

УДК 629.735

В. Н. ЖАРИКОВ

JGC America Inc, США

АВИАЦИОННЫЕ КОНВЕРТИРОВАННЫЕ ГАЗОВЫЕ ТУРБИНЫ. СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ. СТАНДАРТЫ

Рассмотрены исторические предпосылки для появления авиационных конвертированных газовых турбин как отдельного класса промышленных турбин. Сделан обзор современной и перспективных сфер их применения на энергетическом, тепловом и нефтегазовом рынках. Проанализированы их преимущества и недостатки в сравнении со стационарными промышленными газовыми турбинами. Проведен анализ и сделана подборка, актуальных по состоянию на сегодня, мировых производителей газовых турбин, которые разрабатывают и производят авиационные конвертированные газовые турбины. Представлен обзор API стандартов, создаваемых Американским институтом нефти и газа, на примере использования авиационных конвертированных газовых турбин в качестве механического привода для компрессора в составе газоперекачивающего агрегата. Подчеркнута важность соответствия API стандартам для производителей оборудования, реализующих свою продукцию на мировом рынке.

Ключевые слова: конвертированная газовая турбина, промышленная газовая турбина, дизайн, авиационный двигатель, механический привод, API стандарт, мощность, компрессор, нефтегазовая промышленность.

Введение

История появления и использования промышленных газовых турбин во всем мире насчитывает уже более 70 лет. И уже более полувековую историю имеют авиационные конвертированные газовые турбины, которые на сегодняшний день занимают значительную часть на мировом рынке газовых турбин для промышленного использования. Авиационная конвертированная газовая турбина – это авиационный газотурбинный двигатель, конвертированный (адаптированный) для наземного промышленного использования.

По состоянию на 2010 год мировой рынок промышленных газовых турбин, включая и авиационные конвертированные газовые турбины, оценивался в 15,6 млрд. долларов. Из них 12,9 млрд. долларов приходится на сегмент производства электроэнергии, 2,2 млрд. долларов – на сегмент механических приводов, включая использование для нефтегазовой промышленности, 0,5 млрд. долларов – на сегмент судовых силовых установок. Если сравнивать с мировым рынком авиационных двигателей для коммерческих и оборонных целей, который в 2010 году составлял порядка 26 млрд. долларов, то весь рынок промышленных газовых турбин в тот же период составлял немногим более его половины [1].

По статистике ежегодных закупок газовых турбин по всему миру с 2008 по 2012 годы, доля авиационных конвертированных газовых турбин с мощностями от 10 МВт и выше ежегодно составляла в

среднем от 10 до 20% от общего заказа. Если же рассматривать в ежегодной сумме закупок только сегмент газовых турбин с мощностями от 18 до 65 МВт, то авиационные конвертированные газовые турбины составляли примерно 2/3 от общего количества проданных мощностей [2].

Появившись более полувека назад авиационные конвертированные газовые турбины, благодаря инновационным технологиям, которые они унаследовали от своих авиационных прототипов, обладая уникальными характеристиками по сравнению со стационарными промышленными газовыми турбинами, несомненно заняли свою нишу на мировом рынке газовых турбин и находят все новые сферы применения.

В данной статье рассматриваются исторические предпосылки для появления авиационных конвертированных газовых турбин, сфера их применения, преимущества и недостатки в сравнении со стационарными промышленными газовыми турбинами, а также приводится обзор современных API стандартов применительно к использованию данного типа газовых турбин на объектах нефтегазовой промышленности.

1. Предпосылки появления авиационных конвертированных газовых турбин

Развитие авиационных конвертированных газовых турбин неразрывно связано с развитием авиационных двигателей, которые в первую очередь бы-

ли востребованы военной авиацией, а в дальнейшем возросшими потребностями коммерческой авиации.

В 1940 - 1950 годы в США и Европе главным стимулирующим фактором в развитии газотурбинных двигателей были военные заказы. Для удовлетворения растущего спроса со стороны военных, многие инженерные фирмы интенсифицировали исследования в области дизайна и инновационных решений для газотурбинных двигателей. Инновационные подходы, заложенные в эти годы, определяют общий дизайн авиационных двигателей и до настоящего времени.

В 60-х годах с ростом гражданской, коммерческой авиации усилия были направлены на усовершенствование основных компонентов авиационных газотурбинных двигателей. Проводились исследования в области применения новых материалов для двигателей, исследования в проектировании лопаток компрессора и охлаждения лопаток турбин.

Также в конце 60-х годов весьма ценным оказался опыт использования конвертированных авиационных двигателей на морских судах. Из-за специфики использования в условиях повышенной влажности и солености, а также применения низкоккачественных неавиационных топлив, были усилены исследования в области применения материалов и сплавов в условиях повышенной коррозии и высоких температур. Результаты всех этих исследований, в последующем, легли в основу конвертирования авиационных двигателей для промышленных целей, работающих в суровых условиях окружающей среды.

Уже с конца 40-х годов многие фирмы, накопив опыт и знания, полученные при разработке авиационных двигателей, стали проводить исследования для возможности промышленного применения газовых турбин.

Хотя при разработке стационарных промышленных газовых турбин и использовались аэродинамические наработки, полученные компаниями при разработке авиационных двигателей, все же это направление газовых турбин конструктивно отличалось от специфических требований авиации. Стационарные промышленные газовые турбины не разрабатывались с условием минимизации веса и размера. Долговечность и доступная цена были основными критериями при их разработке, результатом чего стало использование отличных от авиации материалов, увеличение толщины стенки компонентов турбины, использование умеренных степеней повышения давления в компрессоре и использование вспомогательных устройств для повышения эффективности.

Таким образом, из-за концептуальных различий в конструкции в 60-х годах для авиационных

конвертированных газовых турбин сформировалась своеобразная ниша, в которой они оказались востребованными. На тот момент авиационные конвертированные газовые турбины были доступны в диапазоне мощностей от 10 до 25 МВт с эффективным КПД порядка 30%.

2. Сфера применения

Прежде всего, на заре своего появления, авиационные конвертированные газовые турбины были использованы на генерирующих электростанциях для покрытия недостатка электроэнергии в аварийных и пиковых ситуациях. Тут как нельзя кстати пригодились способности этих турбин к быстрому старту и выходу на полную мощность в течение нескольких минут [3].

Также их небольшой вес и компактный дизайн позволяли операторам нефтегазопроводов производить быструю доставку, установку и проводить обслуживание конвертированных газовых турбин в труднодоступных районах и на морских платформах.

Широко используются авиационные конвертированные газовые турбины в качестве силовых установок на морских судах.

На сегодняшний день, в то время как роль промышленной стационарной турбины остается неизменной, роль авиационных конвертированных газовых турбин изменяется, находя все новые применения.

По-прежнему это энергетический сектор, генерация пиковых мощностей в традиционных энергосистемах. С появлением систем электроснабжения от возобновляемых переменных источников энергии (ветровой и солнечной), уникальные характеристики конвертированных турбин делают их весьма значимыми для оказания помощи в поддержании стабильности сети, обладающей переменной выходной мощностью.

Затем это использовалось на рынке теплоснабжения в когенерационных установках, использующих механическую энергию и тепло уходящих газов. Область применения авиационных конвертированных газовых турбин также расширяется за счет использования в установках со смешанным циклом, которое ранее было прерогативой только стационарных промышленных газовых турбин.

Рынок мобильной энергии, который вырос за последние годы, также является перспективной сферой применения авиационных конвертированных газовых турбин. Блочный компактный дизайн установок для этого рынка позволяет использовать их в качестве источника аварийного электроснабжения, например, в местностях, пострадавших от торнадо

или шторма, для электроснабжения островных систем или населенных районов, удаленных от основной магистральной сети. При этом газовые турбины более экологически чистые, чем дизельные двигатели, которые до этого массово использовались в мобильных генераторных установках.

Также популярной остаётся сфера использования на рынке нефтяной и газовой промышленности, где конвертированные турбины используются в качестве силовых приводов для компрессоров и насосов, обеспечивающих сжатие и перекачку газа и нефти. Для этих целей в основном используются агрегаты мощностью до 40 МВт. Если же рассматривать конвертированные турбины с мощностями свыше 40 МВт и до 100 МВт, то агрегаты, с мощностями находящимися ближе к верхней границе диапазона уже можно рассматривать как прямых конкурентов стационарным промышленным газовым турбинам, используемым на рынке генерирования электроэнергии. А это уже может существенно сменить акценты в перспективах использования авиационных конвертированных газовых турбин [4].

В 2006 году авиационные конвертированные газовые турбины были впервые применены в качестве механических приводов на заводе по сжижению природного газа в Австралии и опыт их успешной эксплуатации показал, что этот тип агрегатов идеально подходит для использования на рынке производства сжиженного газа [5].

Прогресс не стоит на месте и сегодня одним из основных направлений по повышению эффективности газовых турбин является достижение более высоких температур на входе в турбину. При температурах, достигающих 1700 С° уже потребуются применение новых сплавов и существенное улучшение дизайна рабочих поверхностей лопаток. И как следствие, следующей перспективной областью применения авиационных конвертированных газовых турбин будет широкое использование в тригенерационных установках, позволяющих, в дополнение к использованию механической и тепловой энергии, производить холод, используемый для охлаждения воды или воздуха. Эти установки позволят обеспечить круглогодичное эффективное использование мощностей в зависимости от сезонных потребностей. И высокоэффективные авиационные конвертированные газовые турбины как нельзя лучше подходят на роль основного привода в этой системе.

3. Преимущества и недостатки

Авиационные конвертированные газовые турбины всегда имели лучшие технические характеристики среди остальных промышленных турбин. Это объясняется тем, что все передовые разработки сна-

чала появляются и апробируются на авиационных двигателях, которые затем переходят на их конвертированные наземные аналоги.

Сравнение авиационных конвертированных газовых турбин со стационарными промышленными газовыми турбинами большой мощности позволяет выявить значимые преимущества конвертированных турбин.

Более высокий КПД 37-44% у конвертированных турбин простого цикла против 26-34% у стационарных, что позволяет конечному пользователю быть защищенным от колебаний цен на топливо [6].

Малый вес и компактный дизайн. Конвертированным газовым турбинам требуется на 50% меньше места для установки и их вес на 40% меньше стационарных промышленных турбин той же мощности.

Модульная конструкция.

Гибкость в распределении мощностей. Возможность использования нескольких турбин малой мощности для гибкого управления требуемой мощностью.

Возможность быстрого холодного запуска. Выход на полную мощность, в зависимости от конфигурации, достигается в пределах 10 минут без ущерба ресурса двигателя, что на стационарных машинах невозможно сделать. Для запуска конвертированных турбин требуется маломощный (до 500 КВт) стартовый мотор, для стационарных требуется мощный вспомогательный мотор для раскрутки ротора.

Возможность быстрого разгона из режима ожидания до режима полной нагрузки. До 2-х минут у конвертированных против 10-15 минут у стационарных.

Возможность быстрого останова. От 5-15 минут у конвертированных против 30-60 минут у стационарных.

Быстрое охлаждение после остановки (менее чем за 1 час) и готовность к обслуживанию. Стационарным турбинам из-за большей массы требуется охлаждение с вращающимся валом в течение 10-24 часов.

Возможность быстрого рестарта после остановки. У стационарных турбин если рестарт не состоялся в течение 10 минут, то требуется проводить полный цикл охлаждения для повторного старта.

Возможность запуска в условиях наличия балансового давления в линии компрессора. Нет необходимости стравливать давление в атмосферу как это принято для одновальных стационарных промышленных турбин.

Низкие выбросы CO₂ (приблизительно на 30% ниже, чем у стационарных промышленных турбин).

Возможность быстрого проведения инспекции проточной части газогенератора и силовой турбины

без разборки, через окна для бороскопа. Стационарные турбины требуют демонтажа топливных форсунок и камеры сгорания. Окна для бороскопа предусмотрены не по всему тракту, а только для критических узлов.

Возможность быстрой замены газогенератора в условиях эксплуатации. От команды останова до выхода на полную нагрузку требуется 48 часов. Для стационарной турбины требуется около месяца со значительными логистическими затратами и привлечением значительных рабочих ресурсов.

Недостатком авиационных конвертированных газовых турбин является их стоимость, что отражается на начальных капитальных затратах, которые, однако, могут быть компенсированы их высокой эффективностью и низкими эксплуатационными расходами за счет снижения технического обслуживания и запасных частей. В итоге общая стоимость их жизненного цикла будет гораздо меньше по сравнению со стационарными промышленными турбинами большой мощности. Также важное значение для авиационных конвертированных газовых турбин имеет проведение мониторинга и анализ вибрации в процессе эксплуатации для предотвращения чрезмерных динамических нагрузок, поломок и их преждевременного выхода из строя [7].

4. Основные производители

Основными мировыми производителями, выпускающими конвертированные авиационные газовые турбины являются:

- General Electric, США;
- Pratt & Whitney, США;
- Rolls-Royce, Великобритания;
- ГП «ЗМКБ «Прогресс» им. акад. А. Г. Ивченко, г. Запорожье, Украина;
- ОАО «Мотор Сич», г. Запорожье, Украина;
- ОАО «Авиадвигатель», г. Пермь, Россия;
- ОАО «НПО «Сатурн», г. Рыбинск, Россия;
- ОАО «Кузнецов», г. Самара, Россия.

Подразделение GE Power & Water's компании General Electric производит авиационные конвертированные газовые турбины в диапазоне мощностей от 18 до 100 МВт, используемые в качестве механического привода для компрессоров и для производства электроэнергии, с возможностью использования различных видов топлива [8].

Подразделение Pratt & Whitney Power Systems, Inc (PWPC), являющееся на сегодня дочерней компанией Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. производит авиационные конвертированные газовые турбины в диапазоне мощностей от 25 до 60 МВт, используемые в установках для производства электроэнергии [9].

Подразделение Rolls-Royce по производству авиационных конвертированных газовых турбин, с 2014 года вошедшее в состав Siemens. Приобретение авиационных конвертированных турбин Rolls-Royce малого и среднего диапазона с мощностями от 4 до 66 МВт, позволило Siemens закрыть технологический разрыв в своем обширном портфолио газовых турбин [10].

«ЗМКБ «Прогресс» проектирует и выпускает авиационные конвертированные газовые турбины в диапазоне мощностей от 2,5 до 10 МВт, используемые в установках для производства электроэнергии и в качестве механического привода для компрессоров [11].

ОАО «Мотор Сич» выпускает авиационные конвертированные газовые турбины в диапазоне мощностей от 1 до 10 МВт, используемые в установках для производства электроэнергии и в качестве механического привода для компрессоров [12].

ОАО «Авиадвигатель» и ОАО «Пермский моторный завод» выпускают авиационные конвертированные газовые турбины в диапазоне мощностей от 2,5 до 25 МВт, используемые в установках для производства электроэнергии и в качестве механического привода для компрессоров [13].

НПО «Сатурн» выпускают авиационные конвертированные газовые турбины в диапазоне мощностей от 6,5 до 8,5 МВт для привода электрогенераторов в составе теплоэлектростанций малой и средней мощности [14]. Конвертированные газовые турбины разработки НПО «Сатурн» мощностью 16 МВт серийно выпускаются также ОАО «УМПО» в г. Уфа, Россия [15].

ОАО «Кузнецов» выпускает авиационные конвертированные газовые турбины в диапазоне мощностей от 6,4 до 26,5 МВт, используемые в составе газоперекачивающих агрегатов и в составе теплоэлектростанций [16].

Отдельно можно упомянуть производителя газовых турбин ГП НПКГ «Зоря»-«Машпроект», г. Николаев, Украина. Это предприятие занимается разработкой газовых турбин для морских судов, электроэнергетики и газотранспортных магистралей. Конвертированные судовые газовые турбины для электроэнергетики и транспорта газа представлены в диапазоне мощностей от 3 до 25 МВт [17].

Корабельные конвертированные газовые турбины составили "промежуточный класс", заняв нишу между конвертированными авиационными и стационарными промышленными турбинами. Такие установки сочетают достоинства авиационных турбин (небольшие вес и габариты, легкость замены двигателя целиком или его отдельного модуля, высокая приемистость, что позволяет использовать их

в пиковом режиме) с достоинствами турбин промышленного типа (надежность и большой ресурс).

5. API стандарты

API стандарты создаются Американским институтом нефти и газа (American Petroleum Institute или сокращенно API), который был основан в 1919 году. API это основная торговая ассоциация, которая представляет интересы всей нефтегазовой отрасли в США. API имеет в своем составе более 600 корпоративных членов, крупных и мелких независимых компаний, представляющих все сегменты отрасли. Главной миссией API является влияние на государственную политику для поддержания сильной, жизнеспособной нефтегазовой промышленности США.

API ведёт переговоры с контролирующими органами, представляет интересы отрасли в судебных разбирательствах, участвует в объединениях и работает с другими ассоциациями для достижения общих целей, выработанных членами API, осуществляет и спонсирует исследования в нефтегазовой отрасли, собирает и публикует статистику по всем аспектам деятельности отрасли в США.

Вот уже более чем 85 лет API является лидером в разработке стандартов для нефтяного и нефтехимического оборудования, которые собрали в себе весь коллективный опыт, накопленный в отрасли. На сегодня API поддерживает более 500 стандартов и практических рекомендаций, многие из которых включены в местные и федеральные нормы и более того, они также приняты Международной организацией по стандартизации (ISO) [18].

Большинство компаний подрядчиков, реализующие проекты на нефтегазовом рынке по всему миру, используют и закупают оборудование, которое обязательно соответствует стандартам API.

На сегодняшний день любой производитель оборудования для нефтегазовой отрасли, если он хочет успешно реализовывать свою продукцию на мировом рынке и особенно на североамериканском, должен позаботиться о том, чтобы выпускаемая продукция соответствовала требованиям стандартов API.

API стандарты позволяют находить общий язык и устанавливают правила между производителем (вендором) и заказчиком, позволяя избежать недопонимания в используемых терминах, процедурах испытаний, данных предоставляемых вендором, спецификациях и т.д.

API стандарты являются удобным инструментом для проведения закупок, помогая заказчику формализовать процесс.

Рассмотрим на примере использования авиационной конвертированной газовой турбины в качестве механического привода для компрессора в составе газоперекачивающего агрегата, какие стандарты необходимо рассматривать в этом случае.

API STANDARD 616 - Gas Turbines for the Petroleum, Chemical, and Gas Industry Services [19].

Настоящий стандарт охватывает минимальные требования к газотурбинным установкам открытого, простого и регенеративного цикла, использующихся в качестве механического привода, привода генератора или генератора технологического газа. Все вспомогательное оборудование, необходимое для эксплуатации, запуска, контроля и защиты газотурбинных установок либо оговаривается непосредственно в настоящем стандарте или упоминается в данном стандарте посредством ссылок на другие документы. В частности, газотурбинные установки, которые способны работать на газообразном или жидком топливе или на обоих видах топлива, охватываются этим стандартом. Настоящий стандарт распространяется как на промышленные, так и на авиационные конвертированные газовые турбины.

API STANDARD 617 - Axial and Centrifugal Compressors and Expander-compressors for Petroleum, Chemical and Gas Industry Services [20].

Настоящий стандарт охватывает минимальные требования к осевым компрессорам, одновальным и со встроенным редуктором центробежным компрессорам, экспандер-компрессорам, для воздуха или газа.

API STANDARD 614 - Lubrication and Oil-control Systems and Auxiliaries [21].

Настоящий стандарт охватывает минимальные требования к масляным системам для общего и специального назначения и систем сухих газовых уплотнений для компрессоров, редукторов, насосов и приводов.

API STANDARD 670 - Machinery Protection Systems [22].

Настоящий стандарт охватывает минимальные требования к системе защиты оборудования, измерению радиальной вибрации вала, корпусной вибрации, осевого положения вала, скорости вращения вала, биения штока поршня, фазового сдвига, превышения оборотов и критических температур оборудования (например, металла подшипников и обмоток двигателя). Он охватывает требования к аппаратной части (преобразователям и системе мониторинга), установке, документации и испытаниям.

API STANDARD 613 - Special Purpose Gear Units for Petroleum, Chemical, and Gas Industry Services [23].

Настоящий стандарт охватывает минимальные требования к редукторам специального назначения,

которые находятся в непрерывной работе без установленного резервного оборудования.

API STANDARD 677 - General-purpose Gear Units for Petroleum, Chemical and Gas Industry Services [24].

Настоящий стандарт охватывает минимальные требования к редукторам общего назначения. Применяется к оборудованию, которое имеет резерв или задействовано в некритических процессах.

API STANDARD 671 - Special Purpose Couplings for Petroleum, Chemical and Gas Industry Services [25].

Настоящий стандарт устанавливает требования к муфтам для передачи мощности между вращающимися валами двух машин, имеющих большие размеры и/или работающих на высоких скоростях, от которых требуется непрерывная работа в течение длительных периодов времени, часто не имеющих резерва и имеющих решающее значение для непрерывной работы установки.

Основные требования к проведению испытаний газовых турбин и компрессоров излагаются в стандартах ASME PTC 22 и PTC 10.

ASME PTC 22 - Performance Test Code on Gas Turbines [26].

Настоящий стандарт обеспечивает проведение испытания газовых турбин на газообразном или жидком топливе (или твердом топливе, которое преобразуется в жидкое или газообразное до входа в газовую турбину). Также включены испытания газовых турбин с контролем выбросов и / или устройствами повышения мощности, таких как впрыск жидкостей и обработка впускного воздуха. Он может быть применен к газовым турбинам с комбинированным циклом или с другими системами рекуперации тепла.

Стандарт позволяет определить тепловые характеристики газовой турбины при работе в условиях испытаний с последующим приведением результатов испытаний к заданным нормальным условиям.

ASME PTC 10 - Performance Test Code on Compressors and Exhausters [27].

Настоящий стандарт предусматривает процедуры испытаний для определения термодинамической эффективности осевого или центробежного компрессора, работающих с газом с известными свойствами в заданных условиях.

Все вопросы, связанные с электропроводкой и требования электробезопасности регламентируются стандартом NFPA 70 - National Electrical Code [28].

Этот стандарт также устанавливает классификацию опасных зон при размещении электрооборудования на объектах нефтегазовой промышленности. В большинстве случаев нефтегазовые объекты относятся к зонам Class 1, Division 2, в которых

транспортируются, производятся или применяются горючие жидкости или газы, нормально заключенные в закрытые сосуды или системы, образование взрывоопасной концентрации газов или паров жидкости возможно только при авариях или неисправностях технологического оборудования. Некоторые морские или перерабатывающие объекты могут относиться к зонам Class 1, Division 1, где взрывоопасные концентрации горючих газов или паров горючих жидкостей при нормальной эксплуатации могут иметь место длительное время, с перерывами или периодически, а взрывоопасные смеси газов или паров с воздухом могут создаваться при эксплуатационных или ремонтных работах, а также при утечках из системы.

Заключение

Авиационные конвертированные газовые турбины дали существенный толчок развитию промышленных газовых турбин, которые перенимают от них многие инновационные достижения. На мировом рынке конвертированных газовых турбин на сегодня лидируют такие компании как General Electric, Pratt&Whitney и Rolls-Royce (Siemens).

Многие из современных газовых турбин, на сегодняшний день, размывают границы между авиационными конвертированными и стационарными промышленными турбинами. Это, так называемый, класс легких промышленных турбин и класс гибридных турбин.

Siemens, например, оптимизировал конструкцию стационарных турбин, добившись снижения веса, получив более компактный дизайн, ускорив время запуска и увеличив эффективность турбины в простом цикле. Siemens SGT-750 является типичным представителем класса легких промышленных турбин, имея малый вес и габариты, сопоставимые с авиационными конвертированными турбинами, сохранил надежность и долговечность традиционных стационарных промышленных газовых турбин.

В качестве представителя класса гибридных турбин можно рассматривать LMS100 от General Electric, которая объединила в себе две технологии: стационарных промышленных турбин и авиационных конвертированных турбин. В качестве компрессора низкого давления использован высокопроизводительный компрессор от стационарной модели GE 6FA, а компрессор высокого давления и турбина высокого давления от авиационного двигателя GE CF6-80E1 [29].

Воздух после компрессора низкого давления подается в компрессор высокого давления через промежуточный охладитель, что позволило полу-

чить КПД 44% в турбине простого цикла при мощности 103 МВт в условиях ISO.

Авиационные конвертированные газовые турбины заняли свою нишу на рынке промышленных турбин и продолжают с успехом охватывать все новые сферы применения. Дальнейшее увеличение их мощности и тепловой эффективности, благодаря применению современных технологий, делают их прямыми конкурентами стационарным промышленным турбинам в классе турбин большой мощности.

API стандарты, выпускаемые Американским институтом нефти и газа, отражают инженерный практический опыт, накопленный за многие годы. Они дают четкие рекомендации для покупателя и производителя оборудования, позволяя им эффективно строить их отношения в процессе закупки оборудования. API стандарты не ставят жестких ограничений для производителя. Производитель может предлагать альтернативный дизайн, если этот дизайн улучшает безопасность или эффективность оборудования.

Следование этим стандартам позволит производителям оборудования быть востребованными и успешно реализовывать свою продукцию на международных рынках.

Литература

1. Doom, Travis R. *Aeroderivative Gas Turbines* [Electronic resource] / Travis R. Doom. – Access mode: <http://americanenergyinnovation.org/wp-content/uploads/2013/08/Case-Gas-Turbines.pdf>. – August 2013.
2. Axford, Mark. *BY THE NUMBERS: 25% more GT capacity will be ordered for electric generation in the US this year than in 2012* [Electronic resource] / Mark Axford. – Access mode: <http://www.ccj-online.com/by-the-numbers-25-more-gt-capacity-will-be-ordered-for-electric-generation-in-the-us-this-year-than-in-2012/>. – 10.03.2013.
3. Hunt, Ronald J. *The History of the Industrial Gas Turbine (Part 1 The First Fifty Years 1940-1990)* [Electronic resource] / Ronald J Hunt. – Access mode: <http://www.idgte.org/IDGTE%20Paper%20582%20History%20of%20The%20Industrial%20Gas%20Turbine%20Part%201%20v2%20%28revised%2014-Jan-11%29.pdf>. – 02.06.2011.
4. *A flight of fancy for aeroderivative gas turbines* [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.cospp.com/articles/print/volume-15/issue-1/features/a-flight-of-fancy-for-aeroderivative-gas-turbines.html>. – 02.18.2014.
5. *Aeroderivative Gas Turbines for LNG Liquefaction Plants – Part 2: World's First Application and Operating Experience* [Electronic resource] / Cyrus Meher-Homji, Dave Messersmith, Tim Hattenbach, Jim Rockwell, Hans Weyermann, Karl Masani // *Proceedings of ASME Turbo Expo 2008, Power for Land, Sea, and Air, June 9-13, 2008, Berlin, Germany*. – Access mode: http://inglicensing.conocophillips.com/Documents/SMID_016_AeroderivativeGTsforsLNGPlants.pdf. – June 2018.
6. Vyncke-Wilson, David. *Advantages of aeroderivative gas turbines: technical & operational considerations on equipment selection* [Electronic resource] / David Vyncke-Wilson // *20-th Symposium of the industrial application of gas turbines committee. Banff, Alberta, Canada*. – Access mode: http://www.iagtcommittee.com/downloads/2013/206_final_paper.pdf. – October 2013.
7. Almasi, Amin. *Large Aeroderivative Gas Turbines for Power Generation* [Electronic resource] / Amin Almasi. – Access mode: <http://www.power-eng.com/articles/print/volume-116/issue-1/features/large-aero-derivative-gas-turbines-for-power-generation.html>. – 01.01.2012.
8. *GE Power & Water's* [Electronic resource] / official site. – Access mode: <https://www.gedistributedpower.com/products>. – 2.05.2015.
9. *PW Power Systems* [Electronic resource] / official site. – Access mode: <http://www.pwps.com/gas-turbines.html>. – 2.05.2015.
10. *Siemens* [Electronic resource] / official site. – Access mode: <http://www.energy.siemens.com/hq/en/mechanical-drives/gas-turbines/>. – 2.05.2015.
11. *Siemens* [Electronic resource] / official site. – Access mode: http://ivchenko-progress.com/?page_id=1266&lang=en. – 2.05.2015.
12. *SE Ivchenko-Progress* [Electronic resource] / official site. – Access mode: <http://www.motorsich.com/eng/products/land/ge/>. – 2.05.2015.
13. *Perm Engine Company* [Electronic resource] / official site. – Access mode: <http://www.pnz.ru/eng/products/gtu-for-pipelines/>. – 2.05.2015.
14. *NPO "Saturn"* [Electronic resource] / official site. – Access mode: <http://www.npo-saturn.ru/?slang=1>. – 2.05.2015.
15. *Ufa Engine Industrial Association "UMPO"* [Electronic resource] / official site. – Access mode: http://www.umpo.ru/en/Section435_130.aspx. – 2.05.2015.
16. *ОАО «Кузнецов»* [Электронный ресурс] / официальный сайт. – Режим доступа: <http://www.kuznetsov-motors.ru/product/industrial>. – 2.05.2015.
17. *State Enterprise Gas Turbine Scientific-Production Complex Zorya-Mashproekt* [Electronic resource] / official site. – Access mode: <http://eng.zmturbines.com/products.html>. – 2.05.2015.
18. *American Petroleum Institute (API)* [Electronic resource] / official site. – Access mode: <http://www.api.org/>. – 2.05.2015.
19. *API Standard 616. Gas Turbines for the Petroleum, Chemical, and Gas Industry Services* [Text]. – Fifth Edition, January 2011. – Washington, DC: American Petroleum Institute – 180 p.
20. *API Standard 617. Axial and Centrifugal Compressors and Expander-compressors for Petroleum, Chemical and Gas Industry Services* [Text]. – Seventh

Edition, July 2002. Reaffirmed: January 2009. – Washington, DC : American Petroleum Institute. – 288 p.

21. API Standard 614. Lubrication, Shaft-sealing and Oil-control Systems and Auxiliaries [Text]. – Fifth Edition, April 2008. Errata: May 2008. – Washington, DC : American Petroleum Institute. – 236 p.

22. API Standard 670. Machinery Protection Systems [Text]. – Fourth Edition, December 2000. Reaffirmed: November 2010. – Washington, DC : American Petroleum Institute. – 100 p.

23. API Standard 613. Special Purpose Gear Units for Petroleum, Chemical, and Gas Industry Services [Text]. – Fifth Edition, February 2003. Reaffirmed: August 2007. – Washington, DC : American Petroleum Institute. – 100 p.

24. API Standard 677. General-purpose Gear Units for Petroleum, Chemical and Gas Industry Services [Text]. – Third Edition, April 2006. Reaffirmed: August 2010. – Washington, DC : American Petroleum Institute. – 104 p.

25. API Standard 671. Special Purpose Couplings for Petroleum, Chemical and Gas Industry Services [Text]. – Fourth Edition, August 2007. Reaffirmed: September 2010. – Washington, DC : American Petroleum Institute. – 66 p.

26. ASME PTC 22. Performance Test Code on Gas Turbines [Text]. – December 2014. – NY : The American Society of Mechanical Engineers. – 112 p.

27. ASME PTC 10. Performance Test Code on Compressors and Exhausters [Text]. – January 1997. Reaffirmed: 2014 – NY : The American Society of Mechanical Engineers. – 189 p.

28. NFPA 70. National Electrical Code [Text]. – 2014 Edition. – Quincy, MA : National Fire Protection Association. – 921 p.

29. Madhu Madhavan. OEM PROFILE: Aero engine portfolio highlights three options for electric generation [Electronic resource] / Madhu Madhavan, Gil Badeer, Tayo Montgomery, Rick Hook. – Access mode: <http://www.ccj-online.com/oem-profile-aero-engine-portfolio-highlights-three-options-for-electric-generation/>. – 11.03.2015.

Поступила в редакцію 20.05.2015, розглянута на редколегії 22.06.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. каф. проектування авіаційних двигателів С. В. Елифанов, Національний аерокосмічний університет ім. Н. Е. Жуковського "ХАІ", Харків.

АВІАЦІЙНІ КОНВЕРТОВАНІ ГАЗОВІ ТУРБІНИ. СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ. СТАНДАРТИ

В. М. Жаріков

Розглянуто історичні передумови для появи авіаційних конвертованих газових турбін як окремого класу промислових турбін. Зроблено огляд сучасної і перспективних сфер їх застосування на енергетичному, тепловому та нафтогазовому ринках. Проаналізовано їх переваги та недоліки в порівнянні зі стаціонарними промисловими газовими турбінами. Проведено аналіз та зроблено добірку, актуальних станом на сьогодні, світових виробників газових турбін, котрі розробляють і виготовляють авіаційні конвертовані газові турбіни. Представлено огляд API стандартів, що створюються Американським інститутом нафти і газу, на прикладі використання авіаційних конвертованих газових турбін в якості механічного приводу для компресора в складі газоперекачувального агрегату. Наголошено на важливості відповідності API стандартам для виробників обладнання, що реалізують свою продукцію на світовому ринку.

Ключові слова: конвертована газова турбіна, промислова газова турбіна, дизайн, авіаційний двигун, механічний привід, API стандарт, потужність, компресор, нафтогазова промисловість.

AERODERIVATIVE GAS TURBINES. SCOPE OF APPLICATION. STANDARDS

V. N. Zharikov

The historical background of the appearance of aeroderivative gas turbines as a separate class of industrial turbines is considered. The current and future areas of their application in power energy, heat and oil & gas markets are reviewed. The advantages and disadvantages of aeroderivative gas turbines in comparison with heavy frame industrial gas turbines are analyzed. The analysis is conducted on the up-to-date information, and the selection of world's manufacturers of aeroderivative gas turbines is provided. API standards established by the American Institute of oil and gas are reviewed. The use of aeroderivative gas turbine as of mechanical drive for compressor that is a part of gas-pumping unit is provided as an example of API standards practical implementation. The importance of meeting API standards for equipment manufacturers who sell their products in the world market is highlighted.

Key words: Aeroderivative gas turbine, industrial gas turbines, design, aircraft engine, mechanical drive, API standard, power, compressor oil and gas industry.

Жаріков Віталій Николаевич – інженер по ротационному обладнанню в механічному департаменті, компанія JGC America, Inc., Хьюстон, США, e-mail: zharikov.vitalii@jgc.com.