

НОРМИРОВАНИЕ ВИБРАЦИИ РЕДУЦИРУЮЩИХ ЛИНИЙ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СТАНЦИЙ

УДК 622.691.4.07

Л.И. Соколинский, к.т.н., проф., АО «Газпром оргэнергогаз»,
ФГБОУ ВО «Российский государственный университет нефти
и газа (Национальный исследовательский университет) имени
И.М. Губкина» (Москва, РФ), sokolinskiy@oeg.gazprom.ru

Ю.Ю. Толстихин, ООО «Газпром трансгаз Москва» (Москва, РФ),
Tolstichin@gtm.gazprom.ru

Ф.В. Блинов, ООО «Газпром трансгаз Москва», f.blinov@gtm.gazprom.ru

В статье рассматриваются вопросы нормирования вибрации технологических трубопроводов газораспределительных станций ПАО «Газпром», в первую очередь редуцирующих линий. Приведены результаты натурных исследований вибрации редуцирующих линий, на основе которых дана оценка применимости действующих в ПАО «Газпром» норм вибрации по СТО Газпром РД 1.10-098-2004. Показано, что применение этих норм для оценки вибрации трубопроводов с определенным типом редуцирующих клапанов может приводить либо к пропуску дефектов, либо к ложным выводам о наличии дефектов и необходимости ремонта или конструктивных изменений трубопроводов. Выполнено сопоставление этих норм с нормами СТО Газпром 2-2.3-324-2009 для технологических трубопроводов компрессорных станций с центробежными нагнетателями. Как показала практика, нормы СТО Газпром 2-2.3-324-2009 достаточно правдоподобно характеризуют вибрационное состояние обследуемых трубопроводов. По примеру методики, изложенной в СТО Газпром 2-2.3-324-2009, на основе рассмотрения физических процессов колебаний трубопроводов предложено разделить вибрации редуцирующих линий на низкочастотную (для изгибных колебаний) и высокочастотную (для колебаний трубы как оболочки). Предложены нормы вибрации, которые, по мнению авторов, позволяют более адекватно оценивать вибросостояние редуцирующих линий газораспределительных станций. Эти нормы в 2017 г. приняты в ООО «Газпром трансгаз Москва» к промышленной апробации.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ВИБРАЦИЯ, ПУЛЬСАЦИЯ ГАЗА, РЕДУЦИРОВАНИЕ, КЛАПАН, ВИБРОСКОРОСТЬ, ЧАСТОТА, АМПЛИТУДА, СРЕДНЕКВАДРАТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ.

При рассмотрении вопросов нормирования параметров технического состояния промышленного оборудования, как правило, необходимо решать две основные разнонаправленные задачи. С одной стороны, это минимизация вероятности пропуска опасных дефектов, с другой – минимизация сообщений, содержащих ложную тревогу. Последствиями пропуска дефектов могут быть аварийные ситуации, последствиями ложной тревоги – либо нецелесообразные затраты на проведение диагностических работ и реконструкцию, либо, при физической невозможности конструктивными изменениями снизить контроли-

руемый параметр до допустимого по нормам уровня, введение ограничений на режимы работы оборудования, вплоть до остановки, которые также могут быть невыполнимы по технологическим причинам. Как пропуск дефектов, так и ложное сообщение об их существовании могут приводить к значительным материально-техническим расходам.

Проведенные АО «Оргэнергогаз» виброобследования линий редуцирования газораспределительной станции (ГРС) с редуцирующими клапанами дискретного типа поставили под сомнение корректность применения действующих в компании норм вибрации

технологических трубопроводов ГРС. Нормативно-технической документацией, регламентирующей оценку вибрации трубопроводов ГРС, является СТО Газпром РД 1.10-098-2004 [1]. Нормы вибрации, содержащиеся в СТО Газпром РД 1.10-098-2004, представлены на рис. 1.

На рис. 1 уровень А является верхней границей зоны бездефектного вибросостояния трубопроводов; уровень В – верхняя граница зоны нормально-режимной эксплуатации; уровень С – верхняя граница зоны наличия развивающегося дефекта системы «трубопровод – опоры» без ограничения сроков эксплуатации; уровень

Sokolinsky L.I., Candidate of Sciences (Engineering), Professor, Gazprom orgenergogaz JSC, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University)” (Moscow, Russian Federation), sokolinskiy@oeg.gazprom.ru

Tolstikhin Yu.Yu., Gazprom transgaz Moscow LLC (Moscow, Russian Federation), Tolstichin@gtm.gazprom.ru

Blinov F.V., Gazprom transgaz Moscow LLC, f.blinov@gtm.gazprom.ru

Standardizing of vibration of reducing lines of gas distribution stations

The article considers the questions of standardizing the vibration of industrial pipelines of gas distribution stations, firstly the reducing lines, of Gazprom PJSC. The results of field studies of the vibration of the reducing lines are given. Based on these results, the estimation of applicability of the vibration standards according to the STO Gazprom RD 1.10-098-2004 operating in Gazprom PJSC is given. It is shown that the application of these norms for estimation of the vibration of pipelines with a certain type of reducing valves can lead either to the overlook of defects or to false conclusions about the presence of defects and the need of repair or structural changes of pipelines. The comparison of these norms with the norms of the STO Gazprom 2-2.3-324-2009 for industrial pipelines of compressor stations with centrifugal superchargers is performed.

According to practice, the standards of the STO Gazprom 2-2.3-324-2009 plausibly characterize the vibrational state of the examined pipelines. Following the example of the methodology represented in the STO Gazprom 2-2.3-324-2009, the division of vibration of the reducing lines into the low-frequency vibration (for bending vibrations) and the high-frequency one (for vibration of pipe as a shell structure) is proposed on the basis of consideration of physical processes of pipeline vibrations. The proposed vibration norms, in authors' opinion, allow estimating the vibration state of the reducing lines of gas distribution stations more adequately. These standards were adopted in 2017 by Gazprom transgaz Moscow LLC for industrial approbation.

KEYWORDS: VIBRATION, GAS SURGE, REDUCTION, VALVE, VIBRATION SPEED, FREQUENCY, AMPLITUDE, MEAN SQUARE VALUE.

D – верхняя граница зоны наличия существенного дефекта, соответствующая необходимости устранения дефекта (трубопроводная система непригодна для длительной эксплуатации). Зона значений вибрации выше уровня D – зона возможного разрушения системы.

Эти нормы, скорее всего, были заимствованы в СТО Газпром РД 1.10-098-2004 из документа «Нормы вибрации трубопроводов технологического газа компрессорных станций с центробежными нагнетателями», выпущенного в 1985 г. Министерством газовой промышленности СССР. Следует обратить внимание на то, что в этих нормах рассматривались только низкочастотные изгибные колебания труб. Предполагалось, что вибрация трубопроводов при установившихся режимах работы компрессорной станции (КС) характеризуется узкополосными случайными колебаниями в частотном диапазоне 1–40 Гц. Высоко-частотная вибрация, относящаяся к оболочечным колебаниям трубы, не рассматривалась и не учитывалась. Эти нормы были ориентированы на используемые в то время виброизмерительные

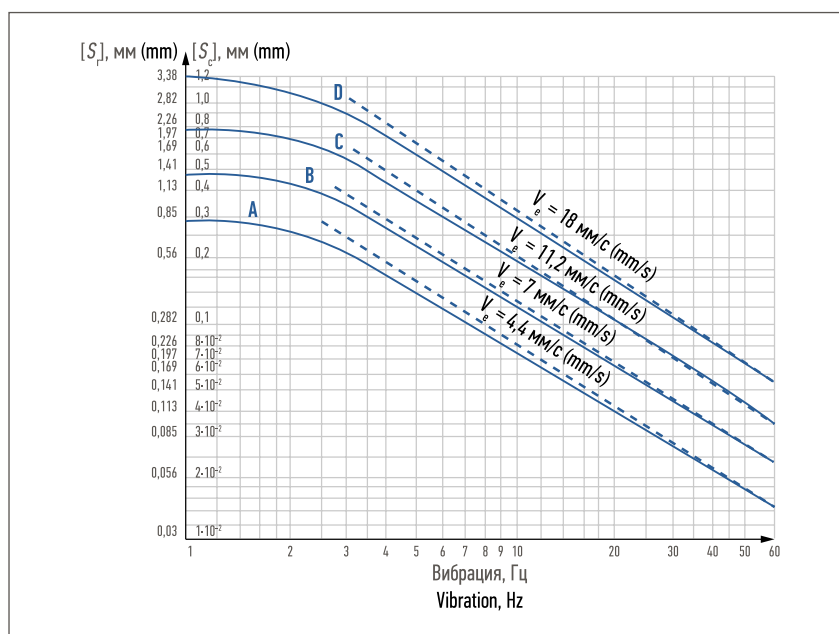


Рис. 1. Нормы вибрации трубопроводов по СТО Газпром РД 1.10-098-2004
Fig. 1. Norms of vibration of pipelines according to the STO Gazprom RD 1.10-098-2004

приборы оперативного контроля со стрелочной или цифровой индикацией измеряемого общего уровня вибрации. Приборы не обеспечивали возможность проведения спектрального анализа измеряемой вибрации. Нормами оценивалась вибрация по среднеквадратическому значению

(СКЗ) виброскорости. Значение виброперемещения было вспомогательным параметром.

На рис. 1 видно, что частотный диапазон нормируемой вибрации – от 1 до 60 Гц. Однако, согласно СТО Газпром РД 1.10-098-2004, по этим нормам оценивается СКЗ виброскорости V_e (мм/с), измеренное

в частотном диапазоне 10–1500 Гц, охватывающем частоты как изгибных, так и оболочечных форм колебаний трубопроводов.

На рис. 2 представлен спектр виброскорости трубопровода за дросселирующим клапаном (по потоку), характерный для обследованных линий. Вид спектра рис. 2 вполне объясним, если учитывать, что вибрация трубопровода вызывается в основном пульсацией потока газа в этом трубопроводе. При степени редуцирования более 2, характерной для узлов редуцирования, скорость газа на выходе дросселирующего элемента (шайбы, отверстия, заслонки и т. п.) может быть близка к скорости звука или превышать ее. При таких скоростях течения газа на выходе дросселирующего элемента возникают вихревые срывы, случайные по частоте следования, вызывающие пульсацию газа в широком диапазоне частот со случайными по величине амплитудами [2] и, как следствие, аналогичную по форме сигнала вибрацию труб. При некоторых скоростях газа могут возникать узкополосные резонансные пульсации газа, центральная частота и амплитуда которых определяются не только скоростью потока, но и конфигурацией дросселирующих элементов и конструкцией дросселирующего клапана [3] (рис. 3).

На рис. 2 и 3 видно, что для спектра виброскорости обследованных линий редуцирования характерны высокочастотные широкополосные или узкополосные случайные колебания в диапазоне частот 200–3000 Гц. Колебания в низкочастотной области до 200 Гц пренебрежимо малы. Такой спектр вибрации характерен не для изгибных, а для оболочечных колебаний трубопровода. При измерениях, выполняемых по СТО Газпром РД 1.10–098–2004, в частотном диапазоне 4–1500 Гц, оценивалась бы только часть вибрационного сигнала и оценка не соответствовала бы реальному вибросостоянию трубы в точке из-

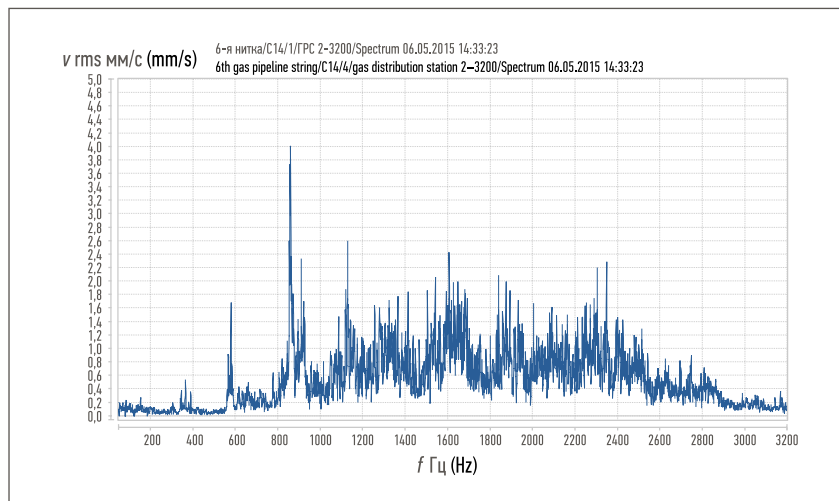


Рис. 2. Характерный спектр виброскорости трубы за дросселирующим клапаном в отсутствие резонанса

Fig. 2. Characteristic spectrum of vibration speed of the pipe behind the throttling valve without resonance

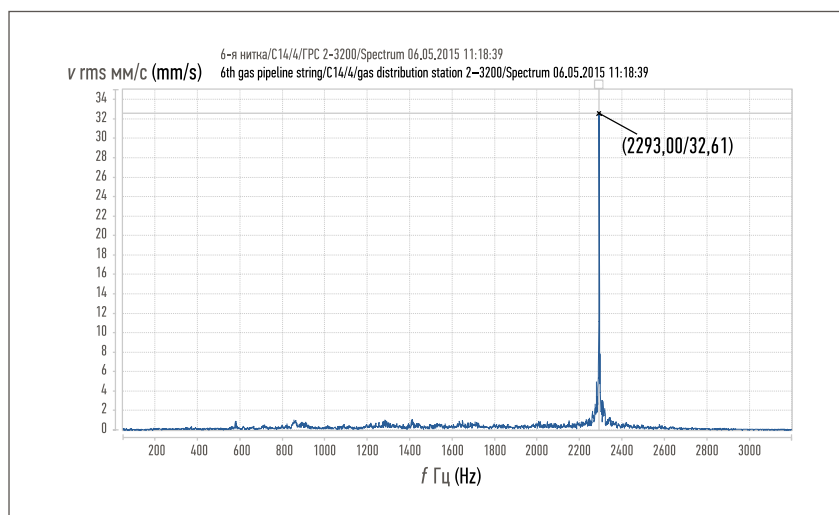


Рис. 3. Характерный спектр виброскорости трубы за дросселирующим клапаном при наличии резонанса

Fig. 3. Characteristic spectrum of vibration speed of the pipe behind the throttling valve with resonance

мерений. В частности, при спектре вибрации, представленном на рис. 3, измеренное нормируемое по СТО Газпром РД 1.10–098–2004 значение виброскорости V_e было бы в 20–30 раз меньше реального значения вибрации.

Спектры вибрации, аналогичные показанным на рис. 2 и 3, неоднократно были получены авторами при измерениях вибрации трубопроводов центробежных компрессоров (ЦБК) магистральных КС и, в частности, пусковых линий ЦБК в точках за регулирующими

клапанами (РК) при работе газоперекачивающего агрегата (ГПА) в рециркуляционном режиме (рис. 4, 5) [4, 5].

Схожесть спектров вибрации объясняется близостью газодинамических процессов в трубопроводах ЦБК и редуцирующих линиях ГРС. Отличие – в частотном диапазоне и в том, что во входных/выходных линиях ЦБК практически всегда присутствует значимая спектральная составляющая (рис. 5) на «лопаточной» частоте («лопаточная» частота – частота враще-

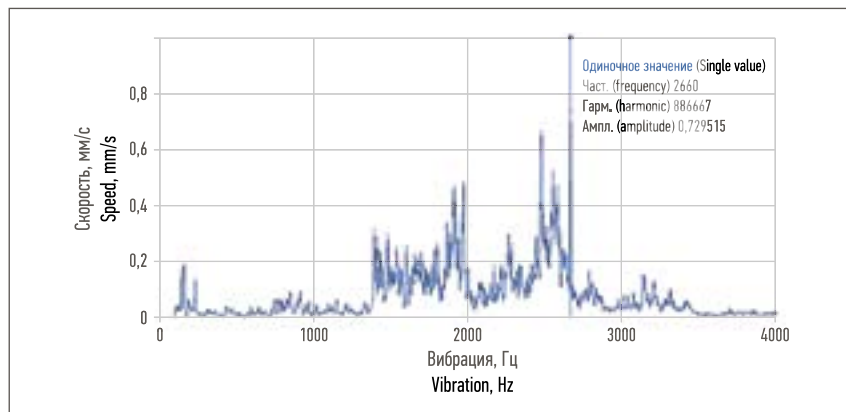


Рис. 4. Спектр виброскорости пусковой линии центробежного компрессора в точке за регулирующим клапаном
Fig. 4. Spectrum of the vibration speed of the starting line of a centrifugal compressor in the point behind the regulation valve

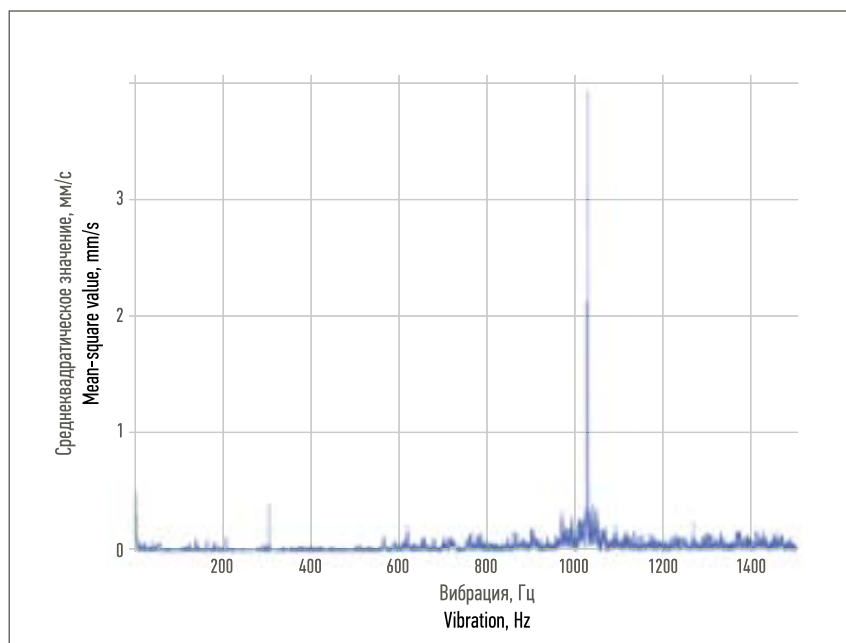


Рис. 5. Спектр виброскорости выходной линии центробежного компрессора
Fig. 5. Spectrum of vibration speed of the output line of a centrifugal compressor

ния вала ЦБК, умноженная на число лопаток колеса компрессора).

Для оценки вибрации технологических трубопроводов компрессорных цехов с центробежными нагнетателями был разработан и в 2009 г. выпущен СТО Газпром 2-2.3-324-2009 [6], в котором изгибная и оболочечная вибрации труб оцениваются по разным нормам. Применение норм СТО Газпром 2-2.3-324-2009 при многочисленных виброобследованиях трубопроводов ЦБК магистральных КС показало достаточно вы-

сокий уровень защищенности оценок вибрации по этим нормам от пропуска дефектов и ложных сообщений о наличии дефектов. Нормы для высокочастотной (ВЧ) вибрации [6] приведены в табл. 1.

Границы зон А, В, С и D соответствуют границам зон оценок вибросостояния по нормам на рис. 1 (зона В1 в СТО Газпром 2-2.3-324-2009 введена для выделения зоны усиленного виброконтроля).

Для вибрации, спектр которой представлен на рис. 2, СКЗ виброскорости составляло

Таблица 1. Нормы высокочастотной вибрации для диапазона частот от 100 (200) до 1500 (2000, 2500) Гц включительно по СТО Газпром 2-2.3-324-2009

Table 1. Norms of high-frequency vibration for the frequency range from 100 (200) to 1500 (2000, 2500) Hz inclusive in the STO Gazprom 2-2.3-324-2009

Границы зон вибросостояния Boundaries of the vibration state zones	Общий уровень V_e , мм/с General level V_e , mm/s
A/B	10
B/B1	25
B1/C	35
C/D	45

$V_e = 19,3$ мм/с. При таком измеренном значении V_e по нормам СТО Газпром РД 1.10-098-2004 вибрационное состояние трубопровода оценивается как недопустимое, так как оно превышает 18 мм/с, и обследованный объект подлежит немедленной остановке, ремонту или реконструкции. По нормам табл. 1 та же вибрация соответствует вибросостоянию, пригодному для дальнейшей эксплуатации без ограничения сроков; объект считается бездефектным. Такое несоответствие оценок вибросостояния трубопровода по рассмотренным нормам указывает на ложную тревогу при оценке вибрации по нормам СТО Газпром РД 1.10-098-2004. Как следствие применения норм СТО Газпром РД 1.10-098-2004 для оценки вибросостояния рассмотренного объекта по результатам обследований могли применяться бесполезные затратные мероприятия.

Исходя из изложенного можно сделать следующие выводы:

1) из-за очень жестких нормативных значений вибрации для измеряемого частотного диапазона 10-1500 Гц применение норм СТО Газпром РД 1.10-098-2004 во многих случаях должно приводить к ложным сообщениям о наличии дефектов;

2) из-за несоответствия частотного диапазона измерений вибрации в нормах СТО Газпром РД

Таблица 2. Нормы вибрации трубопроводов узлов редуцирования
Table 2. Norms of vibration of pipelines of reduction units

Границы зон вибросостояния Boundaries of the vibration state zones	Общий уровень V_e , мм/с General level V_e , mm/s	
	Низкочастотная вибрация; диапазон частот 4–200 Гц Low-frequency vibration; frequency range 4–200 Hz	Высокочастотная вибрация; диапазон частот 200–3200 Гц High-frequency vibration; frequency range 200–3200 Hz
A	4	10
B	7	25
C	11	35
D	18	45

1.10–098–2004 с реальным спектром вибрации обследованных авторами редуцирующих линий их оценка не соответствует вибрационному состоянию трубопровода, в результате чего может быть пропущен дефект.

По мнению авторов, отраслевой стандарт СТО Газпром РД 1.10–098–2004 должен быть переработан в части оценки вибрационного состояния технологических трубопроводов ГРС.

Для временного выхода из создавшейся ситуации АО «Оргэнергогаз» совместно с ООО «Газпром трансгаз Москва» в 2016 г. была разработана Временная методика

измерений и оценки низкочастотной и высокочастотной вибрации трубопроводов газораспределительных станций ООО «Газпром трансгаз Москва». В этой методике для редуцирующих линий предложено:

- измерять СКЗ виброскорости V_e в двух частотных диапазонах: низкочастотном (НЧ) – от 4 до 200 Гц и высокочастотном (ВЧ) – от 200 до 3200 (или 4000) Гц;
- обозначения границ и содержание зон вибрационного состояния оставить в соответствии с СТО Газпром РД 1.10–098–2004;
- НЧ- и ВЧ-вибрацию измерять в разных точках в целях раз-

дельного отслеживания изгибно-стержневых и оболочечных колебаний;

- оценивать НЧ- и ВЧ-вибрацию по разным нормам.

В табл. 2 приведены предложенные во Временной методике нормы вибрации редуцирующих линий.

В марте 2017 г. Временная методика была утверждена и введена в действие в ООО «Газпром трансгаз Москва» Приказом генерального директора А.В. Бабакова. В настоящее время данная Методика проходит промышленную апробацию в Инженерно-техническом центре Общества. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. СТО Газпром РД 1.10–098–2004. Методика проведения комплексного диагностирования трубопроводов и обвязок технологического оборудования газораспределительных станций магистральных газопроводов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293841/4293841820.htm> (дата обращения: 08.12.2017).
2. Засецкий В.Г., Каравосов Р.К., Прозоров А.Г., Соколинский Л.И. Исследование взаимодействия возмущений во внутреннем течении // Инженерно-физический журнал. 2004. Т. 77. № 5. С. 82–87.
3. Vishnyakov V.A., Zasetkij V.G., Karavosov R.K., Prozorov A.G., Sokolinskij L.I. Aerodynamic Excitation of Uniform Narrow-Band Pulsation in Various Technical Devices // Инженерно-физический журнал. 1999. Т. 72. № 5. С. 902–907.
4. Ангалева А.М., Соколинский Л.И., Лопатин А.С. Исследования вибрации и пульсации газа в системах «центробежный нагнетатель – трубопровод» // Труды Российского гос. ун-та нефти и газа им. И.М. Губкина. 2009. № 4. С. 74–85.
5. Алиев Т.Т., Греков К.Ю., Жданов С.Ф., Бутусов Д.С., Соколинский Л.И. Новые экспериментальные исследования динамических процессов в оборудовании «высокой стороны» КС // Мат-лы Семнадцатой Международной встречи «Диагностика-2007». М.: ИРЦ «Газпром», 2008. Т. 2. С. 153–162.
6. СТО Газпром 2-2.3–324–2009. Диагностическое виброобследование технологических трубопроводов компрессорных цехов с центробежными нагнетателями. Нормы оценки и методы проведения работ. М.: ОАО «Газпром», 2009. 58 с.

REFERENCES

1. Company Standard STO Gazprom RD 1.10–098–2004. Method of Complex Diagnostics of Pipelines and Piping of Processing Equipment of Gas Distribution Stations of Main Gas Pipelines [Electronic source]. Access mode: <http://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293841/4293841820.htm> (Access date: December 8, 2017). (In Russian)
2. Zasetkij V.G., Karavosov R.K., Prozorov A.G., Sokolinskij L.I. Study of Interaction of Disturbances in an Internal Flow. Journal of Engineering Physics and Thermophysics, 2004, V. 77, No. 5, P. 965–971.
3. Vishnyakov V.A., Zasetkij V.G., Karavosov R.K., Prozorov A.G., Sokolinskij L.I. Aerodynamic Excitation of Uniform Narrow-Band Pulsation in Various Technical Devices. Journal of Engineering Physics and Thermophysics, 1999, V. 72, No. 5, P. 902–907.
4. Angaleva A.M., Sokolinsky L.I., Lopatin A.S. Studying Gas Vibration and Pulsation in “Centrifugal Blower – Pipeline” Systems. Trudy Rossiyskogo gosudarstvennogo universiteta nefi i gaza im. I.M. Gubkina = Proceedings of the Gubkin Russian State University of Oil and Gas, 2009, No. 4, P. 74–85. (In Russian)
5. Aliev T.T., Grekov K.Yu., Zhdanov S.F., Butusov D.S., Sokolinsky L.I. New Experimental Studies of Dynamic Processes in the Equipment of the “High Side” of Compressor Stations. Materials of the Seventeenth International Meeting “Diagnostics-2007”. Moscow, Information and Advertising Center “Gazprom”, 2008, Vol. 2, P. 153–162. (In Russian)
6. Company Standard STO Gazprom 2-2.3–324–2009. Diagnostic Vibration Study of Industrial Pipelines of Compressor Shops with Centrifugal Superchargers. Norms of Estimation and Methods of Work. Moscow, Gazprom OJSC, 2009, 58 p. (In Russian)