

**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"*

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ НАГНЕТАТЕЛЯ НЕФТЯНОГО ГАЗА Н-340-81-5 В ЦЕХЕ КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА ЗАО «ЛИНИК»**

**Комисаренко С.Н.<sup>1</sup>, Борисенко В.В.<sup>2</sup> Овсейко И.В.<sup>3</sup>**

### **АННОТАЦИЯ**

*Информация о модернизации нагнетателя с целью повышения его производительности и надёжности. Краткие сведения о выполненных работах и полученных результатах. Описание конструкции применённых узлов и их преимущества. Применённые материалы.*

**Ключевые слова:** комплексная модернизация, производительность, уровень вибрации, демпферные подшипники, лабиринтные уплотнения, упругие муфты.

В настоящее время на нефтеперерабатывающих предприятиях актуальными являются вопросы модернизации производства с целью повышения качества выпускаемых продуктов, которое должно соответствовать строгим европейским стандартам, а также более эффективного использования имеющегося оборудования для увеличения объёма выпускаемой продукции при меньших энергетических затратах. В 2009 году на предприятии ЗАО «ЛИНИК» было принято решение по модернизации центробежных нагнетателей Н-340-81-5 поз. ЦК-301/1,2,р. установки каталитического крекинга Г-43-107/М 1. Нагнетатели

<sup>1</sup> Комисаренко Сергей Николаевич, зам. гл. мех., ЧАО «ЛИНИК» ТНК-ВР, 93117, г. Лисичанск -17, Украина.

<sup>2</sup> Борисенко Владимир Владимирович, механик цеха, ЧАО «ЛИНИК» ТНК-ВР, 93117, г. Лисичанск -17, Украина.

<sup>3</sup> Овсейко Игорь Викторович, гл. конструктор, ООО «ТРИЗ», ул. Машиностроителей, 1, 40020, г. Сумы, Украина.

производства ПО «Невский завод им. Ленина» предназначены для компремирования «жирного» углеводородного газа, поступающего с блока ректификации продуктов каталитического крекинга, и подачи его на блок газофракционирования. Конструктивно нагнетатель представляет собой два последовательно расположенных цилиндра ЦНД и ЦВД, передача крутящего момента на которые производится через мультипликаторы P2300/1,84 и P1700/1,95 повышающие

скорость вращения до 5500 об/мин и 10720 об/мин соответственно.

Приводом является электродвигатель 4АЗМП-3150/6000, частота вращения 2985 об/мин (рис. 1). Переход газа с нагнетания ЦНД на всасывание ЦВД без охлаждения.



Рисунок 1 - Нагнетатель Н-340-81-5

Цель выполняемой работы:

1. Обеспечить заданные в техническом задании параметры по повышению производительности и конечному давлению при штатном приводном электродвигателе;
2. Повысить надёжность работы нагнетателей применив современные технические решения и технологии;
3. Снизить затраты на обслуживание, в частности, на ремонт подшипниковых узлов, лабиринтных уплотнений и соединительных муфт;
4. Обеспечить срок межремонтной эксплуатации нагнетателей до 17200-18600 часов.

Предварительно было проведено газодинамическое обследование нагнетателей для определения их фактических параметров, метрологическое обследование (замеры проточной части, роторов, посадочных мест лабиринтных уплотнений, подшипников, соединительных муфт) для определения возможности установки модернизированных узлов.

Научно производственной фирмой «Невинтермаш» были проведены следующие виды работ:

- газодинамический и прочностной расчёты нагнетателя на параметры технического задания;
- разработка конструкторской документации и изготовление новых роторов ЦНД и ЦВД;
- разработка конструкторской документации и изготовление новой зубчатой пары редуктора НД;
- разработка конструкторской документации и изготовление части направляющих аппаратов цилиндров ВД и НД;
- разработка эксплуатационной и ремонтной документации на модернизированные нагнетатели.

Модернизация системы регулирования и антипомпажной защиты для обеспечения оптимального режима работы одновременно двух модернизированных нагнетателей.

Таблица 1 - Основные параметры нагнетателя

№	Наименование параметров	Ед. изм.	До модернизации	После модернизации
1	Производительность объёмная по сухому газу отнесённая к 293К и 0,1013 МПа	м <sup>3</sup> /мин	265	320
2	Давление конечное, абсолютное, при выходе из нагнет. патрубка	МПа	1,275	1,4
3	Давление начальное, абсолютное, при входе во всас. патрубков	МПа	0,0992	0,131
4	Температура газа на нагнетании	°С	205	205 (не более)
5	Температура газа на всасывании	°С	40	30
6	Плотность газа, отнесённая к 293К и 0,1013 МПа	кг/м <sup>3</sup>	1,7-1,9	1,8-2,1

Работа выполнялась совместно двумя фирмами: ЗАО НПФ «Невинтермаш» г. Санкт-Петербург (Россия) и ООО «ТРИЗ» г. Сумы (Украина).

Как показывает практика, наиболее эффективной является комплексная модернизация компрессорных агрегатов, включающая в себя замену

штатных подшипников, зубчатых муфт и лабиринтных уплотнений. Эти узлы оказывают существенное влияние на вибрационную и осевую устойчивость роторов, а лабиринтные уплотнения ещё и на производительность.

Поэтому ООО «ТРИЗ» традиционно выполнял разработку конструкторской документации и изготовление узлов собственной конструкции:

- демпферных подшипников для ЦНД, ЦВД, мультипликаторов и электродвигателя;
- соединительных муфт «МСК» с металлическими пакетами упругих элементов
- более эффективных лабиринтных уплотнений покрывных дисков рабочих колёс, думмисов ЦНД и ЦВД, а также концевых уплотнений для ЦВД.

Демпферные опорные и опорно-упорные подшипники типа ПД и ПДУ(рис. 2, 3), по сравнению со штатными подшипниками (рис. 4), обладают повышенной несущей и демпфирующей способностью, благодаря чему обеспечивается мягкий переход через критическую частоту. При этом уровень прецессии роторов снижается на порядок, сохраняются стабильными зазоры в лабиринтных уплотнениях. Соответственно снижаются перетоки газа по ступеням проточной части, предотвращая тем самым падение производительности. На рабочих режимах уровень вибрации в 1,5-3 раза ниже чем у штатных подшипников.

Конструктивно демпферные подшипники состоят из корпуса с тремя колодками, которые в случае повреждения можно быстро заменить во время останова агрегата (наплавка баббита и шабрение не требуются).

Заменяемые колодки растачиваются в необходимый размер на токарном станке в оправке, поставляемой в комплекте с подшипниками.



Рисунок 2 - Подшипник демпферный ПД-120  
мультипликатора Р2300/1,84

Образующаяся при работе между спинкой колодки и постелью демпфирующая масляная плёнка исключает механический контакт колодки с корпусом подшипника, благодаря чему увеличивается ресурс работы колодки. Средний срок службы демпферных колодок 5-6 лет.

Индивидуальный подвод масла в каждую колодку уменьшает общий расход смазки. Для обеспечения максимальной несущей способности после каждой колодки устанавливается скребок, эффективно снимающий с вала и отводящий на слив слой горячего масла.



Рисунок 3 - Демпферный подшипник ПД- 65 (ЦВД)

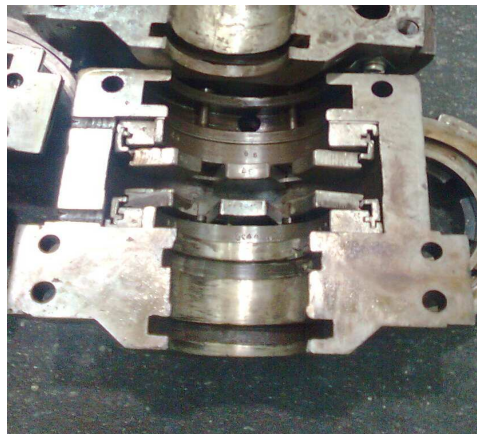


Рисунок 4 - Штатный опорно-упорный подшипник ЦВД. Опорная часть с лимонной расточкой



Рисунок 5 - Упорная часть штатного опорно-упорного подшипника ЦВД

Упорная часть штатных подшипников ЦВД (рис. 5) состоит из шести колодок, несущей способности которых оказалось недостаточно для надёжного удержания роторов от осевых сдвигов. По этой причине была спроектирована новая упорная часть с восемью колодками (рис. 6).

Несущая способность нового упорного подшипника увеличилась в сравнении со штатным на 330 кгс. Улучшено охлаждение колодок с рабочей стороны. Диаметр упорного диска не изменялся.



Рисунок 6 - Модернизированная упорная часть

Таблица 2 - Параметры упорных подшипников нагнетателя Н-340-81-5

Подшипник	ЦНД штатный	ЦНД ТРИЗ	ЦВД штатный	ЦВД ТРИЗ
Частота вращения	5500	5500	10720	10720
Несущая способность, кгс	1490	1830	2250	2580
Суммарная площадь колодок, м <sup>2</sup>	$5,9 \cdot 10^{-3}$	$7,084 \cdot 10^{-3}$	$5,9 \cdot 10^{-3}$	$7,084 \cdot 10^{-3}$
Максимальная температура в смазочном слое, °С	90,3	88,8	100,8	101,1

Демпферные подшипники электродвигателя 4А3МП- 3150/6000 выполнены реверсивными, что обеспечивает их надёжную работу независимо от направления вращения ротора. Для предотвращения электроэрозионного повреждения баббита сферическая посадочная поверхность корпуса подшипника изготовлена из электроизоляционного пластика (рис. 7).

Упорные части выполнены в виде съёмных колец, позволяющих их быструю замену.



Рисунок 7 - Подшипник электродвигателя ПДУ-120

Взамен эксплуатирувавшихся на нагнетателе Н-340-81-5 зубчатых соединительных муфт были установлены соединительные муфты производства ООО «ТРИЗ» (рис. 8, 9) типа «МСК» с пакетами металлических кольцевых упругих элементов. Муфты соответствуют требованиям стандарта АРІ 671 «Муфты специального назначения для применения в нефтеперерабатывающей промышленности».



Рисунок 8 - Муфта МСК-1100 (Эл. двигатель – мультипликатор ЦНД)



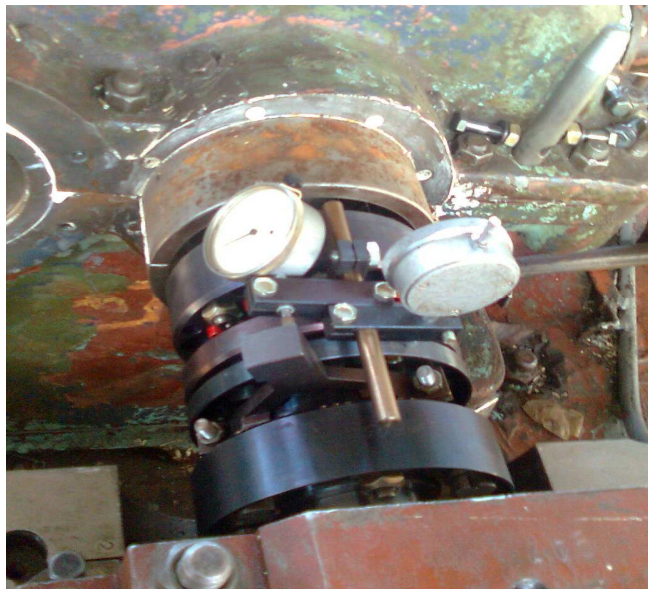


Рисунок 9 - Муфта МСК-100 (мультипликатор ЦВД – ЦВД)

Основные преимущества упругих соединительных муфт:

1. Отсутствие изнашивающихся трущихся деталей, благодаря чему не требуется смазка.
2. Наборная конструкция мембран не подвержена заклиниванию.
3. Низкие реактивные силы при пусках и на рабочих режимах.
4. Способность демпфировать вибрации передающиеся по валопроводу.
5. За счёт гибкости в осевом и угловом направлении компенсируют значительные расцентровки валов.
6. В случае разрушения пакета (при многократной перегрузке) обеспечивается передача крутящего момента до аварийной остановки агрегата.

Недостатки зубчатых соединительных муфт:

1. Требуется надёжная система смазки. При недостаточной смазке возможно заклинивание муфты с последующим разрушением.
2. Зубья подвержены износу.
3. Реактивная осевая сила на порядок выше чем у упругих муфт.
4. Меньшая компенсирующая способность при расцентровке.

Применение упругих муфт позволяет эффективно решать вопросы, связанные с дополнительными нагрузками действующими на подшипники. Так, при решении характерной проблемы осевых сдвигов роторов КВД ряда компрессоров «Вавета», на различных предприятиях химической

промышленности, было выявлено, что одной из причин увеличения осевой силы является износ зубчатой муфты. Изменение профиля зацепления и зазоров приводил к перекосу промвставки и возникновению осевых сил расталкивающих роторы в разные стороны. Осевая сила, передаваемая муфтой, возрастала с 450 до 800-1200 кгс.

По этой причине зубчатое зацепление не компенсировало и тепловое удлинение вала после прогрева и его смещение происходило в сторону несущего упорного подшипника. В такой ситуации происходил очень быстрый износ баббитового слоя упорных колодок до стали с последующим повреждением упорного диска.

Лабиринтные уплотнения. Известно, что в лабиринтных уплотнениях уменьшение зазора позволяет повысить эффективность сжатия за счёт снижения количества вредных перетоков сжимаемого газа между ступенями и исключения дополнительного подогрева газа на входе каждой ступени. Но в уплотнениях традиционной конструкции возрастает риск касания гребешков уплотнения с ротором, что приведёт к росту вибрации, повреждению лабиринтов и ротора. Решение этой проблемы возможно при использовании материала допускающего касание с вращающимся ротором. Таким является полимерный композиционный материал «РЕЕК».

Благодаря уникальным свойствам этого материала гребешки уплотнений в момент кратковременного касания с ротором могут отклоняться в сторону смещения ротора. При обратном движении ротора, гребешки возвращаются в исходное положение не повреждая поверхность ротора. Это позволяет установить минимальную величину диаметрального зазора в уплотнении в пределах зазора в опорных подшипниках. При работе на нерасчётных режимах возможно увеличение зазора за счёт истирания гребней, но без последствий для ротора.

Снижение потерь мощности, связанных с перетоками газа в лабиринтных уплотнениях, позволяет повысить производительность компрессорного агрегата от 2 до 5%. Расчётная величина повышения производительности, для нагнетателя Н-340-81-5, за счёт установки уплотнений с минимальным зазором составляет около 3% (диаметральный зазор 0,1 - 0,15 мм).

Требуемое повышение производительности по техническому заданию для модернизированного нагнетателя Н-340-81-5 составляет 17%.

Для покрывных дисков рабочих колёс ротора ЦНД лабиринтные уплотнения

были изготовлены из пластика ТЕХТРОН - рабочая температура до 110°C.

Конструктивно лабиринты выполнены ступенчатыми, с соответствующей ответной поверхностью на рабочих колёсах (рис. 10).



Рисунок 10 - Ступенчатая уплотняемая поверхность на рабочем колесе

Уплотнение думмиса комбинированное: алюминий + ТЕХТРОН (рис. 11). Гребни уплотнения выполнены в статорной части, вместо чеканки на думмисе ротора.



Рисунок 11 - Уплотнение думмиса

Лабиринтные уплотнения покрывных дисков рабочих колёс, думмиса и концевое уплотнение ЦВД также выполнены комбинированными, но со вставками из «РЕЕК» (рис. 12, 13, 14). Максимальная рабочая температура пластика «РЕЕК» составляет 250°С.

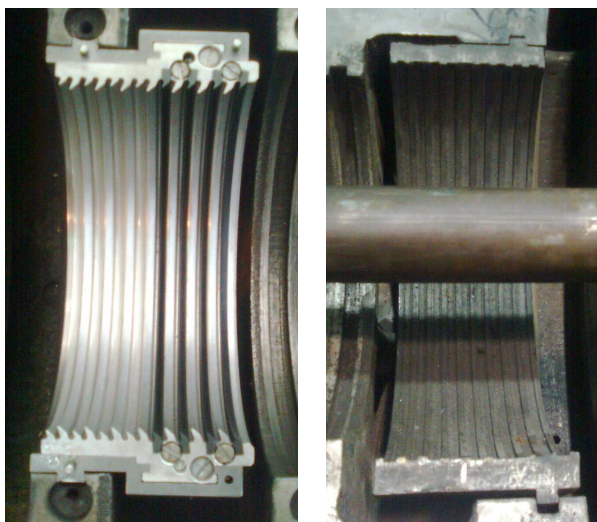


Рисунок 12 - Думмисные втулки ЦВД: новая с пластиковыми вставками (слева) и штатная (справа)



Рисунок 13 - Концевое уплотнение ЦВД

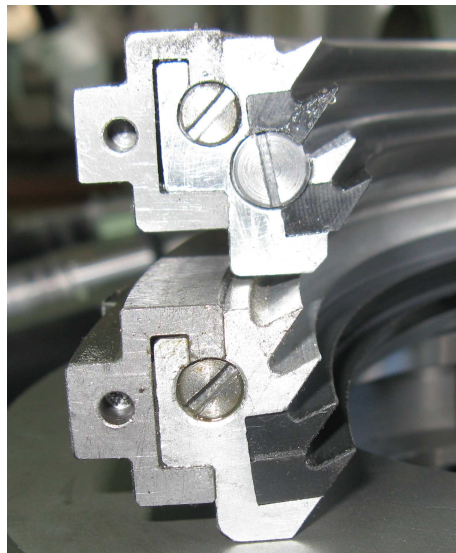


Рисунок 14 - Лабиринты покрывных дисков ЦВД

Изменение величины зазоров в лабиринтных уплотнениях в процессе эксплуатации происходит по причине повышения уровня вибрации ротора.

Повышение вибрации происходит при пусках и остановках агрегата, когда происходит переход через критическую частоту, при выходах на нерасчётный режим работы – помпаж, а также при неустойчивой работе ротора под воздействием газодинамических циркуляционных сил.

Снижение уровня вибрации в 1,5..3 раза, а при переходе через критику на порядок, обеспечивают демпферные подшипники. Их применение позволяет увеличить срок службы штатных и дорогостоящих полимерных уплотнений и сохранить стабильной производительность агрегата в течение нескольких межремонтных периодов. Одним из достоинств этих подшипников является способность выдерживать помпажные режимы без разрушения колодок, что предохраняет ротор и проточную часть от значительных повреждений.

Поэтому наибольший эффект, по повышению надёжности работы компрессорных агрегатов, достигается при комплексной модернизации.

Это совместная установка демпферных подшипников, лабиринтных уплотнений и упругих соединительных муфт, что неоднократно подтверждалось на таких агрегатах как поз.101J, 103J, 105J производства аммиака, поз.11ТК-1 производства карбамида.

В апреле 2010 года модернизированный нагнетатель Н-340-81-5 (поз.301/1) прошёл приёмочные испытания и был запущен в работу.

Параметры нагнетателя соответствовали техническому заданию.  
В октябре 2010 года был запущен в работу второй нагнетатель H-340-81-5  
(поз. 301/2).

Все установленные узлы работают надёжно, без замечаний.

## **MODERNIZING H-340-81-5 OIL GAS SUPERCHARGER IN CATALYTIC CRACKING SHOP AT JSC LNIK.**

**Sergey Komisarenko, Vladimir Borisenko,  
ChAO LNIK TNK-VR**

**Igor Ovseyko,  
TRIZ Ltd**

### **SUMMARY**

*There represented information on modernizing the supercharger for the purpose of increasing its productivity and reliability. There given brief information on executed work and obtained results. There exposed designs of applied assembly units and their advantages, as well as information on used materials.*

**Keywords: complex modernizing, productivity, vibration level, damping bearings, labyrinth seals, flexible couplings.**