

УДК 620.9

**РАЗВИТИЕ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ В
РОССИИ**

Артюшенко Д.В. (САФУ им. М.В. Ломоносова), студент гр. 111112, 4 курс

ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова»

г. Архангельск

Аннотация: Статья посвящена анализу тенденций и перспектив развития газотурбинных установок (ГТУ) большой мощности в России. В работе рассматриваются современные достижения в области технологий газотурбинного машиностроения, влияние на них энергетической политики страны и необходимость перехода к более экологически чистым источникам энергии. Особое внимание уделяется инновационным решениям, таким как применение новейших материалов и систем управления, которые позволяют повысить эффективность и надежность ГТУ. Также в статье обсуждаются ключевые проекты и инициативы в области эксплуатации газотурбинных установок, а также их роль в обеспечении энергетической безопасности России.

Ключевые слова: газотурбинные установки, энергетика, экономика, газовая генерация

Одним из наиболее распространенных видов топлива в энергетической области является природный газ. По причине отказа ряда стран использовать российские энергоресурсы увеличивается доля его внутреннего потребления, что приводит к ускоренным темпам перевода электростанций на сжигание природного газа. В связи с этим для развития энергетического сектора в России актуально интенсифицировать процесс исследований в области газотурбинных установок (ГТУ).

На теплоэлектростанциях ГТУ, чаще всего, входит в состав парогазовых установок (ПГУ) как её основная часть. В этом случае газотурбинная установка использует топливо (природный газ) для генерации электроэнергии, в то время как ПГУ использует отходящие от ГТУ газы для производства дополнительной электроэнергии, повышая тем самым общую энергетическую эффективность установки. На данный момент производство ГТУ малых и средних мощностей в России хорошо налажено, в отличие от ГТУ больших мощностей, которым еще требуется техническое развитие. Зависимость России от импорта газовых турбин — более 90%, в стране нет собственного хорошо оптимизированного производства турбин большой мощности [1]. Россия нуждается в развитии газотурбинных установок (ГТУ) больших мощностей по нескольким причинам. Во-первых, начиная с 2022 года, Россия подвергается влиянию санкций, которые приводят к ограничениям в импорте необходимого оборудования, комплектующих и технологий для производства и обслуживания ГТУ. Для обеспечения энергетической безопасности и экономического развития страны наиболее целесообразным является производство и обслуживание отечественных ГТУ. Во-вторых, современные газотурбинные установки обладают высокой энергетической эффективностью, что способствует сокращению потребления топлива и снижению выбросов вредных веществ, что важно для соблюдения экологических стандартов. Совершенствуя технологическое развитие ГТУ малых и больших мощностей позволит России укрепить свои позиции на мировом рынке производства и поставок газотурбинного оборудования, что способствует развитию отечественной промышленности и повышению экспортного потенциала.

Основные технические характеристики крупных энергетических ГТУ, которые выпускаются в России, представлены в табл. 1.

Табл. 1– Основные технические характеристики крупных энергетических ГТУ

Показатель	Фактические	Перспективные
Мощность, МВт	65-170	300-350
КПД ГТУ, %	26-45	выше 60
Температура отработавших газов, °С	450-550	550-640

Газотурбинные установки больших мощностей имеют широкий спектр применения в различных отраслях энергетического сектора, таких как:

- производство электроэнергии на энергетических станциях, включая тепловые электростанции и комбинированные циклы;
- обеспечение энергетических нужд промышленных предприятий, включая нефтегазовую отрасль, химическую промышленность и другие отрасли с высоким энергопотреблением;
- производство тепла и горячей воды для коммунальных и промышленных нужд;
- обеспечение работы оборудования на нефтегазовых месторождениях и в нефтеперерабатывающей промышленности;
- обеспечение энергией судов и судового оборудования.

С каждым годом потребление электроэнергии увеличивается на 1%–1,6% в РФ, в связи с этим увеличение мощностей ГТУ остается актуальной темой по сей день. РФ активно развивает и финансирует это направление. Увеличение мощности зависит от подаваемого рабочего тела на ГТУ. Чтобы турбина выдерживала нагрузку, нужно учесть надежность деталей. В свою очередь, надежность зависит от материала элементов (сплава сталей). Также, для увеличения мощности ГТУ следует учитывать рабочий цикл и схемы подключения ГТУ. При увеличении мощности турбины напрямую увеличиваются ее размеры. В свою очередь это доставляет неудобства при монтаже и работе с ней, но способствует вырабатывать большую мощность.

На рис. 1 представлен график увеличения мощности ГТУ за период 2017-2022г.



Рис. 1 – Развитие ГТУ прошлых лет

На рис. 2 представлен график прогноза увеличения мощности ГТУ в РФ за 2024-2036г.



Рис. 2 – Перспективное развитие ГТУ

Госкорпорация "Ростех" оценивает потребность российского рынка в газовых турбинах большой мощности в 80 единиц до 2035 года [2].

Несмотря на высокий спрос на современные промышленные газотурбинные двигатели, в данный момент потенциал их продаж ограничен 2030–2035 годами. Данная ситуация связана с тем, что в последнее время на мировом рынке ГТУ происходит кризис, направленный против больших выбросов(эмиссии) углеводородов и оксидов азота в атмосферу.

При написании сценариев учитывались следующие факторы: разработки и отчёты о деятельности ведущих отечественных машиностроительных компаний, влияние актуальной политической обстановки, стратегия развития топливно-энергетического комплекса Министерства энергетики РФ, распоряжения Правительства РФ.

Определяющая доля природного газа в энергетике сохранится еще приблизительно на 50 лет, так как в климатических условиях РФ другие источники не способны компенсировать традиционную генерацию. Вследствие этого разработка более совершенных моделей ГТУ и ПГУ будет продолжаться в этот период. Российские ГТУ и ПГУ будут стремиться к увеличению КПД различными способами как к единственно верному варианту.

Обслуживание парка зарубежных ГТУ с использованием импортируемых деталей горячего тракта и инжиниринга, приобретаемых за валюту, делает сервис ГТУ чрезвычайно дорогостоящим. Эксплуатация останется рентабельной только при действии повышенных тарифов на электроэнергию. Очевидно, что данный подход трудно будет распространить на всю газовую генерацию [3]. В таком случае, начавшаяся ещё в 2014 году реализация проектов импортозамещения отечественными компаниями является критически важной задачей, успешное выполнение которой позволит надлежащим образом постепенно вытеснять иностранные ГТУ и ПГУ из российской энергетики и создать собственное производство [4].

При пессимистичном развития событий российским производителям не удастся до 2035 в должной мере поддерживать сокращение технического разрыва с зарубежными, что приведет к колоссальной цене на обслуживание и закупку деталей для оставшегося иностранного оборудования, что, очевидно, является нецелесообразным. Обслуживание парка зарубежных ГТУ с использованием импортируемых деталей будет потреблять большое количество средств. Это повлечет за собой стимуляцию со стороны правительства производственных предприятий на скорейшую разработку и запуск серийного производства моделей ГТУ или ПГУ, что, опять же, повлечет большие финансовые вложения в эту область. Определяющая доля природного газа в энергетике сохранится на более продолжительный период времени – приблизительно на 60–70 лет. Таким образом, в данном

сценарии российский рынок ГТУ большой мощности будет развиваться медленнее, но будет иметь обширную собственную базу энергетических установок для дальнейшего развития.

Влияние санкций западных стран будет снижаться, позволяя российским производителям быстрее устранить технический разрыв с зарубежными производителями и наладить собственное производство ГТУ и ПГУ. Также достаточно уверенно можно сказать, что в ближайшее время начнет использоваться новый вид топлива - метано-водородная смесь. Оно сделает достижимым уровень КПД в 70-80%. Это приведет к выводу на международный рынок в ближайшее десятилетие российских ПГУ высокой эффективности, которые в ближайшее время заменят устаревшие модели. Таким образом, при положительном сценарии в РФ должны быть разработаны и запущены в производство высокоэффективные ГТУ и ПГУ. Предприятия, занимающиеся в данный момент производством установок, должны будут улучшить, модернизировать свое производство, подняв его на новый уровень. Это позволит надлежащим образом отечественным компаниям выдержать конкуренцию на международном рынке и получить в нем свою долю, а также обеспечить собственные потребности нашей страны.

Проведенный SWOT-анализ технологического стратегического планирования энергосистем будущего представлен в табл. 2. С помощью SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны, влияющие на возможности внедрения технологических и цифровых решений и планирование развития сценария по теме «Российские ГТУ большой мощности. Эволюция газовых турбин. Роль газовой генерации в управлении режимами энергосистем». Рассмотрены возможности и угрозы, которые могут повлиять на комплексное развитие энергосистем.

Табл. 2- SWOT- анализ

S-(strengths) сильные стороны	W-(weaknesses) слабые стороны	O-(opportunities) возможности	T-(threats) угрозы
Налаженное производство газотурбинных установок малой и средней мощности в России.	Сильная зависимость от импорта газовых турбин для крупных энергетических установок (более 90%).	Переход к отечественному производству крупных газотурбинных установок из-за отсутствия аналогов на внутреннем рынке.	Санкции и ограничения на импорт, влияющие на импорт необходимого оборудования для производства газовых турбин.
Одним из главных видов топлива в энергетической области является природный газ, что создает актуальность исследований газотурбинных установок.	Главным вызовом является нехватка технического развития в области ГТУ больших мощностей.[5]	Развитие ГТУ больших мощностей способствует обеспечению энергетической безопасности и сокращению выбросов вредных веществ.	Высокие затраты на исследования и разработки новых технологий могут быть препятствием для реализации проектов в этой области.

Высокая энергоэффективность современных газотурбинных установок.	Отсутствие отечественного производства крупных газотурбинных установок, требующих технического развития.	Совершенствование технологий в этой области позволит укрепить позиции на мировом рынке и повысить экспортный потенциал.	Экологические проблемы и нормативные акты, влияющие на производство и использование газотурбинных установок.
Государственная поддержка и инвестиции в развитие газотурбинных технологий.	Неопределенность в отношении точной стоимости разработки крупных газотурбинных установок, обусловленная различными факторами.	Государственное финансирование и программы, поддерживающие разработку газовых турбин.	Изменение спроса на электрическую и тепловую энергию, в т.ч. в связи с климатическим фактором.
Растущий спрос на газотурбинные установки в различных отраслях промышленности.	Дефицит высококвалифицированных кадров.	Масштабируемость технологий на другие регионы и другие отрасли промышленности.	Низкий потенциал обмена технологиями между генерирующими компаниями.

Проведенный SWOT-анализ позволяет выделить ключевые аспекты, определяющие текущее положение и перспективы развития отрасли газотурбинных установок в России. Для успешного развития отрасли необходимо уделить внимание устранению слабых сторон, использовать возможности для укрепления позиций на рынке и сокращения угроз, а также продолжать развивать новые технологии и сотрудничество с государством для поддержки инноваций. Применение SWOT-анализа позволяет выработать стратегии, учитывающие сильные стороны для оптимизации развития, уменьшения уязвимостей и эффективного использования возможностей, в то же время принимая меры по смягчению угроз.

Проведенный SWOT-анализ позволяет выделить ключевые аспекты, определяющие текущее положение и перспективы развития отрасли газотурбинных установок в России. Для успешного развития отрасли необходимо уделить внимание устранению слабых сторон, использовать возможности для укрепления позиций на рынке и сокращения угроз, а также продолжать развивать новые технологии и сотрудничество с государством для поддержки инноваций. Применение SWOT-анализа позволяет выработать стратегии, учитывающие сильные стороны для оптимизации развития, уменьшения уязвимостей и эффективного использования возможностей, в то же время принимая меры по смягчению угроз. В PESTEL анализе мы рассмотрели основные факторы, необходимые для проведения данного исследования (политические, экономические, социальные, технологические, экологические и законодательные), влияющие на технологическое и стратегическое развитие газовых турбин и газотурбинных технологий в Российской Федерации.

В PESTEL анализе в табл.3 мы рассмотрели основные факторы, необходимые для проведения данного исследования (политические, экономические, социальные, технологические, экологические и законодательные), влияющие на технологическое и стратегическое развитие газовых турбин и газотурбинных технологий в Российской Федерации.

Табл. 3 – Pestel анализ

Категория рисков	Факторы	Оценка фактора (0-100)	Вклад категорий рисков
Политические	1. Санкционная политика зарубежных стран (возможность развития Российских газовых турбин после ухода компании Siemens с российского рынка (строительство турбин компанией ОДК-Сатурн в г. Рыбинск, Петербургское АО «Силовые машины»))	90,00	19,34
	2. Изменения в налоговой политике как фактор влияния на эффективность проектов в сфере энергетики	45,00	
	3. Военно–политическая ситуация в стране и в мире	50,00	
	4. Пересмотр стратегии развития в энергетической отрасли	58,00	
	5. Отсутствие международного сотрудничества в области разработки новых технологий	70,00	
Экономические	1. Снижение потребности в производстве электроэнергии с помощью газовых турбин путем перехода на использование других источников энергии для производства электричества в турбинах (паровые)	55,00	23,67
	2. Снижение инвестиционной активности из-за ухода зарубежных компаний с рынка	82,00	
	3. Рост добычи природного газа	70,00	
	4. Выделение субсидий на производство газовых турбин	70,00	

	5. Снижение платежеспособности потребителя электроэнергии	45,00	
	6. Затраты на обеспечение и поддержания высокого уровня надежности	40,00	
	7. Сокращение программ льготного кредитования системообразующих предприятий	12,00	
Социальные	1. Резкое сокращение числа опытных и высококвалифицированных работников на электростанциях и предприятиях, производящих газовые турбины	90,00	10,07
	2. Увеличение числа потребителей электрической энергии	55,00	
	3. Влияние общественного мнения на использование газотурбинных технологий в экологически чистом производстве	18,00	
Технологические	1. Удорожание деталей для газовых турбин, которые используются в настоящий момент на станциях по производству электроэнергии	40,00	24,54
	2. Износ энергетических устройств, оборудования	68,00	
	3. Внедрение цифровых технологий в производство и эксплуатацию газовых турбин.	50,00	
	4. Отказ от использования ядерных реакторов в качестве источника теплоты	60,00	

	5. Ужесточения технологических требований и стандартов, установленных правительством России для разработки и производства газотурбинных технологий	80,00	
	6. Применение установки Н-технологии (представляет собой инновационную технологию, которая заключается в использовании водорода в качестве топлива для газовых турбин, что позволяет повысить эффективность и экологичность их работы.)	41,00	
	7. Применение инновационного воздухоочистительного устройства для газотурбинных установок	58,00	
Экологические	1. Проблема разрушения озонового слоя (Основной проблемой газовых турбин является выброс в атмосферу несгоревших углеводородов, оксидов азота и углерода)	30,00	12,80
	2. Использование нетрадиционных источников энергии для производства электричества (ветряная энергетика, солнечная энергетика)	27,00	
	3. Утилизация попутного нефтяного газа иными путями	59,00	
	4. Увеличение числа техногенных аварий и катастроф из-за некорректной работы новых технологий	91,00	

Законодательные	1. Изменение экологического законодательства РФ (закон об охране окружающей среды от 10.01.2002)	53,00	9,58
	2. Отсутствие конкретных методик прогнозирования воздействия на окружающую среду	40,00	
	3. Установление жестких требований по расположению ГТУ	35,00	
	4. Увеличение налоговых ставок	27,00	

Низкая степень риска (до 35%) и высокая (более 65 %) указывает на благоприятные/неблагоприятные условия и потенциальную пользу/вред для решения соответственно. Степень риска около 50 % указывает на высокую степень неопределенности. В таких условиях результат решения будет непоследовательным.

По результатам PESTEL-анализа видно, что наибольшее влияние на технологическое стратегическое развитие газовых турбин и газотурбинных технологий в Российской Федерации оказывают технологические, экономические и политические риски, наименьшее - законодательные, социальные и экологические.

Высокая эффективность, надежность и экологическая чистота продукции позволяют российским производителям занять лидирующие позиции на мировом рынке [6].

За счет активного развития экспортных продаж газотурбинных установок и увеличения внутреннего спроса в стране российские производители ГТУ получают дополнительный импульс для роста и развития [7]. Создание благоприятных условий для инвестирования и сотрудничества с зарубежными партнерами позволит расширить рынок сбыта и увеличить прибыльность отрасли [8].

Экологический сценарий предполагает увеличение производства и усовершенствование технических характеристик установок. Ключевыми направлениями станут повышение энергоэффективности, снижение выбросов вредных веществ, а также разработка уникальных технологий, соответствующих новейшим стандартам безопасности и экологической чистоты. В условиях ужесточения требований к экологической безопасности и уменьшения вредных выбросов, российские производители ГТУ активно внедряют технологии с нулевыми или минимальными выбросами вредных веществ. Благодаря этому отрасль получит дополнительные конкурентные преимущества и будет способствовать улучшению экологической ситуации в стране [9]. Эти альтернативные сценарии развития российских газотурбинных установок большой мощности могут быть использованы для более глубокого анализа и планирования стратегий развития отрасли.

Ограничения, накладываемые бывшими зарубежными партнерами, препятствуют развитию инноваций из-за недостатка отечественных комплектующих. Однако эта ситуация стимулирует переход к новой модели международных отношений, в которой акцент делается на развитии альтернативных рынков и сотрудничестве с новыми партнерами. Изменения в налоговой политике могут стать мощным фактором, влияющим на эффективность проектов в сфере энергетики, в том числе на развитие ГТУ в России. В стране на данный момент оцениваются перспективы введения квотирования выбросов парниковых газов или углеродного налога, таких как: внедрение на практике низко- и безуглеродных технологий;

увеличение срока эксплуатации устройств и изделий, снижение объемов производственного брака; использования вторичных ресурсов и отходов как сырья для производства продукции [10].

За последние годы в стране наблюдается устойчивая тенденция к увеличению добычи природного газа. Следовательно, данное топливо становится более доступным, что стимулирует развитие газовой энергетики, в том числе с использованием газовых турбин.

Социальные тенденции развития энергетики в первую очередь связаны с сокращением числа квалифицированных работников на электростанциях и предприятиях, производящих и обслуживающих газовые турбины. Без достаточного числа кадров может затормозиться разработка и совершенствование отечественного производства ГТУ, что приведет высоким финансовым затратам и росту на электроэнергию. Увеличение числа потребителей напрямую приведет к увеличению спроса на энергию. Потребуется модернизация и расширение энергетической инфраструктуры - строительства новых электростанций как в городах, так и в отдаленных местах страны, проведение к ним линий электропередач и обеспечение систем хранения энергии. К технологическим тенденциям можно отнести: износ и удорожание энергетических устройств на рынке ГТУ. Данные проблемы поможет решить модернизация оборудования, а также внедрение цифровых технологий в производство и эксплуатацию газовых турбин.

На законодательном уровне устанавливаются жесткие требования по расположению и обслуживанию ГТУ, увеличиваются налоговые ставки, а также ведется прогнозирование развития энергетического сектора. Эти направления развития обеспечивают движение в сторону создания более устойчивой, декарбонизированной и цифровой энергетической системы, ориентированной на потребности потребителей и защиту окружающей среды.

Объем мирового рынка газовых турбин оценивается в 10,19 млрд долларов США в 2023 году и, по прогнозам, будет расти со среднегодовым темпом роста 4,0% в период с 2024 по 2030 год. Стремительный технологический прогресс в энергетической отрасли в сочетании со смещением акцента в сторону технологий распределенного производства электроэнергии двигают рынок вперед. Прогнозируется, что рынок будет быстро расширяться в течение прогнозируемого периода благодаря усилению государственной поддержки технологий производства электроэнергии, которые минимизируют выбросы углекислого газа во всем мире. Газовые турбины играют ведущую роль в сокращении выбросов парниковых газов. По сравнению с другими системами производства электроэнергии на основе сжигания, газовые турбины очень эффективны и также приводят к снижению выбросов углекислого газа. Спрос в мире на энергоносители представлен на рис. 3.

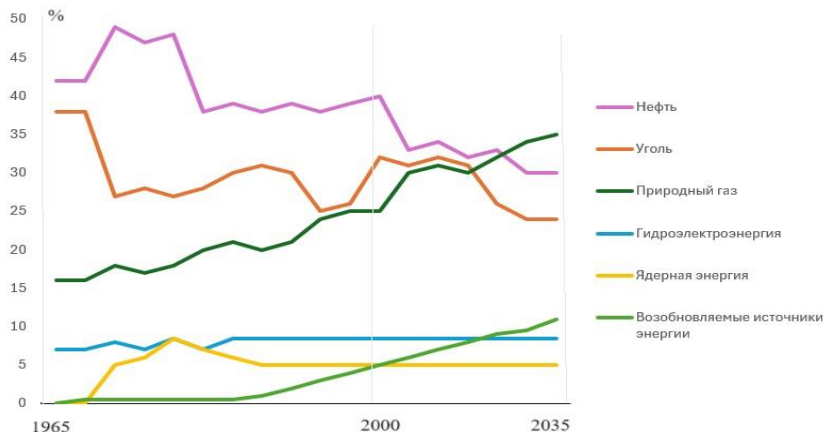


Рис.3 – Развитие энергоносителей в мире

Из графика видно, что спрос на такой энергоноситель как газ в дальнейшем будет расти.

Производство и использование газовых турбин большой мощности (ГТУ) - ключевой компонент энергетического сектора, который играет важную роль в обеспечении стабильности и надежности энергосистем. Технологическое развитие отраслей экономики России включает в себя эволюцию газотурбинных установок большой мощности, роль газовых турбин и газовой генерации в управлении энергосистемами. Благодаря инновационным технологиям и научным разработкам, российские производители ГТУ представляют на рынке все более современные и эффективные модели. Внедрение комбинированных циклов с парогазовыми установками позволяет существенно увеличить эффективность использования топлива и снизить выбросы вредных веществ, что актуально в контексте экологических требований и устойчивого развития/

В России растет спрос на электроэнергию, требующий использования эффективных и экологичных технологий. Газовые турбины большой мощности становятся все более важными для обеспечения надежного и эффективного электроснабжения/

Поставщики товаров и услуг, как прямые, так и косвенные, будут иметь решающее значение для поддержки этого роста и обеспечения надежного, эффективного и экологичного энергоснабжения. По мере того, как Россия продолжает переходить на более чистые источники энергии и стремится к декарбонизации, потребность в поставщиках высококачественного оборудования, технологий и услуг будет только возрастать.

Сегодня доля оборудования иностранных компаний в суммарной установленной мощности введенных в эксплуатацию ПГУ и ГТУ в России составляет более 70 %. Из-за санкционного давления генерирующие компании столкнулись с резким ростом цен на оборудование и попросили Минэнерго разрешить им отказываться от проектов модернизации ТЭС без уплаты штрафов/

Среди отечественных производителей газотурбинного оборудования большой мощности наиболее весомые инновации в индустрию за последнее время привнесли такие компании как АО «Объединенная Двигателестроительная Компания (ОДК)», АО «Силовые машины» и АО «ГТ Энерго».

Развитие ГТУ является неотъемлемой частью прогресса, так как этот фактор влияет на улучшение комфортности жизни людей. Большие мощности для ГТУ являются важной частью для РФ, так как можно будет уменьшить количество маленьких котельных. Это позволит подключить потребителей в одну большую цепь.

Производственно-экспериментальная база ведущих профильных технических университетов, и предприятий, обеспечивающих производство (ПАО ОДК, АО «Силовые машины» и др), сможет решить задачу импортозамещения ГТУ и ПГУ. Технологии ПГУ станут доминирующими при комбинированной выработке электроэнергии и тепла благодаря использованию нового вида топлива в их работе – метановодородной смеси. Благодаря этому виду топлива станет реальной возможность повысить КПД до 70-80%, что также положительно скажется на экологии.

Для базового сценария характерен естественный ход научно-технического процесса. При внедрении новых технологий происходит их удешевление, но значимых технологических прогрессов не наблюдается. Санкции, исходящие от западных стран, подвели Россию к самостоятельности и независимости в энергетической отрасли. Одним из главных вопросов в данной отрасли является развитие отечественного оборудования, начиная с весны 2014 года.

В сфере энергетики существует пессимистичный сценарий развития газотурбинных установок большой мощности, который включает в себя ряд негативных тенденций,

способных оказать значительное влияние на отрасль. Можно выделить технологическую изоляцию, недостаточность инвестиций, рост количества аварий, а также невозможность обеспечить энергетику своей продукцией.

В ходе проведения сценарного анализа было проведено анкетирование экспертного сообщества на предмет исследования ГТУ больших мощностей.

По результатам анализа анкетирования был сформулирован следующий вывод, совмещающий в себе ответы экспертов: У нашей страны есть все ресурсы для самостоятельного производства газовых турбин. В РФ достаточно высококвалифицированных специалистов, в компетенциях которых нет повода сомневаться. На данный момент отечественные ГТУ примерно на 70% зависят от импорта. Таким образом, будет уместно сказать, что необходимо интегрировать возобновляемые источники энергии и ГТУ для гарантирования баланса между производством и потреблением энергии.

Список литературы

1. Филиппов, С.П. ТЭЦ в России: необходимость технологического обновления / С.П. Филиппов, М.Д. Дильман // Теплоэнергетика. – 2018. – № 11 – С. 5–22 – doi:10.1134/S0040363618110024 .
2. Госпрограмма "Научно-технологическое развитие РФ" в 2024 году превысит 1,33 трлн рублей. [Электронный ресурс]: URL: <https://tass.ru/ekonomika/18878567> (дата обращения: 20.06.2024).
3. Ростех оценил потребности России в газовых турбинах большой мощности . [Электронный ресурс]: URL: <https://tass.ru/ekonomika/19574791> (дата обращения: 20.06.2024).
4. Газовые турбины средней и большой мощности [Электронный ресурс]: URL: <https://powerm.ru/customers/thermal-power/gas-turbines/> (дата обращения: 20.06.2024).
5. Ольховский, Г. Г., Пугач, К. С. Научно-технические проблемы широкого применения газотурбинных и парогазовых установок в электроэнергетике РФ [Текст] / Г. Г. Ольховский, К. С. Пугач, Санкт-Петербург: Российская Академия Наук, 2020 — 239 с.
6. Импортозамещение в ТЭК. [Электронный ресурс]: URL: <https://minenergo.gov.ru/activity/import-substitution-in-fuel-and-energy-complex> (дата обращения: 20.06.2024).
7. Фаворский, О. Н. ГТУ - основа будущей энергетики России [Текст] / О. Н. Фаворский // Двигатель. — 1999. — № 6. — С. 26-29.
8. ГОСТ Р 59182-2020. Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Тепловые электрические станции Газотурбинные установки. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования. [Текст]. – Введ. 2020-11-18. – М. : Стандартиформ, 2020. – 32 с.
9. «Силовые машины» поддадут газу. [Электронный ресурс]: URL: <https://www.kommersant.ru/doc/6427296> (дата обращения: 20.06.2024).
10. Под Ярославлем собрали первую газовую турбину большой мощности. [Электронный ресурс]: URL: <https://rg.ru/2023/01/20/reg-cfo/pod-iaroslavlem-sobrali-pervuiu-gazovuiu-turbinubolshoj-moshchnosti.html> (дата обращения: 20.06.2024)