

Особенности работы многоступенчатого двухпоточного центробежного компрессора с изменяемой частотой вращения на переходных режимах

И.Г. Хисамеев, А.Г. Сафиуллин, И.Ф. Хуснудинов,
Я.З. Гузельбаев, А.Т. Лунев, В.Е. Макаров (ЗАО «НИИТурбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа»);
Ф.К. Халиуллин (ОАО «СибурТюменьГаз»)

В статье приведен расчетный анализ взаимного влияния газодинамических характеристик многоступенчатого двухпоточного центробежного компрессора на примере турбоприводного компрессорного агрегата 66ГЦ-1162/1,3-38 ГТУ, изготовленного в ОАО «Казанькомпрессормаш» и введенного в эксплуатацию в ОАО «Южно-Балыкский ГПК», г. Пыть-Ях.
Ключевые слова: двухпоточный центробежный компрессор, газодинамические характеристики, запуск, останов, вывод в сеть, согласование секций (ступеней), помпаж.

Special features of multistage double-flow variable speed compressor operation in transient conditions
I.G. Hisameev, A.G. Safiullin, I.F. Husnudinov, Ya.Z. Guzelbaev, A.T. Lunev, V.E. Makarov, F.K. Haliullin
The article presents the analysis of reciprocal influence of gas-dynamic characteristics of multistage double-flow centrifugal compressor considering a specific example of turbine-driven compressor unit 66ГЦ-1162/1,3-38 ГТУ manufactured at JSC «Kazancompressormash» and commissioned at JSC «Yuzhno-Balyksky GPK», Pyt-Yakh.
Key words: double-flow centrifugal compressor, gas-dynamic characteristics, start-up, shut-down, bringing to the gas system, mismatch of sections (stages), surge.

Компрессорное оборудование является высокоэнергоемким и дорогостоящим оборудованием, оно обеспечивает протекание технологических процессов, и поэтому к надежной работе этого оборудования предъявляются повышенные требования. При этом данное оборудование не является отдельным, обособленным элементом технологической цепочки. Оно связано со всем технологическим оборудованием, в связи с чем надежность и стабильность работы его можно рассматривать только в совокупности с работой данных технологических элементов или же газового тракта.

В настоящее время основным компрессорным оборудованием на нефтехимических и нефтеперерабатывающих предприятиях являются центробежные компрессоры. Современные компрессоры – это сложные многоступенчатые машины, которые могут состоять из нескольких корпусов сжатия. При этом каждый корпус также может содержать несколько секций, а каждая секция содержит от 1 до 12 ступеней сжатия (рабочих колес).

Процессы запуска и останова центробежных компрессоров характеризуются высокой динамичностью и нестационарностью. Они отличаются кратковременностью, многофакторностью, трудно поддаются математическому описанию. Одновременное изменение параметров компрессора и динамических свойств сети, связанное с переключением регулирующей, запорной и отсечной арматуры; увеличением (уменьшением) частоты вращения ротора; параллельной или последова-

тельной работой секций или корпусов сжатия компрессора вызывают определенные трудности при выполнении оперативного анализа указанных процессов, особенно при вынужденных (аварийных) остановах компрессора со сбросом технологического газа на факел или на свечу. Отключение привода, но продолжающаяся работа сжатия газа на выбеге ротора с постоянно изменяющейся динамической характеристикой сети приводят к нерасчетным условиям работы компрессора. Таким образом, запуск и вывод на рабочий режим таких многосекционных высоконапорных компрессоров представляет собой сложный процесс, так как требует учета взаимодействия как самих секций компрессора между собой, так и их взаимодействия с газовым трактом, включающим систему трубопроводов с запорной и регулирующей арматурой и различными технологическими емкостями [1].

Одним из таких компрессоров является турбоприводный компрессорный агрегат 66ГЦ-1162/1,3-38ГТУ (рис. 1) с приводом от газотурбинного двигателя мощностью 16 МВт, спроектированный ЗАО «НИИТурбокомпрессор им В.Б. Шнеппа» и изготовленный в ОАО «Казанькомпрессормаш». Компрессор состоит из двух корпусов и четырех секций. Первый корпус низкого давления (КНД) состоит из двух параллельно работающих секций по три ступени сжатия в каждой. Второй корпус высокого давления (КВД) состоит также из двух последовательно работающих секций по четыре ступени в каждой. Привод компрессора осуществляется газовой турбиной НК-16СТ через мультиплликатор с пере-





Рис. 1. Турбоприводный компрессорный агрегат 66ГЦ-1162/1,3-38ГТУ

даточным отношением 1,36. Данный компрессор предназначен для компримирования низконапорного попутного нефтяного газа, поступающего с месторождений ООО «РН-Юганскнефтегаз», а также смеси газов второй ступени и концевых ступеней сепарации нефти с Мамонтовской ЦПС до давления 3,774 МПа для дальнейшей его переработки на УПГ-1 и УПГ-2. Место установки – ОАО «Южно-Балыкский ГПК» (г. Пыть-Ях, Тюменская область).

В ходе пусконаладочных работ и особенно при первых запусках компрессора 66ГЦ-1162/1,3-38ГТУ возникли сложные ситуации с выводом его на рабочий ре-

жим. При работе на режиме «холостой ход» газотурбинного двигателя при частоте вращения свободной турбины $\sim 3\ 500$ об/мин (частота вращения ротора компрессора соответственно $4\ 760$ об/мин) возникал помпаж одной из параллельно работающих секций КНД. В результате происходило повышение вибрации компрессора, а также повышение температуры на входе/выходе одной из параллельно работающих секций КНД до $90/150^\circ\text{C}$. Все это не позволяло проводить дальнейший набор частоты вращения и выход на коченчное расчетное давление. При этом байпасный клапан, установленный на нагнетании компрессора, после третьей секции был полностью открыт. Упрощенная схема подключения компрессора приведена на рис. 2. Газовый тракт компрессора включает систему газопроводов, холодильники газа, сепараторы, обратный клапан, байпасный клапан, аптипомпажное сопло и сужающее устройство на выходе с необходимыми датчиками замера параметров газового потока.

В связи с тем, что в ходе эксплуатации начальные параметры газа могут меняться, данный компрессор должен обеспечивать работоспособность в достаточно широком диапазоне как по расходу и изменению состава газа, так и по давлению и температуре на входе в компрессор. Также надо отметить, что указанный компрессорный агрегат работает в условиях изменения плотности газа от ступени к ступени, поэтому в процессе сжатия на нерасчетных режимах может про-

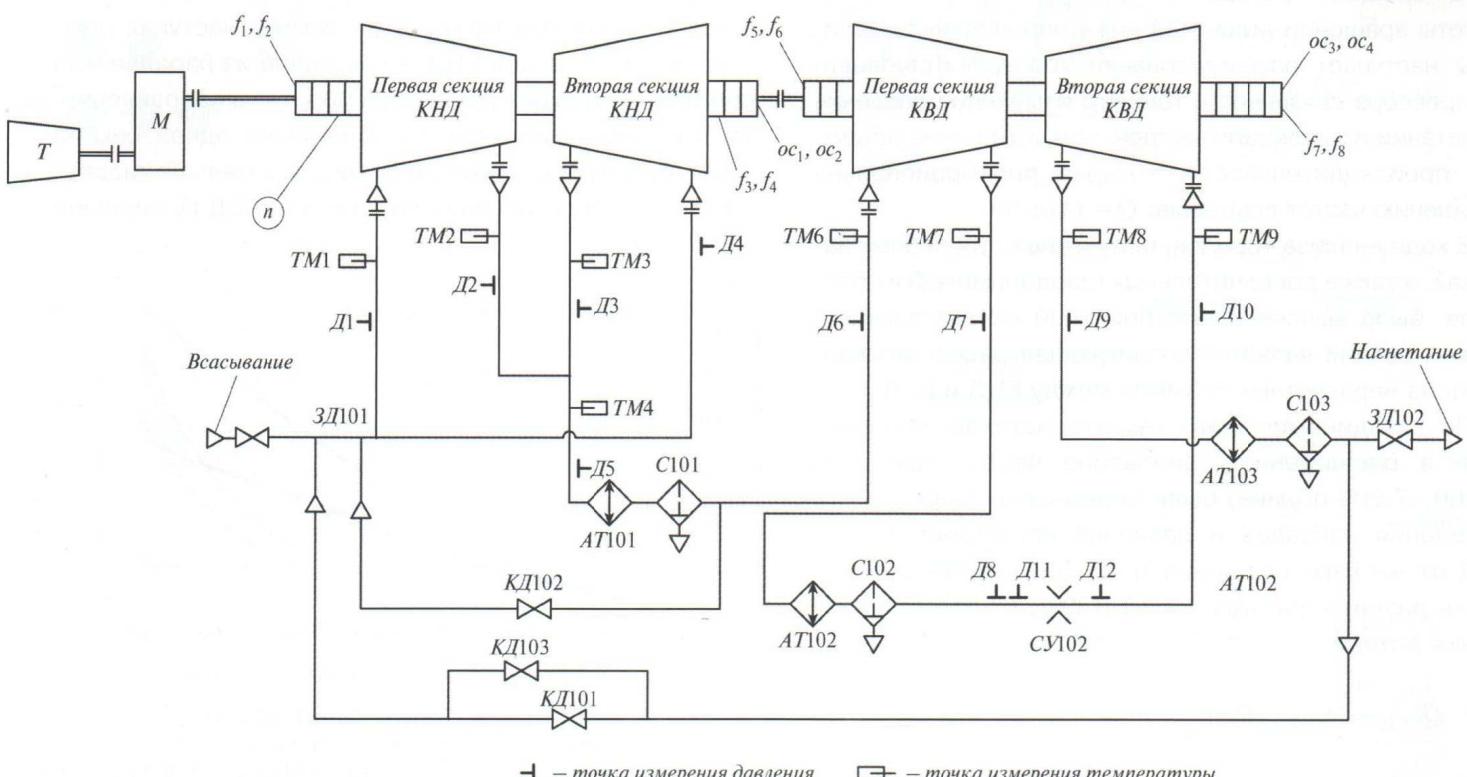
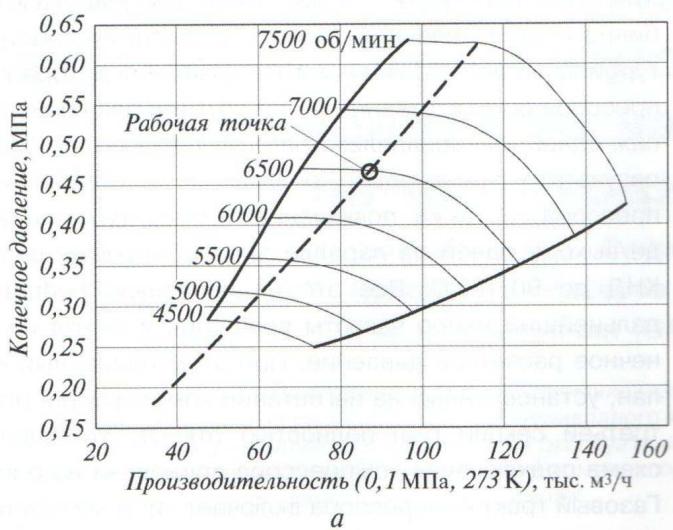
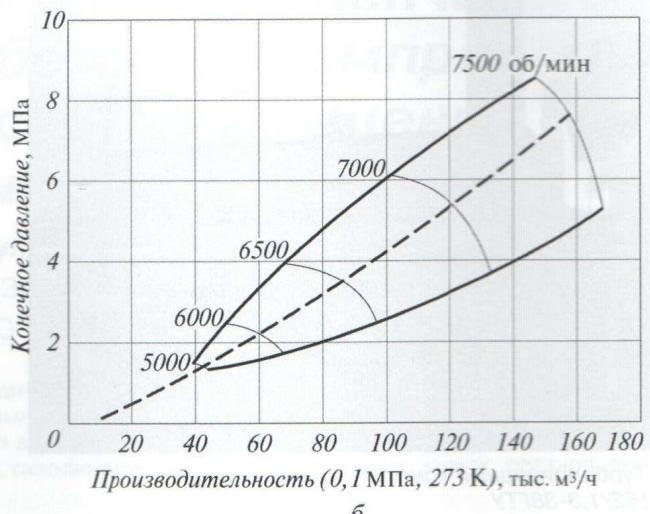


Рис. 2 Газовая схема компрессорного агрегата 66ГП-1162/1 3-38ГТУ



a



б

Рис. 3. Характеристика КНД (а) и КВД (б) компрессорного агрегата 66ГЦ-1162/1,3-38ГТУ

изойти рассогласование ступеней, что связано с несоответствием параметров на входе в ступень с расчетными интервалами для данных ступеней.

При работе КНД в диапазоне расходов от Q_{\min} до Q_{\max} КВД должен работать в соответствующем диапазоне расходов – от $Q_{\min} \rho_{\text{кнд}} / \rho_{\text{квд}}$ до $Q_{\max} \rho_{\text{квд}} / \rho_{\text{кнд}}$ (ρ – плотность газа на входе в КНД и КВД) [2]. Плотность газа на входе в КВД зависит от давления нагнетания КНД, при этом давление нагнетания зависит от политропного напора, который пропорционален квадрату отношения частоты вращения ротора: $H = H_0(n_0/n)^2$. При изменении частоты вращения выше или ниже определенной величины наступает рассогласование корпусов (ступеней) компрессора связанное с тем, что изменение давления нагнетания происходит быстрее, чем изменение объемной производительности, которая пропорциональна отношению частот вращения: $Q = Q_0(n_0/n)$.

В ходе анализа трендов, полученных при первых запусках, а также дополнительных газодинамических расчетов, было выяснено, что причиной начала помпажа первых секций является возникающая рассогласованность на нерасчетных режимах между КНД и КВД.

По газодинамическим характеристикам компрессора в расширенном диапазоне частот вращения (4 500...7 500 об/мин) были определены зависимости изменения расходов и давления нагнетания КНД и КВД от частоты вращения (рис. 3), а также зависимость разницы расходов КНД и КВД от частоты вращения ротора:

$$dQ = Q_{\text{кнд}} - Q_{\text{квд}} = F(n).$$

График совместной работы КНД и КВД компрессорного агрегата 66ГЦ-1162/1,3-38ГТУ приведен на рис. 4.

Из графика видно, что оба корпуса могут устойчиво работать, обеспечивая одинаковую пропускную способность только в узком диапазоне частоты вращения, начиная с 6 200 об/мин и выше (заштрихованный участок).

На основе газодинамических характеристик секций КНД и КВД (см. рис. 3) и зависимости производительности корпусов компрессора от частоты вращения, можно заключить, что расход через КВД при частоте вращения ротора компрессора, близкой к 4 000...4 500 об/мин, в 2 раза меньше расхода через КНД. По этой причине в указанной области происходило резкое повышение давления между корпусами и наступал помпаж одной из секций КНД. Газ в одной из параллельно работающих секций двигался в обратном направлении, так как гидравлическое сопротивление одной секции КВД (три ступени сжатия) оказывалось меньше гидравлического сопротивления двух секций КВД (8 ступеней



Рис. 4. График совместной работы КНД и КВД компрессорного агрегата 66ГЦ-1162/1,3-38ГТУ:

- 1 – максимум производительности КНД;
- 2 – минимум производительности КНД;
- 3 – максимум производительности КВД;
- 4 – минимум производительности КВД



сжатия). В результате обратного тока газа в одной из секций КНД расход КНД уменьшился соответственно в 2 раза, а также в результате помпажа возникли резкие колебания давления на нагнетании КНД и, соответственно, на входе в КВД. Все это приводило и к помпажу КВД. При этом надо отметить, что первоначально помпаж мог наступить как в одной, так и в другой секции КНД.

На основе изложенного анализа газодинамических характеристик секций КНД и КВД и трендов аварийных остановов для дальнейшей безопасной эксплуатации турбокомпрессорного агрегата 66ГЦ-1162/1,3-38ГТУ специалистами ЗАО «НИИТК» было предложено:

- внести изменения в газовый тракт турбокомпрессора, в частности, ввести дополнительные байпасные клапаны: на КНД установить отдельный байпасный клапан (КД102), на КВД установить дополнительный байпасный клапан (КД103).

- в САУ агрегата ввести алгоритм управления байпасными клапанами в зависимости от частоты вращения, а также сократить время выхода на рабочие частоты вращения до минимально возможного.

Реализация этих мероприятий позволила в дальнейшем обеспечить устойчивую и надежную эксплуатацию агрегата на всех режимах работы.

Таким образом, при проектировании компрессоров необходимо в обязательном порядке на основе расчетных газодинамических характеристик проводить анализ работы каждой из секции и взаимосвязи их в процессе работы на переменных режимах с учетом положения байпасных клапанов.

Список литературы

1. Хисамеев И.Г., Максимов В.А, Баткис Г.С., Гузельбаев Я.З. Проектирование и эксплуатация промышленных центробежных компрессоров. Казань: Изд. «ФЭН», 2010.

2. Рис В.Ф. Центробежные компрессорные машины. Л.: Машиностроение, 1981.

Компания Atlas Copco вошла в список крупнейших инновационных компаний мира

Стокгольм, Швеция, 18 ноября 2011 г.: Компания Atlas Copco включена в новый список 100 крупнейших инновационных компаний в мире, составленный всемирным информационным агентством Thomson Reuters и основанный на изучении интеллектуальной собственности компаний, получивших за последние три года одобрение 100 или более патентных заявок. Компании, уделяющие наибольшее внимание инновациям, были определены на основании успешности их патентных заявок, спектра областей, к которым относятся патенты, а главное – на основания влияния этих патентов на изобретения, сделанные другими компаниями. Отметим, что в этом году Atlas Copco уже вошла в списки крупнейших инновационных компаний мира, опубликованных «Форбс» и «Уолл-Стрит Джорнал».

КОМПОЗИТ-ЭКСПО

5-я международная специализированная выставка
28 февраля - 1 марта 2012

Москва,
МВЦ Крокус Экспо
павильон 1, зал 1

ОСНОВНЫЕ РАЗДЕЛЫ:

- Сырье для производства композитных материалов, компоненты: смолы, добавки, термопластики, углеродное волокно и т.д.
- Стеклопластик, углепластик, базальтопластик, древесно-полимерный композит (ДПК), искусственный камень, искусственный мрамор, металлокомпозиты, нанокомпозиты, биокомпозиты и т.д.
- Промышленные (готовые) изделия из композитных материалов и их применение в авиационно-космической отрасли, автомобилестроении, кораблестроении, секторе железнодорожного транспорта и других отраслях промышленности
- Оборудование и технологическая оснастка для производства композитных материалов
- Измерительное и испытательное оборудование

ДЕЛОВАЯ ПРОГРАММА:

В рамках выставки проводится Пятая научно-практическая конференция «Современное состояние и перспективы развития производства и использования композитных материалов в России»

Оргкомитет: «Выставочная компания «Мир-Экспо»

Россия, 115533, Москва, проспект Андропова, 22

Тел./факс: 8 499 618 05 65, 8 499 618 36 83 | compo@mirexpo.ru | www.mirexpo.ru

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА:



Организаторы:

Выставочная компания
«Мир-Экспо»

Мир-Экспо

Союзкомпозит
Союз производителей композитов

