

Вариант компоновки крылатой ракеты неограниченной дальности с ядерной силовой установкой закрытого цикла

Бельский Андрей Юрьевич, аспирант

ФГБОУ ВО Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова

Аннотация: Турбореактивный двигатель с ядерной силовой установкой относится к двигателестроению для атомолетов и может быть использован, прежде всего, в беспилотных летательных аппаратах, которым требуется максимально продолжительное время нахождения в воздухе.

Ключевые слова: крылатая ракета, атомолет, ядерная силовая установка, жидкометаллический теплоноситель, термоэлектрическое преобразование, закрытый цикл, турбореактивный двигатель.

Когда президент Российской Федерации озвучивал текст послания Федеральному собранию 1 марта 2018 года, было презентовано несколько прорывных образцов вооружений, среди которых наиболее оживленное обсуждение вызвала ракета с ядерной силовой установкой (ЯСУ) и неограниченной дальностью полета, впоследствии получившей название «Буревестник» [1]. На текущий момент, когда массо-габаритные характеристики изделия можно оценить по частично рассекреченному облику, смотри рисунок 1 (Рис. 1), продолжается обсуждение, как вопросов осуществимости, так и вопросов технической реализации данной крылатой ракеты.



Рис. 1 Опубликованное в открытых источниках изображение крылатой ракеты неограниченной дальности «Буревестник».

На текущий момент, исходя из малых габаритов изделия и заявлений, полученных ТАСС из анонимных источников, о дозвуковой скорости [2], по наблюдению автора, преобладает мнение о ядерной силовой установке т.н. «открытого цикла» в сочетании с турбореактивным двигателем. Если максимально сжато - реактор играет роль камеры нагрева ТРД, вместо традиционной камеры сгорания, и воздух проходит через активную зону реактора.

Однако подобный подход приводит к ряду недостатков, не критических с точки зрения стратегического ядерного сдерживания, но существенно осложняющих цикл испытаний в связи со следующими факторами:

- радиоактивное загрязнение воздуха;
- невозможность подойти человеку к двигателю в течение 2-3 месяцев даже после его остановки;
- резкое ухудшение конструкционных материалов остальных деталей двигателя в связи с мощными потоками тепла и радиации от реактора [3].

Преодолеть упомянутые недостатки можно в ядерных ТРД «закрытого цикла», в которых исполь-

зуется жидкометаллический теплоноситель, который из активной зоны реактора подается к камере нагрева на теплообменники. Такие варианты известны и запатентованы, к примеру, патентом РФ №2425243 [4].

Недостатком подобных решений, кроме неизбежного усложнения и утяжеления конструкции, по сравнению с ЯСУ «открытого цикла», является относительно низкие температуры перед турбиной. В современных ТРД на жидком топливе, температура перед турбиной высокого давления достигает 1700-2000°C. В то время как температура кипения, к примеру, натрия при атмосферном давлении — 883°C.

С целью преодоления вышеуказанного недостатка, автор предложил оригинальный вариант ТРД с ЯСУ и запатентовал его в 2019 году (патент РФ 2686815), который рассматривает возможность повысить температуру газов перед турбиной, путем нагрева воздуха в два этапа. Первый этап предусматривает подачу жидкометаллического теплоносителя к теплообменникам в камере нагрева. Второй этап предусматривает наличие второго сегмента камеры нагрева, в котором температура рабочего тела будет повышаться выше температуры кипения теплоносителя, путем подвода тепла от другого источника.

В первом сегменте натрий-калиевый сплав с помощью электромагнитных насосов подается к теплообменникам камеры нагрева. Во втором сегменте камеры нагрева установлены электронагреватели с нагревом сопротивлением или электродуговым нагревом. Источником электроэнергии для последних служат термоэмиссионные преобразователи и/или термоэлектрогенераторы на основе эффекта Зеебека, собранные в виде панелей. Холодная сторона панелей имеет контакт с забортным воздухом, а горячая сторона панелей нагревается от собственных теплообменников, через которые проходит натрий-калиевый сплав.

Жидкий металл, отдав тепловую энергию на нагрев и расширение воздуха в первом сегменте камеры нагрева и, затем, на выработку электроэнергии возвращается электромагнитными насосами в активную зону реактора. Электроэнергия от панелей поступает к вышеупомянутым электронагревателям во втором сегменте камеры нагрева.

Рассмотрим поэтапно работу связки ЯСУ, ТРД и термоэлектрогенераторов согласно рисунку 2 (Рис. 2).

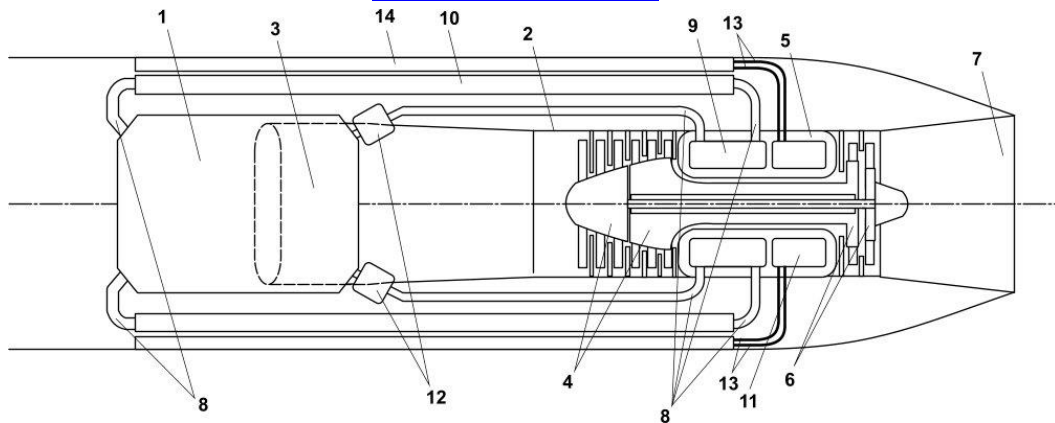


Рис. 2 Принципиальная схема ТРД с ЯСУ при использовании одной ступени термоэлектрогенерации.

Компрессор 4 нагнетает воздух, поступающий из входного устройства 3, в первую секцию камеры нагрева 5. При этом нагретый в реакторе 1 жидкометаллический теплоноситель с помощью электромагнитных насосов 12, по трубопроводам 8 поступает в теплообменник-нагреватель камеры нагрева 9, передавая часть тепловой энергии нагнетаемому воздуху. После выхода теплоносителя из теплообменника-нагревателя камеры нагрева 9, он поступает в теплообменник-нагреватель термоэлектродгенератора 10 и передает оставшуюся тепловую энергию термоэлектродгенераторам 14, охлаждаемым с наружной, т.е. холодной, стороны заборным воздухом при движении атомолета. Затем теплоноситель возвращается в реактор 1. Выработанная термоэлектродгенератором 14 электроэнергия подает-

ся проводниками 13 на электронагревательные элементы 11, расположенные во второй секции камеры нагрева 5. Во второй секции камеры нагрева 5 воздух нагревается уже выше температуры кипения теплоносителя в системе. Расширяющийся при нагреве в камере нагрева 5 воздух вращает турбины 6, приводящие в движение компрессор 4, далее нагретый воздух, выходя через сопло 7, создает реактивную тягу.

Работа конструкции в варианте, приведенном на рисунке 3 (Рис. 3), отличается тем, что после выхода теплоносителя из теплообменника-нагревателя камеры нагрева 9, теплоноситель подается в теплообменник-нагреватель термоэмиссионного преобразователя 15, а затем в теплообменник-нагреватель термоэлектродгенератора 10.

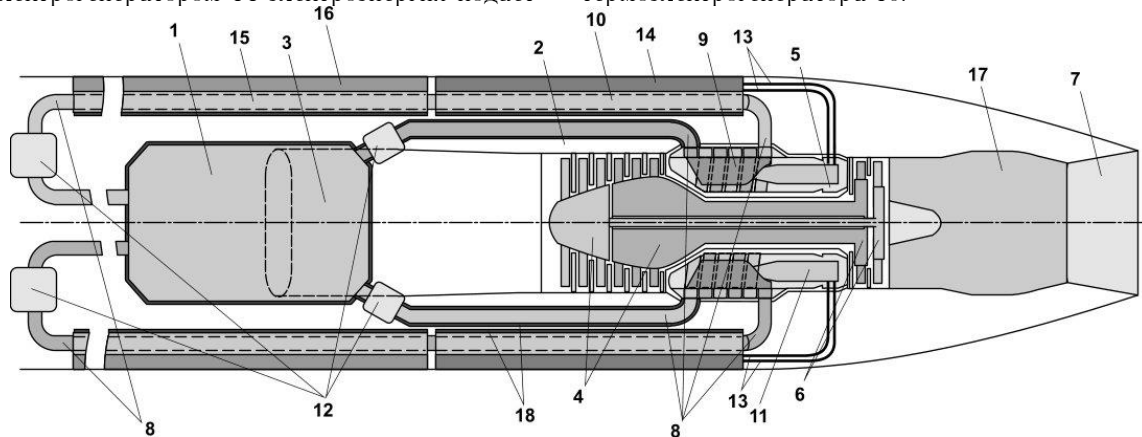


Рис. 3 Принципиальная схема ТРД с ЯСУ при использовании двух ступеней термоэлектрогенерации.

Соответственно, преобразование тепловой энергии в электрическую, в варианте, приведенном на рисунке 3, происходит в два этапа. Сначала, когда температура теплоносителя достаточно высока - методом термоэлектронной эмиссии, затем с помощью термоэлектрического эффекта Зеебека, который может быть эффективен и при более низких температурах [5, 6]. Однако несмотря на то, что термоэмиссионные преобразователи отличаются самыми низкими весовыми характеристиками на единицу выходной мощности, следует отметить, что они как правило требуют очень высоких температур на эмиттере, свыше 1500°C , тогда как температура кипения натрий-калиевого сплава значительно ниже, около 785°C [7], и будет дополнительно снижена после прохождения теплообменников камеры нагрева-

ния. Поэтому, для использования термоэмиссионных преобразователей необходимо либо существенно поднимать давление в системе, что труднореализуемо в летательном аппарате, либо использовать перспективные разработки в данной области, такие как "ThermalField Emission Energy Converter" [8], не требующие высоких температур эмиттера.

Также, вариант конструкции на рисунке 2 отличается наличием форсажной камеры 17, в которую, при необходимости кратковременного и значительного усиления тяги, подается химическое топливо. Теплообменник-нагреватель камеры нагрева 9 на фиг. 2. представлен двумя примыкающими к внешней стенке кольцевой камеры нагрева 5 трубопроводами, совмещенными в виде двойной спирали, с отходящими от них к внутренней стенке камеры



www.esa-conference.ru

нагрева 5 пластинами оребрения. Такая конструкция теплообменника-нагревателя позволит теплоносителю значительное время циркулировать в пределах камеры-нагрева, для лучшей теплоотдачи.

Двигатели на рисунках (Рис. 2 и Рис. 3) иллюстрированы в варианте двухвального типа, с осевым компрессором, кольцевой камерой сгорания и прижимающим входным устройством. В таком виде эти

элементы были приведены как наиболее распространенные и наглядные. Преобразователи тока и системы запуска не проиллюстрированы.

По мнению автора, предложенная конструкция позволит в будущем разработать эффективный турбореактивный двигатель с ядерной силовой установкой для атомолета, более безопасный в сравнении с аналогами «открытого цикла», к которым, скорее всего, относится и вышеупомянутый «Буревестник».

Литература:

1. О каком новом супероружии России рассказал Путин. URL: <https://tass.ru/armiya-i-opk/5000129> (дата обращения 10.10.2019 г.)
2. Источник: испытания ядерной энергоустановки ракеты "Буревестник" успешно завершены. URL: <https://tass.ru/armiya-i-opk/6124827> (дата обращения 10.10.2019 г.)
3. Кудрявцев В. Ф. Совенко А.Ю. Авиационные атомные силовые установки: история развития идеи и конструкции. // Авиация и Время . – 2004 г. . – № 3 и №4.
4. Атомный турбовинтовой газотурбинный двигатель. Патент РФ № 2425243. URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2425243> (дата обращения 11.10.2019 г.)
5. Н.Н. Пономарев-Степной. Термоэлектрические и термоэмиссионные преобразователи. // Атомная энергия, том 18, выпуск 4 . – 1965 г. – с. 387-390.
6. Сотрудник НИ ИРГТУ Игорь Шелехов разработал уникальную технологию изготовления термоэлектрических устройств с высоким КПД. URL: <http://www.istu.edu/news/13938/> (дата обращения 26.10.2019 г.)
7. Теплофизические свойства жидкого эвтектического сплав натрия с калием 78%K+22%Na. URL: <https://gsssd-rosatom.mephi.ru/DB-tp-01/K-78-Na-22.php> (дата обращения 10.10.2019 г.)
8. Птицын В. Э. Современное состояние и перспективы развития метода термоэмиссионного преобразования энергии. // НАУЧНОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ . – 2013г . – том 23, № 4 . – с. 25–39
9. Емельянов И.Я., Никитин В.Д., Ушаков Б.А. Основы термоэмиссионного преобразования энергии. // Атомиздат . – 1974 г.