

# Компрессорная техника и пневматика

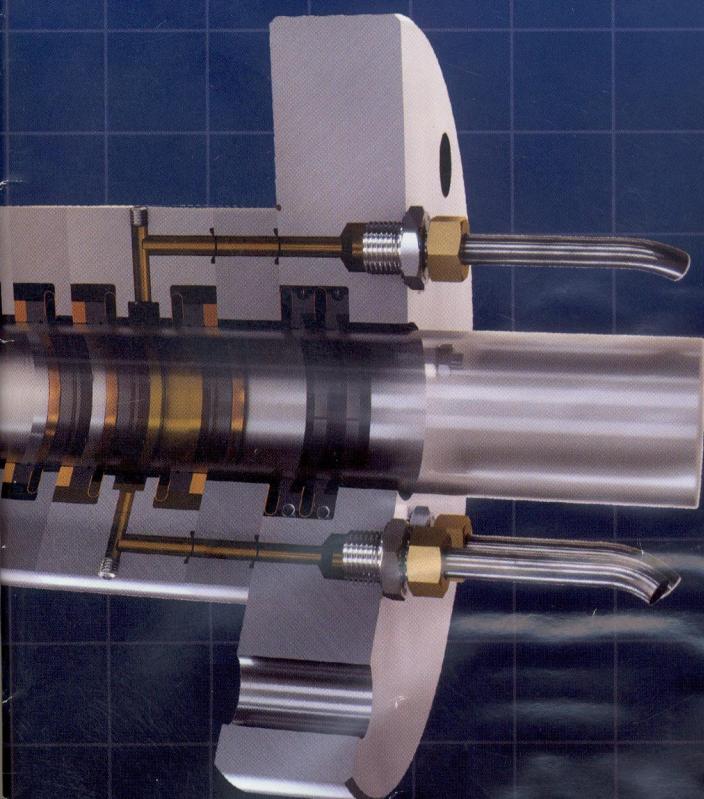


Compressors & Pneumatics

1/февраль  
2015

## Газонепроницаемый сальник

штока компрессора



## Нулевая утечка газа

из цилиндра поршневого компрессора

Уникальное решение — сальник XperSEAL — обеспечивает нулевую утечку газа в ходе эксплуатации поршневого компрессора за счет применения масляного затвора.

ООО «ХЁРБИГЕР»

Тел./Факс: +7 495 221 06 78

E-mail: moscow@hoerbiger.com

[www.hoerbiger.com](http://www.hoerbiger.com)

**HOERBIGER**  
*because performance counts*

# Доводка нагнетателя Н-398-28-ЗСМ проекта «Реконструкция КС «Арская» газопровода Уренгой-Центр1 с заменой нагнетателей и АВО масла

## Этап II

Р.Р. Кантюков, А.В. Сорвачев (ООО «Газпром трансгаз Казань»),

А.М. Ахметзянов, Э.В. Сусликов, И.В. Фаляхов (ЗАО «НИИтурбокомпрессор», группа ГМС)

Niitk@kazan.ru

В статье рассмотрен комплекс работ по доводке центробежного нагнетателя природного газа. Описанные методы обоснованы теоретически и подтверждены на практике. Предложен алгоритм решения проблемы повышенной вибрации ротора центробежного нагнетателя на активных электромагнитных подшипниках.

**Ключевые слова:** газоперекачивающий агрегат, центробежный нагнетатель, электромагнитный подвес, ротор на электромагнитных подшипниках, вибрация ротора, активный электромагнитный подшипник.

*Engineering follow-up of H-398-28-3CM compressor as part of the project «Retrofitting of «Arskaya» CS of Urengoy – Tsentr gas pipeline with replacement of compressors and air cooled oil coolers» at OOO «Gazprom transgaz Kazan». Stage II.*

*R.A. Kantjukov, R.R. Kantjukov, A.V. Sorvachev, («Gazprom transgaz Kazan»); A.M. Ahmetzianov, E.V. Souslikov, I.V. Falyakhov (CJSC «NIITURBOKOMPRESSOR», HMS Group)*

The article describes the range of activities on engineering follow-up of centrifugal natural gas compressor. The methods described proved theoretically and confirmed in practice. An algorithm is proposed for solving the problem of excessive vibration of centrifugal compressor rotor in active magnetic bearings.

**Keywords:** gas pumping unit, centrifugal compressor, electromagnetic suspension, rotor in magnetic bearings, rotor vibration, active magnetic bearing.

Первый этап работ по доводке нагнетателя Н-398-28-ЗСИ был завершен тестированием настроек СУМП-М2 [1].

По результатам выполненных работ первого этапа газоперекачивающий агрегат вышел на определенный уровень устойчивой эксплуатации. Повторные пуски агрегата не вызывали новых проблем, поведение агрегата было предсказуемым, параметры работы прогнозируемые. Параметры вибрации (величина виброперемещения и ее зависимость от частоты вращения) ротора нагнетателя, измеренные датчиками системы магнитных подшипников (СМП), от пуска к пуску не изменялись. Максимальная величина виброперемещения была на границе допустимых значений (230 мкм со стороны привода), а диапазон колебания составлял 160...230 мкм, что не противоречило тому, что ситуация стала прогнозируемой. Последующие мероприятия были направлены на снижение уровня вибрации со стороны привода до 120...140 мкм, т.е. до значений, равных значениям со стороны свободного конца ротора ЦБН.

В объеме второго этапа работ стояла задача подтвердить работу СМП с помощью объективных средств контроля вибрации ротора нагнетателя штатными датчиками «Метрикс», поскольку датчики СМП не являлись средствами измерения, и сигналы о величине вибрации, полученные от датчиков, носили информационный характер.

Существенным фактором повышения надежности работы агрегата и дальнейшего снижения уровня вибрации стала его механическая доводка.

## Проблема компоновки датчиков системы измерения виброперемещений «Метрикс»

Как отмечалось ранее [1], датчики системы «Метрикс» установлены в сечениях, не совпадающих с сечениями страховочных подшипников СМП и имеющих минимальный односторонний зазор 0,275 мм.

Согласно ГОСТ Р ИСО 14839-2-2011 «Вибрация машин вращательного действия с активными магнитными подшипниками. Ч. 2» установленные нормы предупредительной и аварийной сигнализации определяются соответственно 40% и 50% величины минимального зазора. Применительно к радиальным опорам нагнетателя Н-398-28-ЗСМ предупредительная и аварийная нормы по амплитуде отклонения ротора от центра (одностороннее изменение зазора в страховочном подшипнике) составляют соответственно 110 и 137,5 мкм.

С учетом того, что при работе нагнетателя ротор испытывает изгибные деформации, отклонения ротора, измеренные системой виброконтроля «Метрикс», могут существенно превышать соответствующие отклонения в страховочных подшипниках.

На рис. 1, 2 приведены графики расчетных значений амплитуд виброперемещений в сечениях страховочных подшипников, датчиков СМП, и датчиков системы «Метрикс» при наличии остаточных небалансов ротора нагнетателя. В качестве исходных данных для расчета приняты рекомендации стандарта API 617 в части величины и формы небаланса.



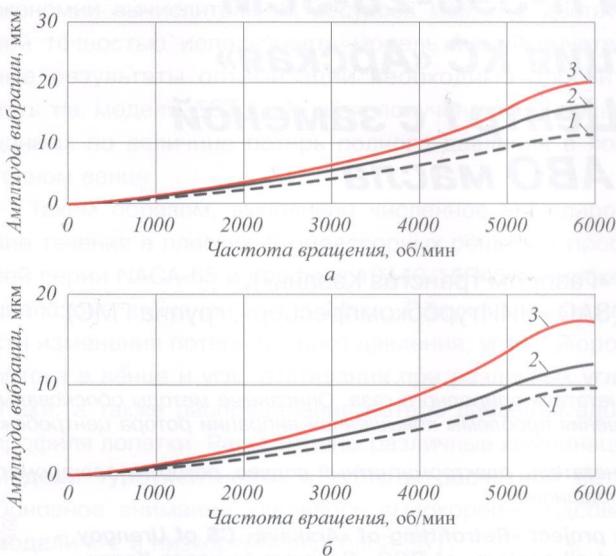


Рис. 1. Графики амплитуд вибропрелемщений при двухмассовом коническом небалансе (265 гсм) со стороны приводного (а) и свободного (б) концов ротора:  
1 – страховочный подшипник; 2 – датчик СМП;  
3 – датчик «Метрикс»

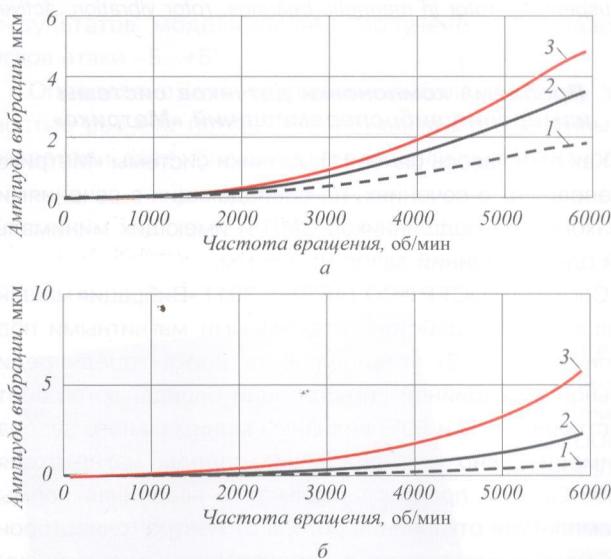


Рис. 2. Графики амплитуд вибропрелемщений ротора при трехмассовом небалансе (265 гсм) со стороны приводного (а) и свободного (б) концов ротора:  
1 – страховочный подшипник; 2 – датчик СМП;  
3 – датчик «Метрикс»

Анализ графиков на рис. 1, 2 показывает, что отклонение ротора от оси вращения по показаниям датчиков системы виброконтроля «Метрикс» значительно превышает величину реальных зазоров в страховочных подшипниках, по которым оно должно нормироваться. В связи с этим установленные нормы предупредительной (двойная амплитуда 210 мкм) и аварийной (240 мкм) защиты по сигналам системы «Метрикс» существенно

ограничивают область допустимой работы системы магнитного подвеса.

Таким образом, было принято решение доработать конструкцию нагнетателя Н-398-28-3СМ в части переноса датчиков системы «Метрикс» в корпусы датчиков СМП, одновременно увеличив их диапазон измерения до 500 мкм. При этом нормы допустимых вибропрелемщений по ГОСТ Р ИСО 14839-2-2011 должны соответствовать следующему:

- уровень предупредительной сигнализации – амплитуда отклонения 110 мкм (или размах 220 мкм);
- уровень аварийной сигнализации – амплитуда отклонения 137,5 мкм (или размах 275 мкм).

Доработка, связанная с переносом датчиков контроля вибрации «Метрикс», была выполнена по инженерному решению ЗАО «НИИтурбокомпрессор» (Группа ГМС), приобретены также новые датчики с удлиненным (в связи с их переносом) кабелем.

Процесс монтажа датчиков выявил дополнительные проблемы.

#### Устранение недостатков конструкции нагнетателя

К рассматриваемому этапу работ ситуация с нагнетателем Н-398-28-3СМ 0284 была следующая:

- произведена настройка СУМП-М2, обеспечивающая работоспособность газоперекачивающего агрегата;
- произведена замена датчиков контроля вибрации «Метрикс»;
- выполнена установка датчиков «Метрикс» в блок датчиков СМП нагнетателя Н-398-28-3СМ;
- газоперекачивающий агрегат устойчиво отработал в режиме «Магистраль» более 200 ч.

При сборке опорного узла магнитного подвеса (рис. 3), в частности, при установке роторной части узла опорного подшипника магнитного подвеса поз. 4 (сторона привода) после обеспечения требуемого натяга 5 мкм путем насадки на коническую поверхность с конусностью 1:25 выявлен зазор 0,4 мм между роторной частью МП поз. 4 и дистанционным кольцом поз. 9. Данный факт можно установить только при снятом внутреннем блоке датчиков магнитного подвеса.

В отличие от указаний на чертеже 8389.000СБ ротор МП поз. 4 не доходил до дистанционного кольца поз. 9 с зазором 0,4 мм.

Последующая сборка магнитного повеса по данному чертежу выявила тот факт, что при обеспечении размера 322 мм зазор между ротором МП поз. 4 и дистанционным кольцом поз. 10 составил 3,5 мм. Это вело к тому, что при соблюдении «вылета» полумуфты в указанном размере 35 мм требовалось изготовление нового кольца поз. 11 диаметром 960 мм увеличенной толщины.



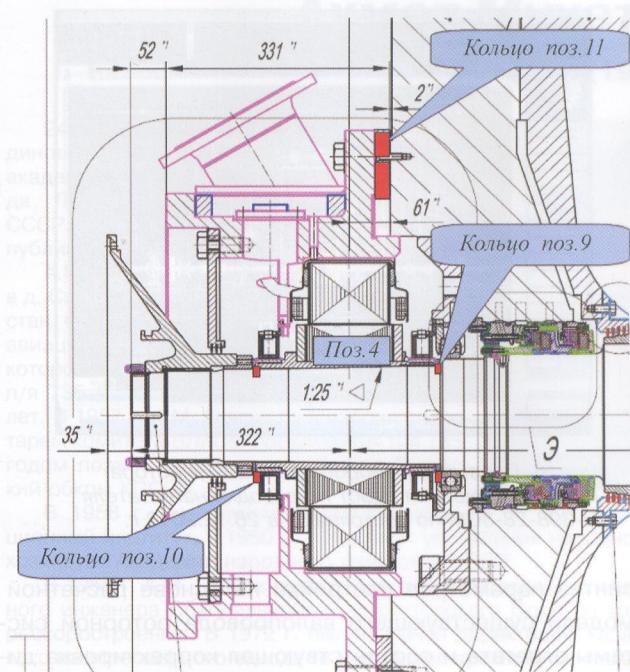


Рис. 3. Конструкция опорного электромагнитного подшипника (сторона привода) в исполнении с винтовым зазором и дистанционными кольцами

Ситуация усугублялась тем, что в нарушение пункта 4 технических требований чертежа 8389.000СБ в формуларе не указаны фактические размеры дистанционных колец поз. 9, 10, 11.

Таким образом, объем работ требовал повторной сборки нагнетателя (с необходимыми подгонками), которая должна была быть выполнена в ОАО «Компрессорный комплекс» по технологии сборочного производства.

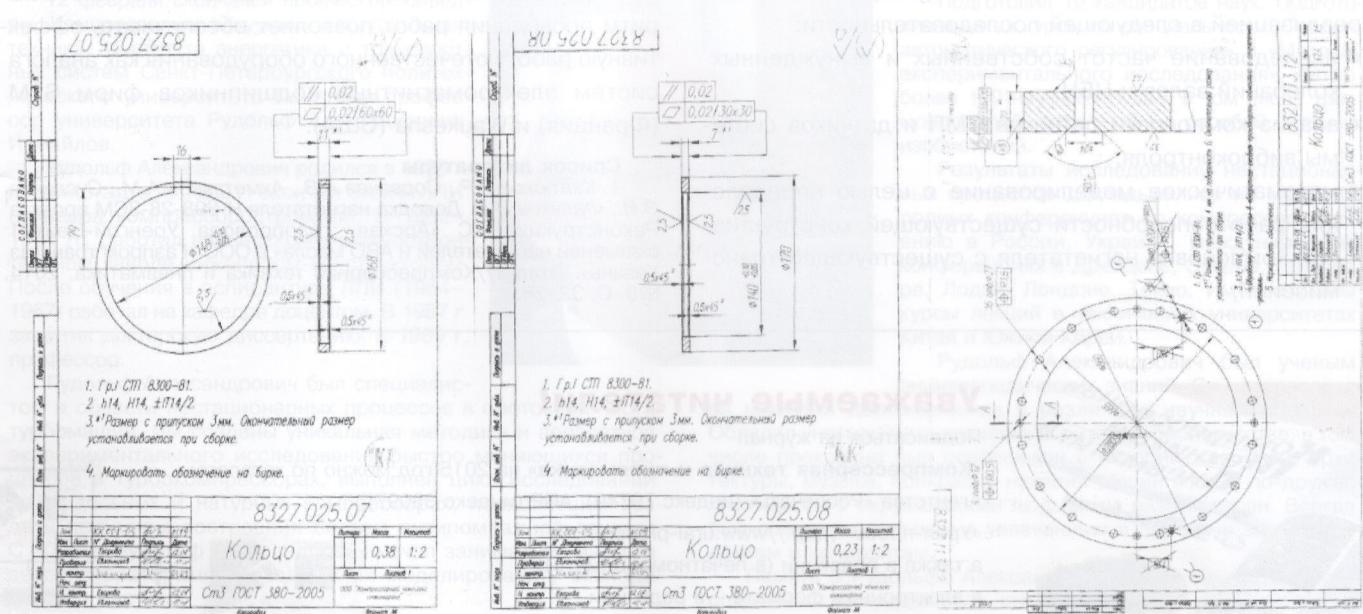


Рис. 4. Чертежи дистанционных колец радиального электромагнитного подвеса



Для обеспечения сборки были произведены измерения входящих в узел деталей магнитного подвеса, выстроена и перепроверена размерная цепочка входящих деталей и по результатам контрольных проверок и измерений были определены требуемые толщины дистанционных колец поз. 9, 10, 11. Заказ на их изготовление был размещен в Нижегородском филиале ДОАО «Центрэнергогаз» и в НПП «Компрессор» (г. Казань).

Дистанционные кольца были изготовлены по техническим требованиям изложенным в соответствующих чертежах.

Размеры колец были изменены следующим образом:

Обозначение	Диаметр, мм	Толщина кольца <sup>1</sup> , мм
8327.025.07	168	7,8/9,4
8327.113.12	960	21,35/20,59
8327.025.08	170	4/5,5

<sup>1</sup> В числителе – до доработки, в знаменателе – после доработки

С кольцами таких размеров согласно требованиям соответствующих чертежей была выполнена сборка нагнетателя.

Пробный пуск, состоявшийся 25 декабря 2013 г., показал, что величина выбросмешения ротора нагнетателя со стороны привода уменьшилась в 2 раза и не превышала в среднем 130 мкм.

Агрегат был оставлен в трассе на «новогодние каникулы» и непрерывно отработал без замечаний до 24 января 2014 г., когда был остановлен на обслуживание

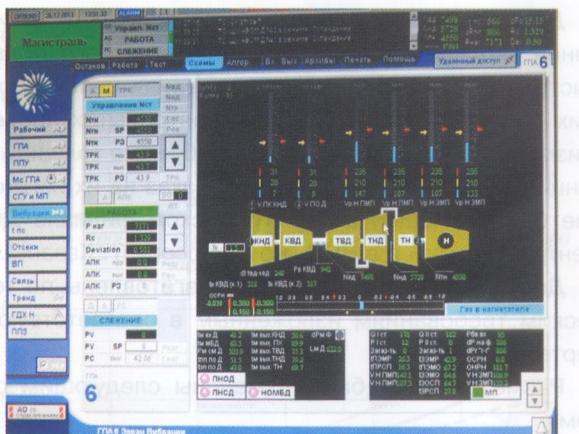


Рис. 5. Параметры виброконтроля ротора на мониторе САУ ГПА

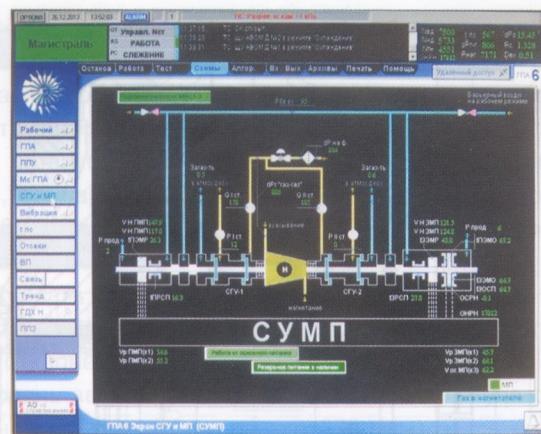


Рис. 6. Параметры виброперемещения ротора после завершения работ по доводке нагнетателя Н-398-28-3СМ по состоянию на 26.12.2013 г.

блочной воздушной компрессорной станции БВКС-500. Можно констатировать, что проблема повышенной вибрации ротора нагнетателя была снята.

Таким образом, комплексный подход к решению задачи, использование аппарата моделирования (комплекс алгоритмов и программ расчета динамики нагнетателя природного газа с активными электромагнитными подшипниками) позволили обосновать и решить актуальную задачу обеспечения устойчивой и надежной работы газоперекачивающего агрегата.

В процессе доводки определен алгоритм решения проблемы пусконаладочных работ и обеспечения устойчивого функционирования оборудования с СМП. В основу данного алгоритма положен первичный анализ и подтверждение возможности с последующей поэтапной реализацией в следующей последовательности:

- исследование частот собственных и вынужденных колебаний валов и ЦБН;
- анализ компоновки датчиков СМП и датчиков системы виброконтроля;
- математическое моделирование с целью определения работоспособности существующей конструктивной компоновки нагнетателя с существующей трансмиссией;

- синтез параметров настройки на основе расчетной модели существующего валопровода роторной системы агрегата и соответствующая корректировка динамических параметров настройки модулей СМП на основе комплекса алгоритмов и программ расчета нагнетателей с активными электромагнитными подшипниками;
- тестирование амплитудно-частотных характеристик каналов управления СМП и уточняющие корректировки параметров настройки;
- контрольные проверки работы агрегата при испытаниях в режимах помажного тестирования и работы в режиме «Магистраль» (рис. 5, 6);
- возможные дополнительные работы.

Отработанный и подтвержденный на практике алгоритм проведения работ позволяет обеспечивать эффективную работу отечественного оборудования как аналога систем электромагнитных подшипников фирм S2M (Франция) и Waukesha (США).

#### Список литературы

1. Кантюков Р.Р., Сорвачев А.В., Ахметзянов А.М., Сусликов Э.В., Фалляков И.В. Доводка нагнетателя Н-398-28-3СМ проекта «Реконструкция КС «Арская» газопровода Уренгой-Центр1 с заменой нагнетателей и АВО масла» в ООО «Газпром трансгаз Казань». Этап 1//Компрессорная техника и пневматика. 2014. №8. С. 32–36.



## Уважаемые читатели!

Подписаться на журнал

**«Компрессорная техника и пневматика»** на 2015 год можно по каталогам

Агентства «Роспечать» (индекс 79749), АПР (индекс 38097),

«Урал-пресс» (<http://www.ural-press.ru>),

а также в редакции (в печатном формате);

в электронном формате – в редакции.

Тел.: +7(495)223-66-35; e-mail: [info@chemtech.ru](mailto:info@chemtech.ru)

