

НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ

Применение осерадиальных рабочих колес с пространственными лопатками в центробежных компрессорах в составе ГПА с высокооборотными ГТД

В. К. Юн, А. С. Рейдер – АО «РЭП Холдинг»

Увеличение частоты вращения ротора турбокомпрессорных агрегатов дает возможность уменьшить массогабаритные показатели, тем самым заставляет проектировать высокооборотные проточные части не только осевых компрессоров, но и центробежных, эксплуатирующихся преимущественно на магистральных газопроводах и дожимных компрессорных станциях на месторождениях газа.

Мировая статистика позволяет сделать вывод: чем выше мощность ГТД, тем обычно ниже частота вращения ротора СТ (рис. 1). На фото 1 приведены высокооборотные ГТД мощностью 16 МВт (7800 об/мин), 25 МВт (6300 об/мин) и 32 МВт (5714 об/мин).

Однако опыт зарубежных производителей показывает, что, несмотря на большую мощность ГТД,

частота вращения ротора СТ имеет также большие значения. Высокие обороты СТ не позволяют эффективно применять центробежные компрессоры с рабочими колесами (РК) с цилиндрическими лопатками (2D), так как расход Q и, следовательно, коэффициент расхода φ_{r2} традиционных для отечественных центробежных компрессоров с РК с 2D-лопатками имеют небольшие значения (0,1...0,3) на оптимальном

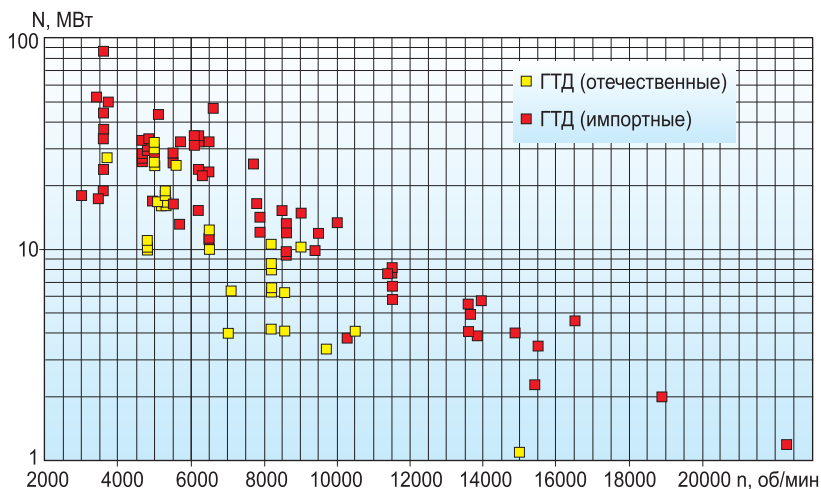


Рис. 1. Зависимость мощности ГТД от частоты вращения силовой турбины

режиме. В этом случае приходится идти на увеличение относительной ширины $b_2 = b_2/D_2$ рабочего колеса ($> 0,07$), что согласно рекомендациям [Рис В. Ф.] нежелательно, так как снижается эффективность ступени, то есть политропный КПД становится ниже, чем у обычных РК со «средней» относительной шириной b_2 (0,03...0,07). К сожалению, такой опыт был получен при проектировании сменной проточной части (СПЧ) центробежного компрессора Н400 в составе ГПА-32 «Ладога» на КС «Вавожская» (фото 2). Согласно техническому заданию необходимо было спроектировать проточную часть с объемной производительностью 780 м³/мин по условиям всасывания и со степенью сжатия 1,38 на конечное давление 7,45 МПа. Частота вращения ротора СТ у ГТД MS5002E составляет 5714 об/мин, что сильно отличается от аналогичных ГТД отечественных производителей мощностью 25 МВт, например от ГТН-25 (ЗАО «Невский завод») с частотой вращения 3000 об/мин. По всем требованиям и расчетам целесообразнее было применить высокорасходные высокоскоростные РК, чем РК с цилиндрическими лопатками (2D). Однако на тот момент опыт применения РК с 3D-лопатками отсутствовал, и пришлось идти на вариант РК с цилиндрическими лопатками (2D), но с «широкой» относительной шириной $b_2 = 0,09$ и низконапорной характеристикой $\beta_{2л} = 32^\circ$. В результате проведенных на стенде завода, а затем на компрессорной станции газодинамических испытаний получили низкую эффективность СПЧ на оптимальном режиме. Отметим, что по политропному напору, следовательно, по степени сжатия ϵ параметры были выполнены.

Исследовательские работы по совершенствованию проточных частей центробежных компрессоров на предприятии «РЭП Холдинга» продолжались в направлении создания высокоэффективных осерадиальных РК с 3D-лопатками. Был изготовлен и испытан на модельных

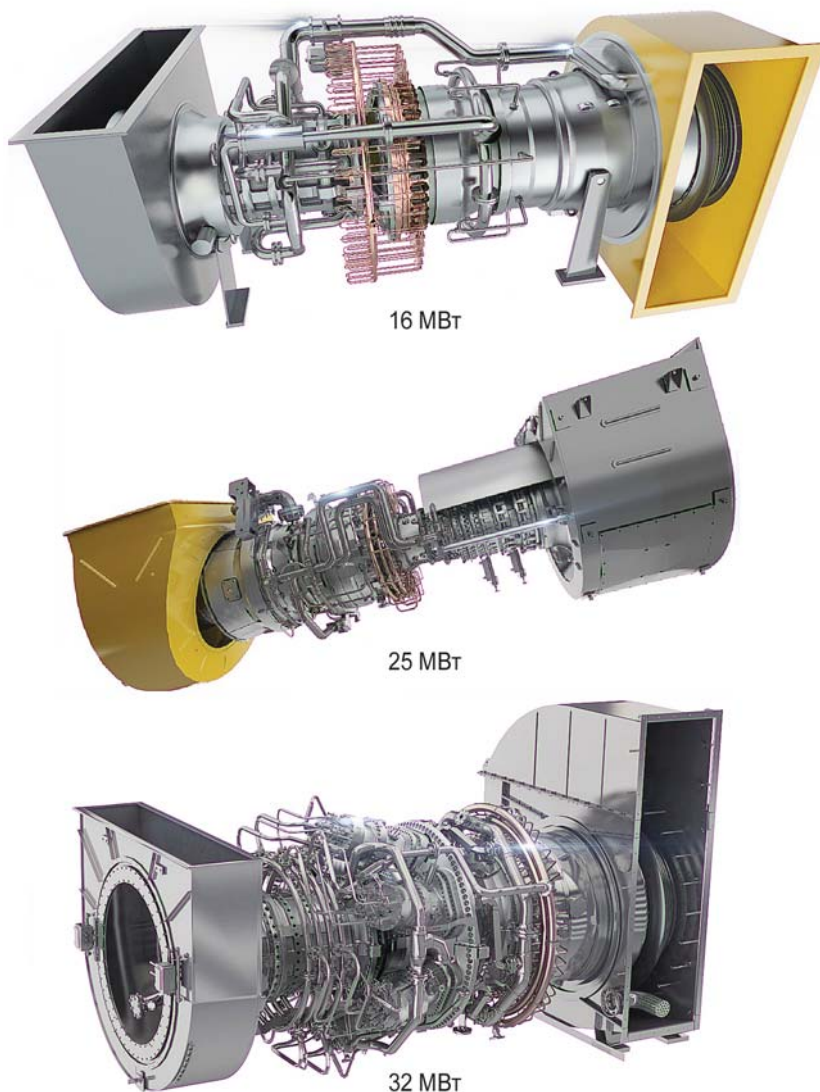


Фото 1. Высокооборотные ГТД



Фото 2. Центробежный компрессор 400 СПЧ1.38/76-32С



Фото 3. Модели осерадиальных рабочих колес



Фото 4. Пятикоординатный обрабатывающий центр OKUMA

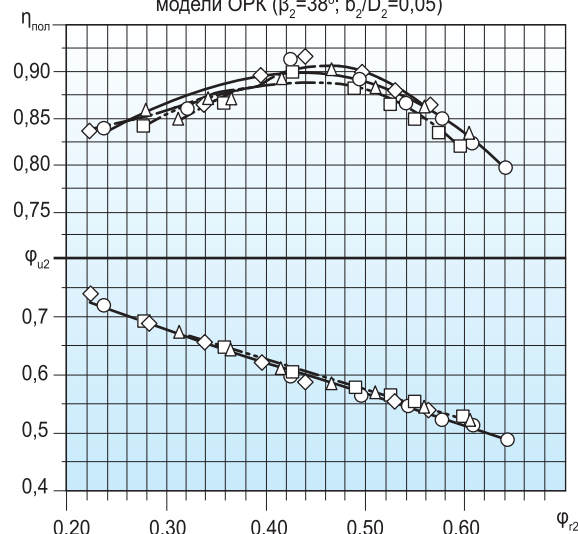
стендах ряд модельных осерадиальных РК (фото 3). Было исследовано влияние различных геометрических параметров на газодинамические характеристики РК при разных значениях M_u (рис. 2). Исследования показали, что наиболее эффективными осерадиальными рабочими колесами являются РК со «средней» относительной шириной $b_2 = 0,03...0,05$ и с углом выхода лопаток $45^\circ \leq \beta_{2л} \leq 70^\circ$. Увеличение или уменьшение относительной ширины b_2 приводит к снижению эффективности РК, то же касается и увеличения или уменьшения углов выхода лопаток $\beta_{2л}$. При этом отмечено резкое увеличение значений коэффициента расхода φ_{r2} (от 0,3 до 0,6) на оптимальных режимах, но наиболее высокие значения политропного КПД получаются ближе к неустойчивой зоне, то есть к помпажу.

Применение осерадиальных колес с 3D-лопатками для центробежных компрессоров с высокооборот-

ными ГТД, например Titan-250 (Solar Turbines) с частотой вращения ротора $n_{CT}=6300$ об/мин или T-16 (совместная разработка GEP и «РЭП Холдинга») с частотой вращения ротора $n_{CT}=7800$ об/мин, является приоритетным. Следовательно, вопрос о технологической проработке и изготовлении осерадиальных РК на отечественном предприятии должен быть решен. Для решения этого вопроса был приобретен новый пятикоординатный станок, позволяющий изготавливать моноколеса (фото 4). Вертикальный многофункциональный станок OKUMA нового поколения, установленный на корпусном производстве, предназначен для комплексной обработки деталей из различных материалов (алюминия, цветных металлов, легированных сталей) с максимальным диаметром 2000 мм и максимальной высотой 1400 мм. Станок позволяет обрабатывать детали сложной формы, совмеща токарно-

карусельную, фрезерную, сверлильную операции. Пятикоординатные обрабатывающие центры позволяют обрабатывать заготовки одновременно по пяти осям с высоким качеством финишной обработки поверхности. Ближайшие проекты, в которых будут использованы осерадиальные РК с 3D-лопатками на центробежных компрессорах – это ДКС Западно-Таркосалинского НГКМ. Помимо проектов для ПАО «Газпром», центробежные компрессоры с осерадиальными РК с 3D-лопатками будут применяться на заводах сжижения природного газа (СПГ) и на нефтехимических заводах.

Таким образом, «РЭП Холдинг», проводя исследовательские работы по проектированию центробежных компрессоров с осерадиальными РК с 3D-лопатками для высокооборотных ГТД различной мощности, пришел к выводу, что их применение является решенным вопросом.


 Безразмерные газодинамические характеристики модели ОРК ($\beta_2=38^\circ$; $b_2/D_2=0,05$)


Условные обозначения:
 φ_{r2} - коэффициент расхода
 $\eta_{пол}$ - политропный КПД
 — 23.01.2014 г.
 — 03.02.2014 г.
 - - - 23.05.2014 г.
 - - - 26.05.2014 г.

Начальные условия:
 $M_{u2} = 0,546$ - число Маха (23.01.2014 г.)
 $M_{u2} = 0,527$ - число Маха (03.02.2014 г.)
 $M_{u2} = 0,616$ - число Маха (23.05.2014 г.)
 $M_{u2} = 0,544$ - число Маха (26.05.2014 г.)

Рис. 2. Результаты испытаний моделей осерадиальных рабочих колес