

Реконструкции и модернизации центробежных компрессоров, выполненные ЗАО «НПФ «Невинтермаш»

В.Е. Кузьмин, А.Н. Примак, Л.К. Чернявский (ЗАО «НПФ «Невинтермаш»)

Кратко описаны реконструкции и модернизации отечественных и импортных центробежных компрессоров шести марок с целью изменения их производительности и напора. Перечислены основные технические решения по изменению проточной части, обеспечившие получение требуемых параметров сжатия компрессоров.

Ключевые слова: центробежный компрессор, реконструкция, модернизация, производительность, напор, проточная часть.

The most significant reconstructions and modernizations of centrifugal compressors, executed JSC «SIF «Nevintermash»

V.E. Kuzmin, A.N. Primak, L.K. Chernyavsky

They are briefly described reconstructions and modernizations of six marks Russian and import centrifugal compressors for the reason change their capacity and pressure. Every time main technical decisions are enumerated in order change the flow part, provided reception wanted parameters of the compressors.

Key words: centrifugal compressor, reconstruction, modernization, capacity, pressure, flow part.

Поступающие в ЗАО «НПФ «Невинтермаш» запросы промышленных предприятий часто содержат просьбу изменить в ту или другую сторону производительность и/или напор компрессора, находящегося в эксплуатации. Каждый такой запрос тщательно прорабатывается фирмой, прежде всего с целью нахождения оптимальных технических решений, которые позволят обеспечить требуемые параметры сжатия. Итогом проработки обычно является конкретное технико-коммерческое предложение заказчику по реконструкции или модернизации компрессора (под модернизацией в данной статье подразумевается такая реконструкция, которая позволяет увеличить производительность, напор или КПД компрессора). Иногда вместо такого предложения заказчик получает мотивированный отказ, что имеет место в тех случаях, когда требуемые новые значения параметров сжатия чрезмерно превосходят паспортные величины, и обеспечить их без замены корпуса компрессора не представляется возможным.

За 17 лет деятельности НПФ «Невинтермаш» накоплен солидный опыт реконструкций и модернизаций центробежных компрессоров. Выполнено 20 таких реконструкций и модернизаций. Рассмотрим наиболее значимые из них.

Реконструкция японских компрессоров 103-Ж.

Эти очень мощные компрессоры работают почти во всех крупнотоннажных производствах аммиака России и выполняют две функции. Первая функция – дожатие азото-водородной смеси от 2,5 МПа до давления в колонне синтеза аммиака (по первоначальному проекту – до 32 МПа). Вторая функция – обеспечение циркуляции смеси газов в технологическом конту-

ре. Дожатие смеси осуществляется 26 ступенями, сгруппированными в четыре секции и три цилиндра (низкого, среднего и высокого давления – ЦНД, ЦСД, ЦВД). Это – основная часть компрессора. Циркуляция смеси обеспечивается одной дополнительной ступенью, которая конструктивно объединена в ЦВД с последней дожимающей секцией. Привод компрессора – паровая турбина мощностью 31 МВт при номинальной частоте вращения ~11 270 об/мин.

Главная цель реконструкций компрессоров 103-Ж состояла в большом (во всех заказах разном) уменьшении конечного давления как основной части компрессора, так и циркуляционной ступени. Дополнительной задачей являлась коррекция объемной производительности обеих частей компрессора. Потребность в этих реконструкциях возникла в связи с модернизацией колонн синтеза аммиака, при которой было понижено давление синтеза и, следовательно, конечное давление обеих частей компрессора.

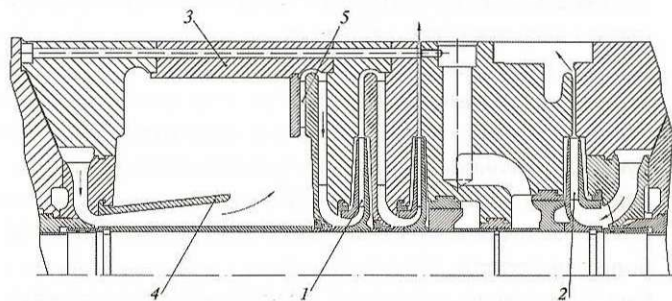


Рис. 1. Реконструированная проточная часть ЦВД компрессора 103-Ж для Кирово-Чепецкого химкомбината: 1 – оставшиеся дожимающие ступени; 2 – циркуляционная ступень; 3 – проставок; 4 – обтекатель; 5 – специальный направляющий аппарат



Задачи реконструкции «НПФ «Невинтермаш» каждый раз решала достаточно простым и недорогостоящим способом – реконструкции подвергали только ЦВД. При этом из последней дожимающей секции удаляли несколько первых ступеней, вместо них монтировали простые статорные узлы: обтекатель, проставок, специальный направляющий аппарат (рис. 1). Последний обеспечивал безударный вход потока в лопаточную решетку обратно-направляющего аппарата, оставшегося от последней удаленной ступени. Реконструкция циркуляционной ступени сводилась к подрезке ее колеса по наружному диаметру или к замене колеса новым, обеспечивающим требуемые напор и производительность ступени.

Опыт длительной эксплуатации реконструированных фирмой четырех компрессоров 103-У (по две реконструкции на Кирово-Чепецком химкомбинате и в ОАО «Невинномысский Азот») показал правильность примененных технических решений. Потребляемая мощность по сравнению с мощностью при возможной работе компрессора без реконструкции на пониженной частоте вращения уменьшилась на 0,4...0,6 МВт в зависимости от параметров назначения, указанных в технических заданиях на реконструкции.

Реконструкция компрессора К 250-61-1

Реконструкция этого отечественного компрессора общего назначения в отличие от реконструкций компрессоров 103-У преследовала цель умеренного (на 20%) снижения конечного давления и очень большого (на 40%) уменьшения производительности.

Предварительные газодинамические расчеты различных возможных способов получения требуемых сниженных параметров сжатия показали, прежде всего, что простейший способ (дросселирование воздуха на всасывании) нерационален из-за большой потребляемой мощности. При уменьшении частоты вращения ротора компрессора путем замены зубчатой пары мультипликатора можно было бы получить приемлемую мощность, но при этом был бы недостаточный запас до помпажа (8%). Поэтому было решено реконструировать проточную часть компрессора.

По согласованию с заказчиком (Северский трубный завод) из нескольких возможных вариантов реконструкции проточной части был выбран самый простой: демонтаж наиболее расходной первой ступени (рис. 2) и замена второй ступени новой, менее расходной, но более напорной. На место демонтированной ступени был установлен статорный обтекатель, обеспечивающий упорядоченный подвод воздуха от штатной всасывающей камеры компрессора к первому колесу. Остальные четыре ступени компрессора не подвергались никаким изменениям.

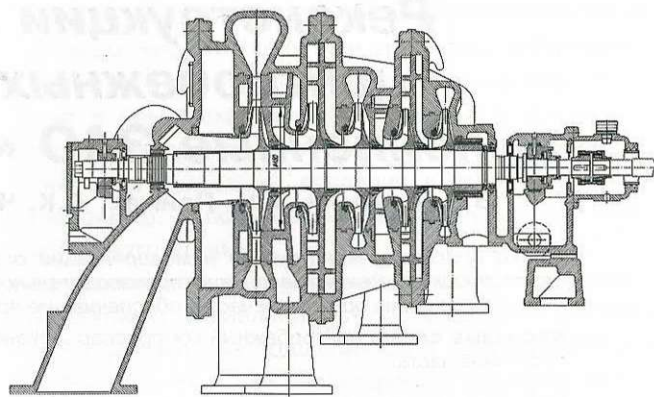


Рис. 2. Продольный разрез реконструированного компрессора К 250-61-1

Сравнение газодинамических характеристик реконструированного компрессора, полученных при контрольных испытаниях, с паспортными характеристиками компрессора К 250-61-1 показало, что после реконструкции изотермный КПД компрессора несколько снизился. Это – естественный результат, поскольку большое уменьшение производительности достигнуто сравнительно малыми изменениями проточной части.

Реконструкция компрессора К 180-131-1

Этот двухцилиндровый, четырехсекционный, 13-ступенчатый электроприводной компрессор используют в производстве метанола для дожатия водородсодержащего газа от давления в несколько атмосфер до давления 46 ата (4,6 МПа).

Основная газодинамическая цель реконструкции заключалась в уменьшении производительности на 20% без изменения напора. Кроме того, заказчик (ОАО «Невинномысский Азот») выставил следующие дополнительные требования:

- заменить выработавшие свой ресурс роторы и корпуса обоих цилиндров;
- оснастить оба цилиндра компрессора сухими газовыми концевыми уплотнениями;
- реконструировать систему смазки агрегата;
- модернизировать систему КИП и А, а также противопомпажную защиту;

Газодинамическая задача уменьшения производительности при сохранении напора компрессора могла быть решена только реконструкцией проточной части. Эта реконструкция была осуществлена путем замены колес ЦВД и всех диффузоров компрессора новыми, отличающимися от штатных главным образом меньшей шириной. Новые колеса ЦВД в отличие от колес ЦНД не выполняли более узкими, так как согласно газодинамическим расчетам углы атаки лопаток штатных колес

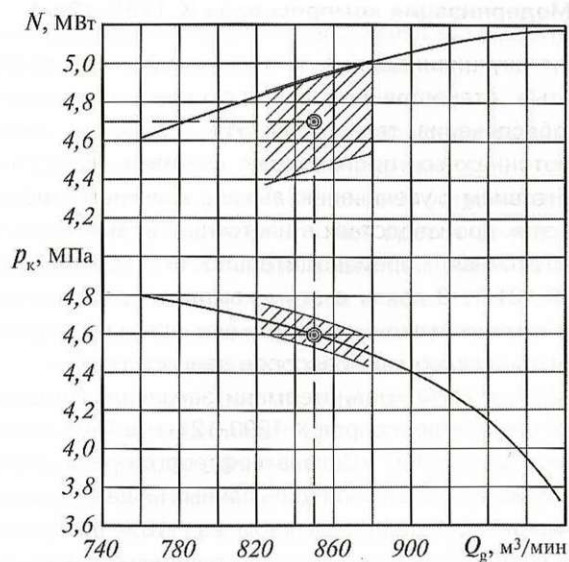


Рис. 3. Соответствие экспериментальных газодинамических характеристик реконструированного компрессора К 180-131-1 требованиям технического задания (⊙ – режим по ТЗ на реконструкцию; заштрихованы поля допусков по ТЗ); Q_g – объемная производительность при нормальных условиях

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 выполнены за счет их задних сторон и на очень малой длине.

Контрольные газодинамические испытания реконструированного компрессора засвидетельствовали редкий случай: напорная характеристика компрессора прошла в точности через предписанную техническим заданием точку (рис. 3).

Несмотря на большой объем работ, реконструкция компрессора К 180-131-1, включая монтаж у заказчика и контрольные испытания, была выполнена менее чем за два года.

Модернизация чешского компрессора 5 RSA 56

Данный пятиступенчатый неохлаждаемый компрессор обеспечивает циркуляцию газовой смеси углеводородов с водородом по технологическому контуру установки риформинга бензина на нефтеперерабатывающих заводах.

Цель модернизации компрессора (заказчик – Саратовский НПЗ) заключалась в увеличении объемной производительности на 13% и напора на 20%.

Из двух в принципе возможных вариантов форсирования компрессора (повышение частоты вращения и модернизация проточной части) по согласованию с заказчиком предпочтение было отдано второму варианту.

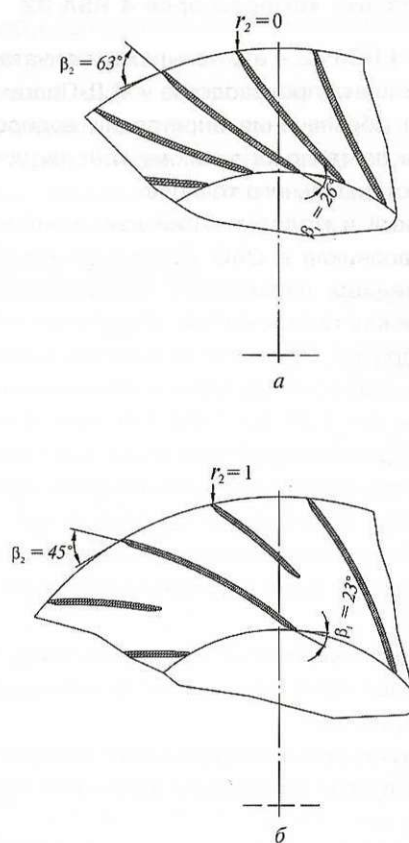


Рис. 4. Новая (а) и штатная (б) лопаточные решетки колес компрессора 5RSA56

Первый вариант был отклонен из-за пониженного КПД, опасного увеличения напряжений в штатных колесах, повышения скоростей в ходовой части и значительной стоимости изготовления новой зубчатой пары мультипликатора (вследствие очень больших размеров и массы ведущего колеса).

С целью уменьшения затрат на модернизацию проточной части было решено заменять только наиболее ответственные ее элементы – колеса и диффузоры. Форсирование компрессора было достигнуто в основном за счет увеличения в колесах нового ротора выходного угла лопаток (с 45 до 63°), входного угла лопаток (с 23 до 26°) и густоты лопаточной решетки (от 1,9 до 2,8), рис. 4.

Наряду с мероприятиями, направленными на повышение напорности и расходности колес, были также приняты меры к исключению десяти изначальных недостатков штатной проточной части, выявленных при предварительном обследовании ее.

Подробный доклад о модернизации компрессора 5 RSA 56 был представлен на XII международном симпозиуме «Потребители–производители компрессоров и компрессорного оборудования» [1].

Модернизация компрессоров 4 RSA 32

Компрессор 4 RSA 32 – это четырехступенчатая неохлаждаемая машина производства «ЧКД-Прага», используемая для обеспечения циркуляции водородсодержащего газа по технологическому контуру установок гидроочистки дизельного топлива.

Необходимость в модернизации двух компрессоров 4 RSA 32 возникла в ОАО «Славнефть-ЯНОС» в связи с изменением параметров технологического процесса установок гидроочистки. Изменения состояли главным образом в резком увеличении содержания водорода в газе (с 70 до 90%) и отношения давлений в контуре (от 1,37 до 1,44). По этой причине потребовался втрое больший напор при слегка меньшей объемной производительности компрессоров.

Необходимость трехкратного форсирования компрессора по напору обусловила радикальную модернизацию всего агрегата. Были заменены следующие элементы агрегата:

- штатная четырехступенчатая проточная часть компрессора – новой пятиступенчатой с более напорными колесами (рис. 5);
- передняя вогнутая крышка баррельного корпуса компрессора – выпуклой вследствие удлинения проточной части;
- зубчатая пара мультипликатора – парой с большиим передаточным отношением, обеспечивающим повышение частоты вращения нового ротора с 15 019 об/мин (паспортная) до 18 414 об/мин;
- приводной электродвигатель – более мощным ($N = 1$ МВт).

Подробности этой модернизации изложены в работе [2]. В результате контрольных испытаний было установлено, что модернизированный компрессор удовлетворяет всем требованиям заказчика.

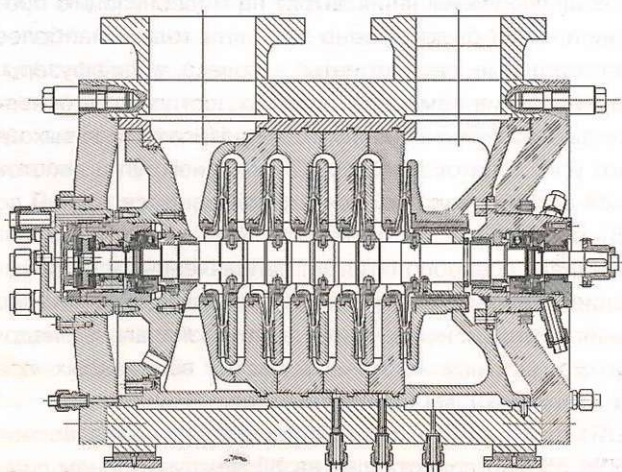


Рис. 5. Продольный разрез модернизированного компрессора 4RSA32

Модернизация компрессоров К 1290-121-1

Эти двухцилиндровые четырехсекционные 12-ступенчатые отечественные компрессоры применяются для обеспечения технологическим воздухом многих крупнотоннажных производств аммиака. Основным препятствием к увеличению выхода конечного продукта на этих производствах в настоящее время является недостаточная производительность компрессора К 1290-121-1. В связи с этим компрессоростроительные фирмы получали и продолжают получать запросы на модернизацию компрессоров данного типа.

К 2010 г. НПФ «Невинтермаш» закончила модернизацию трех компрессоров К 1290-121-1: в ОАО «Кемеровский Азот», ОАО «Салаватнефтеоргсинтез» и ОАО «Тольяттиазот». Основная цель данных модернизаций – увеличение производительности на ~18% по сравнению с паспортной и на ~25% по сравнению с фактической. Кроме того, планировалось несколько повысить конечное давление и значительно снизить температуру воздуха на выходе из последней секции компрессора.

Поставленные заказчиками задачи были решены путем модернизации проточной части компрессора. При этом были увеличены:

- входные углы лопаток всех рабочих колес;
- ширина колес на их наружных диаметрах (в среднем на 7%);

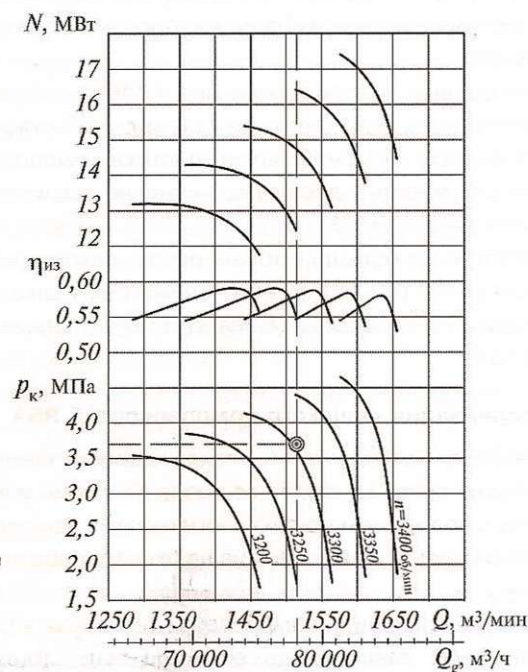


Рис. 6. Экспериментальные газодинамические характеристики компрессора К 1290-121-1, модернизированного для ОАО «Тольяттиазот» при паспортных начальных условиях и различной частоте вращения и приводной турбины (⊙ – режим по ТЗ на модернизацию)



- выходные углы лопаток колес в ЦНД (в ЦВД эти углы, наоборот, были несколько уменьшены);
- наружный диаметр первых двух колес;
- углы атаки лопаток колес на расчетном режиме (до небольших положительных значений).

Дополнительно к перечисленному устранялись многочисленные недостатки штатной проточной части.

На практике при каждой модернизации была осуществлена замена обоих роторов и всех 12 диффузоров компрессора. Одновременно пришлось несколько модернизировать приводную паровую турбину для обеспечения мощности, достаточной для привода компрессора после повышения его параметров сжатия. Модернизация турбины заключалась в увеличении расхода пара путем установки дополнительных пакетов сопловых и направляющих лопаток, а также путем увеличения хода регулирующих паровых клапанов.

Первая модернизация компрессора К 1290-121-1 (Кемеровский «Азот») подробно освещена в работе [3]. Идентичные между собой модернизации в ОАО «Сала-

ватнефтеоргсинтез» и ОАО «Тольяттиазот» отличаются от кемеровской модернизации большей форсированностью проточной части в соответствии с необходимостью обеспечения несколько большего конечного давления и расхода. На рис. 6 представлены газодинамические характеристики модернизированного компрессора по результатам контрольных испытаний в ОАО «Тольяттиазот».

Список литературы

1. Галеев Д. М., Спирин Н. Ю., Чернявский Л.К., Горбачев М.И., Королев П.В., Королева Е.А. Повышение показателей назначения и эксплуатационных качеств центробежного компрессора 5 RSA 56//Тр. XII междунар. симп. «Потребители-производители компрессоров и компрессорного оборудования – 2006». СПб.: СПб ГПУ, 2006.
2. Белозерцев Д.Л., Горбачев М.И., Королева Е.А., Кузьмин В.Е., Примак А.Н., Чернявский Л.К. Трехкратное форсирование по напору центробежных компрессоров 4 RSA 32 в ОАО «Славнефть-ЯНОС»//Тр. XV междунар. симп. «Потребители-производители компрессоров и компрессорного оборудования – 2010». СПб.: СПб ГПУ, 2010.
3. Ковалевский Н.И., Кузьмин В.Е., Спирин Н.Ю., Чернявский Л.К. Увеличение на 25% производительности компрессора К 1290-121-1 для крупнотоннажных производств аммиака//Компрессорная техника и пневматика. 2009. № 1.