

ГАЗОТУРБИННАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА МОЩНОСТЬЮ 2 МВт НА ШАССИ ГРУЗОВОГО АВТОМОБИЛЯ

В. А. ЗАМУРАГИНА ¹, Н. С. СЕНЮШКИН ²

¹viktoriazamuragina@gmail.com

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

Аннотация. Объектом исследования является мобильная газотурбинная установка на базе авиационного турбовального двигателя со свободной газовой турбиной ТВЗ-117ВМ. Проведен термодинамический расчет схемы на базе данного турбовального двигателя с использованием программы DVIgWT.

Ключевые слова: мобильная газотурбинная установка; термодинамический расчет; газовая турбина; компрессор; камера сгорания; компоновка мобильной станции, теплообменник.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в российской авиационной промышленности высвободились значительные заводские помещения, где производились авиационные и судовые ГТД. Основой могут послужить установки, выработавшие свой летный ресурс. Эти ГТД могут быть использованы и переоборудованы в энергетические ГТУ, имеющие ряд преимуществ:

- малую стоимость установки;
- небольшие размеры, что в ряде случаев позволяет их применять в существующих помещениях электростанций;
- небольшую массу;
- высокую приемистость;
- хорошую приспособленность для дистанционного управления.

Хорошее состояние отлетающих ГТД и достаточный запас мощностей позволяют конвертировать их для применения в наземных энергетических установках, при этом обеспечить надежную работу в течение продолжительного времени. Следует помнить, что при переводе турбореактивного двигателя в энергетическую установку необходимо выполнить ряд работ, позволяющих учесть особенности эксплуатации этого двигателя. Повышению долговечности авиационных двигателей в наземных установках способствует также более стабильная их работа – отсутствие резких тепловых ударов и более постоянная нагрузка по сравнению с авиационными двигателями, а также снижение номинальной мощности.

На рис. 1 представлена схема энергетической установки с использованием авиационного двигателя, предлагаемая в учебном пособии Цанева В. Д. [1]

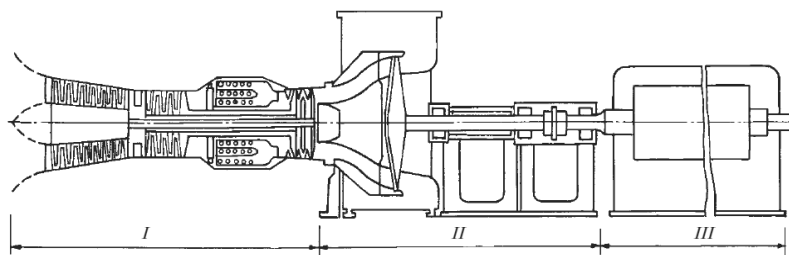


Рис. 1. Схема энергетической установки с использованием газотурбинного двигателя: I – турбореактивный двигатель; II – силовая турбина; III – электрический генератор

Использование авиационных двигателей в энергетических установках обеспечивает им ряд преимуществ по сравнению с паровыми турбинами или ГТУ традиционных конструкций. В первую очередь это низкая стоимость двигателя благодаря массовости его производства, малые размеры и небольшая масса установки, отсутствие потребности в охлаждающей воде. Эти показатели обеспечивают малые затраты на капитальное строительство здания, легкость и простоту фундаментов, компактность станции в целом. Стоимость установленного киловатта составляет 1/2 – 3/4 от соответствующей суммы для паросиловых установок.

Отличительной особенностью ГТУ является исключительно быстрый их пуск и набор ими мощности. Если время пуска из холодного состояния до принятия полной нагрузки в наиболее маневренных стационарных ГТУ равно десяткам минут, то для установки с авиационными двигателями оно доходит до 3-х – 4-х минут.

Малая инерция роторов авиационных двигателей и отсутствие механической связи турбокомпрессора с генератором требуют небольших по мощности пусковых устройств. Перечисленные преимущества двигателей подобного типа, а также ряд положительных свойств, характерных для всех ГТУ – повышение мощности в холодное время года, возможность автоматизации работы агрегата и дистанционного управления им, малое количество вспомогательных механизмов, небольшой обслуживающий персонал, – позволили широко использовать ГТУ на базе авиационных двигателей в качестве пиковых установок. Их размещают на мощных паротурбинных станциях в виде пикового резерва и непосредственно на местах потребления энергии в районе понизительных электроподстанций.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ ТВЗ-117

Авиационный двигатель ТВЗ-117ВМ относится к числу турбовальных газотурбинных двигателей со свободной турбиной. Он представляет собой тепловую машину, в которой происходит преобразование энергии, выделяемой при сгорании топлива, в механическую работу на выходном валу свободной турбины, кинематически не связанной с турбиной компрессора. Являясь основным источником энергии, он служит для привода несущих (несущего и рулевого) винтов и агрегатов различных систем вертолета. По своим техническим данным и эксплуатационным качествам двигатель отвечает современным требованиям, предъявляемым к вертолетным газотурбинным двигателям (ГТД) данного класса. Двигатель имеет двенадцать модификаций.

Конструктивной особенностью двигателей ТВЗ-117 всех модификаций является наличие свободной турбины, кинематически не связанной с ротором турбокомпрессора. Мощность, развиваемая свободной турбиной, передается через редуктор на несущие (несущий и рулевой) винты вертолета и составляет эффективную мощность двигателя.

Основными узлами двигателя являются компрессор, камера сгорания, газовые турбины, выходное устройство.

Компрессор – осевой, двенадцатиступенчатый, высоконапорный, с поворотными лопатками входного направляющего аппарата (ВНА) и направляющих аппаратов (НА) первых четырех ступеней, с двумя клапанами перепуска воздуха из-за УП ступени компрессора. Камера сгорания – кольцевая, с двенадцатью головками. Внутри камеры сгорания смонтирован топливный коллектор с двенадцатью топливными форсунками.

Узел газовых турбин состоит из двух кинематически не связанных между собой турбин: турбины компрессора (ТК) и свободной турбины (СТ). Турбина компрессора – осевая, двухступенчатая, реактивная. Ротор при помощи специального узла соединяется с ротором компрессора. Свободная турбина – также осевая, двухступенчатая, реактивная. Вращающий момент СТ через редуктор главного привода передается к главному редуктору вертолета. Для обеих газовых турбин предусмотрена система охлаждения сопловых лопаток, дисков рабочих колес, хвостовиков рабочих лопаток и других элементов турбин. Для охлаждения используется воздух, подводимый из-за VII и XII ступеней компрессора. Выходное устройство – нерегулируемое, расширяющееся. Оно обеспечивает снижение скорости газового потока и отвод отработавших горячих газов под углом 25° от оси двигателя за пределы силовой установки.

На всех режимах работы обеспечивается синхронизация мощностей двигателей, а на основных рабочих режимах – постоянство частоты вращения ротора СТ. В системе предусмот-

рены автоматические ограничители максимальной температуры газов перед ТК и максимальных частот вращения роторов ТК и СТ, которые защищают элементы двигателя от тепловых и механических перегрузок. Топливорегулирующая аппаратура осуществляет и управление элементами механизации компрессора.

Пусковая система – автономная, автоматическая, воздушная. Раскрутка ротора ТК в процессе запуска осуществляется воздушным турбостартером СВ-785А, установленным на коробке приводов двигателя. В качестве источника сжатого воздуха для раскрутки воздушного турбостартера используется бортовая вспомогательная силовая установка – газотурбинный двигатель АИ-9В или АИ-9 для двигателя ТВЗ-117 вертолетов соосной схемы.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

При выполнении термодинамического расчета определяются параметры состояния рабочего тела по сечениям проточной части, мощность на выходном валу и показатели экономичности работы установки.

Система DVIGwT предназначена для проведения структурного и параметрического анализа газотурбинных двигателей, составления и расчета тепловых схем паротурбинных и парогазовых установок. В системе DVIGwT математическая модель создается из типовых элементов посредством их соединения типовыми информационными связями через соответствующие соединительные звенья элементов. Построение модели осуществляется на визуальном уровне, отображаемом в соответствующем окне на мониторе компьютера, при этом информационное построение модели происходит автоматически.

В результате расчета можно получить подробный отчет со значениями большого количества параметров. Были получены значения таких величин, как:

- температура газа на выходе из камеры сгорания 1263 К;
- давление на выходе из газовой свободной турбины 234,3 кПа;
- давление на выходе из газовой турбины 118,4 кПа;
- электрическая мощность на клеммах генератора 1617,17 кВт;
- абсолютный электрический КПД 20,16%;
- суммарный расход воздуха 8,999 кг/с;
- суммарный расход топлива 0,2079 кг/с;
- удельный расход топлива 0,4629;
- удельный расход условного топлива 609,4 гр.у.т./кВт*ч.

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Газотурбинные установки по своей природе очень чувствительны к изменению термодинамических параметров цикла и, в частности, к изменению температуры и давлению наружного воздуха на входе в осевой компрессор установки. В условиях эксплуатации это проявляется в виде изменения внешних характеристик: при изменении давления наружного воздуха (если при этом температура наружного воздуха остается постоянной) мощность установки изменяется прямо пропорционально этому изменению. Однако колебания давления происходят в сравнительно малых пределах, что и определяет малое влияние изменения давления наружного воздуха на работу ГТУ.

Значительно больше имеет место какое-либо отклонение от номинальной температуры наружного воздуха, особенно учитываются сезонные отклонения. Изменение температуры наружного воздуха от расчетной на 15°С вызывает значительное изменение эффективной мощности ГТУ, а в отдельных крайних случаях вследствие ограничения температуры газов перед турбиной может вызвать и вынужденную остановку агрегата, иначе произойдет вывод из строя лопаток и дисков газовой турбины.

При неизменной номинальной мощности установки понижение температуры наружного воздуха приводит к уменьшению температуры газов перед турбиной и частоты вращения вала ГТУ, а КПД установки при этом повышается.

Большая чувствительность газотурбинных установок к изменению температуры наружного воздуха, поступающего на вход осевого компрессора, объясняется двумя основными факторами: во-первых, многие современные ГТУ имеют постоянные проходные сечения газовой турбины и осевого компрессора, что исключает возможность регулирования расхода воздуха

при неизменных параметрах рабочего тела ГТУ; во-вторых, современные установки характеризуются большим значением соотношения работ сжатия и расширения на номинальном режиме работы и на частичных нагрузках.

Влияние изменения температуры наружного воздуха на режим работы и основные показатели ГТУ можно значительно уменьшить за счет применения поворотного входного направляющего аппарата в осевом компрессоре, что и осуществляется в конструкциях современных газотурбинных установках (в основном авиационного типа).

В данной работе использование газотурбинного авиационного двигателя подразумевается в наземном режиме круглогодично – соответственно, имеют место сезонные колебания температуры от -30°C зимнего периода до $+30^{\circ}\text{C}$ летнего периода. Логично, что в таком случае параметры, выдаваемые установкой, будут отличаться. При колебаниях температуры окружающей среды происходит изменение ее плотности. Уменьшение плотности среды приводит к снижению массового расхода и электрической мощности. Переход к отрицательным температурам наружного воздуха увеличивает плотность среды, электрический КПД, расход выхлопных газов. Температура выхлопных газов при этом уменьшается. Это можно объяснить, посмотрев на совмещенную характеристику компрессора и газовой турбины.

Построение климатических характеристик для выполняется при заданной программе регулирования постоянства мощности в зависимости от температуры для диапазона изменения температуры наружного воздуха от 288,15 К до 318,15 К.

Расчет выполнялся с помощью программы DVIGwT. Итоговые зависимости некоторых характеристик двигателя от температуры наружного воздуха представлена в табл. 1.

Таблица 1

Климатические характеристики

$T_{нв}, K$	$\eta_{э}, \%$	$G_{в}, кг/с$	$G_{т}, кг/с$	$УРТ$	$N, кВт$
318,15	19,293	8,844	0,122	0,5303	1280
313,15	19,338	8,897	0,129	0,5286	1360
308,15	19,475	9,022	0,135	0,5058	1440
303,15	19,581	9,133	0,159	0,4931	1520
298,15	19,598	9,153	0,175	0,4910	1600
293,15	19,998	9,057	0,184	0,4854	1600
288,15	20,155	8,999	0,208	0,4629	1600
283,15	20,216	9,154	0,252	0,4606	1680
278,15	20,520	9,853	0,289	0,4513	1760
273,15	21,180	10,165	0,339	0,4504	1840
268,15	21,257	10,746	0,345	0,4404	1920
263,15	21,488	11,210	0,396	0,4404	1920
258,15	21,579	11,590	0,435	0,4185	1920
253,15	22,418	11,911	0,473	0,3995	1920
248,15	23,328	12,182	0,508	0,3987	1920
243,15	23,857	13,148	0,525	0,3905	1920
238,15	24,220	13,388	0,564	0,3636	1920
233,15	24,419	13,564	0,595	0,3405	1920
228,15	24,778	14,056	0,622	0,3175	1920

КОМПОНОВКА УСТАНОВКИ

КУНГ – кузов унифицированный нулевого (нормального) габарита. Нулевым габарит называется по причине его унифицирования. В самом начале своего распространения такие

кузова разработали для применения в советской армии и армии стран Варшавского договора. В дальнейшем они получили широкое распространение благодаря своему удобству не только в рами, но и в хозяйстве в целом. Такая распространенность позволила аббревиатуре КУНГ стать нарицательным обозначением всех закрытых кузовов.

КУНГи выпускались для установки на шасси многих отечественных автомобилей, например, таких как ЗиЛ-157 и 131, ГАЗ-63, ГАЗ-66, КамАЗ-4310, Урал-375. Модификации кузовов для разных автомобилей имели в принципе однотипные элементы. В целом на данный момент кузова КУНГ выпускаются в различных видах: деревянные, например, металлические, смешанные, утепленные или нет, герметизируемые, отапливаемые. Сейчас они массово используются для размещения армейского, служебного состава работников и их транспортировки, различных ремонтных мастерских, радиоэлектронных систем, медпунктов и прочего. В данной работе используется кузов-фургон нового поколения К5350.

При компоновке всего оборудования в КУНГ пришлось учитывать многие параметры. Одним из них является скошенная крыша кузова – высота по оси составляет 1800 мм, а по стенкам – всего 1300 мм. Около стенок нельзя располагать тяжелые, объемные по габаритам составляющие.

При использовании кузова необходима термоизоляция и теплоизоляция пола слоем достаточной толщины. Следует помнить о том, что электрогенератор необходимо располагать в отдельном, шумо- и виброизолированном коробе для предотвращения осечек в работе.

Вывод отработавших газов из теплообменника осуществляется в сторону – это зависит от его конструктивных особенностей, и также это удобнее – с боковой стороны кузова под скошенной его крышей внутри можно также установить необходимый для отходящих газов шумоглушитель, и затем после него уже газы выводить в атмосферу.

Забор воздуха в комплексное воздухоочистительное устройство можно осуществлять сверху кузова – там, где и располагается КВОУ, то есть в передней части КУНГа. Для предотвращения попадания в устройство мусора и других загрязнений, а также влаги от дождя или конденсата, необходимо установить своеобразный козырек, автоматически открывающийся и закрывающийся и скрывающийся в закрытом положении настолько, чтобы сливаться с крышей кузова. Это поможет при транспортировке установки полностью удовлетворять требованиям габаритов автомобильного транспорта и предотвратит разлом дополнительных конструкций.

Подогрев воздуха, поступающего в КВОУ, осуществляется теплой водой из теплообменника.

Подвод сырой воды и отвод подогретой воды к теплообменнику осуществляются с двух сторон кузова. Крышки лючков подвода и отвода должны герметично закрываться для предотвращения протечек и срывов во время использования. На рис. 2 представлен вид сбоку компоновочной схемы кузова с указанием центров масс и примерных габаритных размеров.

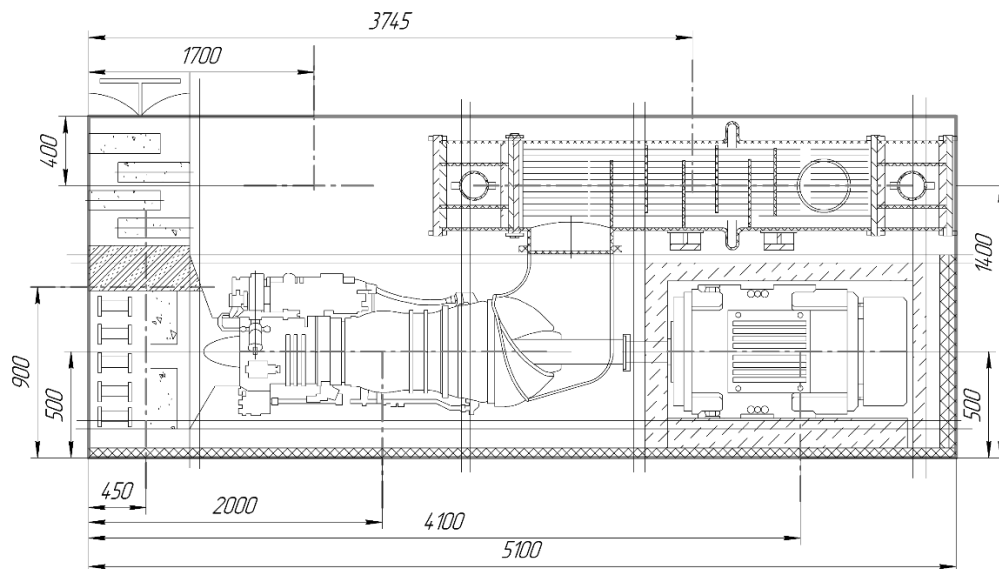


Рис. 2. Схема компоновки кузова (вид сбоку)

ВЫВОДЫ

Использование данной установки гораздо выгоднее будет в районах крайнего севера, в местах с отрицательными среднегодовыми температурами. Это происходит потому, что при понижении температуры воздуха, поступающего в осевой компрессор газотурбинной установки, увеличивается электрический КПД, ей выдаваемый. Это позволит увеличить выгоду использования установки при прочих неизменных параметрах.

Сложности данного проекта заключаются в необходимости проектирования компактного теплообменника и генератора рассчитанного на повышенные обороты сливой турбины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. С. В. Цанев, В. Д. Буров, А. С. Земцов, А. С. Осыка; под ред. С. В. Цанева / Газотурбинные энергетические установки: учебное пособие для вузов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2011. – 428 с., ил.
2. 078.00.5700 РЭ "Руководство по технической эксплуатации турбовального двигателя ТВЗ-117" Книга 1, Книга 2, Книга 3. 1986. – 1734 с.
3. Термогазодинамические расчеты газотурбинных установок: Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Теория и расчет ГТУ» / Уфимск. авиац. техн. ун-т; Сост.: И. М. Горюнов, А. М. Бикбулатов, С. И. Салимянов, Т. А. Бахтина. – Уфа, 2015. – 51 с.
4. Арьков, Ю.Г. Конвертирование АД для использования в наземных энергетических установках : Учеб. пособие / Ю. Г. Арьков, З. Г. Шайхутдинов; Уфим. авиац. ин-т им. Серго Орджоникидзе. - Уфа : УАИ, 1986. - 82 с. : ил.; 20 см

ОБ АВТОРАХ

ЗАМУРАГИНА Виктория Алексеевна, магистрант каф. АТиТ, бакалавр по специальности «Теплоэнергетика и теплотехника»; в 2020 году на отлично защитила ВКР бакалавра по теме «Проектирование мобильной газотурбинной установки на шасси автомобиля КамАЗ».

СЕНЮШКИН Николай Сергеевич, доцент каф. АТиТ, и.о. зав. кафедрой АТиТ. Окончил Уфимский государственный авиационный технический университет (УГАТУ), специальность — авиационные двигатели и энергетические установки, квалификация — инженер. В 2009 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук по теме «Метод проектирования форсажных камер для начальных стадий разработки ВРД».

METADATA

Title: Gas turbine power plant with a capacity of 2 MW based on a truck.

Authors: V. A. Zamuragina ¹, N. S. Senyushkin ²

Affiliation: Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

Email: ¹ viktoriazamuragina@gmail.com

Language: Russian.

Source: Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), no. 2 (25), pp. 39-44, 2021. ISSN 2225-9309 (Print).

Abstract: The object of research is a mobile gas turbine unit based on an aircraft turboshaft with a free gas turbine. A thermodynamic calculation of the circuit based on this turboshaft using the DVIGwT program has been carried out.

Key words: mobile gas turbine unit; thermodynamic calculation; gas turbine; compressor; the combustion chamber; layout of the mobile station; heat exchanger.

About authors:

ZAMURAGINA, Viktoria Alekseevna, master's student of the department of aviation heat power engineering and heat engineering, bachelor in "heat power engineering and heat engineering". In 2020 got her bachelor's degree with an excellent mark on the topic "Designing a mobile gas turbine unit on the chassis of a KamAZ car".

SENYUSHKIN, Nikolay Sergeevich, associate professor of the department of aviation heat power engineering and heat engineering, acting head of the department. Graduated from the Ufa State Aviation Technical University (USATU), specialty - aircraft engines and power plants, qualification - engineer. In 2009 got the degree of candidate of technical sciences on the topic "Method of designing afterburners for the initial stages of development of air-jet engines".