет небольшую эффективность только в диапазоне частот от 1000 до 8000 Гц. Следует отметить, что полученные результаты соотносятся с результатами экспериментальных исследований в лабораторных условиях и для других типов ЗПМ [16].

В то же время, в соответствии с требованиями п. 5.8<sup>6</sup>, при температуре стенки трубопровода в обслуживаемой зоне выше 45 °С, необходимо применение тепловой изоляции. Температура газа после компримирования в ЦК в трубопроводах на стороне нагнетания может достигать до 42–48 °С. В связи с этим, более рациональным является покрытие звукопоглощающим материалом «Foamglas» или другими типами ЗПМ участков газовой обвязки

Таблица 6. Эффективность звукоизолирующего покрытия «Foamglas» с наружным металлическим экраном  
Table 6. Efficiency of the «Foamglas» soundproofing coating with external metal screen

| $N_{\text{окт}}$               | 1    | 2  | 3   | 4   | 5     | 6     | 7    | 8    | 9    |
|--------------------------------|------|----|-----|-----|-------|-------|------|------|------|
| $f_i$ , Гц                     | 31,5 | 63 | 125 | 250 | 500   | 1000  | 2000 | 4000 | 8000 |
| $\Delta L_i^{\text{ЗПМ}}$ , дБ | 0    | 0  | 0   | 0   | 11,08 | 23,85 | 28,0 | 36,6 | 46,5 |

Источник / Source: разработано авторами / compiled by the authors

<sup>6</sup> Руководство по безопасности. Рекомендации по устройству и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов. Сер. 03. Вып. 67. Москва: ЗАО НТЦ ПБ, 2013. 194 с.

Таблица 7. Звуковая мощность трубопроводной обвязки КС с изолирующим покрытием при различных значениях толщины стенки на различных расстояниях от источника шума (ЦК)

Table 7. Sound power of the compressor station piping with insulating coating at different wall thickness values and at different distances from the noise source (centrifugal compressor)

| Расстояние от источника шума $l$ , мм | Толщина стенки трубопровода $\delta_{тр'}$ , мм | Уровни звуковой мощности трубопровода $L_i^{mp, из}$ , дБ в октавных полосах частот $f_i$ , Гц |    |     |     |     |      |      |      |      |
|---------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
|                                       |                                                 | 31,5                                                                                           | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| ЦК с БД                               |                                                 |                                                                                                |    |     |     |     |      |      |      |      |
| 2000                                  | 12,0                                            | 57                                                                                             | 59 | 55  | 54  | 48  | 50   | 57   | 37   | 6    |
|                                       | 18,0                                            | 53                                                                                             | 55 | 51  | 50  | 44  | 46   | 53   | 33   | 2    |
| 200000                                | 12,0                                            | 67                                                                                             | 69 | 65  | 64  | 58  | 60   | 67   | 47   | 16   |
|                                       | 18,0                                            | 63                                                                                             | 65 | 61  | 60  | 54  | 56   | 63   | 43   | 12   |
| ЦК с ЛД                               |                                                 |                                                                                                |    |     |     |     |      |      |      |      |
| 2000                                  | 12,0                                            | 56                                                                                             | 58 | 54  | 63  | 66  | 66   | 67   | 42   | 5    |
|                                       | 18,0                                            | 52                                                                                             | 54 | 50  | 59  | 62  | 62   | 63   | 38   | 1    |
| 200000                                | 12,0                                            | 66                                                                                             | 68 | 64  | 73  | 76  | 76   | 77   | 52   | 15   |
|                                       | 18,0                                            | 62                                                                                             | 64 | 60  | 69  | 72  | 72   | 73   | 48   | 11   |

Источник / Source: разработано авторами / compiled by the authors

Таблица 8. Шумовая характеристика газоперекачивающего агрегата<sup>8</sup>

Table 8. Noise characteristic of the gas compressor unit

| Тип агрегата | Уровни звуковой мощности, дБ в октавных полосах частот, Гц |     |     |     |     |      |      |      |      | Эквивалентный уровень звуковой мощности, дБА |
|--------------|------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|----------------------------------------------|
|              | 31,5                                                       | 63  | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |                                              |
| ГПА-Ц-16Л    | 103                                                        | 107 | 102 | 97  | 98  | 99   | 96   | 94   | 91   | 105                                          |

ГПА в обслуживаемой зоне (рис. 1), то есть на линии нагнетания до крана № 2 и на линии рециркуляции до крана № 6р.

#### Оценка общего уровня шума от газоперекачивающего агрегата

На основании экспериментальных данных по измерениям общего уровня шума от ГПА, приведенных в каталоге СТО Газпром 2-3.5-041 – 2005<sup>7</sup>, можно выбрать ближайший аналог в классе мощностей 16 МВт – ГПА-Ц-16Л с двигателем АЛ-31СТ, уровни звуковой мощности которого приведены в табл. 8. Общий уровень шума ГПА сформирован из следующих источников шума: тракт всасывания ГТУ, тракт выхода ГТУ, газотурбинный двигатель, ЦК и др.

Как следует из данных шумовых характеристик ГПА, уровень шума во всем частотном диапазоне превосходит шумовые характеристики трубопроводной обвязки ЦК (табл. 1) и практически во всем диапазоне превышает допустимые нормы. Отсюда следует, что шум, излучаемый трубопроводами газовой обвязки ЦК в отсутствии изолирующего покрытия, на фоне шумов, излучаемых ГПА в целом в зоне его обслуживания, не является доминирующим.

#### Общие выводы и рекомендации

Расчет стоимостных показателей рассмотренных вариантов выполнения надземных трубопроводов КС с учётом суммарной длины надземных трубопроводов диаметром 1020 мм показал, что при увеличении толщины стенки с 12 до 18 мм разница в стоимости составляет около 10 млн руб.

В то же время выполнение трубопроводов с толщиной стенки 12 мм с нанесением изолирующего покрытия приводит к увеличению общей стоимости примерно на 15 млн руб. по сравнению с вариантом выполнения трубопроводов с толщиной стенки 18 мм и без изоляции.

Из проведенных расчетов можно сделать следующие выводы:

— покрытие звукопоглощающим материалом надземных технологических трубопроводов по всей КС не рационально, поскольку эффективность изоляционного покрытия имеет место только в октавных полосах частот более 1000 Гц, однако стоимость системы увеличивается примерно в 1,5 раза;

— выполнение технологических трубопроводов с толщиной стенки 18 мм по сравнению с толщиной стенки 12 мм снижает уровень звуковой мощности на 4 дБ во всем диапазоне октавных полос частот;

— применение в проточной части ЦК безлопаточных диффузоров позволяет понизить уровень шума на 5–20 дБ по сравнению с ЦК, имеющими лопаточный диффузор, но в частотном диапазоне — свыше 250 Гц;

— превышение уровня шума, создаваемого ЦК с БД относительно предельно допустимых значений, в случае трубопровода без изоляции, незначительно и составляет от 5 до 18 дБ;

— нанесение изолирующего покрытия на нагнетательной стороне ГПА необходимо в зоне обслуживания кранов с точки зрения теплоизоляции<sup>9</sup>.

На основании выполненных расчетов с учётом более высокой виброустойчивости технологических

<sup>7</sup> СТО Газпром 2-3.5-041 – 2005. Каталог шумовых характеристик газотранспортного оборудования. Введ. 2005 – 11 – 10. Москва: ООО «ИРЦ Газпром», 2005. 7 с.

<sup>8</sup> Там же.

трубопроводов с увеличенной толщиной стенки при проектировании и реконструкции КС более целесообразно:

— применять в конструкции ГПА проточную часть ЦК с БДД;

— выполнять надземные технологические трубопроводы КС с увеличенной на 50 % толщиной стенки;

— выполнять шумо- и звукоизоляцию трубопроводов в зоне обслуживания ГПА и кранов газовой обвязки, то есть от патрубков ЦК до кранов № 1 и 2, линии рециркуляции до крана № 6р.

Следует отметить, что расчёт звукоизоляции наружного металлического экрана по методике<sup>10</sup> даёт завышенные значения, не соответствующие стендовым и натурным испытаниям [9].

Принятые технические решения при выполнении проекта строительства КС «Нижнетуринская», в части описанных выше мероприятий по увеличению толщины стенки трубопроводов без нанесения звукопоглощающих покрытий, подтвердили свою целесообразность и эффективность по достижению приемлемых уровней шума, упрощением обслуживания и диагностики состояния трубопроводов по итогам эксплуатации объекта в течение 10 лет.

На основании результатов проведенных исследований [7–10], что соотносится с результатами данной работы, применение шумоизолирующих покрытий трубопроводов на основе пеностекла «Foamglas» исключено для целей шумоизоляции трубопроводов КС.

#### Список источников / References

1. Соколинский Л. И., Лопатин А. С., Глянцева Е. С. Оценка высокочастотной вибрации технологических трубопроводов центробежных компрессоров по уровню звука // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. 2025. № 1 (145). С. 42–47. EDN: TWMEUS.

Sokolinsky L. I., Lopatin A. S., Glyantseva E. S. Evaluation of high-frequency vibration of process pipelines of centrifugal compressors by sound level. *Equipment and Technologies for Oil and Gas Complex*. 2025;1(145):42–47. EDN: TWMEUS. (In Russ.).

2. Соколинский Л. И., Лопатин А. С., Владимиров Е. С. Об оценке воздействия акустического шума на персонал компрессорных станций при применении средств индивидуальной защиты // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. 2023. № 1 (133). С. 58–61. [https://doi.org/10.33285/1999-6934-2023-1\(133\)-58-61](https://doi.org/10.33285/1999-6934-2023-1(133)-58-61). EDN: QDUALM.

Sokolinsky L. I., Lopatin A. S., Vladimirova E. S. Assessment of the acoustic noise impact on the personnel of compressor stations when using personal protective equipment. *Equipment and Technologies for Oil and Gas Complex*. 2023;1(133):58–61. [https://doi.org/10.33285/1999-6934-2023-1\(133\)-58-61](https://doi.org/10.33285/1999-6934-2023-1(133)-58-61). EDN: QDUALM. (In Russ.).

3. Соколинский Л. И., Глянцева Е. С. О влиянии режимов работы компрессорной станции на характеристики шума у технологических трубопроводов // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2023. № 4 (313). С. 54–59. [https://doi.org/10.33285/2411-7013-2023-4\(313\)-54-59](https://doi.org/10.33285/2411-7013-2023-4(313)-54-59). EDN: NQWIFW.

Sokolinskiy L. I., Glyantseva E. S. On the influence of compressor station operating modes on the noise characteristics of technological pipelines. *Environmental Protection in Oil and Gas Complex*. 2023;4(313):54–59. [https://doi.org/10.33285/2411-7013-2023-4\(313\)-54-59](https://doi.org/10.33285/2411-7013-2023-4(313)-54-59). EDN: NQWIFW. (In Russ.).

4. Соколинский Л. И., Владимиров Е. С. Результаты экспериментальной оценки применения шумоизоляции надземных технологических трубопроводов центробежных компрессоров // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. 2022. № 4 (130). С. 64–68. [https://doi.org/10.33285/1999-6934-2022-4\(130\)-64-68](https://doi.org/10.33285/1999-6934-2022-4(130)-64-68). EDN: OVOZRD.

Sokolinsky L. I., Vladimirova E. S. The results of experimental evaluation of the application of noise insulation of on-land technological pipelines of centrifugal compressors. *Equipment and Technologies for Oil and Gas Complex*. 2022;4(130):64–68. [https://doi.org/10.33285/1999-6934-2022-4\(130\)-64-68](https://doi.org/10.33285/1999-6934-2022-4(130)-64-68). EDN: OVOZRD. (In Russ.).

5. Соколинский Л. И., Лопатин А. С. Об оценке эффективности применения шумоизоляционных покрытий трубопроводов компрессорных станций // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. 2018. № 4. С. 62–68. <https://doi.org/10.30713/1999-6934-2018-4-62-68>. EDN: XVLVRZ.

Sokolinskiy L. I., Lopatin A. S. On the issue of the evaluation of the noise insulation coatings effectiveness for the compressor station's pipelines. *Equipment and Technologies for Oil and Gas Complex*. 2018;4:62–68. <https://doi.org/10.30713/1999-6934-2018-4-62-68>. EDN: XVLVRZ. (In Russ.).

6. Соколинский Л. И., Лопатин А. С., Завьялов А. П., Владимиров Е. С. Испытания однослойного звукоизолирующего кожуха на основе пеностекла для трубопроводов центробежных компрессоров // Труды Российского государственного университета нефти и газа имени И. М. Губкина. 2022. № 3 (308). С. 101–109. [https://doi.org/10.33285/2073-9028-2022-3\(308\)-101-109](https://doi.org/10.33285/2073-9028-2022-3(308)-101-109). EDN: XVLQVO.

Sokolinskiy L. I., Lopatin A. S., Zav'yalov A. P., Vladimirova E. S. Tests of a single-layer soundproof casing based on foam glass for pipelines of centrifugal compressors. *Proceedings of Gubkin University*. 2022;3(308):101–109. [https://doi.org/10.33285/2073-9028-2022-3\(308\)-101-109](https://doi.org/10.33285/2073-9028-2022-3(308)-101-109). EDN: XVLQVO. (In Russ.).

7. Соколинский Л. И., Сидорина А. В., Толстихин Ю. Ю., Блинов Ф. В. Современное состояние и перспективы развития звукоизоляции надземных технологических трубопроводов и оборудования компрессорных и газораспределительных станций ПАО «Газпром» // Газовая промышленность. 2016. № 11 (745). С. 92–98. EDN: XBTANX.

Sokolinsky L. I., Sidorina A. V., Tolstichin Yu. Yu., Blinov F. V. The current state and prospects for the development of sound insulation in above-ground process pipelines and equipment of compressor and gas-distributing plants of Gazprom, PJSC. *Gas Industry*. 2016;11(745):92–98. EDN: XBTANX. (In Russ.).

8. Ангалева А. М., Егоров И. Ф., Мартынов А. И., Соколинский Л. И. Шумоизоляция и контролепригодность наземных технологических трубопроводов газоперекачивающих агрегатов // Газовая промышленность. 2011. № 9 (664). С. 60–64. EDN: NYJETP.

Angalev A. M., Egorov I. F., Martynov A. I., Sokolinskiy L. I. Shumoizolyatsiya i kontroleprigodnost' nazemnykh tekhnologicheskikh truboprovodov gazoperekachivayushchikh agregatov. *Gas Industry*. 2011;9(664):60–64. EDN: NYJETP. (In Russ.).

9. Терехов А. Л. Охрана труда персонала компрессорных станций. Снижение уровней шума открытых участков

<sup>9</sup> Руководство по безопасности. Рекомендации по устройству и безопасной эксплуатации технологических трубопроводов. Сер. 03. Вып. 67. Москва: ЗАО НТЦ ПБ, 2013. 194 с.

<sup>10</sup> СТО Газпром 2-2.1-127–2007. Регламент проведения акустического расчета на стадии проектирования компрессорных станций, дожимных компрессорных станций, компрессорных станций подземных хранилищ газа. Введ. 2007–10–10. Москва: ООО «ИРЦ Газпром», 2007. 46 с.

трубопроводов // Газовая промышленность. 2022. № 8 (836). С. 112–116. EDN: ZSVIZF.

Terekhov A. L. Occupational health and safety of compressor station staff. Reducing the noise level of open pipeline sections. *Gas Industry*. 2022;8(836):112–116. EDN: ZSVIZF. (In Russ.).

10. Терехов А. Л., Сидорина А. В. Повышение безопасности эксплуатации технологических трубопроводов методами звукоизоляции // Газовая промышленность. 2018. № 5 (768). С. 96–97. EDN: XMYFRR.

Terekhov A. L., Sidorina A. V. Operational safety improvement of industrial pipelines by sound insulation methods. *Gas Industry*. 2018;5(768):96–97. EDN: XMYFRR. (In Russ.).

11. Волюнец И. Г., Терехов А. Л., Сидорина А. В., Каширин А. Б. Защита от шума открытых участков газопроводов акустическими конструкциями на основе эластомерных материалов // Газовая промышленность. 2021. № 2 (812). С. 108–116. EDN: OWXUUQ.

Volynets I. G., Terekhov A. L., Sidorina A. V., Kashirin A. B. Noise protection of gas pipelines' open sections by using elastomer-based acoustic structures. *Gas Industry*. 2021;2(812):108–116. EDN: OWXUUQ. (In Russ.).

12. Raitor T., Neise W. Sound generation in centrifugal compressors. *Journal of Sound and Vibration*. 2008;314(3-5):738–756. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2008.01.034>.

13. Galindo J., Tiseira A., Navarro R., Lypez M. A. Influence of tip clearance on flow behavior and noise generation of centrifugal compressors in near-surge conditions. *International Journal of Heat and Fluid Flow*. 2015;52:129–139. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatfluidflow.2014.12.004>. EDN: UQZUIP.

14. Zhou H., Mao Y., Zhang Q. [et al.]. Vibro-acoustics of a pipeline centrifugal compressor part I. Experimental study. *Applied Acoustics*. 2018;131:112–128. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2017.10.011>.

15. Zhang Q., Mao Y., Zhou H. [et al.]. Vibro-acoustics of a pipeline centrifugal compressor: Part II. Control with the micro-perforated panel. *Applied Acoustics*. 2018;132:152–166. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2017.11.013>.

16. Rahmani N., Khastavan Y., Varianni A., Ahmadi S. Compressor pulsation noise attenuation using reactive silencer with various configurations: A theoretical and experimental study. *Heliyon*. 2024;10(5):e27263. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e27263>.

17. Филькин Н. Ю. Экспериментальное исследование и сравнительный анализ шумоизоляции технологических трубопроводов // Проблемы геологии и освоения недр. 2013. Т. 2. С. 425–427.

Fil'kin N. Yu. Eksperimental'noye issledovaniye i sravnitel'nyy analiz shchmoizolyatsii tekhnologicheskikh truboprovodov. *Problemy Geologii i Osvoyeniya Nedr*. 2013;2:425–427. (In Russ.).

18. Ванияшов А. Д., Юша В. Л. Методы и технологии адаптации основного и вспомогательного оборудования компрессорных установок и станций к нестабильным условиям эксплуатации // Омский научный вестник. Сер. Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. 2023, Т. 7, № 3. С. 24–35. <https://doi.org/10.25206/2588-0373-2023-7-3-24-35>. EDN: JMGPPK.

Vanyashov A. D., Yusha V. L. Methods and technologies for adaptation of main and auxiliary equipment of compressor plants and stations to unstable operating conditions. *Omsk Scientific Bulletin. Series Aviation-Rocket and Power Engineering*. 2023;7(3):24–35. <https://doi.org/10.25206/2588-0373-2023-7-3-24-35>. EDN: JMGPPK. (In Russ.).

#### Вклад авторов:

**А. Д. Ванияшов.** Постановка цели и задач исследования, выполнение расчётов и их анализ, формулирование выводов, подготовка текста статьи.

**А. В. Жерелевич.** Анализ состояния вопроса, проведение обзора литературных данных, проектная проработка полученных решений.

#### Authors' contribution:

**Aleksandr D. Vanyashov.** Setting the research aim and objectives, performing calculations and their analysis, formulating conclusions, preparing the text of the article.

**Aleksandr V. Zherelevich.** Analysing the problem, reviewing of literature data, project analysis of the received solutions.

#### Информация об авторах:

**ВАНЯШОВ Александр Дмитриевич**, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Холодильная и компрессорная техника и технология» Омского государственного технического университета, г. Омск.

SPIN-код: 1103-5921

AuthorID (РИНЛ): 285096

AuthorID (SCOPUS): 8300390600

e-mail: adv@omgtu.ru

**ЖЕРЕЛЕВИЧ Александр Витальевич**, начальник группы отдела по проектированию компрессорных станций ОАО «Сибнефтетранспроект», г. Омск.

e-mail: jav@sntp.ru

**Прозрачность финансовой деятельности:** авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

При подготовке данной рукописи авторы не использовали генеративный искусственный интеллект или аналогичные автоматизированные инструменты.

Статья поступила в редакцию 06.04.2026; одобрена после рецензирования 29.04.2026; принята к публикации 23.06.2026.

#### Information about the authors:

**VANYASHOV Aleksandr Dmitriyevich**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Refrigeration and Compressor Equipment and Technology Department, Omsk State Technical University, Omsk.

SPIN-code: 1103-5921

AuthorID (RSCI): 285096

AuthorID (SCOPUS): 8300390600

e-mail: adv@omgtu.ru

**ZHERELEVICH Aleksandr Vitaliyevich**, Head of the Group of the Compressor Station Design Department, OJSC "Sibnefttransproekt", Omsk.

e-mail: jav@sntp.ru

**Financial transparency:** the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

The authors have read and approved the final manuscript.

The authors did not use the Artificial Intelligence or similar automated tools in the article.

The article was submitted 06.04.2026; approved after reviewing 29.04.2026; accepted for publication 23.06.2026.