

## НАЦИОНАЛЬНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

DOI 10.35264/1996-2274-2021-1-160-167

### ГАЗОВЫЕ МИКРОТУРБИНЫ КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ПРОДУКТ КОНВЕРСИИ ВОЕННОГО ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИЯ

**O.В. Викулов**, зам. дир. центра ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, д-р техн. наук, проф.,  
*vikulov@extech.ru*

**Ю.Л. Рыбаков**, дир. центра ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, д-р биол. наук, канд. техн. наук,  
*rybakov@extech.ru*

*Рецензент: Г.В. Томаров*

*В статье рассмотрены рыночная перспективность и потенциал импортозамещения отечественных газовых микротурбин как основного направления развития распределенной энергетики России.*

**Ключевые слова:** конверсия, двойные технологии, импортозамещение, микротурбина, газотурбинная установка малой мощности, распределенная энергетика.

### GAS MICROTURBINES AS A PROMISING PRODUCT OF THE CONVERSION OF MILITARY ENGINE BUILDING

**O.V. Vikulov**, Deputy Director of Centre, SRI FRCEC, Ph. D., Professor, *vikulov@extech.ru*

**Yu.L. Rybakov**, Director of Centre, SRI FRCEC, Ph. D., Doctor of Engineering, *rybakov@extech.ru*

*The article discusses the market prospects and the potential for import substitution of domestic gas microturbines as the main direction of development of distributed energy in Russia.*

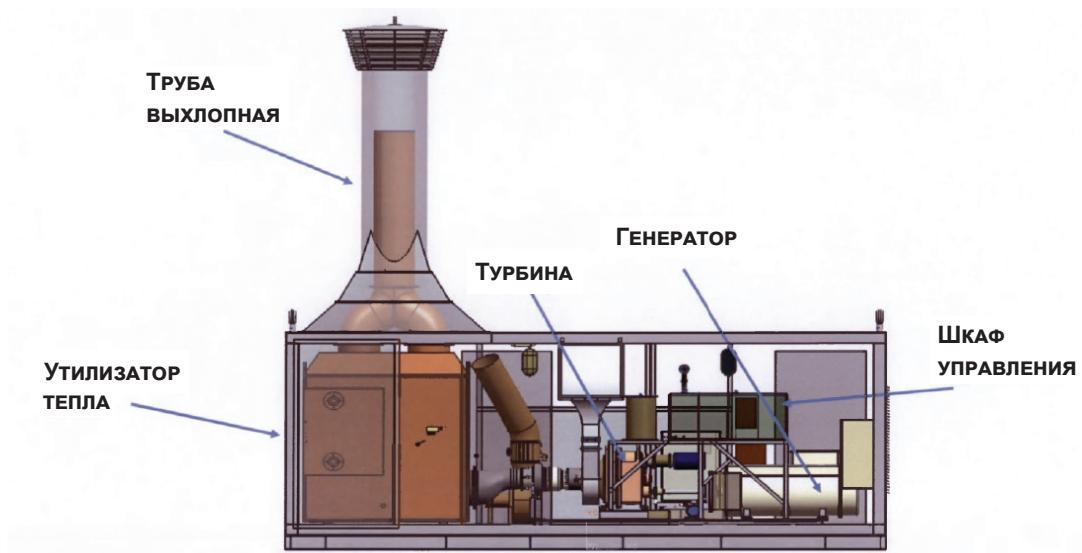
**Keywords:** conversion, dual technologies, import substitution, microturbine, low-power gas turbine plant, distributed energy.

В течение ближайших двух лет программы масштабного перевооружения в армии и на флоте будут завершены. С 2020 г. спрос на продукцию военных предприятий будет снижен со стороны заказчика в лице государства. По этой причине оборонный сектор наращивает контракты в гражданском секторе, чтобы подстраховать себя после выполнения военных поставок. Суть отечественной конверсии в том, чтобы использовать ресурсы, знания и технологии военных заводов для создания на их базе гражданской продукции. В этом случае снижение оборонзаказа станет не столь сильным ударом по экономике военных предприятий. В ежегодном Послании Федеральному собранию в декабре 2016 г. Президент Российской Федерации В.В. Путин поставил задачу довести к 2025 г. долю гражданской продукции до 30 % от общего объема производства ОПК, а к 2030 г. – до 50 %. В соответствии с этой задачей Федеральным государственным автономным учреждением «Российский фонд технологического развития» (ФРП) была разработана Программа «Конверсия» в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 17.12.2014 № 1388 «Об утверждении Правил предоставления из федерального бюджета субсидий Федеральному государственному автономно-

му учреждению «Российский фонд технологического развития» в целях внедрения наилучших доступных технологий и (или) импортозамещения».

В рамках Программы «Конверсия» ФРП осуществляет заемное финансирование проектов на разработку и внедрение на предприятиях оборонно-промышленного комплекса для выпуска высокотехнологичной конкурентоспособной промышленной продукции гражданского или двойного назначения. При этом основными критериями отбора таких проектов для финансирования со стороны ФРП являются их рыночная перспективность, потенциал импортозамещения, экспортный потенциал продукта, а также его научно-техническая перспективность, включая соответствие принципам наилучших доступных технологий. В связи с этим интерес к Программе «Конверсия» в последнее время все отчетливее проявляется со стороны таких лидеров отечественного двигателестроения, как ОАО «Пермский моторный завод», ПАО «ОДК-Сатурн», АО «ОДК-Климов», АО СКБ «Турбина», ОАО АМНТК «Союз». Их многолетний опыт создания продукции военного назначения оказался крайне востребованным при разработке и выпуске такой гражданской продукции, как газотурбинные установки (ГТУ) малой мощности.

В зарубежной и отечественной литературе под такими ГТУ понимают газовые микротурбины в виде автономных тепловых электростанций с электрической мощностью от 20 до 1000 кВт (рис. 1).



**Рис. 1. Газотурбинная установка малой мощности в составе блочно-модульной тепловой электростанции**

Подобные микротурбинные системы имеют множество преимуществ перед электростанциями на базе поршневых двигателей. Важнейшими преимуществами являются: более высокая плотность мощности (с учетом занимаемой площади и веса), минимум движущихся частей и экстремально низкие эмиссии вредных веществ. Преимущество таких микротурбин заключается также и в том, что большая часть выделяемой тепловой энергии сосредоточена в системе выхлопа с относительно высокой температурой, в то время как выделяемое тепло возвратно-поступательных двигателей распределяется между выхлопом и охлаждающей системой. Микротурбины легко объединяются в кластер – единую энергетическую систему, которая может обеспечить значительную мощность (до 10 МВт). При этом микротурбины

имеют чрезвычайно низкий уровень вредных выбросов и эмиссий окисей азота  $\text{NO}_x$  и углекислого газа  $\text{CO}_2$  (<15 ppm), что позволяет устанавливать их даже в жилых массивах. При этом микротурбины надежно работают с широким спектром такого топлива, как природный газ, попутный нефтяной газ, биогаз, дизельное топливо, керосин, сжиженный пропан и т. п. У типовых микротурбин массового производства электрический КПД достигает 35 %, а в режиме комбинированной генерации электричества и тепловой энергии (когенерации) может достигать 85 % (суммарный КПД). Появление в последнее десятилетие взрывного спроса на такие микротурбины в первую очередь обусловлено стремлением потребителей к децентрализации энергоснабжения, повышению его эффективности и снижению вредного воздействия на окружающую среду.

Как известно, основополагающие принципы развития энергетики Российской Федерации закреплены в Энергетической стратегии России на период до 2030 года (Распоряжение Правительства Российской Федерации от 13.11.2009 № 1715-р) [1]. В настоящий момент развитие энергетического комплекса России определяется рядом таких действующих нормативно-правовых актов, как Федеральный закон от 26.03.2003 № 35-ФЗ «Об электроэнергетике», Федеральный закон от 27.07.2010 № 190-ФЗ «О теплоснабжении», Энергетическая стратегия России на период до 2030 года, Генеральная схема размещения объектов электроэнергетики России на период до 2030 года, Концепция развития распределенной энергетики и др. Наиболее активно развивающимся направлением такой распределенной энергетики является строительство газотурбинных электростанций малой мощности, развитие отечественного производства которых в полной мере соответствует всем этим нормативно-правовым актам. Такие газотурбинные микроэлектростанции предназначены для эксплуатации в любых климатических условиях в качестве основного или резервного источника электроэнергии и тепла для объектов производственного и бытового назначения. Их использование в отдаленных районах позволит получить значительную экономию средств за счет исключения издержек на строительство и эксплуатацию протяженных линий электропередач, а в центральных районах позволит повысить надежность электрического и теплового снабжения как отдельных предприятий и организаций, так и территорий в целом.

С ростом требований потребителей к качеству энергоснабжения стали четко просматриваться недостатки существующей российской модели централизованного электроснабжения как от крупных источников электроснабжения, так и от котельных. К таким недостаткам следует отнести низкую надежность и высокую частоту аварийных отключений потребителей, высокую степень износа электрогенерирующего оборудования, большие объемы концентрированных выбросов загрязняющих веществ, завышенные цены на электроэнергию и тарифы на тепло для потребителей, порождаемые высокими потерями в электрических сетях, низкой эффективностью использования топлива, да и самих электрогенерирующих установок.

Тенденция перехода от централизованных систем к децентрализованному развитию энергетики просматривается и в зарубежном опыте, что подтверждается рядом таких стратегических документов по развитию электроэнергетики в направлении распределенной генерации, как Директива от 11.02.2004 № 2004/8/ЕС «О развитии когенерации на основе полезного тепла на внутреннем энергетическом рынке» в Европейском союзе (ЕС), План развития распределенной генерации в США, Программа по реформированию энергетики Австралии. При этом в странах ЕС распределенная генерация сегодня составляет в среднем около 10 % с тенденцией к росту.

В отличие от этих стран развитие распределенной энергетики в России определяется не столько климатической повесткой или экономией энергоресурсов, сколько соображениями экономической целесообразности для потребителей энергии. В первую очередь перспективы ее развития в значительной степени связаны с освоением территорий Дальнего Востока, Крайнего Севера и удаленных изолированных территорий, на которых проживают свыше

20 млн жителей [2]. Поэтому около 70 % мощности малых электростанций расположено именно в азиатской части России, в районах отсутствия централизованного энергоснабжения. При этом доля малой генерации (до 30 МВт) в суммарной мощности ТЭС составляет от 1 % в Центральном федеральном округе до 14 % в Дальневосточном федеральном округе. Таким образом, концепция распределенной энергетики, которая используется в большинстве развитых стран мира, вполне может стать таким же стимулом и для российского рынка. В Послании Президента РФ 2018 г. поставлена задача: «С помощью распределенной генерации решить вопрос энергоснабжения удаленных территорий», а Указом от 07.05.2018 Президент поручил Правительству РФ обеспечить утверждение комплексного плана развития магистральной инфраструктуры до 2024 года, включающего обеспечение энергией изолированных и удаленных территорий.

Таким образом, тенденция к децентрализации энергетики посредством широкого применения газовых микротурбин является актуальной и принципиально значимой для успешного развития энергетического комплекса страны.

Глобальный рынок технологий распределенных энергоресурсов (малой распределенной генерации) растет темпами около 6–9 % в год. Ожидается, что к 2025 г. объем ввода мощностей распределенной генерации превысит объемы ввода централизованной генерации в три раза. По оценке Международного энергетического агентства, распределенная энергетика обеспечит до 75 % новых подключений в ходе глобальной электрификации до 2030 г. Это объясняется тем, что переход на распределенную энергетику, осуществляемый на базе децентрализации, цифровизации и интеллектуализации систем энергоснабжения, позволит обеспечить высокую энергоэффективность, а также снижение вредных выбросов и парниковых газов.

Конверсионная стратегия российских оборонных предприятий, предполагающая применимость их наработок в области военного двигателестроения для создания линейки газотурбинных установок малой мощности, полностью оправданна и согласуется с мировым опытом [3]. Так, например, технологические решения американской корпорации General Electric (GE) в области аэропроизводных турбин подходят для применения как в нефтегазовой промышленности, так и в жилищно-коммунальном хозяйстве (ЖКХ), обеспечивая высокую энергоэффективность и надежность. В частности, для малой генерации активно используются газотурбинные установки GE семейства LM2500 мощностью 21–33 МВт и КПД до 39 %, применяемые в качестве привода электрогенератора для электростанций на морских платформах и трубопроводах. За последние 40 лет турбины GE данной серии являются наиболее продаваемыми в своем классе. Всего в мире установлено более 2000 турбин данной модели с общей наработкой более 75 млн ч.

Японской многопрофильной машиностроительной компанией Kawasaki Heavy Industries, Ltd. (KHI) также спроектированы ГТУ Kawasaki серии GPB мощностью 1,7–30,0 МВт. Их электрический КПД составляет от 27 % у GPB17 и GPB17D до 40 % у GPB300D, позволяя вырабатывать 1700–30 120 кВт электрической мощности и 13 400–8970 кДж тепловой мощности.

ГТУ от компании Siemens (ФРГ) мощностью 4–66 МВт также используются небольшими энергокомпаниями и независимыми производителями электроэнергии. Стандартная мини-ТЭС на базе ГТУ Siemens может быть установлена в любом месте, где есть доступ к источнику топлива. Так, промышленная ГТУ SGT-300 с номинальной электрической мощностью 7,9 МВт сочетает в себе простую надежную конструкцию и новейшие технологии, обеспечивая электрический КПД 30–36 %.

Компания OPRA (Нидерланды) также поставляет энергетические установки на базе газовых микротурбин. Компания разрабатывает, производит и продает современные газотурбинные двигатели мощностью до 2 МВт. Ключевым направлением деятельности этой компании является производство электроэнергии для нефтегазовой промышленности. Энергостановка OPRA OP16 1,5–2,0 МВт обеспечивает высокую производительность при мень-

шей себестоимости и большем сроке службы, чем какая-либо другая турбина этого класса. При этом ее двигатель работает на нескольких видах жидкого и газообразного топлива.

Наиболее известной на российском рынке микротурбин является продукция компании Capstone Turbine Corporation (США, Калифорния), которая занимает почти 70 % нашего рынка. Эти микротурбины марки Capstone идеально подходят для нужд нефтегазовой промышленности, а также в качестве источника бесперебойного питания для критически важных объектов. При работе в «двойном режиме» такие микротурбины могут легко переходить из режима непрерывной мощности в режим ожидания, обеспечивая низкие эксплуатационные расходы и высокую надежность. Компания Capstone Turbine Corporation является ведущим мировым производителем экологически чистых микротурбин линейки C30, C65, C200S ICHP, C600S, C800S, C1000S мощностью 30–1000 кВт с электрическим КПД 29–33 % и суммарным (электро + тепло) КПД до 90 %.

Также на российском рынке с долей 11 % присутствуют микротурбины компании Elliott Energy Systems (США), представляющие собой блочные автономные газотурбинные электростанции мощностью 100 кВт типа Calnetix – Elliott TA-100 CHP с электрическим КПД 30 % и суммарным КПД 75 %.

Лидерами производства отечественных газотурбинных установок малой мощности, представленных на российском рынке энергетического оборудования, выпускаемого в рамках конверсии военного двигателестроения, являются такие предприятия, как ОАО «Пермский моторный завод», ПАО «ОДК-Сатурн», АО «ОДК-Климов», АО СКБ «Турбина», ОАО АМНТК «Союз» [4]. Так, ОАО «Пермский моторный завод» (г. Пермь), ранее выпускавшее ракетные и вертолетные двигатели, в целях диверсификации бизнеса стало выпускать газотурбинные изделия для нефтяников и газовиков, газотурбинные электростанции (ГТУ мощностью 2,5–25,0 МВт). ОАО «Пермский моторный завод» входит в состав АО «Объединенная двигателестроительная корпорация» и выпускает газотурбинные установки и авиадвигатели, разработанные его конструкторским бюро ОАО «Авиадвигатель», которое создало семейство газотурбинных блочно-модульных электростанций серии «Урал»: ГТЭС «Урал-2500» мощностью 2,5 МВт; ГТЭС «Урал-4000» (4 МВт); ГТЭС «Урал-6000» (6 МВт), на базе газотурбинных установок ГТУ-12ПГ-2, ГТЭ-16ПА, ГТЭ-25П, ГТЭ-25ПА, соответственно мощностью 12,0; 16,0; 22,5 и 25,0 МВт, электрический КПД которых составляет 21–27 %, тогда как суммарный КПД достигает 80 %.

ПАО «ОДК-Сатурн» (г. Рыбинск) также входит в состав АО «Объединенная двигателестроительная корпорация» и специализируется на разработке газотурбинных двигателей для авиации и военно-морского флота. В рамках конверсии оно разработало и выпускает газотурбинные электростанции мощностью 2,5 МВт на основе газовой турбины ДО49Р, предназначеннной для выработки электрической и тепловой энергии в рамках блочно-модульных ГТЭС-2,5 для энергоснабжения промышленных предприятий и ЖКХ, а также различных объектов в удаленных и труднодоступных районах. Их электрический КПД составляет 26–30 %, тогда как суммарный КПД достигает 77 %.

АО «ОДК-Климов» (г. Санкт-Петербург) также находится в составе АО «Объединенная двигателестроительная корпорация» ГК «Ростех» и разрабатывает газотурбинные двигатели для военной и гражданской авиации. При этом доля выпуска гражданской продукции в АО «ОДК-Климов» в 2020 г. составила 50 %. Сейчас стимулом для его новых разработок являются потребности народного хозяйства. Например, двигатель ВК-2500ПС-03 для вертолетов, сертифицированный еще в 2016 г., является основой для микротурбин АО «ОДК-Климов», которые на российском рынке занимают 13 %.

АО СКБ «Турбина» (г. Челябинск) с 2013 г. реализует производственные компетенции в рамках разработки и изготовления продукции гражданского и двойного назначения на базе танковых двигателей. Кроме того, опираясь на имеющийся опыт производства специальных двигателей для крылатых ракет и беспилотных летательных аппаратов, специалисты

предприятия разработали ряд изделий для применения в гражданском секторе, а именно: газовые микротурбинные энергоустановки МГТУ-100 мощностью 100 кВт и ГТА-18А мощностью 18 кВт. Также на стадии разработки находятся микротурбины мощностью 200; 65 и 30 кВт.

ОАО «Авиамоторный научно-технический комплекс «Союз» (ОАО АМНТК «Союз», г. Москва) является ведущим российским предприятием по разработке и сопровождению двигателей для самолетов, вертолетов и крылатых ракет, а также новейших газотурбинных энергетических установок. Накопленный уникальный опыт в авиационном двигателестроении позволяет АМНТК «Союз» разрабатывать широкий спектр газотурбинных установок в различных диапазонах мощности. При этом в газотурбинных установках АМНТК «Союз» применяются самые передовые конструкторские решения и технологии, многие из которых защищены российскими и международными патентами. В настоящее время конверсионной продукцией АМНТК «Союз» являются такие газотурбинные установки малой мощности (от 30 кВт до 2,3 МВт), как ГТД-0,3Э-300, ГТД-0,7Э-300, ГТД-1,0Э-300 и ГТД-2,3Э-300. Данная продукция по сравнению с зарубежными аналогами обладает сопоставимыми техническими характеристиками в классе микротурбин (до 1 МВт), имея такой же уровень электрического КПД (27–34 %) и более высокий суммарный КПД (80–90 %), но при этом более низкую себестоимость.

Таблица 1

#### Характеристики типовых отечественных ГТУ малой мощности

	Базовые модели ГГУ	Электрическая мощность номинальная, МВт	Электрический КПД, %/КПД регенерационного цикла	Расход воздуха на входе, кг/с	Расход топлива, кг/ч	Назначенный ресурс, ч	Межремонтный ресурс, ч
1	ГТУ-0,3-300	0,25	34/90	1,91	65	60 000	20 000
2	ГТУ-0,7-300	0,715	23/83	4,08	262	100 000	25 000
3	ГТУ-1-300 на базе двигателя Р128-300	1,05	27/87	3,77	320	100 000	25 000
4	ГТУ-1,2-300 на базе двигателя Р137-300	1,2	30/80	5,3	405	100 000	25 000

Таким образом, сравнительный анализ отечественных и зарубежных газотурбинных установок малой мощности свидетельствует о том, что по своим технико-экономическим характеристикам отечественные микротурбины относительно зарубежных аналогов обладают существенными конкурентными преимуществами [5] и могут стать основой для целого ряда электростанций малой энергетики и газоперекачивающих станций, потребность в которых испытывают как отечественные лидеры ТЭК (ПАО «НК «Роснефть», ПАО «Газпром», ПАО «ЛУКОЙЛ», ПАО «НОВАТЭК»), так и многочисленные энергетические предприятия на удаленных и изолированных территориях.

Следует отметить, что рассматриваемые газовые микротурбины, соответствующие коду ОКПД 2 28.11.23 «Турбины газовые, кроме турбореактивных и турбовинтовых», являются высокотехнологичной продукцией, так как они включены в Перечень высокотехнологичной

продукции, работ и услуг с учетом приоритетных направлений модернизации российской экономики, утвержденный Приказом Минпромторга России от 23.06.2017 № 1993 под кодом ТН ВЭД ЕАЭС 8411 81 «Турбины газовые, мощностью не более 5000 кВт, не военного назначения». В связи с этим разрабатываемые вышеотмеченные отечественные газотурбинные установки малой мощности обладают значительным экспортным потенциалом. При этом основными экспортными направлениями для такой продукции уже в среднесрочной перспективе могут стать такие страны ЕАЭС, как Беларусь, Армения, Казахстан, а также Узбекистан.

До недавнего времени на российском рынке газовых турбин и рынке стран СНГ преобладала импортоориентированная модель, когда большую часть этого рынка составляла продукция зарубежных производителей, в частности компании Capstone Turbine Corporation (США). Поэтому программы конверсии вышеперечисленных отечественных оборонных предприятий всецело направлены на импортозамещение подобных газовых микротурбин и в полной мере соответствуют Плану мероприятий по импортозамещению в отрасли энергетического машиностроения, электротехнической и кабельной промышленности Российской Федерации, утвержденному Приказом Минпромторга России от 16.04.2019 № 1327. Продукция проекта с кодом ОКПД 2 28.11.23 «Турбины газовые, кроме турбореактивных и турбовинтовых» указана в этом плане под шифром 05ЭМ01. Согласно плановым показателям доля импорта таких турбин должна снизиться со 100 % в 2019 г. до 30 % к 2024 г.

Таблица 2

**Структура российского рынка микротурбин**

	Количество введенных объектов		Количество микротурбин		Общая мощность микротурбин	
	шт.	%	шт.	%	MВт	%
Capstone Turbine Corporation	176	80,73	1002	84,63	97,865	72,35
Elliott	25	11,47	141	11,91	14,1	10,42
Ingersoil-Rand	4	1,83	14	1,18	3,5	2,59
Turbec SpA	1	0,46	3	0,25	0,3	0,22
Turboden S.r.l.	1	0,46	2	0,17	1,9	1,40
АО «Климов»	11	5,05	22	1,86	17,6	13,01
<b>ВСЕГО</b>	<b>218</b>	<b>100,00</b>	<b>1184</b>	<b>100,00</b>	<b>135,265</b>	<b>100,00</b>

Следует отметить, что актуальность задачи импортозамещения в последнее время резко возросла, так как возросла опасность новых санкций США, которые, по мнению вице-премьера Юрия Борисова, могут затронуть любую высокотехнологичную продукцию, ведь «под нее можно отнести все что угодно. В одностороннем порядке можно пользоваться этим механизмом и реализовать в своих собственных интересах одним росчерком пера», – отметил вице-премьер.

Таким образом, реализация рассмотренных программ конверсии отечественных оборонных предприятий является крайне актуальной и в полной мере соответствует Государственной программе по обеспечению импортозамещения, а их продукция в виде газовых микротурбин инвестиционно привлекательна и включена в отраслевой План мероприятий по импортозамещению, обладая значительным потенциалом импортозамещения как в среднесрочной, так и в долгосрочной перспективе.

*Статья подготовлена в рамках Государственного задания ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ № 075-00907-21-00 Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.*

### ***Список литературы***

1. Рекомендации круглого стола на тему: «Распределенная энергетика, как важное направление развития современной энергетики» // URL: <http://komitet2-13.km.duma.gov.ru/Rabota/Rekomendacii-po-itogam-meropriyatij/item/221570> (дата обращения: 08.04.2021).
2. О Концепции развития распределенной энергетики // URL: <https://www.c-o-k.ru/articles/o-koncepcii-razvitiya-raspredelennoy-energetiki> (дата обращения: 08.04.2021).
3. Газотурбинные установки малой мощности отечественного и зарубежного производства // URL: <https://poznyaka.org/s88771t1.html> (дата обращения: 08.04.2021).
4. Газовые турбины и газотурбинные установки малой мощности на российском рынке // URL: [https://aqua-therm.ru/obzor-rynka/obzor-rynka\\_24.html](https://aqua-therm.ru/obzor-rynka/obzor-rynka_24.html) (дата обращения: 08.04.2021)
5. Белоглазов Р.Э., Титов Д.Е., Хавроничев С.В. Сравнение характеристик газотурбинных установок малой мощности // Технические науки – Электротехника, радиотехника, телекоммуникации и электроника: доклад. URL: <https://sworld.com.ua/konfer30/199.pdf> (дата обращения: 08.04.2021).

### ***References***

1. Recommendations of the round table on the topic: «Distributed energy, as an important direction in the development of modern energy». Available at: <http://komitet2-13.km.duma.gov.ru/Rabota/Rekomendacii-po-itogam-meropriyatij/item/221570> (date of access: 08.04.2021).
2. About the Concept for the Development of Distributed Energy. Available at: <https://www.c-o-k.ru/articles/o-koncepcii-razvitiya-raspredelennoy-energetiki> (date of access: 08.04.2021).
3. Gas turbine units of low power of domestic and foreign production. Available at: <https://poznyaka.org/s88771t1.html> (date of access: 08.04.2021).
4. Gas turbines and gas turbine plants of low power on the Russian market. Available at: [https://aqua-therm.ru/obzor-rynka/obzor-rynka\\_24.html](https://aqua-therm.ru/obzor-rynka/obzor-rynka_24.html) (date of access: 08.04.2021)
5. Beloglazov R.E., Titov D.E., Khavronichev S.V. Comparison of the characteristics of low-power gas turbine plants. Engineering sciences – Electrical engineering, radio engineering, telecommunications and electronics: report. Available at: <https://sworld.com.ua/konfer30/199.pdf> (date of access: 08.04.2021).