

**ГЕРВИКОН  
HERVICON**



**ЭККОН  
ЕККОН**



**6 - 9 сентября 2011, СумГУ, г. Сумы, Украина**

*XIII Международная научно-техническая конференция "ГЕРВИКОН-2011"*

*Международный форум "НАСОСЫ-2011"*

*Семинар "ЭККОН-11"*

## **УВЕЛИЧЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И ПЕРЕВОД НА БЕЗСМАЗОЧНЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ КОМПРЕССОРА BFV 320**

**Солодков Р.А.<sup>1</sup>, Шаповалов А.В.<sup>2</sup>, Боряк А.С.<sup>3</sup>, Черкащенко С.И.<sup>4</sup>**

### **АННОТАЦИЯ**

*Представлены результаты работы по увеличению производительности и переводу на безсмазочный режим компрессора BFV320, на ОАО «НАК «Азот», с повышением надежности деталей цилиндропоршневой группы и увеличения ресурса поршневых и направляющих колец. Рассмотрено влияние состава компримируемой среды на работу компрессора без смазки.*

**Ключевые слова:** Увеличение производительности, безсмазочный режим, поршень, поршневые и направляющие кольца, шток, цилиндр, маслосъемный сальник, уплотнение штока, гидростанция системы смазки.

При выполнении капитального ремонта углекислотного оппозитного компрессора BFV-320 поз. 3-3 фирмы Mannesmann Meer в цехе карбамид-2 ОАО «НАК «Азот» была поставлена задача восстановить его работоспособность до уровня нового компрессора и обеспечить работу без смазки цилиндров и штоков или со смазкой 5 ступени.

---

<sup>1</sup> Солодков Роман Алексеевич, начальник Управления ЦЦР ТО, ОАО «НАК «Азот», г. Новомосковск, Россия.

<sup>2</sup> Шаповалов Александр Васильевич Зам начальника отдела поршневых компрессоров ПАО «СМНПО им. М.В. Фрунзе» ул. Горького,58, 40004 г. Сумы, Украина.

<sup>3</sup> Боряк Александр Сергеевич, руководитель проекта ООО "ТРИЗ", ул. Машиностроителей, 1, 40020, г. Сумы, Украина.

<sup>4</sup> Черкащенко Сергей Иванович, руководитель проекта ООО "ТРИЗ", ул. Машиностроителей, 1, 40020, г. Сумы, Украина.

Поставку запчастей для ремонта и модернизации обеспечила Таллиннская фирма АО «Алвиго». Коренные подшипники, шатуны, кресткопфы, штоки, поршни, цилиндры всех ступеней в сборе изготовлены СМНПО им. М.В. Фрунзе; поршневые и направляющие кольца из композитных самосмазывающихся материалов, уплотнения штоков 3 и 4 ступеней изготовлены фирмой «Гарлок»; маслосъемные сальники, уплотнения штоков 1 и 2 ступеней, сальник коленвала, гидростанция системы циркуляционной смазки с двумя электронасосными агрегатами, система масляного охлаждения уплотнений штоков 3 и 4 ступеней изготовлены ООО «ТРИЗ».

Для обеспечения возможности эксплуатации компрессора без смазки поставленные штоки изготовлены из нержавеющей стали с поверхностной термообработкой (ТВЧ). Уплотняющие элементы поршней, маслосъемных сальников, уплотнений штоков изготовлены из композитных материалов на основе ПТФЭ (фторопласт) и РЕЕК (полиэфирэфиркетон), позволяющих работать как со смазкой, так и без смазки. Уплотнения штоков третьей и четвертой ступеней оснащены системой масляного охлаждения, подключенной к системе циркуляционной смазки. Поршни I...IV ступеней выполнены с двумя направляющими кольцами, расположенными по краям.

При положении поршня в передней и задней мертвых точках направляющие кольца переходят с рабочей поверхности в клапанные каналы на 30 % своей длины (рис. 1). Данное решение позволяет изготовить кольца с максимальным осевым размером, и, соответственно, максимальной несущей поверхностью, и, при этом, обеспечить возможность установки достаточного количества уплотнительных поршневых колец.

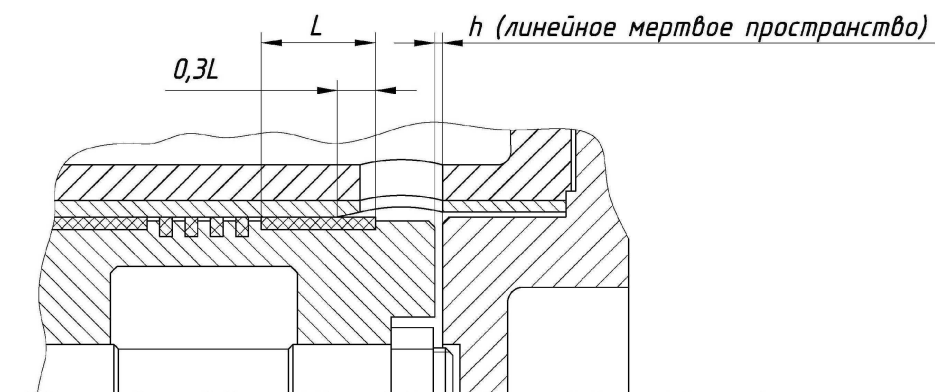


Рисунок 1 - Схема перебега направляющего кольца с рабочей поверхности цилиндра

При использовании в оппозитных компрессорах направляющих колец из самосмазывающегося материала в качестве устройств, обеспечивающих центровку поршней в цилиндрах и восприятие нагрузки от веса поршня, уже при монтаже поршней оказывается, что ось поршня смещена вниз относительно оси цилиндра, что ведет к расцентровке поршня, уменьшению нижнего зазора между поршнем и цилиндром и снижению времени наработки колец до их замены (рис. 2). Причиной этого является выполнение радиальной толщины кольца с учетом гарантированного зазора между кольцом и цилиндром, теплового расширения материала кольца и минусового допуска на выполненный размер. Для устранения данного недостатка оси канавок направляющих колец новых поршней, изготовленных СМНПО

им. М.В. Фрунзе, выполнены со смещением вниз относительно оси поршня. Такое решение позволяет также за счет подъема поршня при сохранении нижнего зазора между цилиндром и поршнем обеспечить минимальный диаметральный зазор, что улучшает условия работы поршневых колец, особенно ступеней высокого давления.

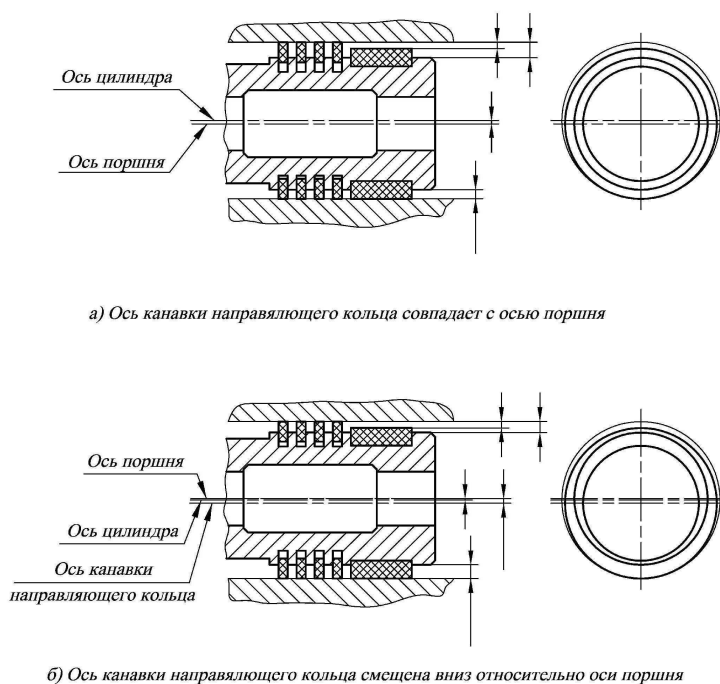


Рисунок 2 - Схема расположения поршня в цилиндре в вертикальной плоскости

Для повышения надежности компрессора по просьбе заказчика система циркуляционной смазки оборудована гидростанцией с двумя электронасосными агрегатами, один из которых находится в работе, а другой – резервный. Схема гидростанции системы смазки приведена на рисунок 3. Благодаря наличию системы шаровых кранов и обратных клапанов насосы могут вводиться в действие или отключаться без манипуляции с арматурой, и один из насосов может быть демонтирован. При определенной доработке системы управления ввод в действие и остановка могут производиться автоматически при отклонении параметров выше допустимого. Новая система циркуляционной смазки оборудована перепускным клапаном, обеспечивающим поддержание давления на выходе из насоса, независимо от температуры масла, что особенно важно при пуске компрессора. При повышении давления клапан открывается и перепускает часть масла в картер компрессора.

Для работы в условиях отсутствия смазки были выбраны дисковые клапаны фирмы «Гарлок» с седлами и ограничителями из нержавеющей стали и рабочими пластинами из композитных материалов.

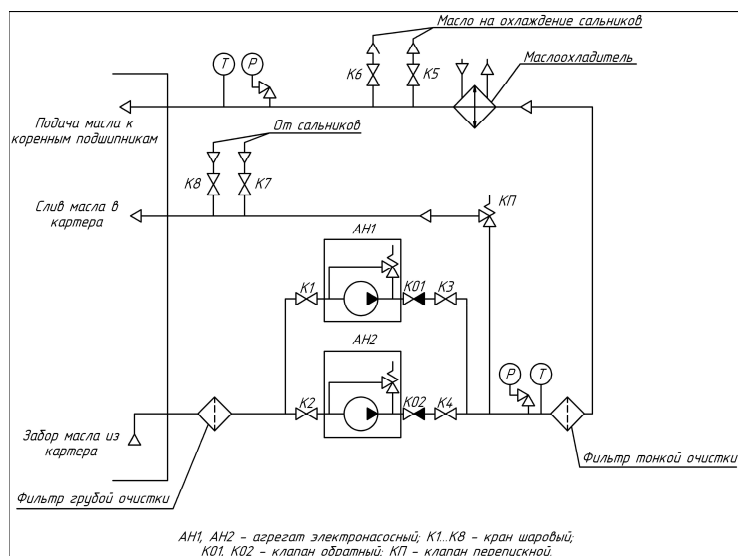


Рисунок 3 - Схема гидростанции системы смазки компрессора BFV-320

В процессе обкатки после ремонта компрессора BFV-320 в цехе карбамид-2 ОАО «НАК Азот» была произведена продувка межступенчатого оборудования сжатым воздухом, нагнетаемым самим компрессором. Продувка проводилась последовательно, начиная с трубопроводов

нагнетания первой ступени, для очистки трубопроводов и аппаратов от остатков механических отложений, мусора после произведенного ремонта. Забор воздуха осуществлялся через входной патрубок первой ступени, закрытый сетчатым фильтром, при демонтированном трубопроводе всасывания. Окна всасывающих клапанов последующей ступени глушились, а выход воздуха осуществлялся в цех через открытые люки этих клапанов.

В результате обкатки без смазки цилиндропоршневой группы (ЦПГ) произошло отложение солей железа на нагретых поверхностях проточной части (цилиндры, поршни, клапаны), что привело к потере подвижности поршневых и направляющих колец в канавках поршней третьей (рис.4 и 5), четвертой и пятой ступеней, снижению работоспособности и вынужденной остановке компрессора. При осмотре компрессора после остановки было установлено, что в цилиндрах остается влага, которая при бездействии компрессора может вызвать коррозию рабочей поверхности цилиндра при отсутствии на ней смазки.

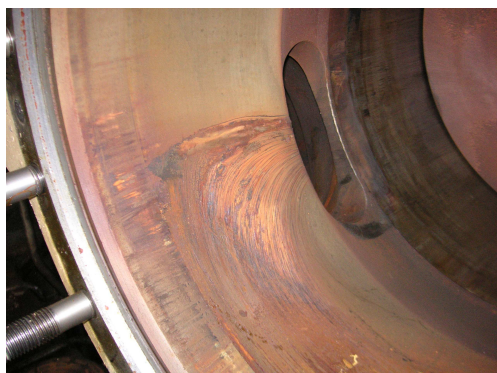


Рисунок 4 - Цилиндр 3 ступени



Рисунок 5 - Поршень 3 ступени

При промежуточном контроле состояния штоков и уплотнений штоков, работающих без смазки, было установлено, что штоки всех рядов приобрели характерный коричневатый цвет (рис. 6) в результате контакта с материалом уплотнительных элементов, штоки 3 и 4 ступеней имеют тенденцию к ускоренному износу, на элементах уплотнений штоков и в первых камерах уплотнений 3 и 4 ступеней от полости сжатия имеются механические отложения и накипь коричневого цвета (рис. 7).

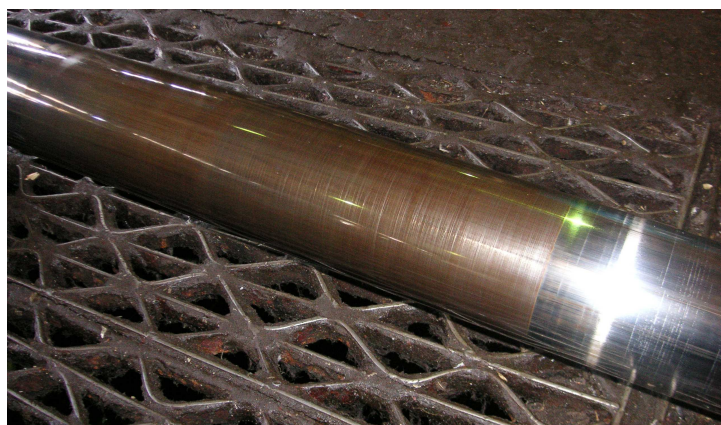


Рисунок 6 - Шток



Рисунок 7 - Камера уплотнения штока 4 ступени после работы без смазки

При осмотре поршневых и направляющих колец обнаружено, что на рабочих поверхностях колец имеются вкрапления твердых частиц, в том числе и металла, источником которых являются, входной трубопровод из углеродистой стали, подверженный коррозии, и межступенчатое оборудование.

После восстановления работоспособности дальнейшая обкатка компрессора и приемосдаточные испытания проводились с ограниченной подачей смазки в цилиндры всех ступеней и уплотнения штоков третьей и четвертой ступеней с целью:

- исключить корродирование незащищенных поверхностей из чугуна и углеродистой стали;
- снизить вероятность отложения солей железа на нагретых поверхностях за счет образования масляной пленки;
- снизить вероятность повреждения рабочих поверхностей штоков и цилиндров механическими включениями или вкрапленными в пластмассовые элементы уплотнений твердыми частицами;
- уменьшить температуру штоков.

Расход масла на точки смазки цилиндров и уплотнений штоков приведен в таблице 1.

Таблица 1 Расход масла по точкам смазки компрессора BFV-320

Наименование точки смазки	Расход масла по точкам смазки	
	капли/мин	см <sup>3</sup> /час
Цилиндр I ступени	20	42
Цилиндр II ступени	10	21
Цилиндр III ступени	10	21
Цилиндр IV ступени	10	21
Цилиндр V ступени	15	31,5
Шток III ступени	10	21
Шток IV ступени	15	31,5
Общий расход масла	<b>90</b>	<b>189</b>

В процессе обкатки модернизированного компрессора было установлено, что фактором, ограничивающим степень закрытия регулирующей линии перепуска газа с всасывания 2 ступени на всас первой ступени и, соответственно, повышение производительности, является давление нагнетания 3 и 4 ступеней. Их значения составляли, соответственно, 35 и 90 кгс/см<sup>2</sup>, что существенно превышало допустимые значения по технической документации (соответственно 31,4 и 83,3 кгс/см<sup>2</sup>). Данный недостаток является характерным для компрессоров этого типа, о чем говорит письмо фирмы «Mannesmann-Meer», разрешающее эксплуатацию компрессоров BFV-320 с давлением нагнетания по ступеням: I ступень - 3,0 кгс/см<sup>2</sup>, II ступень - 11,6 кгс/см<sup>2</sup>, III ступень - 36,9 кгс/см<sup>2</sup>, IV

ступень - 98 кгс/см<sup>2</sup>, по сравнению с паспортными значениями давления: I ступень - 2,37 кгс/см<sup>2</sup>; II ступень - 9,8 кгс/см<sup>2</sup>; III ступень - 31,4 кгс/см<sup>2</sup>; IV ступень - 83,3 кгс/см<sup>2</sup>.

В связи с тем, что новый цилиндр четвертой ступени изготовлен из специального чугуна, а не из стали, было принято решение ограничить давление нагнетания четвертой ступени значением 84 кгс/см<sup>2</sup> за счет некоторого перераспределения нагрузки между ступенями четвертой и пятой ступеней. Исходя из опыта эксплуатации аналогичного компрессора BFV -320 на ОАО «КуйбышевАзот», модернизированного фирмой «Нойман Эссер», с увеличенным до 110 мм диаметром пятой ступени, цилиндр модернизируемого компрессора был расточен с 98 мм до 108 мм.

Новый поршень пятой ступени под расточенный цилиндр был изготовлен с уменьшенным числом канавок с 13 до 10 под поршневые кольца шириной 8 мм против 6 мм. Это позволило применить вместо материала Франлон на основе РЕЕК более дешевый и доступный фторопластовый композит. После увеличения диаметра пятой ступени произошло существенное снижение давления четвертой ступени, и в процессе дальнейшей доводки при различных нагрузках оно не превышало 82 кгс/см<sup>2</sup>. При этом давление нагнетания третьей ступени достигало практически предельного значения 36,5 кгс/см<sup>2</sup>. Т.к. газ с нагнетания третьей ступени поступает на всасывание четвертой ступени через уравнительную полость, куда происходит дросселирование газа из полостей сжатия четвертой и пятой ступеней, то логично было допустить, что из пятой ступени, как имеющей более высокий перепад, происходит перетечка газа в уравнительную полость, что ведет к увеличению давления нагнетания третьей ступени и увеличению расхода газа через четвертую ступень (рис. 8).

Для устранения данного недостатка была разработана конструкция газоплотного поршневого кольца пятой ступени под имеющуюся канавку в поршне. Кольцо состоит из двух кольцевых элементов с вдвое меньшей осевой шириной, чем у обычного кольца, зафиксированных относительно друг-друга при помощи штифта таким образом, что замки элементов разнесены на 90°. Газоплотное кольцо изготовлено из композитного материала на основе РЕЕК. Два таких кольца были установлены последними от полости сжатия. Рекомендуемое количество газоплотных колец для пятой ступени BFV-320 от двух до пяти штук. Как показали дальнейшая обкатка и испытания компрессора, применение газоплотных колец обеспечило снижение давления третьей ступени при максимальной нагрузке компрессора с 36,5 кгс/см<sup>2</sup> до 32 кгс/см<sup>2</sup>, четвертой ступени - с 82 кгс/см<sup>2</sup> до 78 кгс/см<sup>2</sup>, а это, в свою очередь, позволило полностью закрыть байпас с всасывания второй ступени на всас первой ступени и обеспечить максимальную производительность компрессора. При давлении газа в коллекторе 600 мм в.с. и температуре газа на входе в компрессор 17 °С производительность,



приведенная к начальным условиям ( $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $1,0128\text{ кгс/см}^2$ ), составила  $4887\text{ м}^3/\text{час}$ , что соответствует паспортной производительности ( $4850\text{ м}^3/\text{час}$ ).

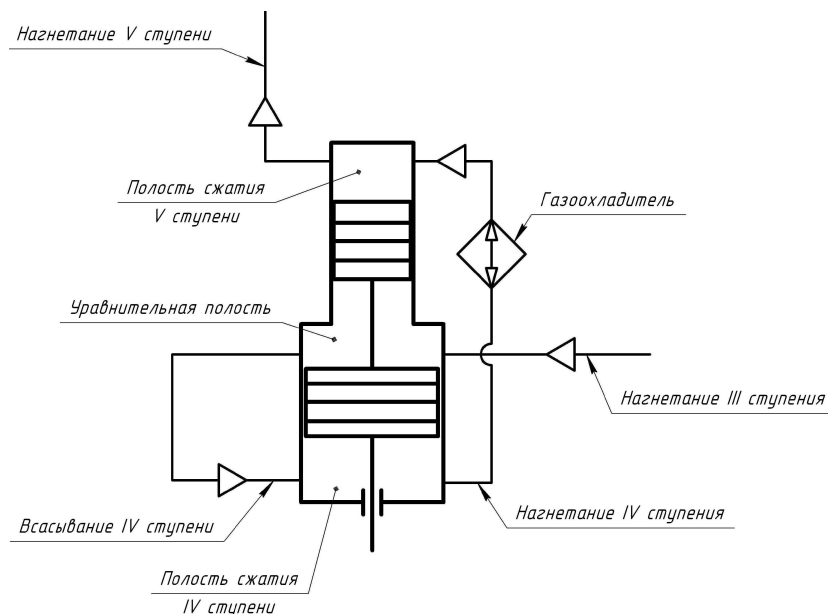


Рисунок 8 - Схема сжатия IV и V ступени

## ВЫВОДЫ

1. Работоспособность компрессора BFV-320 в результате проведенного ремонта восстановлена, производительность соответствует требованиям технической документации на компрессор.

В результате увеличения диаметра пятой ступени и перераспределения нагрузки по ступеням обеспечена работа всех ступеней при давлении нагнетания, не превышающем паспортные значения, обеспечена работа компрессора с закрытой регулирующей линией перепуска газа и, соответственно, максимальной нагрузкой.

Уплотняющие элементы поршней и уплотнений штоков из композитных самосмазывающихся материалов работоспособны, окончательные данные об их ресурсе будут получены после окончания подконтрольной эксплуатации в гарантийный период.

2. Цилиндропоршневая группа компрессора переведена на ограниченную смазку с расходом масла в соответствии с таблицей 1. Уплотнения штоков

первой и второй ступеней эксплуатируются без смазки. Полный отказ от смазки цилиндропоршневой группы оказался невозможен по следующим причинам:

- наличие механических примесей в газе на входе в компрессор, вызывающих при отсутствии смазки абразивный износ рабочих поверхностей;
- наличие влаги (конденсата) на входе в ступени, содержащей соли железа, которые, откладываясь на нагретых поверхностях и могут привести к залеганию поршневых колец в канавках;
- коррозия цилиндрических втулок, изготовленных из чугуна, при бездействии компрессора, в результате воздействия конденсата и углекислоты;
- чрезмерный нагрев штоков третьей и четвертой ступеней, повышенный износ рабочей поверхности.

3. По итогам модернизации поршневого компрессора BFV-320 можно сформулировать следующие требования по обеспечению работы без смазки ЦПГ компрессора, оснащенного уплотняющими элементами из композитных самосмазывающихся материалов, сжимающего влажный углекислый газ:

- всасывающий трубопровод компрессора должен быть изготовлен из антикоррозионного материала;
- все элементы проточной части компрессора должны быть нержавеющими;
- промежуточные влагомаслоотделители должны обеспечивать эффективное отделение влаги;
- на входе в каждую ступень должен быть установлен фильтр;
- должен быть организован эффективный отвод тепла от газовых уплотнений штоков третьей и четвертой ступеней;
- должна быть обеспечена повышенная твердость рабочих поверхностей штоков и цилиндров.

### **INCREASING PRODUCTIVITY AND TRANSFERING BFV 320 COMPRESSOR ONTO NON-LUBRICATION CONDITION**

**Roman Solodkov,  
JSC NAC AZOT,**

**Alexander Shapovalov,  
JSC Sumy Frunze NPO,**

**Alexander Borjak, Sergey Cherkashchenko,  
TRIZ Ltd**

## SUMMARY

*There represented the results of investigation work concerning increasing productivity and transferring BFV320 compressor onto non-lubrication condition at JSC NAC AZOT to provide for increasing reliability of the parts for the cylinder and piston groups, as well as increasing the piston and guide rings resource. There considered influence of the medium being compressed on the compressor operation under non-lubrication condition.*

**Keywords: increasing productivity, non-lubrication condition, piston, piston and guide rings, rod, cylinder, oil-off gland (oil taking gland), rod seal, lubricating oil system hydraulic station.**