

РАЗВИТИЕ ГАЗОТУРБИННЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ В РОССИИ

© 2019 г. Ю.К. Петреня

Публичное акционерное общество "Силовые машины", Санкт-Петербург, Россия

E-mail: petrenya_uk@power-m.ru

Поступила в редакцию 03.12.2018 г.
Поступила после доработки 03.12.2018 г.
Принята к публикации 24.12.2018 г.

Газ играет важнейшую роль в топливно-энергетическом балансе стран – крупнейших потребителей энергии – России, США и Европы. Эффективность энергетических ресурсов во многом обеспечивается за счёт применения газотурбинных технологий, которые достигли высокого уровня развития. Россия обладает опытом газотурбостроения, научным и промышленным потенциалом в этой области, однако до сих пор не имеет соответствующей государственной программы. Для обеспечения энергобезопасности и научно-технологического развития Российской Федерации, решения перспективных задач энергетики XXI века предлагается сформировать и реализовать под научно-методическим руководством Отделения энергетики, машиностроения, механики и процессов управления РАН комплексную научно-технологическую инвестиционную программу (национальный проект) по разработке и освоению отечественных газотурбинных энергетических технологий.

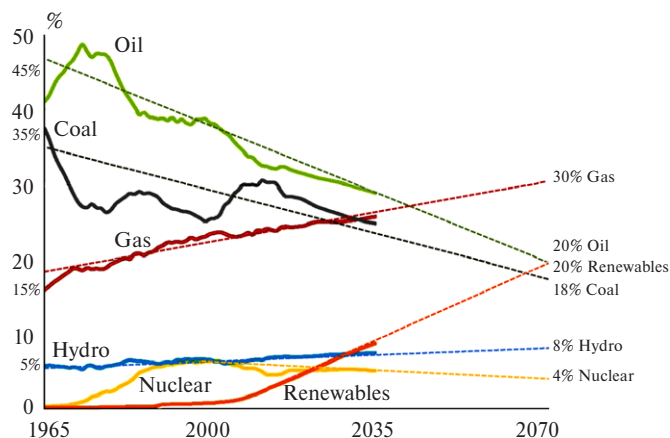
Ключевые слова: газовые энергетические турбины, современная и перспективная энергетика, энергоэффективность, энергобезопасность, фундаментальные исследования, комплексная научно-технологическая инвестиционная программа (национальный проект).

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873894331-334>

Газотурбинные энергетические технологии – одна из важнейших составляющих современной и перспективной энергетики. Это определяется ролью, которую играет газ в топливно-энергетическом балансе индустриально развитых стран. В топливном балансе России доля газа составляет примерно 50%, США и Европы – более 40% и 20% соответственно. Таким образом, внедрение в энергетику установок, основанных на применении парогазового цикла, уже сегодня обещает большие выгоды [1–8]. И актуальность этого направления будет возрастать, так как к 2070 г. доля газа в мировом топливном балансе достигнет примерно 30% при одновременном росте новых генерирующих мощностей. Если в 1965 г. общая мощность газовой генерации в мире составляла 0,11 ТВт, а в 2015 г. – около 1,29 ТВт, то к 2035 и 2070 годам она достигнет 2,49 и 4,38 ТВт соответственно, то есть рынок газотурбинных энергетических технологий станет одним из самых быстрорастущих в мировом энергомашиностроении (рис.) [1–5].

Россия обладает опытом создания и применения газовых турбин большой мощности. В 1960–1970-е

годы на Ленинградском металлическом заводе разработали и внедрили рекордную по мощности (100 МВт) газовую турбину ГТ-100. В последние десятилетия отечественные энергомашиностроители освоили производство лицензионных газовых турбин Е-класса мощностью 160 МВт, разработали и испытали в условиях станции газовую турбину ГТ-65, предложили проекты турбин мощностью 180 МВт (ЛМЗ – ОАО "Авиадвигатель") и 170, 300 МВт (ПАО "Силовые машины") [9–13].



Доля газа в мировом топливном энергетическом балансе

ПЕТРЕНЯ Юрий Кириллович – член-корреспондент РАН, заместитель генерального директора – технический директор ПАО "Силовые машины".



Газовая энергетическая турбина ГТЭ-65 ПАО "Силловые машины"

В конце 2000-х годов в нашей стране развернулась масштабная работа по реконструкции действующих и строительству новых энергоблоков, которая осуществлялась по договорам о поставке мощности (ДПМ). В результате теперь 12% электроэнергии России вырабатывается на станциях, где установлены зарубежные газовые турбины большой мощности и парогазовые установки на их основе, что создаёт существенные риски для энергобезопасности страны. Эта проблема обостряется на фоне санкционной и запретительной политики западных стран, которая проявилась при поставках газовых турбин в Крым.

Ещё одна угроза надёжному функционированию энергетической сферы страны – технологическая монополизация рынка мощных (более 300 МВт) газовых турбин. Разработчиками и производителями таких установок являются только три компании – General Electric (США), частью которой стала Alstom, Siemens (Германия) и Mitsubishi Heavy Industries (Япония) [14–16].

Газотурбинным технологиям отводится особая роль в развитии перспективной энергетики. В течение ближайших десятилетий будет осуществляться переход от моноцелевых монотопливных электростанций к многоцелевым многотопливным энергохимическим комплексам, ключевым элементом которых станут газовые энергетические турбины большой мощности с высоким уровнем температуры на входе. В этих условиях отечественное энергомашиностроение должно

располагать газовыми турбинами и парогазовыми установками, способными обеспечивать энергоэффективность и энергобезопасность российской энергетики и конкурировать на мировом энергетическом рынке.

По совокупности решений, объединённых в систему, газовые турбины – один из самых сложных технических объектов, созданных человечеством, тем не менее есть резервы для их совершенствования. За последние 50 лет в области газотурбостроения произошли существенные перемены. Единичная мощность турбоагрегатов выросла со 100 до 500 МВт, коэффициент полезного действия парогазовых установок на их базе достиг 62%. Классы газотурбинных энерготехнологий и температуры на входе в газовую турбину и выхлопе из неё представлены в таблице. Для J-класса температура на входе может достигать 1700°C. Поскольку входной барьер в газотурбинные технологии достаточно высок, необходимы крупные инвестиции в опытно-конструкторские работы на этапе разработки оригинального продукта, школа проектирования, конструкторский задел, современная технологическая база и сервисная служба.

Вопрос о развитии отечественных газотурбинных технологий Российская академия наук ставила неоднократно. В 2014 г. академик РАН В.Е. Фортков, министр энергетики РФ А.В. Новак и министр промышленности и торговли РФ Д.В. Мантуров направили Президенту РФ В.В. Путину обращение на эту тему и получили от него поддержку. Ряд обращений по этому поводу подготовил и направил в Правительство РФ и ведомства академик РАН О.Н. Фаворский. Соответствующие рекомендации выработала Комиссия по газовым турбинам РАН, которую возглавляет член-корреспондент РАН Г.Г. Ольховский. Недавно по теме газовых энергетических турбин высказался Совет РАН по приоритетному направлению научно-технологического развития РФ "Переход к экологически чистой энергетике, повышение эффективности добычи и глубокой переработки углеводородного сырья, формирование новых источников, способов транспортировки и хранения энергии" под председательством академика

Классы газотурбинных энерготехнологий

Класс газотурбинной технологии	Температура на входе в газовую турбину, °С	Температура на выхлопе газовой турбины, °С	Класс параметров котла-утилизатора, паровой турбины в составе ПГУ
E	≤ 1150	500–540	SC (Supercritical)
F	1150–1300	600	USC (Ultra-Supercritical)
H	1300–1500	640	A-USC (Advanced Ultra-Supercritical)
J	1500–1700	680	A-USC (Advanced Ultra-Supercritical)

РАН В.Е. Фортова. В Академии наук разработаны предложения по модернизации тепловой энергетики страны, в том числе касающиеся применения газотурбинной надстройки с паротурбинным блоком повышенной эффективности тепловой электростанции (патент на изобретение № 2269009 академика РАН О.Н. Фаворского, члена-корреспондента РАН Ю.К. Петрени и др.).

Учитывая высокую актуальность создания мощных энергетических газовых турбин и их важность для безопасности и экономики страны, необходимо сформировать и реализовать комплексную научно-техническую инвестиционную программу (национальный проект) по разработке и освоению отечественных газотурбинных энергетических технологий. Она должна опираться на передовые фундаментальные исследования и прикладные работы, что позволит в сжатые сроки выйти на мировой уровень газотурбинных энергетических технологий. Фундаментальные исследования необходимо сосредоточить в первую очередь на получении новых знаний в области аэродинамики различных узлов газовой турбины. Это даст возможность полно описать аэродинамические условия в компрессоре, камере сгорания и турбине, в системах охлаждения на базе верифицированных кодов и программных комплексов. Другое направление фундаментальных исследований касается изучения физико-химических и теплофизических процессов в камерах сгорания, в том числе при использовании низкокалорийного синтез-газа с добавлением водорода и применении мембранных технологий. Создание газовых турбин нового поколения, способных работать при температуре 1700 °С, требует разработки перспективных материалов, включая керамические, и функциональных покрытий для элементов горячего тракта, а также использования аддитивных технологий [17–18]. Для уменьшения финансовых и временных затрат необходимо развивать методы решения связанных (мультидисциплинарных) задач и сквозного суперкомпьютерного проектирования, что обеспечит испытание и доводку газовой турбины большой мощности в виртуальном пространстве. Фундаментальные исследования по этим и другим направлениям могут быть выполнены силами академической и вузовской науки.

Поузловые научно-исследовательские, опытно-конструкторские работы и стендовые испытания диктуют необходимость участия в программе отраслевой науки и высокотехнологичных компаний, бизнес которых сосредоточен в сфере энергомашино- и авиадвигателестроения. Надёжность эксплуатации мощных газовых турбин должна обеспечиваться системой автоматического управления, мониторинга и диагностики, построенной на базе динамических математических моделей, специальных алгоритмов и компьютерных тех-

нологий. При изготовлении деталей и заготовок газовых турбин (лопаток, дисков, ротора и т. п.) следует опираться на перспективные металлургические технологии, разрабатываемые высокотехнологичными компаниями в кооперации с академической, вузовской и отраслевой наукой. Широкое сотрудничество научных, производственных и эксплуатирующих организаций требуется также при решении проблем, связанных с эксплуатацией, сервисом и восстановительным ремонтом перспективных газовых турбин.

Перечислим основные этапы освоения отечественных газотурбинных энерготехнологий:

- 1-й этап (2022–2023 гг.) – восстановление компетенций в изготовлении газовых турбин Е-класса, включая разработку и серийное производство отечественных газовых турбин средней и большой мощности для обеспечения новой модели энергетического рынка, предусматривающего так называемый механизм ДПМ-штрих, который придёт на смену договору о предоставлении мощности (ДПМ);
- 2-й этап (2018–2028 гг.) – разработка и освоение газовых турбин F/H-класса;
- 3-й этап (2018–2033 гг.) – разработка и освоение газовых турбин J-класса.

Финансирование 1-го этапа национального проекта может осуществляться за счёт бюджетных средств и средств ПАО "Силовые машины".

Комплексная научно-технологическая инвестиционная программа (национальный проект) по разработке перспективных газовых турбин отвечает интересам Российской Федерации и необходима для повышения конкурентоспособности и экспортного потенциала отечественной промышленности, решения текущих и перспективных задач энергетики XXI века. Мультидисциплинарный проект, имеющий основополагающее значение для экономики и энергобезопасности страны, требует бюджетных инвестиций и поддержки Правительства РФ, профильных министерств, промышленных партнёров. Координацию работ по его реализации и кооперацию академической, отраслевой и вузовской науки с промышленностью следует осуществлять под научно-методическим руководством Отделения энергетики, машиностроения, механики и процессов управления РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. International Energy Agency. World Energy Outlook 2018. <https://webstore.iea.org/world-energy-outlook-2018>
2. Энергетическая стратегия России на период до 2035 года. http://www.energystrategy.ru/ab_ins/source/ES-2035_09_2015.pdf
3. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации до 2035 года. <http://sntr-rf.ru/>

- upload/iblock/c80/Указ%20Президента%20РФ%20о%20Стратегии%20научно-технологического%20развития%20Российской%20Федерации.pdf
4. *Фортон В. Е., Попель О. Н.* Энергетика в современном мире. Долгосрочный: Издательский дом "Интеллект", 2011.
 5. *Петреня Ю. К.* По законам физики и экономики // Stimul.online. 2018. <https://stimul.online/articles/interview/po-zakonomam-ekonomiki-i-fiziki/>
 6. *Ольховский Г. Г., Тумановский А. Г.* Теплоэнергетические технологии в период до 2030 г. // Известия РАН. Энергетика. 2008. № 6. С. 79–94.
 7. *Фаворский О. Н., Полищук В. Л.* Выбор тепловой схемы и профиля отечественной мощной энергетической ГТУ нового поколения и ПГУ на её основе // Теплоэнергетика. 2010. № 2. С. 2–7.
 8. *Иноземцев А. А., Хайрулин В. Т., Тихонов А. С., Самохвалов Н. Ю.* Совершенствование методик проектирования современных газовых турбин // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. 2014. № 5(47). С. 139–145.
 9. *Федюк Е. Р.* Научная школа С. А. Христиановича в сфере энергетики // Личность. Культура. Общество. Сборник научных статей. Новосибирск: НГУ, 2010. С. 148–162.
 10. *Schmalzer V. A.* Gas Turbine Boom Begins // International Turbomachinery Handbook. 2008. S. 10.
 11. *Филиппов С. П., Дильман М. Д.* ТЭЦ в России: необходимость технологического обновления // Теплоэнергетика. 2018. № 11. С. 1–18.
 12. *Крюгер В. Д., Сорочан И. П., Петреня Ю. К. и др.* Энергетические газотурбинные установки производства ОАО "Силовые машины" // Газотурбинные технологии. 2009. № 3(74). С. 2–8.
 13. *Лебедев А. С., Симин Н. О., Петреня Ю. К., Михайлов В. Е.* Проект энергетической газотурбинной установки ГТЭ-65 // Теплоэнергетика. 2008. № 1. С. 46–51.
 14. *Кондратьев В. Н., Лебедев А. С., Симин Н. О., Сергеев А. Г.* Газовые турбины "Интертурбо" для блоков ПГУ в России // Электрические станции. 2011. № 7. С. 37–41.
 15. Газовые энергетические турбины GE от 16 до 510 МВт. <https://ge.com/power/gas/gas-turbines>
 16. Газовые турбины Siemens HL-класса – SGT5-8000HL, SGT5-9000HL и SGT6-9000HL. <https://politexpert.net/123615-rekord-proizvoditelnosti-siemens-predstavil-sverkhmoshnuyu-gazovuyu-turbinu>
 17. MHI The state-of-the-art J-series gas turbines with a turbine inlet temperature of 1,600 °C. https://mhi.com/products/energy/gas_turbine.html
 18. *Каблов Е. Н.* Материалы и химические технологии для авиационной техники // Вестник РАН. 2012. № 6. С. 520–530.
 19. *Голубовский Е. Р., Светлов И. Л., Хвацкий К. К.* Длительная прочность никелевых сплавов для монокристаллических лопаток газотурбинных установок // Конверсия в машиностроении. 2005. № 3. С. 60–64.

DEVELOPMENT OF GAS-TURBINE TECHNOLOGIES IN RUSSIA

© 2019 Yu.K. Petrenya

PJSC «Power Machines», St. Petersburg, Russia

E-mail: petrenya_yk@power-m.ru

Received: 03.12.2018

Revised version received: 03.12.2018

Accepted: 24.12.2018

Gas plays the central role in the fuel and energy balance among Russia, USA and Europe. Efficient energy use is encouraged with gas-turbine technologies, which have reached a high level of development. Russia has a great deal of gas-turbine engineering experience and scientific and industrial potential in this area, but has no national program to encourage the development of such technology. To ensure energy security and the scientific and technological development of the Russian Federation, to address the energy problems of the 21st century, we propose the formation of a national program for the development of gas turbines. This program would fall under the scientific and methodological guidance of the Department of Energy, Mechanical Engineering, Mechanics and Management Processes of the Russian Academy of Sciences.

Keywords: gas energy turbines, modern and prospective energy, energy efficiency, energy security, basic research, comprehensive investment research program (national project).