

УДК 658.382.3:622.831.322

**АНАЛИЗ МЕТОДОВ СНИЖЕНИЯ ШУМОИЗЛУЧЕНИЯ ОСНОВНЫХ ИСТОЧНИКОВ
НА ТЕРРИТОРИИ КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ****В.А. ИСКРА; канд. техн. наук, доц. Л.М. СПИРИДЁНОК
(Полоцкий государственный университет)**

Рассматривается проблема общего шумового загрязнения окружающей среды от открыто расположенных обвязок трубопроводов. Проведен анализ литературных источников и исследований по заявленной теме. Установлены источники шума. Описан существующий комплекс средств и мероприятий по снижению шума. На основе результатов анализа литературы выявлены адекватные физико-математические модели: для описания и расчета вибрации трубопроводов, в том числе с учетом влияния вибропоглощающего покрытия на снижение вибрации; для расчета звукоизолирующих свойств стенок трубопровода и защитных звукоизолирующих кожухов с учетом применения вибро- и звукопоглощающих покрытий; для расчета звукоизлучения отдельных элементов трубопровода и всей обвязки трубопроводов в целом с учетом направленности излучения.

Ключевые слова: шумовое загрязнение, вибропоглощающие покрытия, звукоизолирующие конструкции, источники шумоизлучения, снижение шума, обвязка трубопроводов.

Общее шумовое загрязнение окружающей среды от открыто расположенных обвязок трубопроводов (например, на выходе компрессорной станции) часто имеет недопустимо высокую интенсивность. Так, уровни шума на рабочих местах обслуживающего персонала, обеспечивающих функционирование систем трубопроводов, при допустимом уровне 80 дБА достигают 100...110 дБА [1]. Это, безусловно, является не только вредным для его здоровья фактором, но и препятствует жилой застройке в окрестном районе, поскольку для достижения на территориях, примыкающих к жилым зданиям, уровня, не превышающего санитарных норм, потребовалось бы отнести эти здания от обвязки трубопроводов на расстояние не менее 1 км. Результаты замеров показывают, что в зависимости от частотной области уровень шума трубопроводов во многих случаях требуется понизить на 15...20 дБ.

Таким образом, борьба с шумом трубопроводов, используемых для перекачки природного газа, является актуальной научно-технической и экологической задачей.

Один из путей частичного решения поставленной задачи – полная конструктивная модернизация перепускных узлов обвязки трубопроводов и изменение режимов нагнетания газотопливных смесей с целью создания условий, исключающих сильную турбулизацию и пульсацию потока и обусловленные этим вибрацию и шумоизлучение стенок трубопроводов. Основным препятствием на пути данного способа решения задачи снижения шума являются чрезмерно высокие материальные затраты на разработку необходимого оборудования и переоборудование станций. Кроме того, само переоборудование потребовало бы остановки рабочих процессов и демонтажа обвязок трубопроводов, что нежелательно в технико-экономическом отношении.

Представляется, что наиболее эффективным в данном случае является метод снижения шумоизлучения трубопроводов при помощи вибропоглощающих и звукоизолирующих конструкций, применение которых не требует изменения существующей структуры трубопроводов [2]. Для этого необходимо разработать оптимальные методы расчета для прогнозирования шумоизлучения обвязки трубопроводов компрессорных станций, а также определить эффективность проектирования соответствующих звукоизолирующих и вибропоглощающих конструкций для обеспечения требуемого снижения уровня шума.

Изучение специальной литературы и анализ многолетних исследований, проводимых ВНИИГаз, позволил установить источники шума, выбрать оптимальные средства и мероприятия по снижению шума. Внедрение этих мероприятий обеспечило определенное снижение шума в рабочих помещениях и на территории компрессорной станции (КС) [3–5]. Основными источниками шума на территории КС и в жилых зонах являются воздухозаборные и выхлопные шахты газотурбинной установки, трубопроводы технологической обвязки нагнетателей. При этом общие уровни шума превышают допустимые по действующим санитарным нормам. Шум всасывания газотурбинной установки (ГТУ) обусловлен главным образом неоднородностью потока на входе в осевой компрессор и вихреобразованием, вызванным взаимодействием всасывающего потока с невозмущенной поверхностью всасывающего тракта. В окружающую среду шум всасывания проникает через стенки воздуховода и воздушный фильтр.

Шум выхлопа ГТУ обусловлен в основном вихреобразованием при взаимодействии движущегося потока со стенками выхлопной шахты и невозмущенной поверхностью окружающего воздуха вне пределов шахты. Он распространяется по выхлопному тракту и через стенки шахты выхлопа [3; 4]. Аэродинамический шум ГТУ проявляется в области средних и высоких частот (с максимумом в диапазоне частот 2000...8000 Гц); механический шум, вызванный дисбалансом ротора или шумом подшипников, проявля-

ется в низкочастотной области спектра [4]. Шум всасывания, обусловленный неоднородностью потока, может быть снижен путем конструктивных изменений осевого компрессора, разработки конструкций, обеспечивающих сверхзвуковой режим течения потока в канале. Для снижения вихревого шума используют глушители и звукопоглощающие облицовки. По конструкторской документации ВНИИГаз изготавливаются опытные образцы пластинчатых глушителей более совершенного (модульного) типа и облицовок технологической обвязки трубопроводов [3]. На всасывающие и нагнетательные патрубки в зале нагнетателей установлены кожухи; пространство между кожухом и трубопроводом заполнено звукопоглощающим материалом. Разработана звукоизолирующая конструкция для шахты всасывания в виде стенок из листовой стали, пространство между которыми заполнено матами из супертонкого базальтового волокна. Шум, излучаемый трубопроводами, обусловлен в основном распространяющимся шумом работающих компрессора и нагнетателя, а также вибрацией, вызванной турбулентностью потока [5]. При высокоскоростном потоке газа на шум существенно влияет пульсация давления в турбулентном пограничном слое, возбуждающая трубопровод. Этот шум проникает в окружающую среду через стенки трубопровода. Сумма компонент шума различного происхождения в значительной степени зависит от размеров, формы и толщины стенок трубопровода, а также от частотного диапазона. Наиболее рациональный способ снижения шума трубопроводов – увеличение звукоизолирующей способности, так как установка глушителей в трубопроводе не всегда возможна. Научным центром ВНИИГаз предложена шумовибропоглощающая конструкция, состоящая из трех слоев вибропоглощающей мастики, разделенных слоями мешковины, и металлического кожуха [4]. При этом рекомендуется производить засыпку трубопроводов землей. Внедрение подобных мероприятий обеспечивает снижение шума на территории КС на величину до 15 дБА [3]. Для разработки эффективных средств и способов снижения шума, излучаемого трубопроводами технологической обвязки нагнетателей КС, необходимо учитывать имеющиеся результаты исследований колебаний и излучения трубопроводов, звукоизоляции и демпфирования трубопроводов. В настоящее время при проектировании компрессорных станций рекомендуется предусматривать следующий комплекс мероприятий, обеспечивающих определенное снижение шума:

- облицовка газовоздушных трактов ГПА (газоперекачивающих агрегатов) звукопоглощающими и звукоизолирующими материалами;
- установка отражателей звука на всасывании и выхлопе ГПА;
- установка акустических кожухов на турбогруппу;
- акустическая обработка машинных залов и залов нагнетателей;
- применение акустических экранов в производственных помещениях и на территории КС;
- использование акустических ширм.

Для определения размеров санитарно-защитной зоны и оптимального расположения КС, выбора оптимальных средств шумоглушения разработана *методика расчета уровней шума*, учитывающая влияние внешних условий на распространение шума и особенности источников шума. Для разных типов источников шума ГПА получены данные по излучению звука в атмосферу, уровню звуковой мощности источников шума, наличию в спектре излучения дискретных составляющих, соответствию спектра излучения источников шума спектру шума в зоне жилой застройки, работе источников шума в ночное время. Однако данная методика не учитывает влияние направленности излучения шума трубопроводами на выбор расположения КС.

Для снижения шума трубопроводных систем с повышенной температурой предложен герметичный УДЭ (упругодемпфирующий элемент) [6]. Такой элемент хорошо воспринимает знакопеременные нагрузки, обладает высокой механической прочностью, износостойкостью, стабильностью жесткостных и диссипативных свойств в агрессивных средах в широком диапазоне температур. Герметичные УДЭ устанавливаются внутри трубопровода, чем достигается снижение собственной частоты пульсации давления в трубопроводе и уменьшение амплитуды резонансного пика. Величина изменения амплитудно-частотной характеристики трубопровода зависит не только от общей объемной сжимаемости пакета герметичных УДЭ, но и от места его расположения.

Эффективным средством снижения шума трубопроводов является их демпфирование. Оно обеспечивает увеличение пространственного затухания волн, распространяющихся по стенкам трубопроводов, и уменьшает пики амплитудно-частотных характеристик вибраций и шума трубопровода. Для демпфирования трубопроводов применяют три основных типа вибропоглощающих покрытий: жесткие, армированные и мягкие. В некоторых случаях (например, при высокой температуре поверхности трубопровода) в армированном покрытии используют также теплоизоляционный слой. Предложены покрытия с изменяющейся толщиной, с дискретным размещением и др. [7–9].

Для трубопроводов обвязки компрессорных станций характерно то, что толщина их стенок много меньше радиуса, в связи с этим они могут быть отнесены к классу цилиндрических оболочек, поэтому в дальнейшем будут рассматриваться колебания и излучение звука цилиндрических оболочек. Известно, что на низких частотах колебания оболочек соответствуют колебаниям эквивалентных стержней, на вы-

соких частотах – колебаниям пластин с толщиной, равной толщине стенок труб, а на средних частотах – оболочечным модам колебаний. Колебаниям и излучению круговых цилиндрических оболочек посвящено большое количество работ. Для выбора методов расчета колебаний трубопроводов обвязки компрессорных станций рассмотрим только исследования, направленные на определение параметров собственных и вынужденных колебаний оболочек, звукового поля и излучаемой звуковой мощности.

Теория оболочек в настоящее время находит широкое применение в строительстве, судостроении, ракетостроении, авиации, газовой и нефтяной промышленности, а также в других областях техники, где используют тонкие круговые оболочки или трубопроводы. Большой интерес представляет определение собственных частот колебаний оболочек конечной длины. В отечественной и зарубежной печати опубликовано значительное количество работ, посвященных этому вопросу [10–21]. Задачу о свободных колебаниях цилиндрических оболочек рассматривали многие исследователи. Еще Рэлея получил приближенное выражение для собственных частот колебаний оболочки, имеющей круговую форму поперечного сечения, и рассмотрел ее колебания для случаев растяжения срединной плоскости и без растяжения. Однако полученные выражения записаны через константы, не принятые в современной теории упругости, и не удобны для использования.

В работах [10; 11] приведен наиболее полный обзор уравнений движения оболочек, в частности тонких круговых цилиндрических. Сравнение четырех способов определения собственных частот колебаний гладких оболочек с кольцевыми ребрами жесткости приведено в работе [12]: приближенного энергетического метода Рэлея – Ритца на основе работ [13–15]; приближенного метода конечных элементов [16]; точного метода Ферсберга [17; 18]; точного метода Варбургтона [19–21]. В результате расчетов по этим методам установлено: для тонкой, длинной цилиндрической оболочки имеется хорошее соответствие результатов, полученных по каждому из этих методов; метод Ритца дает большие погрешности для коротких оболочек при малых n (n – число волн, укладываемых по окружности оболочки), для больших n отличия результатов незначительны; для осесимметричных ($n = 0$) и стержневых ($n = 1$) форм колебаний жесткость ребер не сказывается на значениях частот, тогда как масса ребер, наоборот, влияет на эти значения, причем для данного случая результаты, полученные разными методами, хорошо совпадают.

Заключение. Из проведенного анализа литературных источников по демпфированию и звукоизоляции трубопроводов следует ряд выводов:

- эффективность демпфирующих покрытий трубопроводов зависит от частотного диапазона возбуждаемых колебаний, типа и расположения источников возбуждения, собственных частот колебаний трубопровода, наличия препятствий различного рода, являющихся причиной преобразования одного типа волн в другой;

- в зависимости от диапазона частот и геометрических характеристик трубопроводов более эффективными могут являться однородные либо армированные покрытия;

- существующие методы оценки эффективности вибропоглощающих покрытий не позволяют выполнять выбор и поиск оптимальных параметров покрытия при проектировании систем трубопроводов, основаны на рассмотрении отдельных частных случаев колебаний и излучения цилиндрических оболочек при гармоническом характере их возбуждения;

- эффективность нанесения покрытий на разветвленную систему трубопроводов не исследована;
- случаи комбинированного применения средств вибропоглощения и звукоизоляции изучены недостаточно полно;

- в настоящее время не существует законченного метода для расчета колебаний реальных систем трубопроводов типа обвязки компрессорных станций, позволяющего рассчитать вибрацию во всем диапазоне звуковых частот с учетом особенностей трассировки, сочленения трубопроводов и наличия на них неоднородностей (арматуры). При этом диапазон средних и высоких частот (более 200...400 Гц), в котором, как правило, наблюдаются наиболее интенсивные колебания трубопроводов обвязки компрессорных станций, наименее изучен.

Увеличение мощности современных газоперекачивающих агрегатов, повышение скорости и давления газовоздушных потоков сопровождается повышением уровней механического и аэродинамического шума. Все это обуславливает необходимость проведения дополнительных мероприятий по снижению шума на территории КС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кульбей, А.Г. Построение полей индивидуального риска для промышленных объектов / А.Г. Кульбей, А.И. Леонович // Вестник Полоцкого государственного университета. – 2013. – № 8. – С. 89–95.
2. Техническое регулирование вопросов строительства и ремонта магистральных нефтепроводов / В.К. Липский [и др.] // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F, Строительство. Прикладные науки. – 2012. – № 8. – С. 85–88.

3. Терехов, А.Л. Исследование и снижение шума на компрессорных станциях магистральных газопроводов / А.Л. Терехов. – М. : ИРЦ Газпром, 2002.
4. Терехов, А.Л. Шум газоперекачивающих агрегатов на компрессорных станциях магистральных газопроводов. – М. : ИРЦ Газпром, 2003.
5. Айрбабамян, С.А. Снижение шума компрессорных станций / С.А. Айрбабамян // Проблемы акустической экологии : сб. науч. ст. – Л. : Стройиздат, 1990. – С. 51–54.
6. Иванов, Л.Ю. Герметичный упругодемпфирующий элемент для снижения шума трубопроводных систем / Л.Ю. Иванов // Новые методы и средства звуко- и виброизоляции в промышленности и на транспорте : материалы краткосроч. семинара, Ленинград, 16–17 марта 1989 г. ; под ред. В.И. Попкова. – Л. : ЛДНТП, 1989. – С. 37–43.
7. Степанов, В.Б. Вибропоглощающее покрытие с изменяющейся толщиной / В.Б. Степанов, Б.Д. Тартаковский // Акустич. журн. – 1985. – Т. 31, вып. 6. – С. 775–780.
8. Регулируемое демпфирующее покрытие : а. с. SU № 597866 / В.В. Бабенко, Л.Ф. Козлов, В.И. Коробов. – Опубл. 1978.
9. Покрытие для демпфирования вибраций трубопроводов : а. с. SU № 721616 / Р.С. Зейнетдинова, Н.И. Наумкина, Б.Д. Тартаковский. – Опубл. 15.03.1980.
10. Donell, L.L. Beams, plates and shells / L.L. Donell. – New York : Me Graw-Hill, 1976. – 453 P.
11. Новожилов, В.В. Теория тонких оболочек / В.В. Новожилов. – Л. : Судостроение, 1962. – 344 с.
12. Sharma, C.B. Free vibration of cantilever circular cylindrical shells a comparative study / C.B. Sharma, D.J. Johns // J. Sound Vib. – 1972. – V. 25, № 3. – P. 433–499.
13. Johns, D.J. Vibration studies of a ring stiffened circular cylindrical shell / D.J. Johns, R.J. Allwood // J. Sound Vib. – 1968. – V. 8, № 1. – P. 147–155.
14. Sharma, O.B. Vibration characteristics of a clamped-free and clamped-ring-stiffened circular cylindrical shell. / O.B. Sharma, D.J. Johns // J. Sound Vib. – 1971. – V. 14, № 4. – P. 459–474.
15. Sharma, C.B. Frequencies of clamped-free cylindrical shells (letter) / C.B. Sharma // J. Sound Vib. – 1973. – V. 30, № 4. – P. 525–528.
16. Al-Najafi, A.M. Free vibration of ring-stiffened cylindrical shells / A.M. Al-Najafi, G.B. Warburton // J. Sound Vib. – 1970. – V. 13, № 1. – P. 9–25.
17. Форсберг, К. Влияние граничных условий на характеристики форм колебаний цилиндрических оболочек / К. Форсберг // Ракетная техника и космонавтика ; рус. пер. АИАА. – 1964. – Т. 2, № 12. – С. 166–174.
18. Форсберг, К. Осесимметричные и балочного типа колебания тонкой, круговой цилиндрической оболочки / К. Форсберг // Ракетная техника и космонавтика ; рус. пер. АИАА. – 1969. – Т. 7, № 2. – С. 37–45.
19. Warburton, G.B. Vibration of thin cylindrical shells / G.B. Warburton // J. Mechanical Engineering Science. – 1965. – Т. 7, № 3. – 399 P.
20. Warburton, G.B. Natural frequencies of thin cantilever cylindrical shells / G.B. Warburton, J. Higgs // J. Sound Vib. – 1970. – V. 11, № 3. – P. 355–358.
21. Warburton, G.B. Comments on vibration studies of a ringstiffened circular cylindrical shell / G.B. Warburton // J. Sound Vib. – 1963. – V. 9, № 3. – P. 349–352.

Поступила 12.01.2017

ANALYSIS OF THE METHODS OF REDUCING NOISE EMISSION OF THE MAIN SOURCES IN THE TERRITORY OF COMPRESSOR STATION

V. ISKRA, L. SPIRIDIONOK

The article presents the problem of the general noise environmental pollution from openly located bindings of pipelines are presented in article. The analysis of literature and researches. Noise sources are established. The existing complex of means and actions for noise reduction is described. Also, taking into account results of the analysis of literature, adequate physics-mathematics models are briefly described: for the description and calculation of vibration of pipelines, including taking into account influence of a vibration-absorbing covering on decrease in vibration; for calculation of the soundproofing properties of walls of the pipeline and the protection soundproofing covers taking into account application vibro-and sound-absorbing coverings; for calculation of sound generation of separate elements of the pipeline and all binding of pipelines in general taking into account a radiation orientation.

Keywords: *the noise pollution, a vibration-absorbing covering soundproofing designs, noise emissions origin, noise reduction, a binding of pipelines.*