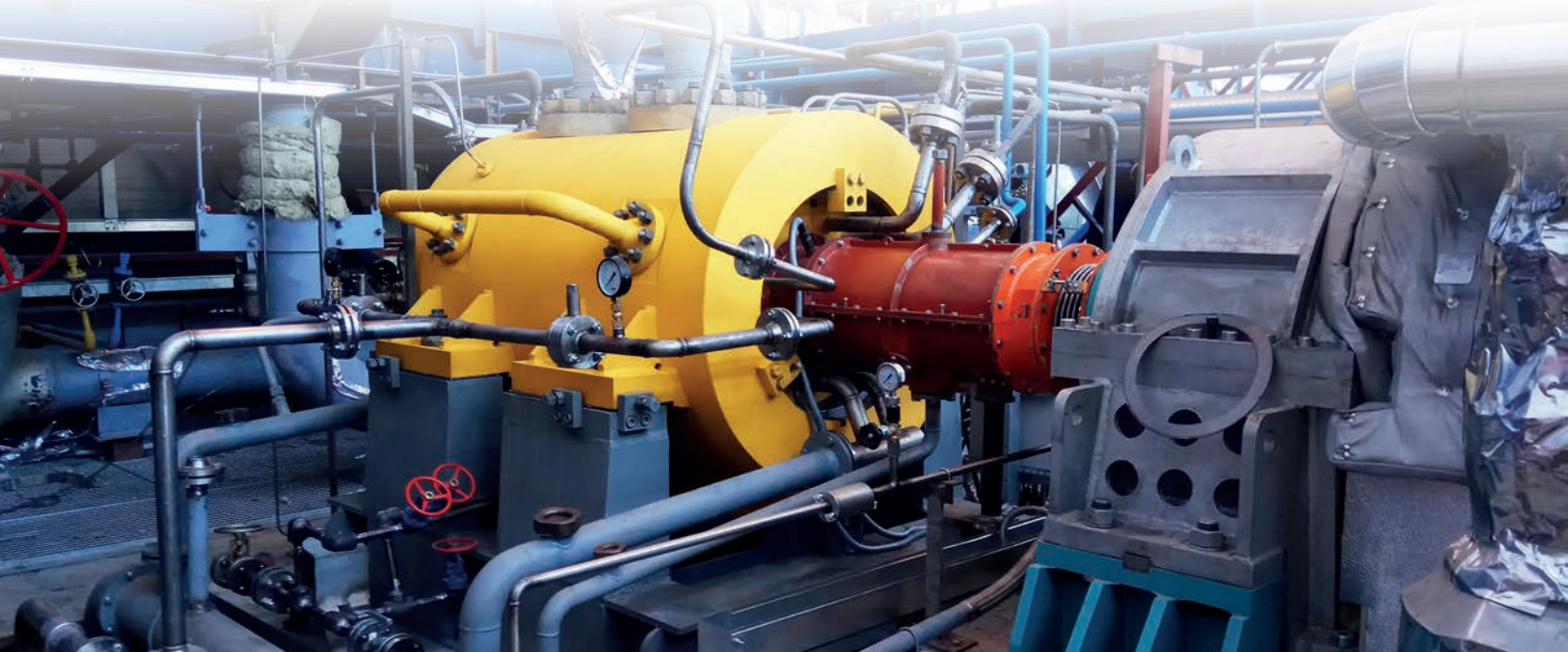


# Возможности Санкт-Петербургского АО «НПФ «Невинтермаш» по удовлетворению потребностей промышленности в центробежных компрессорных машинах и в их эффективной эксплуатации

В. Е. КУЗЬМИН, Л. В. ТИТОВА, П. В. КОРОЛЕВ, Л. К. ЧЕРНЯВСКИЙ – АО «НПФ «Невинтермаш»



АО «НПФ «Невинтермаш» основано 30 лет назад ведущими специалистами по центробежным компрессорам «Невского завода», и с тех пор специализируется в области центробежных компрессорных машин (ЦКМ), которые выгодно отличаются от других типов турбокомпрессоров (осевых и вихревых) большей надежностью.

## Направлениями деятельности фирмы являются:

1. Создание и поставка заказчикам новых ЦКМ.
2. Модернизация существующих ЦКМ (в том числе импортных) с целью увеличения их производительности, напора и КПД, либо с целью приспособления ЦКМ к сжатию газа меньшей плотности.
3. Реконструкция ЦКМ, под которой подразумевается уменьшение их производительности или напора.
4. Оперативное выяснение причин неполадок в работе эксплуатируемых ЦКМ.
5. Визуально-метрологическое обследование ЦКМ любых типов и марок для выявления и последующего устранения обнаруженных дефектов и недостатков.
6. Ремонт ЦКМ.
7. Газодинамические испытания находящихся в эксплуатации ЦКМ с целью выяснения отличия их истинных газодинамических характеристик от паспортных.
8. Оснащение газовых ЦКМ сухими газодинамическими концевыми уплотнениями вместо масляных.
9. Консультирование промышленных предприятий по насущным вопросам эксплуатации ЦКМ.

Из перечисленных направлений деятельности фирмы подробнее остановимся на четырех первых.

## Создание и поставка заказчиком новых ЦКМ

Это направление, наряду с модернизацией существующих ЦКМ, наиболее весомое в деятельности нашей фирмы.

За 30 лет мы поставили разным заказчикам несколько десятков ЦКМ восемнадцати новых марок. Созданные нами машины весьма разнообразны по газодинамическим и конструктивным параметрам. Они имеют:

- объемную производительность по начальным условиям  $Q_n = 10 \dots 2330 \text{ м}^3/\text{мин}$ ;
- конечное давление  $P_k = 0,109 \dots 15,48 \text{ МПа}$ ;
- отношение давлений  $P_k/P_n = 1,09 \dots 12,7$ ;
- сжимаемые газы – самые разные вплоть до чистого водорода;
- мощность  $N = 4,0 \dots 5130 \text{ кВт}$ ;

- число ступеней  $Z = 1 \dots 7$ ;
- частоту вращения  $n = 2900 \dots 12\,532$  об/мин;
- диаметр рабочих колес  $D_2 = 0,28 \dots 1,6$  м.

Наиболее сложная наша разработка – компрессор марки К485-61-1. Он изготовлен в двух экземплярах по заказу ПАО «Славнефть-ЯНОС» и сжимает многокомпонентный жирный нефтяной газ в установке каталитического крекинга.

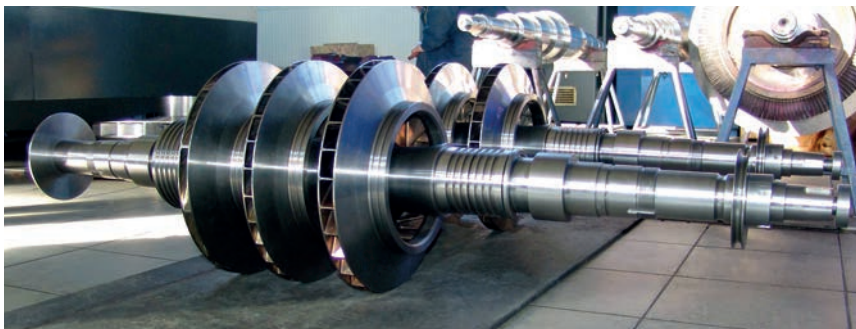
Компрессор двухцилиндровый, с двумя мультипликаторами и одним промежуточным газоохладителем типа АВО. Особенности компрессора: почти полное геометрическое подобие проточных частей цилиндров низкого и высокого давления (ЦНД и ЦВД), а также идентичность подшипников и концевых уплотнений цилиндров. В связи со второй особенностью подшипники, концевые уплотнения и концы вала ЦНД выглядят необычно миниатюрными по отношению к размерам ротора и статора ЦНД. Более подробное описание компрессора К485-61-1 приведено в [1].

Большинство созданных нами новых ЦКМ, в том числе и К485-61-1, являются компрессорами низкого и среднего давления, т.е. развиваемое ими конечное давление не превышает 10 МПа. Однако недавней своей разработкой (компрессор марки Н48-41-1) мы перешагнули этот рубеж.

Компрессор Н48-41-1 предназначен для обеспечения циркуляции водородосодержащего газа в установке гидрокрекинга с блоком разделения водорода на ПАО «Орскнефтеоргсинтез». Он в состоянии удовлетворять семи вариантам работы технологической установки. На основном варианте (режиме реакции) главные газодинамические параметры компрессора таковы:

- номинальная массовая производительность – 53320 кг/ч;
- конечное давление – 15,28 МПа;
- конечная температура – 68°C;
- политропный КПД – 84%;
- мощность – 2350 кВт;
- частота вращения ротора – 11190 об/мин.

Компрессор представляет собой 1-цилиндровую, 2-секционную, 4-ступенчатую машину без промощаждения. Диаметр рабочих колес 0,4 м. Секции расположены по отношению друг к другу оппозитно. Корпус баррельный, что абсолютно естественно при давлении больше 10 МПа.



Помимо собственно компрессора, в объем поставки заказчику вошли: чешская приводная паровая турбина с рабочим диапазоном частоты вращения 10000 – 12000 об/мин, маслосистема, система сухих уплотнений (фирмы John Crane) с панелью управления, фундаментные рамы, соединительные муфты, САУиР, система контроля вибрации и осевого сдвига с инженерной станцией для программирования, клапан ППЗ, расходомерное устройство, комплект КИП.

Компрессор успешно эксплуатируется с 2017 года.

## Модернизации существующих ЦКМ

Количество выполненных нами модернизаций еще больше, чем количество поставок вновь созданных машин. Это обусловлено тем, что заказчики, исходя из финансовых соображений, покупке новых компрессоров предпочитают модернизацию имеющихся у них в наличии.

Самая радикальная и эффективная модернизация из всех осуществленных нами – это трехкратное форсирование по напору двух чешских четырехступенчатых компрессоров марки 4RSA32 в ПАО «Славнефть-ЯНОС». Модернизация была успешно реализована за счет увеличения:

- числа ступеней сжатия с 4 до 5;
- частоты вращения ротора с 15019 до 18414 об/мин;
- выходных углов лопаток колес с 28 до 76 град;
- густоты лопаточных решеток колес с 1,1 до 2,95;
- политропного КПД с 56% до 62%.

Существенное повышение КПД (на 6%) – результат применения газодинамически более совершенных лопаточных решеток колес, диффузоров и обратноподводящих аппаратов. Определенную роль в повышении КПД сыграли новые оригинальные технические решения по проточной части, признанные Роспатентом изобретениями [2, 3].

В практическом плане модернизация каждого компрессора заключалась в замене ротора, всех основных статорных элементов проточной части, вогнутой передней крышки корпуса выпуклой крышкой (потребовавшейся вследствие удлинения проточной части), зубчатой пары мультипликатора и, разумеется, приводного электродвигателя (более мощным). Неизменными в компрессорном агрегате остались только фундаментная рама, корпус компрессора, задняя крышка корпуса с выходным устройством компрессора и обвязка.

Детальное описание данной модернизации – в нашей публикации [4].

## Реконструкции ЦКМ

В отличие от модернизаций, реконструкции ЦКМ составляют сравнительно небольшую долю в перечне наших работ. Причина этого – относительно малый спрос на реконструкцию.

Всего нами реконструировано семь компрессоров:

- отечественный воздушный компрессор К250-61-1 на Северском трубном заводе (г. Полевской);
- два японских компрессора 103-Ж на Кирово-Чепецком химкомбинате;
- компрессор 103-Ж в ОАО «Невинномысский Азот»;
- второй 103-Ж в ОАО «Невинномысский Азот» доведен нами до требований технического задания на реконструкцию, неудачно выполненную нашим конкурентом;
- компрессор К150-271-1 на Кирово-Чепецком химкомбинате, созданный «Невским заводом» и предназначенный аналогично 103-Ж для сжатия азотно-водородной смеси в крупнотоннажных производствах аммиака;
- компрессор производства «Невского завода» К180-131-1 в ОАО «Невинномысский Азот».



Наиболее сложная из выполненных реконструкций – реконструкция компрессора K180-131-1. Это двухцилиндровая, четырехсекционная, 13-ступенчатая машина. Компрессор используется в производстве метанола для сжатия водородосодержащего газа от давления в несколько атмосфер до 4,6 МПа. Основная цель реконструкции заключалась в уменьшении производительности на 20% без изменения напора.

Реконструкция была осуществлена путем замены всех колес и диффузоров компрессора новыми, отличающимися от штатных главным образом меньшей шириной. При этом ширины новых колес ЦВД сохранены прежними, так как, согласно нашим газодинамическим расчетам, углы атаки лопаток штатных колес ЦВД оказались отрицательными даже при новой, уменьшенной производительности. Эта, на первый взгляд парадоксальная ситуация объясняется тем, что утонения лопаток штатных колес ЦВД к входным кромкам были выполнены в свое время «Невским заводом» за счет задних сторон лопаток и на очень малой длине.

Контрольные газодинамические испытания реконструированного компрессора показали, что напорная характеристика компрессора в точности прошла через предписанную техническим заданием точку.

Несмотря на большой объем работ по реконструкции K180-131-1, она была выполнена менее чем за два года.

## Оперативное выяснение причин неполадок в работе ЦКМ

Данное направление деятельности АО «НПФ «Невинтермаш» осуществляют ведущие специалисты фирмы, обладающие высокой квалификацией и большим опытом работы по специальности, исчисляемым десятилетиями. К тому же, в профессиональной биографии некоторых из них – серьезные научные исследования по ЦКМ.

Вот шесть конкретных примеров, причины которых были быстро определены специалистами «Невинтермаш», в то время как штатные эксплуатационные персоналы компрессоров терялись в догадках:

1. Сильнейшая вибрация малоразмерного ЦВД баррельной конструкции в итальянском трехцилиндровом углекислотном компрессоре с  $P_k \approx 20$  МПа, эксплуатируемом в цехе карбамида АО «Азот» в г. Березники. При этом вибрация появилась после замены старого изношенного ротора ЦВД новым.
2. Систематические осевые сдвиги роторов нескольких одинаковых немецких газовых циркуляционных компрессоров с  $P_k \approx 50$  МПа, работавших в одном из цехов АО «Азот» в г. Щекино. При этом осевые сдвиги сопровождались разрушением сложных лабиринтных уплотнений саморегулирующейся упорной пяты ротора.
3. Высокая вибрация ЦВД отечественного воздушного компрессора марки K1290-121-1 в литовском АО АСНЕМА.
4. Недодача конечного давления и политропного КПД цилиндром высокого давления японского компрессора 103-J после реконструкции этого цилиндра силами российской компании.
5. Неудовлетворительная работа антипомпажной защиты вводимшегося в эксплуатацию нового импортного компрессора на одном из заводов г. Дзержинска.
6. Запредельная перегрузка по мощности и току электродвигателя, установленного Омским НПЗ для привода крупного ( $D_2 = 2,1$  м) дымососа марки НВФ-21-36Р.

На выявление специалистами «Невинтермаш» причин перечисленных неполадок затрачивалось время от 15 мин (3-я и 4-я неполадки) до одной недели (1-я и 2-я неполадки). На выявление причин 5-ой и 6-ой неполадок ушло по 4 часа, причем в случае 6-ой неполадки даже без выезда нашего специалиста на место эксплуатации проблемного агрегата.

## Заключение

АО «НПФ «Невинтермаш», обладая квалифицированными кадрами, большим опытом работы и солидной производственной базой, в состоянии удовлетворить многие актуальные потребности отечественных предприятий в ЦКМ.

Мы работаем главным образом на нефтехимию и нефтепереработку. Однако с не меньшим успехом мы можем выполнять заказы других областей промышленности, таких как газовая, металлургическая и машиностроительная отрасли.

В соответствии с нашими технологическими возможностями, нам под силу разработка и поставка заказчиком новых ЦКМ, а также модернизация или

реконструкция существующих, включая импортные ЦКМ, со следующими газодинамическими и конструктивными параметрами:

- объемная производительность по начальным условиям  $Q_n$  – от 10 до 3000 м<sup>3</sup>/мин;
- конечное давление  $P_k$  – до 20 МПа;
- политропный КПД ступеней  $\eta_{пол}$  – вплоть до 86%;
- мощность  $N$  – в пределах мощности существующего или доступного приводного двигателя;
- сжимаемый газ – любой;
- число ступеней  $Z$  – оптимальное для каждой конкретной ЦКМ;
- частота вращения роторов  $n$  – до 25 000 об/мин;
- диаметр рабочих колес  $D_2$  – от 0,28 до 2,0 м;
- окружная скорость колес  $U_2$  – до 340 м/с.

## ЛИТЕРАТУРА:

1. Спирин Н. Ю. и др. Из опыта поставок новых и модернизаций существующих центробежных компрессоров по заказам нефтепереработки и нефтехимии // Сборник докладов научно-технической конференции «Современная машиностроительная продукция и материалы, обеспечивающие стабильную работу, модернизацию и ремонт оборудования на нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятиях». – М. НТЦ при СГМ, 2005, С. 62–68.
2. Патент Российской Федерации № 2403453. Ступень центробежной турбомашини.
3. Патент Российской Федерации № 2484311. Входной радиально-осевой конфузор центробежной ступени.
4. Белозерцев Д. Л. и др. Трехкратное форсирование по напору центробежных компрессоров 4RSA32 в ОАО «Славнефть-ЯНОС» // Труды международного симпозиума «Потребители-производители компрессоров и компрессорного оборудования», 2010, С. 49–52.



**НЕВИНТЕРМАШ**

**АО «НПФ «Невинтермаш»**  
**197198, Санкт-Петербург,**  
**пр. Добролюбова, д. 11Е, пом. 147**  
**тел. (812) 677-07-71**  
**e-mail: mail@nimturbo.ru**  
**www.nimturbo.ru**