

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАГНЕТАТЕЛЯ В УСЛОВИЯХ КОМПРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА

УДК
622.691.4.052

CHOICE OF OPTIMUM SEQUENCE OF DIAGNOSING OF A CENTRIFUGAL SUPERCHARGER IN THE CONDITIONS OF COMPRESSOR STATION OF THE MAIN GAS PIPELINE

Целью этого исследования является повышение точности диагностики центробежных нагнетателей (ЦБН) входящих в состав газоперекачивающих агрегатов (ГПА), используемых для компримирования природного газа на компрессорных станциях магистральных газопроводов. Техническое состояние центробежного нагнетателя необходимо определять для обоснованного назначения сроков и объемов ремонта, а также для обеспечения эффективной эксплуатации газоперекачивающего оборудования и устойчивой работы этого узла.

The purpose of this research is the increasing of the accuracy of diagnostics of centrifugal superchargers which are a part of gas-compressor plants, which are used for compression of natural gas at compressor stations of a gas main. Definition of a technical condition of centrifugal superchargers is necessary for well-founded appointment of terms and volumes of repair, and also for maintenance of effective operation of the equipment and for steady work of this knot.

А.Г. Ванчин

РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина

A.G. Vanchin

**Russian state university of oil and gas
of name of I. M.Gubkin**

Ключевые слова: диагностика, транспорт природного газа, характеристика центробежного нагнетателя, коэффициент технического состояния, техническое состояние, газоперекачивающий агрегат, экспресс метод диагностики.

Keywords: diagnostics, transport of natural gas, the characteristic of a centrifugal supercharger, factor of a technical condition, a technical condition, a gas-compressor plant, a proximate method of diagnostics.

Краткое рассмотрение существующего положения дел по проблеме диагностики ЦБН

Знание технического состояния ЦБН необходимо для создания эффективной системы ремонтов, обеспечения эффективной и устойчивой работы этого узла [3].

Коэффициент технического состояния (КТС) по политропическому КПД ЦБН [5] определяется как отношение фактического политропического КПД ЦБН к эталонной величине политропического КПД ЦБН, взятом из приведенных характеристик этого ЦБН, при том же приведенном расходе.

$$K_{\text{полЦБН}} = \eta_{\text{полЦБНфакт}} / \eta_{\text{полЦБНэталон}} \quad (1)$$

Проблемы в применении этого соотношения связаны с использованием приведенных характеристик ЦБН при определении эталонной величины политропического КПД ЦБН. Погрешности при этом могут достигать 5%.

Рассмотрим кратко некоторые аспекты проблемы повышения точности при использовании характеристик ЦБН в целях диагностики.

Основным вопросом в этом направлении является достоверность характеристик. Один из подходов при создании атласа фактических характеристик ЦБН ГПА изложен в работе [11]. Пересчет и согласование паспортных характеристик ЦБН может производиться на основе «Методических указаний по проведению теплотехнических и газодинамических расчетов при испытаниях газотурбинных газоперекачивающих агрегатов» [12] следующим образом. Определяются коэффициенты уравнения состояния и рассчитываются теплофизические свойства природного газа согласно [13]. Определяется совокупность входных измеряемых параметров, необходимых для уточнения атласа характеристик. Далее по найденной совокупности значений определяются и согласовываются уточненные паспортные характеристики [15]. В целях минимизации влияния случайных ошибок измерений параметров ЦБН производится статистическая обработка данных. Получение более точных альбомных характеристик ЦБН лишь отчасти снимает вопрос, так как остается проблема несоответствия индивидуальных характеристик ЦБН альбомным.

В работах [6] и [8] в числе прочих вопросов автор рассматривается проблема уточнения характеристик ЦБН, при этом обосновывается необходимость учета «сдвига» не только графиков $\eta_{\text{пол}}$ и $\epsilon_{\text{пр}}$, но также и характеристики приведенной внутренней мощности, а следовательно, и приведенной разности энтальпий газа в ЦБН. Также, в целях повышения точности, автор предлагает использовать для расчета показателей ЦБН с выходным дав-

лением более 5,5 МПа вместо соотношений модели «идеального пара» уравнения политропических процессов с переменным показателем политропы. Этот же автор рассматривает проблему применимости уравнений состояния различных типов к области, характерной для работы газопроводов, в своей работе [9] и, в связи с этим методологию более точного построения приведенных характеристик ЦБН [7]. Применение вышеизложенного может дать существенное увеличение точности определения расчетных величин по ЦБН, а значит, повысится точность методов диагностики, в которых эти величины используются.

В публикации [14] сделан анализ информативности параметров работы ГПА, традиционно используемых при оперативной оценке эффективности работы ГПА. В частности, показано, что при использовании с этой целью приведенной характеристики ЦБН в условиях, когда режим работы ЦБН соответствует пологому участку напорной характеристики $\epsilon=f(Q, n)$, погрешность определения давлений приводит к существенному увеличению погрешности определения производительности ЦБН. В связи с этим, поиск рабочей точки ЦБН на характеристике по величине степени сжатия и приведенной относительной частоте вращения ЦБН может сопровождаться существенными погрешностями.

Неточность в определении рабочей точки ЦБН на характеристике приводит к неточности определения эталонной величины политропического КПД ЦБН, которая фигурирует в формуле (1), по которой определяется КТС по политропическому КПД ЦБН.

Кроме этого, на точность определения эталонной величины политропического КПД ЦБН с использованием приведенных характеристик ЦБН влияет точность самих характеристик.

В ряде случаев при сравнении реальных и альбомных характеристик ЦБН было зафиксировано их существенное расхождение [2]. Расхождения обнаруживаются и при сравнении альбомных и заводских мелкосерийных характеристик ЦБН. На рисунке 1 для сравнения представлены графики КПД ЦБН из заводских приведенных газодинамических характеристик центробежного нагнетателя НЦ-16/76-1.44, заводской номер 190 и график этого же показателя представленный в «Альбоме характеристик центробежных нагнетателей природного газа», ВНИИГАЗ [1].

Сравнение этих графиков показывает, что политропический КПД ЦБН на индивидуальной заводской характеристике во всем диапазоне ниже аналогичной кривой из альбома характеристик в среднем на 2-3%. Например, максимальный политропический КПД ЦБН в альбоме характеристик равен 85,5%, а в индивидуальной заводской характеристике – 83%.

Однако в заводской характеристике отсутствует график зависимости приведенной внутренней мощности от приведенного расхода, что потребует при ее использовании дополнительных вычислений по сравнению со стандартными характеристиками, такими как в издании [1].

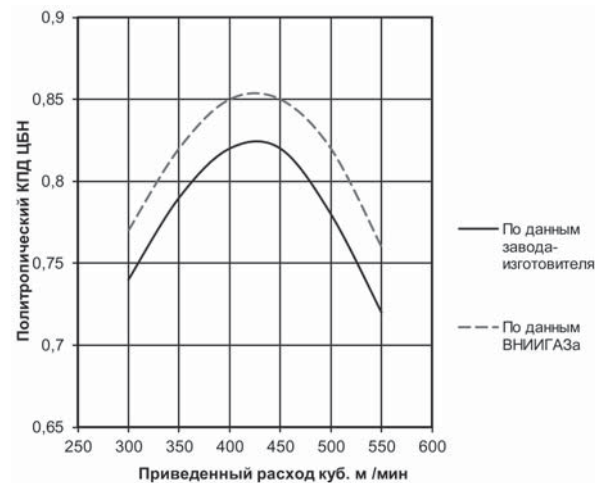


Рисунок 1. Графики КПД ЦБН НЦ-16/76-1.44 по данным завода-изготовителя и по данным ВНИИГАЗа.

Общие выводы по обзору можно сделать следующие.

Применение существующих методов уточнения характеристик ЦБН может дать существенное увеличение точности определения расчетных величин по ЦБН, а значит, повысится точность методов диагностики, в которых эти величины используются.

Однако, дополнительное увеличение точности могут дать:

1. Отказ от определения рабочей точки на характеристике ЦБН по величине степени сжатия и приведенной относительной частоте вращения ЦБН особенно в условиях, когда режим работы ЦБН соответствует пологому участку напорной характеристики.
2. Использование индивидуальных заводских приведенных газодинамических характеристик ЦБН, при их наличии.
3. Увеличение точности определения мощности, например — с помощью бесконтактных измерителей крутящего момента.

Описание предлагаемого порядка диагностики ЦБН

Практика эксплуатации нагнетателей показывает [5], что в эксплуатационных условиях сдвиг характеристики ЦБН, определяющей зависимость относительной приведенной внутренней мощности от приведенного расхода, незначителен. Он зависит от преобладающего влияния тех или иных неисправностей проточной части ЦБН. По полному напору из-за износа уплотнения покрывающего диска сдвиг

происходит в сторону увеличения, а по адиабатическому напору, из-за эрозии лопаток рабочего колеса и диффузора, сдвиг происходит в сторону уменьшения [4]. В процессе эксплуатации, как правило, указанные дефекты развиваются одновременно и их влияния взаимно компенсируются, что приводит к стабильности графика относительной приведенной внутренней мощности. Существование этой особенности дает возможность использовать график относительной приведенной внутренней мощности из приведенных характеристик для расчетов по ЦБН с изменившимся техническим состоянием.

Этот факт, а также определение эффективной мощности с помощью БИКМ, дающих возможность непосредственно определять эффективную мощность ГПА, а также возможность повышения точности диагностики ЦБН.

Указанные возможности реализованы в предлагаемой последовательности диагностирования ЦБН:

1. Рассчитывается фактическое значение политропического КПД ЦБН по параметрам работы ЦБН.
2. Определяется значение эффективной мощности ГТУ по показаниям БИКМ.
3. По величине эффективной мощности ГТУ рассчитывается относительная приведенная внутренняя мощность и по ее величине определяется эталонное значение политропического КПД ЦБН из приведенной характеристики ЦБН. При отсутствии графика зависимости приведенной внутренней мощности от приведенного расхода эталонное значение политропического КПД ЦБН определяется из приведенной характеристики ЦБН по величине приведенного расхода, вычисляемого по формулам (2), представленным в методике ВНИИГАЗа [10]:

$$Q = \frac{N_i}{1.635 \cdot \frac{k}{k-1} \cdot \frac{P_{вс}}{0,0981} \cdot \frac{\Delta t}{T_{вс}}}; Q_{пр} = Q \frac{n_{ном}}{n}, \quad (2)$$

где Q – объемная производительность по условиям входа в ЦБН (м³/мин); N_i – внутренняя мощность ЦБН (кВт); k – показатель адиабаты (вычисляется способом, описанным методике [10]); P_{вс} – давление на входе ЦБН (МПа); Δt – перепад температур в нагнетателе (°C); T_{вс} – температура на входе ЦБН (°K); n_{ном} – номинальная частота вращения ротора ЦБН (1/сек); n – фактическая частота вращения ротора ЦБН (1/сек); Q_{пр} – приведенная объемная производительность ЦБН по условиям входа в ЦБН (м³/мин).

4. Определяется КТС ЦБН как отношение фактического и эталонного значений политропического КПД ЦБН с использованием формулы (1).

Предлагаемая последовательность диагностики ЦБН проиллюстрирована на рисунке 2. При этом показано использование заводских приведенных

характеристик ЦБН при диагностике ЦБН как в случае, если в них представлен график относительной приведенной мощности, так и в случае, если этот график отсутствует.

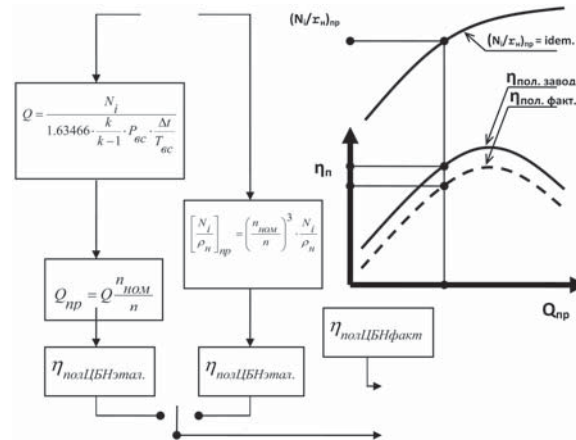


Рисунок 2. Использование заводских приведенных характеристик ЦБН при диагностике ЦБН в случае, если в них представлен график относительной приведенной мощности, и в случае, если этот график отсутствует.

Были проведены экспериментальная проверка разработанной методики и сравнение результатов расчетов с известными эксплуатационными данными по ГПА. Результаты расчетов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты расчетов по диагностированию ЦБН на основе измеренных параметров работы ГПА-Ц-16 №1,2,3,4

№п/п	Обозначение и размерность расчетного параметра	Величины расчетных параметров по каждому ГПА			
		ГПА №1	ГПА №2	ГПА №3	ГПА №4
1. Результаты расчетов по параметрам работы ЦБН методом определения разности энтальпий и потенциальных функций.					
1.1.	η _{пол} ЦБН, %	83,1	83,0	82,8	82,2
2. Результаты расчетов с использованием приведенных характеристик ЦБН по графику приведенной относительной внутренней мощности.					
2.1.	η _{пол} ЦБН эталон, %	83,5	83,2	83,0	83,5
2.2.	K _{ηпол} ЦБН, %	99,5	99,8	99,8	98,4
3. Результаты расчетов с использованием приведенных характеристик ЦБН по рассчитанной величине приведенной объемной производительности.					
3.1.	η _{пол} ЦБН эталон, %	83,8	83,5	83,0	83,8
3.2.	K _{ηпол} ЦБН, %	99,2	99,4	99,8	98,1

В п.1. таблицы 1 приведены результаты расчетов КПД ЦБН методом определения разности энтальпий с использованием методики кафедры термодина-

мики и тепловых двигателей РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина. [9].

В п.2. таблицы 1 представлены результаты расчетов предлагаемой последовательности диагностики ЦБН с использованием заводских приведенных характеристик ЦБН для случая, если в них представлен график относительной приведенной мощности. Даны значения политропического КПД ЦБН и КТС по политропическому КПД ЦБН, определенные как отношение КПД ЦБН, рассчитанного в п.1. таблицы 1, к КПД ЦБН, взятому из п. 2.1. таблицы 1.

В п.3. Таблицы 1 показаны результаты предлагаемой последовательности диагностики ЦБН с использованием заводских приведенных характеристик ЦБН при диагностике ЦБН для случая, если в них отсутствует график относительной приведенной мощности. При этом производился расчет приведенного расхода по формуле (2) с использованием величины эффективной мощности, определенной по БИКМ. Даны значения политропического КПД ЦБН и КТС по политропическому КПД ЦБН, определенные как отношение КПД ЦБН, рассчитанного в п.1. таблицы 1, к КПД ЦБН взятому из п. 3.1. таблицы 1.

Результаты расчетов показали, что КТС по политропическому КПД ЦБН в среднем по рассматриваемым ГПА составляет 99,2%. Этот факт подтверждается опытом ремонтных работ этих ЦБН ГПА-Ц-16 на КС. При обследовании и инструментальных обмерах во время ремонтов этих ГПА проточных частей ЦБН не было выявлено существенных загрязнений проточной части, эрозионного разрушения лопаток центробежного колеса, увеличения зазоров в уплотнениях покрывного диска центробежного колеса или каких либо других явлений, которые могли бы послужить причиной значительного снижения показателей эффективности работы рассматриваемых ЦБН.

На рисунке 3 и рисунке 4 представлены диаграммы, построенные по данным из таблицы 1.

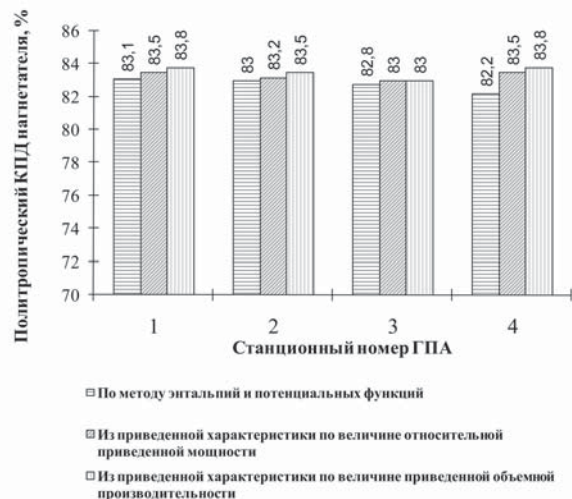


Рисунок 3. Результаты расчетов по определению политропического КПД нагнетателей на основе измеренных параметров работы ГПА-Ц-16 на КС.

По всем ГПА величина $\eta_{пол}$ ЦБН для текущего состояния, определенная по параметрам работы ЦБН методом расчета энтальпий и потенциальных функций, меньше, чем эталонные значения $\eta_{пол}$ ЦБН, определенные обоими способами по приведенным характеристикам ЦБН при том же приведенном расходе газа через нагнетатель (рисунок 3). Это объясняется некоторым ухудшением технического состояния ЦБН в процессе эксплуатации.

Результаты расчетов по приведенным характеристикам ЦБН через график относительной приведенной мощности близки результатам расчетов через график приведенной объемной производительности (рисунок 3 и рисунок 4).

При рассмотрении диаграмм на рисунке 3 и рисунке 4 можно проследить также то, что различия между рассчитанными величинами носят систематический характер и проявляются одинаково на всех ГПА. Для исключения данной систематической погрешности, при оценке изменений КТС по политропическому КПД, в процессе эксплуатации нужно сравнивать два состояния нагнетателя, расчеты по которым произведены одним и тем же способом.

Выводы

1. Предложен алгоритм диагностирования проточной части ЦБН, предусматривающий использование БИКМ и заводских характеристик ЦБН, дающий возможность повысить точность определения КТС ЦБН.

2. Результаты практического использования предложенного алгоритма показали соответствие определенных КТС данным, полученным при обследовании вскрытых ЦБН при ремонте.

3. Разработанный алгоритм приспособлен для практического использования эксплуатационным персоналом в условиях КС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Альбом характеристик центробежных нагнетателей природного газа. М.: ВНИИГаз, 1989. 87 с.
2. Бикчентай Р.Н., Дашунин Н.В., Аристов В.Н. Опыт использования параметрической диагностики газоперекачивающих агрегатов в предприятии «Мострансгаз». М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 1998. С. 142-145.
3. Ванчин А.Г. Использование диагностики технического состояния центробежного нагнетателя в системе антипомпажного регулирования // Новые технологии в газовой промышленности: тез. докл. 4-й всеросс. конф. молодых ученых, специалистов и студентов по пробл. газовой промышленности в России, (Москва, сентябрь 2001г.). М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2001. С. 24-25.
4. Зарицкий С.П., Лопатин А.С. Диагностика газоперекачивающих агрегатов. М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2003. -Ч. 1. 177 с.
5. Козаченко А.Н. Эксплуатация компрессорных станций магистральных газопроводов. М.: Нефть и газ, 1999. 463с.
6. Лопатин А.С. Научные основы создания системы диагностического обслуживания газотранспортного оборудования компрессорных станций: дисс. ... докт. техн. наук, М.: 1998. 336 с.
7. Лопатин А.С. Построение и корректировка приведенных характеристик центробежных нагнетателей // Магистральные и промысловые трубопроводы: проектирование, строительство, эксплуатация, ремонт: науч. техн. сб. М.: ГАНГ им. И.М. Губкина, 1997. - №4. С. 18-22.
8. Лопатин А.С. Разработка методов термогазодинамической диагностики газотурбинных газоперекачивающих агрегатов на компрессорных станциях магистральных газопроводов: дис. ... канд. техн. наук. М., 1984. 197 с.
9. Лопатин А.С. Термодинамическое обеспечение энерготехнологических задач трубопроводного транспорта природных газов. М.: Изд. «Нефтяник», 1996. 82 с.
10. Методика по определению производительности нагнетателей для электроприводных КС по параметрам нагнетателей и привода (СТД-4000-2, СТМ-4000-2, СТД-12500. М.: Изд. ВНИИГаз, 1990. 25 с.
11. Методология создания атласа фактических характеристик ЦБН ГПА ДК «Укртрансгаз» // Сборник докладов двенадцатой международной деловой встречи «Диагностика 2002» в Турции. М.: РАО ГАЗПРОМ, 2002. -Т.2; Ч. 2. С. 9-17.
12. Методические указания по проведению теплотехнических и газодинамических расчетов при испытаниях газотурбинных газоперекачивающих агрегатов. М.: ОАО ГАЗПРОМ ВНИИГаз, 1999. 51 с.
13. Теплотехнические расчеты процессов транспорта и регазификации природных газов: справоч. пособие. / Загорученко В.А, и др. М.: Недра, 1980. 320 с.
14. Юкин Г.А. Диагностирование режимов работы газотурбинных установок КС. //Газовая пром-сть. 2002. №11. С. 61-62.
15. Використання альбомних характеристик при розрахунках показни-ків ВЦН. Бруев І.В., Прищепо О.О., Ільченко Б. І., Лівшиць В.Л., Ізмалков Б.І. Київ.: Нафтова і газова промисловість. № 1. 2001. С. 34-35.

*Ванчин А.Г., докторант кафедры «Термодинамика и тепловые двигатели», РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина
Vanchin A.G., doctor's degree candidate of chair «Thermodynamics and thermal engines», I.M. Gubkin's RSU of oil and gas
e-mail: alex_vanchin@mail.ru*