

# ОБЕСПЕЧЕНИЕ СЖАТЫМ ВОЗДУХОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ И РЕСУРС РАБОТЫ ВОЗДУХОКОМПРЕССОРНОГО И ВОЗДУХОПОТРЕБЛЯЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

УДК 621.51+622.691.4

**И.Е. Сивов**, ООО «Газпром трансгаз Санкт-Петербург»  
(Санкт-Петербург, РФ), sie@spb.ltg.gazprom.ru

**В.М. Иванов**, ООО «Газпром трансгаз Санкт-Петербург»,  
vivanov@sev.ltg.gazprom.ru

**И.С. Салтыков**, ООО «Газпром трансгаз Санкт-Петербург»,  
issaltykov@sev.ltg.gazprom.ru

**А.А. Гуляев**, ООО НПЦ «Анод» (Нижний Новгород, РФ),  
gulyaev@anod.ru

В статье поднимается актуальная тема повышения эффективности воздухообеспечения технологического оборудования компрессорных станций и обеспечения их эксплуатационной надежности. Рассмотрены различные варианты воздухообеспечения оборудования компрессорных станций ООО «Газпром трансгаз Санкт-Петербург», проведена оценка эксплуатационных затрат и ресурса воздухокомпрессорного оборудования и оборудования, использующего сжатый воздух при различных схемах воздухообеспечения, на основании данных по конкретным объектам предприятия.

Представлено описание различных систем газодинамических уплотнений, дана оценка преимуществ и недостатков каждой применяемой модели. Приведены схемы конструкций газодинамических уплотнений, используемых в настоящее время на объектах газотранспортной системы ПАО «Газпром». Рассмотрен опыт эксплуатации систем воздухообеспечения и ресурса работы сухих газодинамических уплотнений газоперекачивающих агрегатов компрессорной станции «Северная». Подтверждена прямая зависимость эксплуатационного ресурса газодинамических и барьерных уплотнений от качества очистки и осушки газов. За 20 лет существенно снижены эксплуатационные расходы, ресурс воздушных компрессоров еще не использован на 50 %, наработка воздушных барьерных уплотнений на газоперекачивающих агрегатах достигает 60 тыс. ч и имеет стабильные параметры.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** ВОЗДУШНЫЙ КОМПРЕССОР, ОСУШКА ВОЗДУХА, ОЧИСТКА ВОЗДУХА, КОМПРЕССОР БУФЕРНОГО ВОЗДУХА, СИСТЕМА МАГНИТНОГО ПОДВЕСА, ГАЗОВОЕ ДИНАМИЧЕСКОЕ УПЛОТНЕНИЕ, БАРЬЕРНОЕ УПЛОТНЕНИЕ, ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИЙ АГРЕГАТ, КОМПРЕССОРНАЯ СТАНЦИЯ, ЛАБИРИНТНОЕ УПЛОТНЕНИЕ.

В настоящее время на компрессорных станциях (КС) ООО «Газпром трансгаз Санкт-Петербург» существует несколько вариантов обеспечения сжатым воздухом оборудования компрессорных цехов (КЦ). В состав единой пневматической системы КЦ обычно входят не менее двух воздушных компрессоров, системы очистки и осушки воздуха,

сеть трубопроводов до оборудования, использующего сжатый воздух. Состав оборудования таких систем определяется величиной давления, необходимым расходом и требованиями по степени очистки и осушки воздуха. Наиболее распространенный диапазон давления общецеховых пневматических систем составляет 0,6–1,2 МПа [1–4].

В некоторых случаях подача сжатого воздуха производится установкой локального компрессора и дополнительных устройств для каждой единицы оборудования. Так организовано воздухообеспечение газоперекачивающих агрегатов (ГПА) 16М на КС «Елизаветинская» и других КС с такими же агрегатами. Особенность агрегатов этого типа состоит

**I.E. Sivov**, Gazprom transgaz Saint Petersburg LLC (Saint Petersburg, Russian Federation),  
sie@spb.ltg.gazprom.ru

**V.M. Ivanov**, Gazprom transgaz Saint Petersburg LLC, vivanov@sev.ltg.gazprom.ru

**I.S. Saltykov**, Gazprom transgaz Saint Petersburg LLC, issaltykov@sev.ltg.gazprom.ru

**A.A. Gulyaev**, Research & Production Center "Anod" LLC (Nizhny Novgorod, Russian Federation),  
gulyaev@anod.ru

### Supply of technological equipment of compressor stations by compressed air and operational life of air compressor and air consumer equipment

The article considers the actual topic of improving the efficiency of air supply of technological equipment of compressor stations and ensuring their operational reliability. Different variants for air supply of equipment of the compressor stations of Gazprom transgaz Saint Petersburg LLC are discussed. The assessment of operating costs and operational life of air compressor equipment and equipment using compressed air for various air supply schemes are performed on the basis of data on specific facilities of the enterprise.

A description of the various systems of gas-dynamic seals is presented, and the advantages and disadvantages of each model used are estimated. The schemes of gas-dynamic seals structures currently used at the facilities of the gas transportation system of Gazprom PJSC are presented. The experience of operating air supply systems and the service life of dry gas-dynamic seals of gas compressor units at the Severnaya compressor station is considered. The direct dependence of the operational resource of gas-dynamic and barrier seals on the quality of gas purification and drying was confirmed. For 20 years, the operating costs have been significantly reduced, the service life of air compressors has not yet been used by 50 %, the operating time of air barrier seals in the gas compressor units reaches 60 thousand hours and has stable parameters.

**KEYWORDS:** AIR COMPRESSOR, AIR DRYING, AIR PURIFICATION, BUFFER AIR COMPRESSOR, MAGNETIC BEARING SYSTEM, GAS-DYNAMIC SEAL, BARRIER SEAL, GAS COMPRESSOR UNIT, COMPRESSOR STATION, LABYRINTH SEAL.



в отсутствии подшипников ротора центробежного нагнетателя (ЦБН) газа и использовании системы магнитного подвеса. Ротор с рабочими колесами удерживается в рабочем положении в корпусе нагнетателя с помощью управляемого электромагнитного поля. Для удержания и стабилизации положения ротора при работе агрегата система магнитного подвеса потребляет около 5 кВт электрической энергии, часть которой выделяется в виде тепла элементами магнитного подвеса в корпусе нагнетателя. Для отвода этого тепла ис-

пользуется часть воздушного потока, нагнетаемого одним из двух компрессоров буферного воздуха (КБВ), установленных на каждом агрегате. Применяемые КБВ имеют мощность по 22 кВт, производительность – 10 м<sup>3</sup>/мин с напором 60 кПа. Другая часть воздушного потока КБВ вентилирует зону между двумя лабиринтными уплотнениями нагнетателя, что гарантированно предотвращает появление взрывоопасной концентрации газа после вторых ступеней пакетов газовых динамических уплотнений (ГДУ). Такая конструкция не

предусматривает тщательной очистки и осушки воздуха, что неизбежно отрицательно влияет на состояние и ресурс устройств, использующих сжатый воздух.

Наиболее требовательны к качеству подготовки сжатого воздуха системы ГДУ, барьерные уплотнения которых используют сжатый воздух. Рассмотрим более детально конструкции барьерных уплотнений и их влияние на работу ГДУ в целом, чтобы более подробно обосновать технико-экономическую выгоду от применения качественных систем очистки воздуха.

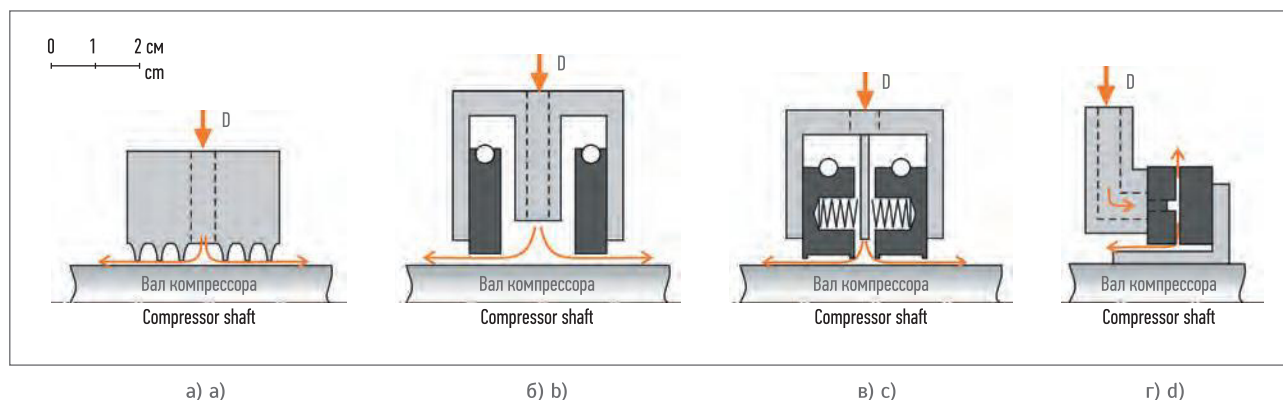


Рис. 1. Типы барьерных уплотнений для центробежных компрессоров: а) лабиринтное уплотнение; б) щелевое уплотнение с постоянным зазором; в) щелевое уплотнение с перекрываемым зазором; г) торцевое коаксиальное уплотнение; D – подача барьерного газа  
Fig. 1. Types of barrier seals for radial-flow compressors: a) labyrinth seal; b) groove seal with a gap; c) groove seal with overlapping gap; d) end coaxial seal; D – barrier gas supply

### ТИПЫ БАРЬЕРНЫХ УПЛОТНЕНИЙ

В мировой практике используются барьерные уплотнения четырех типов. Далее они описаны в порядке появления и с учетом широты распространения и стоимости.

**Лабиринтное уплотнение** применяется с 1980-х гг. (рис. 1а). Принцип работы заключается в создании барьера из воздуха между вторичной ступенью ГДУ и масляным подшипником либо магнитным подвесом. Изготавливается из дюралюминия или бронзы.

Лабиринтные уплотнения широко распространены за счет низкой стоимости. Это наиболее простое решение для ГДУ может работать при медленном вращении вала. Чистота применяемого барьерного газа – 10–20 мкм без капельной влаги. Лабиринтные уплотнения не чувствительны к точке росы барьерного газа. К минусам следует отнести наличие постоянного зазора с валом. При выключении подачи буферного газа лабиринтное уплотнение пропускает масло с подшипника внутрь сухого уплотнения, что приводит к выходу из строя ГДУ. Помимо этого, из-за жесткой конструкции при повышенных вибрациях или опускании вала могут повреждаться зубья лабиринта, что повышает расход буферного газа и снижает работоспособность барьерного уплотнения.

**Щелевое уплотнение с постоянным зазором** представлено на рис. 1б. В качестве примеров можно рассмотреть уплотнения следующих типов: Espey (EagleBurgmann), T82 (John Crane), K-MRC (Kaydon) и др. Принцип действия уплотнения основан на том, что пара графитовых «плавающих» колец охватывают вал, создавая равномерный зазор по всей окружности вала. В отличие от лабиринтного уплотнения, за счет подвижной структуры «плавающие» графитовые кольца не могут быть повреждены из-за повышенной вибрации либо смещений вала. За счет более плотного обхвата вала (зазор <math><0,1</math>) графитовые кольца расходуют меньше барьерного газа, чем лабиринтное уплотнение. Данный вид уплотнения имеет возможность работать при медленном вращении вала. К минусам данных уплотнений относится наличие постоянного зазора, как у лабиринтного уплотнения, что периодически приводит к пропуску масла при отключении КБВ, а также чувствительность к качеству воздуха. Требуется очистка барьерного газа до 10–20 мкм.

**Щелевое уплотнение с перекрываемым зазором** показано на рис. 1в. Примерами служат тип CSR (EagleBurgmann) и тип K-CBS (Kaydon). Данный тип уплотнения отличается от графитового уплотнения с постоянным зазором тем,

что на торцевую поверхность графитовых сегментов со стороны вала нанесены газодинамические канавки. При отсутствии вращения вала данное уплотнение плотно, без зазора обхватывает вал, не позволяя проникать маслу с подшипника в сторону сухого уплотнения, даже когда отключен КБВ. Когда вал начинает вращаться, газодинамические канавки захватывают газ и «всплывают» над валом, создавая плотную газодинамическую пленку (3–5 мкм), препятствующую проникновению масла. Расход барьерного газа через такое уплотнение в 5–8 раз меньше, чем у лабиринтного. К минусам относится чувствительность к повышенной вибрации, невозможность работать на медленном вращении и с очень низкой точкой росы барьерного газа. В основном применяется на нефтеперерабатывающих и химических предприятиях с повышенными требованиями по экологии выбросов. Рекомендуемая очистка барьерного газа – до 5 мкм.

**Торцевое коаксиальное уплотнение** представлено на рис. 1г, например тип CobraSeal (EagleBurgmann). Довольно редкое уплотнение, сложное в обслуживании. Компоновка сходна с обычным торцевым механическим уплотнением. Отличие от пары трения ГДУ состоит в том, что на одном из колец нанесено

два контура газодинамических канавок. Применяется на нефтеперерабатывающих и химических предприятиях с повышенными требованиями по экологии выбросов. Высокая стоимость и сложность в обслуживании и эксплуатации ограничивают распространение данного вида уплотнений.

### АНАЛИЗ РАБОТЫ ГДУ

В ПАО «Газпром» большая часть сухих ГДУ, установленных на компрессорах с масляными подшипниками, используется с лабиринтными уплотнениями, меньшая – с щелевым уплотнением с постоянным зазором, еще реже – с CSR или K-CBS, как на КС «Северная». На примере этих барьерных уплотнений проанализируем работу ГДУ в целом.

Рассмотрим самый распространенный в ПАО «Газпром» тип ГДУ – двухступенчатое уплотнение в компоновке «тандем» без промежуточного лабиринта (рис. 2). В линию А на первичную ступень уплотнения подается очищенный перекачиваемый газ. Очистка происходит, как правило, фильтрами тонкой очистки панели управления. Тонкость очистки – не крупнее 3 мкм.

Большая часть утечки после первичной ступени по каналу В уходит на свечу, остальное проходит через вторичную ступень и по каналу С, смешавшись с барьерным воздухом, поступающим по каналу D, уходит в атмосферу. Вторая половина барьерного воздуха (канал D) отдувает масло со стороны масляного подшипника нагнетателя.

Как видно из схемы ГДУ (см. рис. 2), внутри уплотнения чистота поддерживается за счет подачи очищенных газов, что позволяет продлить ресурс уплотнений. Тем не менее влияние степени очистки барьерного газа на состояние и работу ГДУ в целом следует рассмотреть подробнее.

Согласно компоновке уплотнения барьерный воздух не в состоянии при нормальной работе уплотнения достичь первичной ступени,

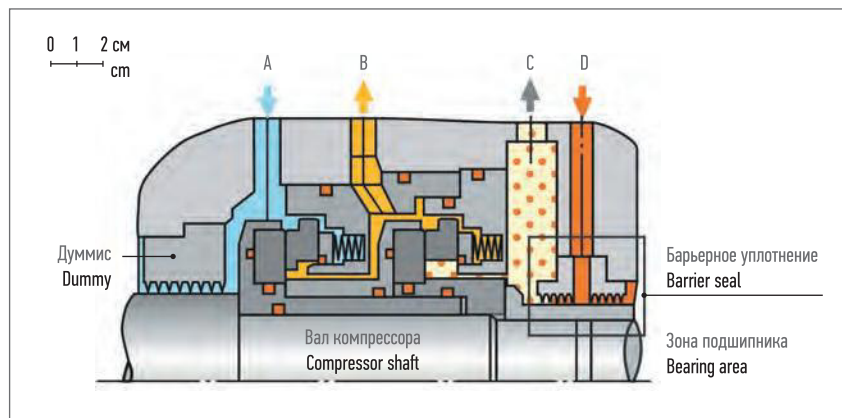


Рис. 2. Двухступенчатое ГДУ в тандемном исполнении без промежуточного лабиринта: А – подача буферного газа; В – выход первичной утечки; С – выход вторичной утечки; D – подача барьерного газа (воздух, азот)

Fig. 2. Two-stage gas-dynamic seal in the tandem version without intermediate labyrinth: A – buffer gas supply; B – primary leak output; C – secondary leak output; D – barrier gas supply (air, nitrogen)

т. е. влияние на первичную ступень ГДУ отсутствует. При этом на вторичной ступени барьерный газ достигает пары трения и, что наиболее важно, динамического диаметра, по которому движется герметизирующее кольцо под торцом вторичной ступени.

Чистота барьерного воздуха составляет 5–20 мкм, но, помимо размера пропускаемых частиц, важно их количество. Как показывает практика, иногда при подаче барьерного воздуха в систему поступает большое количество частиц ржавчины и мелкодисперсной пыли, которую воздушные фильтры пропускают. Эта пыль, поступая внутрь вторичной ступени уплотнения, оседает на динамическом диаметре под герметизирующим кольцом и через некоторое время существенно снижает подвижность торца вторичной ступени вплоть до полной блокировки.

При сравнении лабиринтного уплотнения с щелевым более надежным следует признать второе, поскольку для щелевого уплотнения применяется более чистый барьерный газ. Также из-за меньшего зазора между валом и графитовыми кольцами объем поступающего барьерного воздуха в несколько раз меньше, чем для лабиринтного уплотнения. Например, для барьерных уплот-

нений на вал  $\varnothing 150$  мм расход для лабиринтного типа – 26,8 моль (600 Нл/мин), а для щелевого типа – 5,4 моль (120 Нл/мин).

Таким образом, при использовании щелевого барьерного уплотнения время накопления критического количества загрязнения на динамическом диаметре вторичной ступени уплотнения как минимум в пять раз больше.

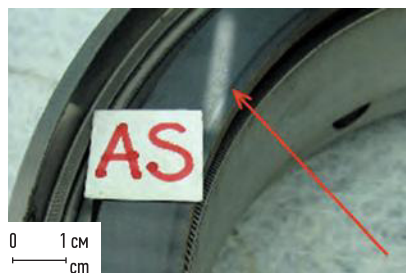
При работе лабиринтного уплотнения после вторичной ступени может поддерживаться избыточное давление до 5 кПа (полость CD, см. рис. 2), что создает противодействие для вторичной ступени сухого уплотнения, так как в линии первичной утечки – атмосферное давление. Это влияет на скорость износа рабочих поверхностей пары трения вторичной ступени, так как при пусках-остановах стабильный зазор между кольцами вторичной ступени устанавливается намного позже, и пара трения вторичной ступени дольше трется всухую.

### ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИМЕРЫ

Пример такой ситуации можно наблюдать на сухих уплотнениях для нагнетателей ГТНР-25И (PCL804-2/36/B). У поступающих на сервисное обслуживание ГДУ кольца первичной ступени обычно не несут видимых следов выработки (рис. 3а), полированная



а) а)



б) б)

Рис. 3. Состояние пар трения при осмотре ГДУ типа DGS1/210-TA1-L: а) торец первичной ступени без повреждения; б) торец вторичной ступени с выработкой (обозначено стрелкой)

Fig. 3. State of friction pairs during inspection of the gas-dynamic seal of the DGS1/210-TA1-L type: а) end of primary stage without damage; б) end of the secondary stage with damage (indicated by the arrow)

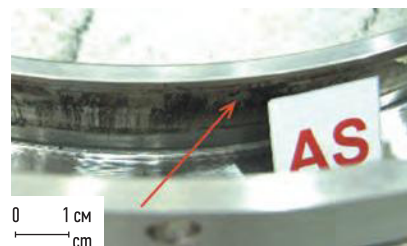


Рис. 4. Загрязнение и царапины на полированном динамическом диаметре вторичной ступени ГДУ типа DGS1/210-TA1-L

Fig. 4. Pollution and scratches on the polished dynamic diameter of the secondary stage of the gas-dynamic seal of the DGS1/210-TA1-L type

поверхность без повреждений. Тогда как кольца вторичной ступени (рис. 3б) имеют сильно потертую поверхность и чаще подлежат замене, несмотря на то, что вторичная ступень по определению должна работать без нагрузки.

В панелях управления сухими газодинамическими уплотнениями на ГТНР-25И для подачи воздуха на барьерные уплотнения используются воздухоудки Robuschi. Воздух от них проходит одноступенчатую очистку через фильтр 20 мкм. На фото (рис. 4) продемонстрировано состояние динамического диаметра и наличие загрязнения, которое влияет на подвижность динамического кольца и работоспособность вторичной ступени ГДУ в целом.

Второй тип барьерных уплотнений – щелевые с постоянным зазором (рис. 5). Подобный тип барьерных уплотнений установлен в ГДУ DGS 21/220-TA2-U в составе ГПА-25/76 ДН80Л (RV090/02) «Газпром трансгаз Югорск» и «Газпром трансгаз Чайковский». Количество проходящих через фильтры частиц для данных уплотнений значительно меньше, поэтому обслуживание требуется проводить не чаще одного раза в три-четыре года, при этом зависимости работоспособности основного ГДУ от барьерного уплотнения не ощущается за исключением нескольких случаев отключения КБВ и попадания масла внутрь сухого уплотнения.



Рис. 5. Барьерное уплотнение типа Espy  
Fig. 5. Barrier seal of the Espy type

Для работы барьерных уплотнений третьего типа К-СBS (Kaydon), как на КС «Северная», требуются особые условия подготовки барьерного воздуха. Напомним, что такое барьерное уплотнение работает за счет газодинамических канавок с очень малым зазором и требует наиболее чистого газа из всех перечисленных вариантов.

Организованные на КС «Северная» мероприятия для подготовки воздуха высокой очистки позволили барьерным уплотнениям успешно работать длительное время, а также продлить ресурс основных ГДУ. По данным статистики для этой станции, срок наработки ГДУ без ремонта достигает 60 тыс. ч. Этот показатель намного превосходит средние значения по магистральным газопроводам ПАО «Газпром».

Проанализируем условия, при которых был получен этот результат. В 1995 г. на стадии проектирования КС «Северная» разработчиками проекта было предусмотрено

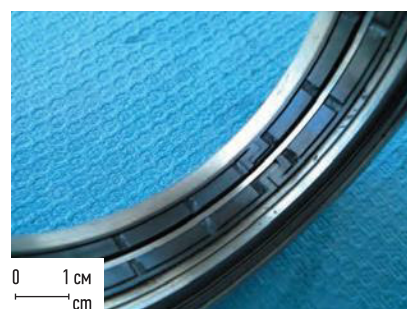


Рис. 6. Барьерное уплотнение типа К-СBS  
Fig. 6. Barrier seal of the K-CBS type

сооружение универсальной общестанционной системы воздухо-снабжения для всех потребностей оборудования.

В соответствии с проектом сжатый воздух используется для работы: четырех пневматических систем управления заслонками утилизаторов тепла ГПА; воздушных буферных узлов сухого газового уплотнения ЦБН; автоматики подогревателя топливного газа; а также для управления заслонками калориферов отопления четырех зданий ГПА, насосной горюче-смазочных материалов и узла подготовки топливного газа. В качестве источников сжатого воздуха были предусмотрены два электроприводных компрессора Sullair винтового типа производительностью 4,39 м<sup>3</sup>/мин и система очистки и осушки воздуха с использованием регенерируемых колонн, заполненных силикагелем.

Второй, выступающий в качестве основного, источник сжатого

воздуха представлен последней ступенью каждого из четырех осевых компрессоров ГПА. Для этого в проекте предусмотрены два подземных стальных коллектора Ду-150 и Ду-200, расположенных вдоль линии коллекторов технологической обвязки ЦБН. В коллекторе Ду-150 с использованием обратных клапанов собирается воздух с выходной ступени всех четырех газогенераторов ГПА, который далее по трубопроводу Ду-50 выведен в помещение воздушной компрессорной и соединен в буфере с выходом двух электроприводных компрессоров Sullair на вход системы очистки и осушки воздуха. Давление на выходе осевых компрессоров при работе ГПА находится в пределах 0,60–1,15 МПа. В этом же диапазоне работают компрессоры Sullair, которые при работе хотя бы одного ГПА не включаются.

Очищенный и осушенный воздух далее разводится по объектам КС

и поступает во второй коллектор Ду-200 для технологических потребностей оборудования ГПА. Отбор потребляемого количества сжатого воздуха, с учетом примененного типа уплотняющих узлов буферного воздуха, не оказывает заметного влияния на параметры ГПА и вместе с тем имеет следующие плюсы:

- сохраняется ресурс воздушных компрессоров, так как их работа необходима, только если на КС нет работающих ГПА;

- воздух проходит тройную очистку и двойную осушку (фильтрующие устройства воздухозаборного устройства ГПА, устройство конденсации влаги в укрытии ГПА, установка осушки воздуха, фильтрующие устройства в воздушной компрессорной и фильтрующие устройства в укрытии ГПА);

- система осушки работает с равномерным постоянным расходом, поддерживая относительную влажность воздуха <1,0%.

Следующим фактором, влияющим на ресурс работы воздушных буферных и газовых узлов ГДУ, выступает размер фильтруемых частиц. На ГПА КС «Северная» для очистки буферного воздуха и газа, поступающего в зону ГДУ, используются однотипные фильтры-элементы с качеством очистки до 0,1 мкм.

Продемонстрируем качество очистки воздуха стабильностью работы буферных узлов Kaydon. Так, в начале 2000-х гг. эксплуатировавшая их у себя компания Solar произвела их полную замену на узлы типа Espey (EagleBurgmann), работающие с вдвое меньшим перепадом давления и более высоким расходом барьерного газа.

На КС «Северная» в 2004 г. на ГПА «Тaurus 60» № 2 и 3 был выявлен нестабильный расход воздуха по воздушному буферному узлу Kaydon, что послужило верным признаком возможного отказа. Летом 2005 г. для решения проблемы произвели

ХIII МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА



## Нефтедобыча. Нефтепереработка. Химия.

ВСЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОТРАСЛИ

22–24 ОКТЯБРЯ 2019  
• САМАРА •

### УЧАСТНИКИ ВЫСТАВКИ:

АО «САМАРАНЕФТЕГАЗ»

АО «КУЙБЫШЕВСКИЙ НПЗ»

АО «НОВОКУЙБЫШЕВСКИЙ НПЗ»

АО «СЫЗРАНСКИЙ НПЗ»

АО «НОВОКУЙБЫШЕВСКАЯ НЕФТЕХИМИЧЕСКАЯ КОМПАНИЯ»

ООО «НОВОКУЙБЫШЕВСКИЙ ЗАВОД МАСЕЛ И ПРИСАДОК»

АО «САМАРАНЕФТЕПРОДУКТ»

ФИЛИАЛ ООО «РН-АЭРО» в г. САМАРА

АО «ОТРАДНЕНСКИЙ НПЗ»

АО «НЕФТЕГОРСКИЙ НПЗ»

ООО «САМАРАНИПИНЕФТЬ»

ТПП «РИТЭК-САМАРА-НАФТА»

(ПАО «ЛУКОЙЛ»)

АО «ТРАНСНЕФТЬ-ПРИВОЛГА»

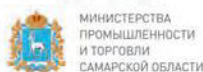
АО «ГИПРОВОСТОКНЕФТЬ»

ПАО «ТОЛЬЯТТИАЗОТ»

на правах рекламы

 **ЭКСПО-ВОЛГА**  
организатор выставок с 1986 г.

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ:



ул. Мичурина, 23а  
тел.: (846) 207-11-45

[www.expo-volga.ru](http://www.expo-volga.ru)

Наработка элементов ГДУ на ГПА КС «Северная»  
Operating time of the elements of the gas-dynamic seals in the gas compressor units of the Severnaya compressor station

ГПА № No. of gas compressor unit	Воздушные буферные узлы Air buffer units			Газовые уплотнения 1-й и 2-й ступеней Gas seals 1st and 2nd stages		
	Производитель Manufacturer	Год установки Year of installation	Наработка на 01.09.2018 Operating time on September 1, 2018	Производитель Manufacturer	Год установки Year of installation	Наработка на 01.09.2018 Operating time on September 1, 2018
1	Kaydon	2005	40 221	John Crane	1998	50 844
2			38 968			52 272
3	EagleBurgmann		39 212			55 614
4			44 533			59 975

замену этих буферных узлов на всех агрегатах при наработке 13,5–16,5 тыс. ч. При этом на ГПА № 1 и 2 установили новые узлы Kaydon такой же модели, а на ГПА № 3 и 4 – новые узлы EagleBurgmann. В это же время модернизировали систему осушки воздуха за счет установки датчика влажности и управления переключением осушительными колоннами при влажности воздуха 1,0 %. До этого обратной связи по влажности воздуха не было, переключение производилось через устанавливаемый интервал времени.

Использование воздуха с влажностью <1,0 % устранило главную причину неисправностей буферных узлов Kaydon – потерю подвижности трехсегментных графитовых кольцевых уплотнений. Мелкодисперсные продукты износа графита при отсутствии влаги удаляются потоком сухого воздуха и не влияют на работоспособность узла.

Газовые уплотнения первичных и вторичных ступеней на всех четы-

рех агрегатах установлены в 1998 г. и за это время не ремонтировались. В 2012 г. на всех агрегатах произведена модернизация систем управления ГДУ с целью контроля и архивирования параметров воздушных буферных узлов и газовых уплотнений первичной и вторичной ступеней.

Таким образом, наблюдаемая динамика изменения параметров позволяет прогнозировать оставшийся ресурс, планировать заранее и при необходимости проводить обслуживание или ремонт ГДУ. С 2005 г. до настоящего времени ГДУ на всех агрегатах КС «Северная» работают исправно, контролируемые параметры находятся в пределах нормы.

Наработка элементов ГДУ на агрегатах КС «Северная» представлена в таблице.

#### ВЫВОДЫ

Опыт эксплуатации и ремонта систем ГДУ на объектах ПАО «Газпром» подтверждает

прямую зависимость эксплуатационного ресурса ГДУ и барьерных уплотнений от качества очистки и осушки газов, подаваемых в рабочие зоны элементов ГДУ.

Смонтированная на КС «Северная» система отбора и подготовки воздуха от газотурбинного двигателя потребовала дополнительных затрат при строительстве, но экономический эффект в виде снижения эксплуатационных расходов за 20 лет многократно их окупил: ресурс воздушных компрессоров в настоящее время не использован даже на 50 %, наработка воздушных барьерных уплотнений ГДУ на агрегатах достигает 60 тыс. ч и имеет стабильные параметры. Картриджи ГДУ первичных и вторичных ступеней ЦБН не ремонтировались с начала эксплуатации агрегатов в 1998 г. и к настоящему времени имеют наработку 51–60 тыс. ч при стабильных значениях контролируемых параметров. ■

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Bloch H.P. Compressors and Modern Process Applications. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2006. 340 p.
2. Мельник В.А. Торцовые уплотнения валов. М.: Машиностроение, 2008. 320 с.
3. Кондаков Л.А., Голубев А.И., Овандер В.Б. и др. Уплотнения и уплотнительная техника. М.: Машиностроение, 1986. 464 с.
4. Типовые технические требования к газодинамическим уплотнениям центробежных нагнетателей природного газа и систем, обеспечивающих их работоспособность. М.: ОАО «Газпром», 2006. 10 с.

#### REFERENCES

1. Bloch H.P. Compressors and Modern Process Applications. Hoboken, John Wiley & Sons, Inc., 2006, 340 p.
2. Melnik V.A. End Seals of Shafts. Moscow, Mashinostroenie, 2008, 320 p. (In Russian)
3. Kondakov L.A., Golubev A.I., Ovander V.B., et al. Seals and Sealing Technology. Moscow, Mashinostroenie, 1986, 464 p. (In Russian)
4. Typical Technical Requirements for Gas-Dynamic Seals of Radial-Flow Blowers of Natural Gas and Systems That Ensure Their Performance. Moscow, Gazprom OJSC, 2006, 10 p. (In Russian)