

УДК 502:624.131

Коськин И.О.

*Общество с ограниченной ответственностью
научно-производственное объединение «Гидротехпроект»
(г. Валдай, Новгородская область)*

О ВОЗМОЖНОСТИ РАЗРАБОТКИ МОБИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА БАЗЕ ТРАНСПОРТНЫХ ГАЗОТУРБИНЫХ УСТАНОВОК И ОЦЕНКА ИХ ЭКОЛОГИЧНОСТИ

Аннотация. Обоснована возможность разработки мобильных электростанций (МЭС) на базе транспортных газотурбинных установок отечественного производства. Приведены результаты расчетов выбросов загрязняющих компонентов для энергетических установок на основе газотурбинного двигателя ГАЗ 902.10 и, в качестве сравнения, на базе авиационной турбины ПС-90. Расчеты параметров воздействия на окружающую среду показали достаточно высокую экологическую эффективность МЭС на основе указанных установок, обеспечивающую возможность их использования на рекреационных территориях. В то же время использование МЭС на базе ГТД ПС-90 требует применения специальных технологий снижения выбросов загрязняющих веществ в соответствии с экологическими требованиями.

Ключевые слова: мобильные электростанции, газотурбинный двигатель, загрязнение атмосферы, шум, рекреационная территория.

I. Kos'kin

*Gidrotehproekt Research and Development Association,
Valday, Novgorod Region*

ABOUT A POSSIBILITY OF DEVELOPING MOBILE POWER STATIONS ON THE BASIS OF TRANSPORT GAS-TURBINE STATIONS AND ASSESSMENT OF THEIR ECOLOGICAL COMPATIBILITY

Abstract. The paper justifies the possibility of developing mobile power stations (MPSs) equipped with transport gas-turbines of domestic production. The results of the calculation of the emission of polluting components from power plants with a GAS 902.10 gas-turbine engine (GTE) are compared with those utilizing a PS-90 aviation turbine. Calculations of the parameters of the environmental impact show a fairly high environmental efficiency of MPSs equipped with GTEs to provide their use in recreational areas. At the same time, MPSs based on a PS-90 GTE require the use of special technologies to reduce emissions in accordance with the environmental requirements.

Key words: mobile power stations, gas-turbine engine, atmospheric pollution, noise, recreational area.

Использование мобильных электростанций (МЭС) в нашей стране началось еще во времена Великой Оте-

© Коськин И.О., 2015.

чественной войны. В те годы МЭС представляли собой энергопоезда, передвигающиеся по железным дорогам. Паровоз являлся источником пара, а

на отдельных платформах устанавливались турбоагрегат и конденсатор. В отдельном вагоне монтировалось распределительное устройство со щитом управления. Позднее в СССР широкое применение нашли дизельные, газотурбинные и паротурбинные МЭС мощностью до 5 МВт. В настоящее время МЭС находят свое применение для обеспечения потребностей в электрической и тепловой энергии в труднодоступных районах России, а также для восполнения дефицита энергии в некоторых регионах страны. Таким образом, МЭС приобретают все большую популярность, позволяя оперативно восполнять дефицит электроэнергии.

Газотурбинные электростанции (ГТЭС) являются наиболее предпочтительными для своего применения ввиду их высокой энергоэффективности. Они представляют собой высокотехнологичные установки на основе газотурбинного двигателя (ГТД), генерирующие электричество и тепловую энергию (см. [1]). В отличие от других энергоустановок, применяемых в электроэнергетике, возможности совершенствования которых невелики, развитие ГТД продолжается. Оно заключается в повышении начальной температуры газов, повышении давления воздуха, увеличении скоростей вращения рабочих лопаток компрессоров и турбин. Совершенствование ГТД обеспечивает улучшение экономичности и экологической чистоты их применения. Уже сегодня существуют некоторые способы повышения КПД этих двигателей за счет отвода теплоты отработавших газов для подогрева воздуха, поступающего в камеры сгорания.

Основой ГТЭС являются один или несколько ГТД, механически связан-

ных с электрогенератором и объединенных системой управления в единый энергетический комплекс. ГТЭС способны отдавать потребителям значительное количество тепловой энергии – до 50 % от их электрической мощности. Особенностью мобильных ГТЭС является непродолжительное время их использования в течение года, преимущественно в часы пиковых нагрузок.

С целью поиска альтернативы зарубежным газотурбинным установкам (ГТУ), которые могли бы использоваться в различных регионах страны (Краснодарский край, Крым), характеризующихся повышенными требованиями к экологичности техногенных воздействий, в настоящей работе был выполнен анализ экологической эффективности отечественных ГТД. Для исследования была выбрана модель ГАЗ 902.10 производства Горьковского автомобильного завода (ОАО «ГАЗ»). ГТД ГАЗ 902.10 имеет следующие основные технические характеристики:

- двигатель газотурбинный, двухвальный, с генерацией тепла выхлопных газов с регулируемой проточной частью;
- номинальная мощность – 380 л.с. (лошадиных сил);
- удельный расход топлива при номинальной нагрузке – 182 г/л.с. в час;
- уровень шума – в соответствии с нормативными требованиями.

Недостатком указанного ГТД для использования в качестве МЭС является его небольшая мощность (265 кВт).

Методика исследования и исходные данные

Для оценки экологичности использования ГТД ГАЗ 902.10 были проведены оценки его воздействия

на атмосферный воздух и шумового воздействия применительно к г. Сочи. Для расчетов были выбраны 3 площадки, находящиеся в различных условиях: на территории с. Веселое Адлерского района вблизи электроподстанции «Псоу» (площадка Псоу), на территории, прилегающей к ПАТП № 6 в Адлере (площадка ПАТП) и на территории вблизи Сочинской ТЭС в Хостинском районе (площадка ТЭС).

Расчеты концентраций загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосфере при работе МЭС выполнялись для ГТД ГАЗ 902.10 мощностью 265 кВт, работающего на дизельном топливе. Высота выхлопной трубы ГТУ составляла 5.0 м, а ее диаметр – 0.2 м. Для сравнительного анализа экологических показателей была принята ГТЭС на базе авиационной турбины ПС-90 мощностью 15.2 МВт, использующая в качестве топлива авиационный керосин марки ТС-1, с высотой выхлопной трубы 15.0 м и диаметром 1.0 м.

При выполнении расчетов по методике ОНД-86 [2] учтены основные климатические характеристики указанных выше площадок, а также рельеф местности и фоновые концентрации ЗВ в районе расположения этих площадок, предоставленные ГУ «Специализированный центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Черного и Азовского морей» Росгидромета. Необходимо отметить, что фоновые концентрации ЗВ в атмосферном воздухе существенно ниже максимально-разовых предельно допустимых концентраций ПДК_{мр.} для населенных мест¹.

¹ См. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест: гигиенический нор-

К качеству атмосферного воздуха на рекреационных территориях предъявляются особые требования – не допускается превышение 0.8 долей ПДК_{мр.}. Данное требование устанавливает СанПиН 2.1.6.575-96² с целью исключения неблагоприятных экологических условий для проживания человека.

Наиболее серьезные экологические проблемы при работе мобильных ГТЭС создает образование в камерах сгорания ГТУ оксидов азота. Самым простым средством снижения их концентрации в продуктах сгорания ГТУ является впрыск обессоленной воды или водяного пара в камеру сгорания (КС), снижающих температуру горения. Впрыск воды в количестве 0.6–1.0 кг или пара в количестве 0.9–1.5 кг на 1 кг топлива может обеспечить снижение концентраций оксидов азота в продуктах сгорания до приемлемого уровня.

Для расчетов количества образующихся ЗВ в дымовых газах использовались методики, рекомендуемые НИИ «Атмосфера» [3]. Расчеты концентраций вредных примесей в атмосфере при работе МЭС выполнялись также с учетом варианта применения технологии впрыска пара (например, технологии DENOX – от словосочетания de-NO_x) при высоких максимальных разовых концентрациях оксидов азота. Использование этой технологии позволяет снизить концентрацию оксидов азота в выхлопных газах в 7 раз [1].

матив [ГН 2.1.6.1338-03] (введен в действие с 25 июня 2003 г.)

² См. Гигиенические требования к охране атмосферного воздуха населенных мест: санитарные правила и нормы [СанПиН 2.1.6.575-96] (утв. и введены в действие пост. Госкомсанэпиднадзора РФ от 31 окт. 1996 г. № 48).

Для расчетов количества воды, необходимой для подавления образования повышенного количества оксидов азота, использовалась методика РД 34.02.305-98, согласно которой количество воды, впрыскиваемой в КС, зависит от расхода топлива¹. Расчеты концентраций ЗВ проводились для наиболее теплого месяца (июля), как наиболее неблагоприятного по условиям рассеивания ЗВ в атмосфере, в том числе с учетом фоновое загрязнение воздуха. Температура воздуха принята равной +27°С. Для этих расчетов были использованы следующие исходные данные:

– коэффициент рельефа: 1.3 для площадок Псоу и ПАТП и 1.6 для площадки ТЭС;

– коэффициент стратификации атмосферы: 200;

– максимальная скорость ветра 5-процентной обеспеченности: 8.0 м/с для площадки Псоу, 7.0 м/с для площадки ПАТП и ТЭС.

В процессе расчета полей концентраций ЗВ формировались массивы результатов с шагом 100 м в пределах прямоугольника размером 3000х3000 м. Расчет полей концентраций выполнен для всех рассматриваемых ЗВ: диоксида азота, оксида азота, диоксида серы, оксида серы, оксида углерода, взвешенных веществ. С целью определения уровней концентрации веществ, которые оказывают однонаправленное неблагоприятное влияние на организм человека (т. е. вызывают одни и те же заболевания), были произведены соот-

¹ См. Методика определения валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от котельных установок ТЭС: руководящий документ [РД 34.02.305-98] (утв. РАО «ЕЭС России» 21 янв. 1998 г.)

ветствующие расчеты также для группы суммации: диоксид азота и диоксид серы.

Акустические расчеты были проведены по методике, изложенной в СНиП 23-03-2003². Внешний шум грузовых автомобилей с двигателем мощностью свыше 220 л.с. в соответствии с ГОСТ 20444-85³ не должен превышать уровня звука 92 дБА. Согласно СНиП 23-03-2003, для ориентировочных расчетов допускается использование уровней шума в качестве октавного уровня звуковой мощности. Для ГТД ГАЗ 902.10 расчеты проводились для значения эквивалентного уровня звука 92 дБА, для ПС-90 – 90 дБА в соответствии с их техническими характеристиками. Распределение шума в октавных диапазонах для этих уровней представлено в табл. 1.

Результаты

Воздействие на атмосферный воздух. Согласно математической модели методики ОНД-86, приземные концентрации загрязнителей по мере отдаления от трубы возрастают, достигая максимума на расстоянии X_m от точечного источника выброса. По результатам расчетов приземных концентраций, максимальные разовые концентрации ЗВ в атмосферном воздухе отмечаются на расстоянии 101 м от дымовой трубы высотой 5.0 м и диаметром 0.2 м для МЭС на основе

² См. Защита от шума: строительные нормы и правила [СНиП 23-03-2003] (приняты и введены в действие пост. Госстроя России от 30 июня 2003 г. № 136).

³ «Шум. Транспортные потоки. Методы измерения шумовой характеристики»: межгосударственный стандарт [ГОСТ 20444-85] (действует с 01.01.1986 г.)

Таблица 1

Распределение шума в октавных диапазонах

Уровни звуковой мощности, дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц								Уровень звука, дБА
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
73.3	75.5	78.2	82.5	85.5	86.8	85	80.6	92
71.3	73.5	76.2	80.5	83.5	84.8	83	78.6	90

ГТД ГАЗ 902.10 и 250 м – для МЭС на основе ПС-90 с высотой трубы 15 и диаметром 1.0 м. Согласно проведенным расчетам, максимальные разовые концентрации ЗВ для ГТД ГАЗ 902.10 в узлах расчетной сетки и в контрольных точках (возле ближайших жилых домов) не превысят значений 0.8 долей

ПДК_{мр} при работе МЭС на всех трех рассматриваемых площадках. Как показывают результаты, представленные в табл. 2, для достижения соответствия экологическим нормам выбросов ЗВ при работе МЭС на основе ПС-90, применение технологии DENOX является обязательным.

Таблица 2

Расчетные максимально-разовые концентрации загрязняющих веществ (в долях ПДК_{мр})

ЗВ	ГТД ГАЗ 902.10				ГТД ПС-90			
	без впрыска		с впрыском		без впрыска		с впрыском	
	без учета фона	с учетом фона						
Площадка Псоу								
Диоксид азота	0.11	0.39	0.02	0.30	0.94	1.22	0.13	0.41
Оксид азота	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.08	0.08	0.01	0.01
Диоксид серы	0.02	0.04	0.02	0.04	0.32	0.34	0.32	0.34
Оксид углерода	<0.01	0.36	<0.01	0.36	0.03	0.39	0.03	0.39
Взвешенные вещества	0.02	0.30	0.02	0.30	0.23	0.51	0.23	0.51
Группа суммации	0.11	0.27	0.25	0.21	0.79	0.98	0.28	0.47
Площадка ПАТП								
Диоксид азота	0.09	0.42	0.01	0.34	0.94	1.27	0.13	0.46
Оксид азота	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.08	0.08	0.01	0.01
Диоксид серы	0.02	0.04	0.02	0.04	0.32	0.34	0.32	0.34
Оксид углерода	<0.01	0.36	<0.01	0.36	0.03	0.39	0.03	0.39
Взвешенные вещества	0.02	0.44	0.02	0.44	0.23	0.65	0.23	0.65
Группа суммации	0.09	0.29	0.02	0.24	0.79	1.00	0.28	0.50
Площадка ТЭС								
Диоксид азота	0.12	0.62	0.02	0.52	1.14	1.64	0.16	0.66
Оксид азота	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.09	0.09	0.01	0.01
Диоксид серы	0.02	0.02	0.02	0.02	0.39	0.39	0.39	0.39
Оксид углерода	<0.01	0.80	<0.01	0.80	0.04	0.84	0.04	0.84
Взвешенные вещества	0.02	0.22	0.02	0.22	0.28	0.48	0.28	0.48
Группа суммации	0.12	0.40	0.02	0.34	0.96	1.27	0.34	0.66

Таблица 3

Количество выбросов ЗВ при выработке 1 киловатт-часа электроэнергии

ЗВ	Количество выбросов, г			
	ГТД 902.10		ГТД ПС-90	
	без DENOX	с DENOX	без DENOX	с DENOX
Диоксид азота	2.23	0.32	0.97	0.14
Оксид азота	0.36	0.05	0.14	0.02
Диоксид серы	0.97	0.97	0.86	0.86
Оксид углерода	1.44	1.44	0.86	0.86
Взвешенные вещества	0.32	0.32	0.29	0.29

ГТД ГАЗ 902.10 характеризуется значительно более низкими концентрациями выбрасываемых ЗВ, но вырабатываемые мощности рассматриваемых ГТД при этом значительно различаются. Сравнительная характеристика количеств выбрасываемых веществ при выработке 1 киловатт-часа электроэнергии (см. табл. 3) показывает явные преимущества ГТД ПС-90 перед ГТД 902.10 для выбросов диоксида азота, оксида азота и оксида углерода.

Для снижения уровня выбросов ЗВ весьма эффективными с экологической точки зрения являются следующие мероприятия [4]:

- использование топлива высокого качества с низким содержанием серы;
- совершенствование технологий сжигания топлива;
- установка на трубах улавливающих фильтров.

Акустическое воздействие. Газотурбинные установки являются мощными источниками шума. Наибольший шум генерируется компрессором в воздухозаборном канале. ГТД, рассматриваемые в настоящей работе, характеризуются шумовыми характеристиками, не превышающими санитарных норм.

Расчеты эквивалентного уровня звука выполнялись для различных

расстояний от акустических центров площадок: 100, 200, 300 м на нормативной высоте 1.5 м. Результаты расчетов показали, что для рассматриваемых ГТД не наблюдается превышения допустимого уровня звукового давления, регламентируемого санитарными нормами¹ СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [6] для территории жилой застройки даже на расстоянии 100 м (табл. 4). Следовательно, применение шумозащитных мероприятий не обязательно.

По результатам проведенных расчетов можно сделать вывод о возможности разработки МЭС на базе отечественных ГТД ГАЗ 902.10 и ПС-90 и их использования на рекреационных территориях. Использование МЭС на основе ПС-90 на рекреационных территориях допускается только при выполнении следующих специальных технических мероприятий:

- применении технологии DENOX, предусматривающей снижение образования оксидов азота путем впрыска обессоленной воды в камеру сгорания ГТД;

¹ См. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки: санитарные нормы [СН 2.2.4/2.1.8.562-96] (утв. и введены в действие Госкомсанэпиднадзором РФ 31 окт. 1996 г.)

Таблица 4

Шумовые характеристики ГТД на расстоянии 100 м от источника

Источники шума	Уровни звукового давления, дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Эквивалентный уровень звука, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
ГТД ГАЗ 902.10	41	40	40	38	35	29	17	11	46
ГТД ПС-90	39	38	38	36	33	27	15	9	44

– выборе высоты дымовой трубы расчетным способом с учетом близости расположения площадки МЭС к промышленным и жилым комплексам.

– Кроме того, в качестве эффективных способов снижения уровня выбросов ЗВ можно выделить следующие:

– использование топлива высокого качества с низким содержанием серы;

– совершенствование технологий сжигания топлива;

– установка на трубах улавливающих фильтров.

Результаты расчетов шумового загрязнения селитебных зон показали, что его уровень не превышает предельно допустимого. Совокупность полученных результатов обосновывает возможность строительства МЭС на

основе ГТД ГАЗ 902.10 и ПС-90 в различных регионах России, в том числе и на рекреационных территориях.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ:

1. Брюхань А.Ф., Черемикина Е.А. Мобильные пиковые газотурбинные электростанции и окружающая среда. – М.: Форум, 2011. – 128 с.
2. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий (ОНД-86). – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 93 с.
3. Перечень методик, используемых в 2014 году для расчета, нормирования и контроля выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. – СПб.: ОАО «НИИ Атмосфера», 2013. – 33 с.
4. Ясаманов Н.А. Основы геоэкологии. – М.: Академия, 2003. – 352 с.