

УДК 628.517

## Применение метода шумовой диагностики на объектах Единой системы газоснабжения: проблемы и перспективы

И.Г. Вольнец<sup>1</sup>, А.Л. Терехов<sup>1\*</sup>, Ю.А. Маянц<sup>1</sup>, А.Ю. Горлова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ООО «Газпром ВНИИГАЗ», Российская Федерация, 142717, Московская обл., Ленинский р-н, пос. Развилка, Проектируемый пр-д № 5537, вл. 15, стр. 1

\* E-mail: A\_Terekhov@vniigaz.gazprom.ru

**Ключевые слова:** интенсивность излучения шума, трубопроводный транспорт, безопасность технологических процессов, снижение шума, шумовая диагностика.

**Тезисы.** В настоящее время на газотранспортных объектах ПАО «Газпром» имеют место недопустимо высокие уровни шума, превышающие предельные значения действующих нормативных документов на 10...15 дБА. В результате этого общество несет значительные материальные и социальные потери. Помимо известных и достаточно хорошо изученных причин интенсивных уровней шума на газотранспортных предприятиях существует и неизученная причина высоких уровней шума, обусловленная неисправным состоянием технологического оборудования.

Для снижения уровней шума и предотвращения инцидентов и аварий впервые в ПАО «Газпром» предлагается разработать и внедрить метод шумовой диагностики, который обладает значительными преимуществами, так как не требует остановки технологического процесса, сравнительно дешев и при правильной организации с учетом теории генерации шума может быть точнее других методов. В статье изложены соответствующие положения теории шумовой диагностики и программа проведения исследований.

Более 30 % рабочих мест на предприятиях транспортировки углеводородов характеризуются вредными условиями труда [1, 2]. Одним из основных вредных факторов, воздействующих на работников предприятий топливно-энергетического комплекса (ТЭК), является шум. Согласно инструментальным данным (рис. 1), рабочие места с вредными по шуму условиями труда составляют более 60 % от всех рабочих мест с вредными условиями труда [2]. Неблагоприятные условия труда ремонтного и эксплуатационного персонала предприятий из-за рассеянного внимания работников под воздействием интенсивного шума, а также возникновение незамеченного из-за шума инцидента на технологическом оборудовании могут привести к производственным травмам и перерасти в техногенную аварию [2].

В результате оценки профессиональных рисков для основных профессий на объектах транспортировки газа установлено, что интенсивный шум создает недопустимые уровни риска как при работе в освоенных традиционных районах добычи нефти и газа, так и в экстремальных условиях арктического шельфа, Дальнего Востока и Камчатки [3]. Таким образом, управление профессиональными рисками, обусловленными интенсивным шумом, является актуальной задачей, решение которой приносит значительный материальный и социальный эффект за счет снижения уровня производственного травматизма, профессиональных заболеваний, вероятности техносферных аварий и катастроф [4].

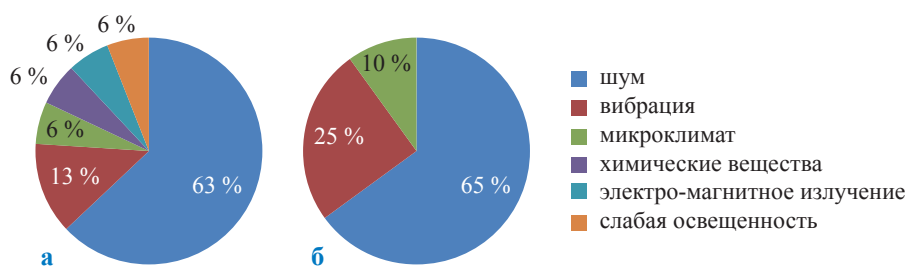


Рис. 1. Вредные факторы, воздействующие на работников газовой отрасли:  
а – транспорт газа; б – добыча газа



Рис. 2. Алгоритм разработки мероприятий по снижению шума:

ТЗ – техническое задание; НД – нормативная документация; УЗД – уровень звукового давления

Многолетние работы ООО «Газпром ВНИИГАЗ» позволяют рекомендовать проверенные на практике мероприятия, направленные на снижение шума в источнике его возникновения, на путях распространения, а также ослабление неблагоприятного воздействия шума на персонал с помощью средств индивидуальной защиты [2, 5–8].

Известно, что задачу защиты от шума необходимо решать путем внедрения комплекса мероприятий с учетом технических возможностей и затрат (рис. 2). Заказчик строительства объекта выдает ТЗ на его проектирование проектной организации, которая на основании результатов акустического расчета объекта прогнозирует акустические характеристики помещений на объекте и спады УЗД от объекта на селитебной территории. Необходимые для расчетов шумовые характеристики принимаются по каталогу<sup>1</sup> или прогнозируются с учетом

известных характеристик оборудования по данным завода-изготовителя [2]. В натуральных условиях измерение шумовых характеристик производится по методикам Р51-00158623-26-96, Р51-00158623-18-92<sup>2</sup>. Ожидаемые спады УЗД на местности рассчитываются с учетом влияния рельефа местности, импеданса земной поверхности и метеоусловий<sup>3</sup> [2].

В течение многих лет шумоснижающие мероприятия успешно внедрялись в газовой промышленности, включая объекты ПАО «Газпром» [2–8], однако в настоящее

<sup>2</sup> См. Р51-00158623-26-96. Методика измерения шумовых характеристик газоперекачивающих агрегатов с газотурбинным приводом. – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 1999. – 27 с.;

Р51-00158623-18-92. Типовая методика акустических испытаний опытных и серийных образцов ГПА. – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 1999. – 17 с.

<sup>3</sup> См. Методика расчета уровня шума от КС на местности. – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 1999. – 24 с.; СТО Газпром 2.-2.1-127-2007. Регламент проведения акустического расчета на стадии проектирования компрессорных станций, дожимных компрессорных станций, компрессорных станций подземных хранилищ газа. – М.: ИРЦ Газпром, 2007. – 45 с.

<sup>1</sup> См. СТО Газпром 2-3.5-041-2005. Каталог шумовых характеристик газотранспортного оборудования.

время в связи с увеличением мощности и количества единиц установленного технологического оборудования на промышленных площадках применения известных технологий снижения шума стало недостаточно. Это привело к формированию неблагоприятных по шуму условий труда, которые вызывают жалобы эксплуатационного персонала.

### Направления продолжения исследований в области снижения шума

Разработка дополнительных мероприятий по снижению шума на предприятиях транспорта газа должна основываться на новых научных представлениях о процессах генерации и распространения шума технологического оборудования, не учитываемых предшествующими исследованиями. Работу следует организовать совместно с заводами-изготовителями и начать с подготовки перечня шумных объектов и установленного на них шумового оборудования. Ее итогом должны стать усовершенствование теории производственного шума и улучшение шумовых характеристик оборудования.

В ООО «Газпром ВНИИГАЗ» планируется строительство стенда на Опытно-экспериментальной базе. Стенд предназначен для исследования:

- эффективности глушителей шума абсорбционного и комбинированного типа размером 1220×1220 мм, а также моделей глушителей всасывания и выкида газоперекачивающих агрегатов, новых конструкций элементов глушителей;
- звукоизолирующих свойств новых типов и конструкций вибро- и звукопоглощающих покрытий на трубы диаметром до 1220 мм;
- звукоизоляции плоских перекрытий от воздушного и ударного шумов;
- энергетических установок с целью выявления местонахождения и причин неисправностей.

Планируется также использовать стенд для определения шумовых характеристик энергетических установок точным методом<sup>4</sup>, проведения сертификационных испытаний средств шумоглушения и звукоизоляции энергетического оборудования, сертификации шумовых характеристик оборудования на основе точного метода измерений в реверберационной камере,

<sup>4</sup> См. ГОСТ 31274-2004. Шум машин. Определение уровней звуковой мощности по звуковому давлению. Точные методы для реверберационных камер.

сертификации энергетического оборудования с целью продления сроков его эксплуатации.

Стенд должен отвечать следующим требованиям:

- экономической целесообразности строительства и эксплуатации;
- востребованности для проведения сертификационных испытаний;
- необходимости для разработки мероприятий по шумоглушению;
- возможности эксплуатации и обслуживания специалистами низкой квалификации;
- достоверности получаемого результата;
- долговечности и надежности.

Достоверность получаемых на стенде результатов обеспечивается соответствием его конструкции требованиям государственных стандартов (ГОСТ Р ИСО 15665-2007, ГОСТ 31274-2004 (ИСО 03741:1999), ГОСТ 28100-2007 (ИСО 7235-2003), ГОСТ 28100-89 и др.) и регламентам испытаний и плановых мероприятий по обслуживанию и ремонту.

На основании новой методологии и проведенных исследований в ПАО «Газпром» планируется разработка каталога допустимых и рекомендуемых изготовителям шумовых характеристик. ООО «Газпром ВНИИГАЗ» должен участвовать в измерении шумовых характеристик технологического оборудования при приемке его в эксплуатацию по усовершенствованной и сертифицированной методике. При этом намечено с помощью разработанных критериев шумности оценивать шумовую характеристику изделия и выдавать заключение об изменении его качества.

Теория распространения шума оборудования на местности<sup>3</sup> морально устарела и уже не отвечает современным требованиям газовой отрасли. При ее актуализации будут учтены последние работы Н.И. Иванова [9] с учетом специфики эксплуатации и конструктивных особенностей оборудования.

Одним из неизученных явлений генерации высокого нетипового уровня шума остается излучение шума технологическим оборудованием при неоптимальном режиме работы, который обуславливается отклонением параметров эксплуатации от проектных. Причинами этих отклонений являются:

- работа технологического оборудования в неоптимальном режиме из-за изменений потребления газа;

- наличие возникших в ходе эксплуатации дефектов конструкции, которые долгое время могут проявляться только в повышении звуковой мощности и изменении спектров шума;
- некачественное либо несвоевременное техническое обслуживание оборудования;
- износ средств шумоглушения и вызванное этим снижение их эффективности;
- износ отдельных элементов конструкции оборудования.

Для снижения шумности оборудования при неоптимальном режиме эксплуатации, обусловленном изменениями в потреблении газа, впервые будут разработаны зависимости шумовых характеристик оборудования от режима его работы и даны рекомендации по их учету при проектировании объектов. Для определения изменений шумовых характеристик оборудования по другим причинам впервые будут организованы исследования методов шумовой диагностики в газовой промышленности с внедрением наиболее удачных в практику эксплуатации с целью снижения шума, определения неисправностей оборудования и предотвращения аварий.

### **Внедрение шумовой диагностики газотранспортного оборудования**

В настоящее время диагностирование технического состояния устройств и агрегатов имеет большое практическое значение, так как позволяет выявлять и прогнозировать признаки неисправности механизмов, определять длительность безопасной эксплуатации и продлевать ее сроки. Кроме этого, как было сказано выше, шумовая диагностика позволит снижать шумность технологического оборудования.

Из всех известных способов диагностики энергетического оборудования [10–15], шумовая диагностика характеризуется существенными преимуществами, обусловившими необходимость ее реализации в газовой промышленности, а именно:

- применение простой и недорогой аппаратуры (многоканальные шумомеры, портативные анализаторы шума, совместимые с компьютером, узконаправленные микрофоны, стетоскопы), способной оцифровывать практически все виды технических шумов;
- возможность получения информации о техническом объекте в режиме реального времени;

- контроль без вмешательства в функционирование технических объектов;
- большой комплекс диагностической информации практически о всех подвижных элементах технического объекта;
- высокая разрешающая способность метода;
- возможность документирования с последующим тиражированием без потери качества информации для дальнейшей расшифровки.

Ввиду недостаточной разработанности метода шумовой диагностики его применение в нефтегазовой промышленности не описано в периодической отраслевой печати. Из акустических методов находят относительно широкое применение только метод акустической эмиссии и метод вибрационной диагностики, способные работать с достаточно просто выделяемыми из общего шума сигналами.

При этом общие направления применения метода шумодиагностики очевидны и соответствуют тенденциям развития отрасли. Например, в современном строительстве объектов транспортировки газа требуется обеспечить объективный контроль и документирование технологических процессов в режиме реального времени. Очевидно, что, начиная с простых земляных работ и заканчивая сложными сварочными процессами, излучаемые шумовые спектры при их анализе в сопоставлении с типовыми позволяют точно отследить стабильность выполнения технологических операций, отсутствие или наличие технологических нарушений. Каждый вид технологического нарушения приведет к появлению характерных особенностей в спектре излучаемого шума, которые с помощью несложных приборов могут быть зарегистрированы. Во многих случаях, например при бестраншейной прокладке трубопроводов, шумы, возникающие при протаскивании дюкера, могут охарактеризовать грунты, в которых ведется прокладка, предупредить о начале развития опасного события.

При пуско-наладочных работах и на начальном этапе эксплуатации объектов характерные шумы могут возникать при наличии просадок или морозного пучения трубопроводов, свай и фундаментов, возникновении различных эффектов типа Джоуля – Томсона или Гартмана – Шпренгера и т.п. Исследование спектров этих шумов позволит локализовать области повышенной опасности и предотвратить аварии,

кроме того, устранение неисправностей снизит шум на рабочих местах персонала.

При эксплуатации шумы сопровождают работу практически всех агрегатов и трубопроводов. Во многих случаях эти шумы находятся в области инфра- и ультразвука, что не представляет проблем для современной акустической техники.

Для транспортировки газа применяется большая номенклатура оборудования, при этом все его типы и виды имеют специфические особенности, которые нужно учитывать при создании метода шумовой диагностики, что обуславливает необходимость большого объема экспериментов. Используются газоперекачивающие агрегаты с авиационным, судовым, электрическим приводом, газо-мотокомпрессоры, разнообразное вспомогательное оборудование компрессорных станций, подземные и надземные трубопроводы, установки сжижения природного газа, установки переработки природного газа и другое технологическое оборудование. Каждый тип оборудования имеет множество отдельных источников шума различной физической природы: механической, аэродинамической, гидродинамической, электромагнитной, шум дугового разряда, шум термоакустических колебаний. Особенностью применения этого оборудования является высокое давление природного газа и звуковая мощность оборудования, что делает возможным применение метода шумовой диагностики без непосредственного контакта с поверхностью оборудования или при ограниченном по площади контакте. Однако каждый технический объект имеет свои характеристики шумов, генерирующихся при нормальной работе и при нарушениях. Универсальные алгоритмы идентификации шумов, генерируемых неисправными механизмами, отсутствуют.

В связи с этим внедрение шумодиагностики механизмов невозможно без ее адаптации к диагностике технологического оборудования. Методология применения метода шумовой диагностики основывается на корреляции изменения спектров шума элементарных источников, составляющих шумовое поле оборудования, и появления дефектов и неисправностей на элементе этого оборудования. Базой для создания метода должны стать:

- разделение источников шума оборудования на составляющие элементы;

- паспортизация типовых характеристик элементарных источников шума;

- выявление корреляционных зависимостей дефектов оборудования и изменений в спектре шума этого оборудования.

Для подготовки каталога типовых характеристик элементарных источников необходимо изучить физическую природу генерации шума каждого составляющего оборудование узла, уточнить и актуализировать классические теории распространения возникающего на элементарных источниках шума, для чего известными акустическими методами разделения и исключения источников шума на основании достаточно большого количества обобщенных и осредненных результатов измерений классифицировать полученные данные с учетом механизмов генерации и распространения шума.

В ходе проведения стендовых и натурных испытаний необходимо установить корреляцию между отклонением в спектре шума этих источников и обуславливающим это отклонение дефектом, а также характером и размерами дефекта.

### Пример применения метода

При работе компрессора газоперекачивающего агрегата из-за проникновения частиц пыли через воздушные фильтры на поверхности лопатки компрессора может появиться эрозия, превентивное выявление которой необходимо для своевременного ремонта.

При обтекании лопатки потоком можно различить два источника шума: связанный с начальной турбулентностью приходящего потока и связанный с вихреобразованием, присущим самому пограничному слою на лопатках даже при условии ламинарного набегающего потока. Экспериментальными исследованиями установлено [2], что основную роль в шумообразовании играет вихреобразование пограничного слоя. При возникновении дефекта на лопатке в пограничном слое происходит изменение, вызывающее отрыв пары вихрей с частотой, отличной от характерной, и, как правило, интенсивность шума увеличивается и его спектр меняется.

Шум в подшипниках создается трением, соударением и вибрацией деталей. В исправном состоянии шум подшипников имеет широкополосный характер с максимумом излучения на частотах в диапазоне 2...5 кГц. При

появлении проблем с сепаратором или дефекта в шариках появится дискретная составляющая в спектре на частоте вращения и ее гармониках.

При ослаблении затяжки стыков на вибрирующих механизмах возникают характерные резкие шумы, обусловленные увеличением интенсивности как структурного, так и воздушного шума.

В данном примере изменение спектров шума будет сопровождаться увеличением его интенсивности, и излучение с повышенной интенсивностью может продолжаться длительное время вплоть до аварии оборудования.

\*\*\*

Исследования ООО «Газпром ВНИИГАЗ» в области генерации и распространения шума газотранспортного оборудования морально устарели и не обеспечивают создания в отрасли здоровых условий труда. Одной из основных причин высоких уровней шума служит несоответствие эксплуатируемого оборудования проектным параметрам.

Установлено, что реальное снижение шума в отрасли невозможно без внедрения метода шумовой диагностики.

### Список литературы

1. Терехов А.Л. Анализ результатов экспертизы неустранимости вредных производственных факторов на рабочих местах ОАО «Газпром» / А.Л. Терехов, С.В. Щепочкин, А.Б. Каширин // Газовая промышленность. – 2012. – № 9. – С. 81–83.
2. Терехов А.Л. Современные методы снижения шума ГПА / А.Л. Терехов, М.Н. Дробаха; под ред. Р.О. Самсонова. – СПб.: Недра, 2008. – 368 с.
3. Терехов А.Л. Создание здоровых и безопасных условий труда при работе на добычных нефтегазовых платформах арктического шельфа / А.Л. Терехов, С. Сохилл // Газовая промышленность. – 2011. – № 11. – С. 92–96.
4. Лесных В.В. Управление рисками – путь к устойчивому развитию ОАО «Газпром» / В.В. Лесных // Газовая промышленность. – 2008. – № 11. – С. 52–55.
5. Терехов А.Л. Обзор технических решений по снижению шума на предприятиях добычи и транспорта газа / А.Л. Терехов, В.А. Сулин, Г.В. Котишевский и др. // Материалы Международной акустической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения Е.Я. Юдина. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – С. 257–267.
6. Терехов А.Л. Повышение безопасности производственных процессов путем снижения шума трубопроводов / А.Л. Терехов, А.Л. Сафонов // Труд и социальные отношения. – 2016. – № 4. – С. 163–174.
7. Терехов А.Л. Исследования и снижение шума на компрессорных станциях магистральных газопроводов / А.Л. Терехов. – М.: ИРЦ Газпром, 2002. – 303 с.
8. Терехов А.Л. Шум газоперекачивающих агрегатов на компрессорных станциях магистральных газопроводов / А.Л. Терехов. – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2003. – 499 с.
9. Иванов Н.И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом: учеб. / Н.И. Иванов. – М.: Логос, 2013. – 432 с.
10. Павлов Б.В. Акустическая диагностика механизмов / Б.В. Павлов. – М.: Машиностроение, 1971. – 224 с.
11. Ермолов И.Н. Акустические методы контроля / И.Н. Ермолов, Н.П. Алешин, А.И. Потапов. – М.: Высшая школа, 1991. – 283 с.
12. Сидоров В.А. Техническое диагностирование механического оборудования / В.А. Сидоров, В.М. Кравченко, В.Я. Седуш и др. – Донецк: Новый мир, 2003, 125 с.
13. Зябиров Р.М. Диагностирование неисправностей центробежных насосов, применяемых на технических средствах службы горючего / Р.М. Зябиров, А.С. Белоголовцев, Н.М. Погосян // Научный вестник ВВИМО. – 2018. – № 1. – С. 142–147. – [https://vamto.net/izdania-akademii/nauchnyy-vestnik-vvimo/nauchnyy-vestnik-vvimo-2018/1%20\(45\)%202018.pdf](https://vamto.net/izdania-akademii/nauchnyy-vestnik-vvimo/nauchnyy-vestnik-vvimo-2018/1%20(45)%202018.pdf)
14. Стратон и др. Автоматические системы испытания и диагностики транспортных средств / Стратон и др. – М.: ВИНТИ, 1963. – № 29105/2. – 60 с.
15. Физические основы акустического контроля: учеб.-метод. комплекс / сост.: А.И. Потапов, В.В. Носов. – СПб.: Санкт-Петербургский горный университет, 2016. – 151 с.

## Application of noise diagnostics at the facilities of the Unified gas supply system: issues and outlooks

I.G. Volynets<sup>1</sup>, A.L. Terekhov<sup>1\*</sup>, Yu.A. Mayants<sup>1</sup>, A.Yu. Gorlova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Gazprom VNIIGAZ LLC, Bld. 1, Estate 15, Proyektiruemyy proezd no. 5537, Razvilka village, Leninskiy district, Moscow Region, 142717, Russian Federation

\* E-mail: A\_Terekhov@vniigaz.gazprom.ru

**Abstract.** Nowadays, the gas transportation facilities of the Gazprom PJSC demonstrate abnormally high noise levels, which exceed the ceiling legal requirements by 10...15 dBA. It causes society considerable material and social losses. Besides the well-known and well-studied reasons for high noise emission at gas pipelines, there is a not-studied source determined by the poor state of engineering equipment.

To reduce noise and prevent accidents and failures, authors suggest to design and implement a new method of noise diagnostics at the Gazprom PJSC transport enterprises. It has a lot advantages as it need not to stop technological process, it is cheap, and can be more accurate than other methods if a theory of noise generation is considered. This article reveals the correspondent theoretical insights and a schedule of suggested studies.

**Keywords:** intensity of noise emission, pipeline transport, safety of engineering processes, noise reduction, noise diagnostics.

### References

1. TEREKHOV, A.L., S.V. SHCHEPOCHKIN, A.B. KASHIRIN. Analysis of examination results in relation to irremovability of industrial health hazards at the jobsites of the Gazprom OJSC [Analiz rezultatov ekspertizy neustranivosti vrednykh proizvodstvennykh faktorov na rabochikh mestakh OAO "Gazprom"]. *Gazovaya Promyshlennost*. 2012, no. 9, pp. 81–83. ISSN 0016-5581. (Russ.).
2. TEREKHOV, A.L., M.N. DROBAKHA. *Modern methods for reduction of noise from gas-compressor plants* [Sovremennyye metody snizheniya shuma GPA]. St. Petersburg: Nedra, 2008. (Russ.).
3. TEREKHOV, A.L., S. SOHILL. Creation of healthy and safe working environment at offshore oil-gas rigs in the Arctic region [Sozdaniye zdorovykh i bezopasnykh usloviy truda pri rabote na dobychnykh neftegazovykh platformakh arkticheskogo shelfa]. *Gazovaya Promyshlennost*. 2011, no. 11, pp. 92–96. ISSN 0016-5581. (Russ.).
4. LESNYKH, V.V. Risk management as a way to stable development of the Gazprom OJSC [Upravleniye riskami – put k ustoychivomy razvitiyu OAO "Gazprom"]. *Gazovaya Promyshlennost*. 2008, no. 11, pp. 52–55. ISSN 0016-5581. (Russ.).
5. TEREKHOV, A.L., V.A. SULIN, G.V. KOTISHEVSKIY, et al. Review of techniques for noise reduction at gas production and transport enterprises [Obzor tekhnicheskikh resheniy po snizheniyu shuma na predpriyatiyakh dobychi i transporta gaza]. In: *Proc. Of the International Acoustic Conference dedicated to Ye.Ya. Yudin's centenary celebration*. Moscow: Bauman Moscow State Technical University, 2014, pp. 257–267. (Russ.).
6. TEREKHOV, A.L., A.L. SAFONOV. Improvements of production safety by decreasing noise of pipelines [Povysh enie bezopasnosti proizvodstvennykh processov putem snizheniya shuma truboprovodov]. *Trud i Sotsialnyye Otnosheniyya*. 2016, no. 4, pp.163–174. ISSN 2072-7815. (Russ.).
7. TEREKHOV, A.L. *Investigation and decrease of noise at compressor stations of gas mains* [Issledovaniya i snizheniye shuma na kompressornykh stantsiyakh magistralnykh gazoprovodov]. Moscow: IRTs Gazprom, 2002. (Russ.)
8. TEREKHOV, A.L. *Noise of gas compressor units at compressor stations of gas mains* [Shum gazoperekachivayushchikh agregatov na kompressornykh stantsiyah magistralnykh gazoprovodov]. Moscow: Gazprom VNIIGAZ LLC, 2003. (Russ.).
9. IVANOV, N.I. *Engineering acoustics. Theory and practice of noise control* [Inzhenernaya akustika. Teoriya i praktika borby s shumom.]: textbook. Moscow: Logos, 2013. (Russ.).
10. PAVLOV, B.V. *Acoustic diagnostics of mechanisms* [Akusticheskaya diagnostika mekhanizmov]. Moscow: Mashinostroyeniye, 1971. (Russ.).
11. YERMOLOV, I.N., N.P. ALESHIN, A.I. POTAPOV. *Methods of acoustic testing* [Akusticheskiye metody kontrolya]. Moscow: Vysshaya Shkola, 1991. (Russ.).
12. SIDOROV, V.A., V.M. KRAVCHENKO, V.Ya. SEDUSH, et al. *Technical diagnostics of machinery* [Tekhnicheskoye diagnostirovaniye mekhanicheskogo oborudovaniya]. Donetsk: Novyy Mir, 2003. (Russ.).
13. ZABIYAROV, R.M., A.S. BELOGOLOVTSEV, N.M. POGOSYAN. Troubleshooting centrifugal pumps used in the technical means of the fuel service [Diagnostirvaniye neispravnostey tsentrobezhnykh nasosov, primenyayemykh na tekhnicheskikh sredstvakh sluzhby goryuchego]. *Nauchnyy Vestnik VVIMO*. 2018, no. 1, pp. 142–147. ISSN 2414-2758. (Russ.). Available from: [https://vamto.net/izdania-akademii/nauchnyy-vestnik-vvimo/nauchnyy-vestnik-vvimo-2018/1%20\(45\)%202018.pdf](https://vamto.net/izdania-akademii/nauchnyy-vestnik-vvimo/nauchnyy-vestnik-vvimo-2018/1%20(45)%202018.pdf)
14. STRATTON, et al. *Automatic systems for testing and diagnosing transport vehicles* [Avtomaticheskiye sistemy ispytaniya i diagnostiki transportnykh sredstv]. Translation. Moscow: VINITI, 1963, no. 29105/2. (Russ.).
15. POTAPOV, A.I., V.V. NOSOV. *Physical principals of acoustic control* [Fizicheskiye osnovy akusticheskogo kontrolya]: study guide. St. Petersburg: St. Petersburg Mining University, 2016. (Russ.).