

## АО «ТУРБОХОЛОД»: ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЙ ТУРБОДЕТАНДЕРНЫЙ АГРЕГАТ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ (АДКГ-40)

И.А. Бабиченко, АО «Турбохолод» (Москва, Россия)

А.А. Михайлов, АО «Турбохолод»

К.К. Соколов, АО «Турбохолод»

В.Ж. Чепурнов, АО «Турбохолод»

Ф.Г. Кочевин, АО «Турбохолод»

Ю.Б. Галеркин, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский  
политехнический университет Петра Великого»  
(Санкт-Петербург, Россия)

АО «Турбохолод», российская машиностроительная компания, является лидером и основным поставщиком турбодетандерных агрегатов для нужд газовой промышленности в России. За последние 20 лет компания изготовила и поставила более 250 агрегатов производительностью от 1 до 20 млн ст. м<sup>3</sup>/сут в горизонтальном и вертикальном исполнении с одноступенчатой осевой турбиной и разными уровнями температурного охлаждения газа, вплоть до -55 °С при степени расширения в турбине  $\pi_t$  до 2,5 и степени сжатия в компрессоре  $\pi_k$  до 1,6, что в полной мере удовлетворяет технологическим требованиям заказчиков. Частота вращения роторов в зависимости от заданных параметров турбодетандерных агрегатов находится в диапазоне от 5 до 27 тыс. об/мин, мощность – до 7 МВт. Практически во всех агрегатах, изготовленных после 2007 г., применены системы активных магнитных подшипников.

До 2022 г. в условиях монополярной позиции иностранных лицензиаров российские производители турбодетандерных агрегатов (ТДА) фактически не допускались к поставкам оборудования на объекты производства СПГ. При этом Министерство промышленности и торговли Российской Федерации, понимая всю важность и перспективность данного направления, определило перечень ключевого оборудования для производства отечественными машиностроителями. В приоритете оказалась и технология производства детандер-компрессорных агрегатов большой мощности (8 МВт и более). Тем не менее после ухода иностранных производителей с российского рынка в 2022 г. отрасль столкнулась с отсутствием отечественных ТДА подобного класса, необходимых для объектов переработки газа и производства СПГ.

Находясь в авангарде технологического развития и осознавая критическую необходимость обеспечения нефтегазовой отрасли России отечественным оборудованием, в 2022 г. АО «Турбохолод» в инициативном порядке начало

разработку опытно-промышленного образца агрегата большой мощности и производительности. В качестве объекта для проектирования был выбран ТДА для завода СПГ в Усть-Луге, в связи с чем совместно с ПАО «Газпром» и ООО «РусХимАльянс» была подготовлена дорожная карта №03-247 от 01.12.2022. Согласно технологическим требованиям завода агрегат должен обеспечивать следующие параметры: расход газа через турбину и компрессор 11 и 17 млн ст. м<sup>3</sup>/сут соответственно, давление на входе и выходе – 8 и 3,3 МПа соответственно, степень расширения в турбине ~ 2,7, степень сжатия в компрессоре ~ 1,27.

В соответствии со сроками, представленными в дорожной карте, и указанными выше исходными данными разработан опытно-промышленный образец агрегата большой мощности АДКГ-40.

Исходя из требуемых параметров газа, в агрегате применена осердиальная турбина с регулируемым сопловым аппаратом, обеспечивающая максимальную эффективность процесса охлаждения газа при изменении параметров рабочей

среды. Следует отметить, что типовая конструкция агрегата АДКГ-40 позволяет применять и осевую турбину, обладающую повышенной надежностью в условиях большого количества капельной жидкости на входе (до 400 мг/м<sup>3</sup>) и высокого значения конденсатного фактора, что наиболее актуально в условиях газоконденсатных месторождений.

Проектирование и оптимизация турбины выполнены с использованием современных подходов, включающих в себя разработку параметрических 3D-моделей соплового аппарата и рабочего колеса, 3D-расчет вязкого течения реального газа в межлопаточных каналах с учетом радиальных зазоров, а также прочностной 3D-анализ колеса турбины. Разработка компрессора проведена совместно с группой специалистов Санкт-Петербургского политехнического университета под руководством профессора Ю.Б. Галеркина с применением собственного метода универсального моделирования.

С 2007 г. все агрегаты производства АО «Турбохолод», а также существенная часть оборудования прочих производителей комплекто-



вались системами магнитных подшипников производства концерна SKF-S2M. Данная «сухая» технология, согласно общему мнению отраслевых экспертов-практиков, обеспечивает существенные эксплуатационные преимущества по сравнению с масляными подшипниками и тем самым определяет однозначную перспективу ее применения. Понимая существенную зависимость от единого зарубежного поставщика, в рамках программы импортозамещения в 2018 г. АО «Турбохолд» совместно с ПАО «Газпром автоматизация» начало разработку систем активных магнитных подшипников (АМП) собственного производства, а уже в 2022 г. были проведены успешные технологические испытания АМП двух основных типоразмеров  $D$  85 и 110 мм в составе агрегата. В 2023 г. налажено серийное производство и к середине 2024 г. поставлен 51 комплект систем магнитных подшипников в составе сменно-проточных частей ТДА. Специально для агрегата большой мощности АДКГ-40 были разработаны и изготовлены увеличенные АМП типоразмера  $D$  240 мм, обладающие повышенной несущей способностью.

Особенностью разработанной конструкции АДКГ-40 является внутренний автономный модуль, включающий в себя вал, статорные и роторные части системы АМП, колеса турбины и компрессора, позволяющий проводить испытания АМП без установки ротора в корпус агрегата. Применение единого магнитного узла способствует сокращению сроков производства агрегата и упрощению обслуживания ТДА в условиях объекта эксплуатации. Возможность разборки ТДА с применением гидравлической оснастки, поставляемой в комплекте с АДКГ-40, также существенно облегчает обслуживание агрегата.

В целях проведения заводских испытаний агрегата создана новая экспериментальная база – воздушный стенд с полной автоматиза-



**ОСОБЕННОСТЬЮ РАЗРАБОТАННОЙ КОНСТРУКЦИИ АДКГ-40 ЯВЛЯЕТСЯ ВНУТРЕННИЙ АВТОНОМНЫЙ МОДУЛЬ, ВКЛЮЧАЮЩИЙ В СЕБЯ ВАЛ, СТАТОРНЫЕ И РОТОРНЫЕ ЧАСТИ СИСТЕМЫ АМП, КОЛЕСА ТУРБИНЫ И КОМПРЕССОРА, ПОЗВОЛЯЮЩИЙ ПРОВОДИТЬ ИСПЫТАНИЯ АМП БЕЗ УСТАНОВКИ РОТОРА В КОРПУС АГРЕГАТА.**

цией процесса, а также фиксацией параметров средствами стендовой системы управления и архивацией параметров в виде трендов с одно-временным расчетом характеристик и надежности АДКГ-40 на воздушном стенде в соответствии с СТО Газпром 2-3.3-1226-2020 и СТО ИНТИ S.60.6 проведен комплекс испытаний, включающий в себя определение газодинамических характеристик турбины и компрессора, а также механических характеристик ротора на магнитных подшипниках.

По результатам газодинамических испытаний получено подтверждение расчетных характеристик разработанного ТДА. На воздушном стенде КПД компрессора достигал 88 %, турбины – 85-87 %. Надежность АДКГ-40 подтверждена по итогам проведения механических испытаний. На основании этого можно сделать вывод о полном соответствии опытно-промышленного образца агрегата большой мощности АДКГ-40 технологическим требованиям заказчика. Исходя из полученных

результатов, а также на основании положительного заключения Департамента машиностроения для ТЭК Минпромторга России от 08.11.2023 разработанный агрегат рекомендован для приемосдаточных испытаний и эксплуатации на объектах переработки газа. Таким образом, задача по обеспечению суверенитета Российской Федерации в технологиях создания ТДА большой мощности, а также производства отечественных систем магнитных подшипников успешно решена. ■



**АО «Турбохолд»**  
107113, Россия, г. Москва,  
ул. 1-я Рыбинская, д. 3, стр. 1  
Тел.: +7 (499) 264-03-22  
E-mail: info@turbokholod.ru  
www.turbokholod.ru