

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФГБОУ высшего образования
БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф.Устинова

Кафедра А8

Отчет по научно-исследовательской работе

Тема:

Патентный анализ по тематике магистерской диссертации

Выполнил:

студент группы А8М31

Верещагин Н.М.

Проверил:

доцент, к.т.н.

Анискевич Ю.В.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГТУ	4
2. УСТАНОВКИ, ИСПОЛЬЗУЮЩИЕ ПАРОГАЗОВОЕ РАБОЧЕЕ ТЕЛО.....	13
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	20
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	21

ВВЕДЕНИЕ

Целью данной работы было провести обзор существующих методов повышения эффективности ГТУ, а так же рассмотреть установки, использующие парогазовое рабочее тело.

1. СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГТУ

Газотурбинные установки (двигатели) нашли широкое применение в авиации, в гражданской энергетике, а так же в качестве силовых узлов двигателей кораблей, как альтернатива дизель-электрическим и атомным. Они достаточно простые в устройстве (возможен модульный принцип компоновки) и эксплуатации, быстро вводятся в работу. В мире и в России, в том числе, инженеры и ученые тратят много сил и времени на разработку методов повышения эффективности газотурбинных установок.

Известны следующие способы повышения эффективности ГТУ [1]:

- форсирование параметров цикла;
- усложнение термодинамического цикла;
- впрыск воды, водяного пара в проточную часть ГТУ.

Главный способ форсирования параметров – повышение значений степени сжатия компрессора и степени подогрева.

Рост температуры газа при фиксированном значении степени сжатия осуществляется с малым увеличением мощности и КПД, в то время как значительное повышение температуры газа перед турбиной должно сопровождаться увеличением степени сжатия. Но реализация такого метода имеет ограничение по свойствам материала лопаток турбины, и как следствие, невозможность освоения в нынешних условиях.

Усложнение термодинамического цикла осуществимо с уменьшением температуры газов, покидающих ГТУ (при условии существования пороговой температуры в КС, ограниченной прочностью материалов двигателя). Один из способов – повышение степени сжатия в компрессоре и степени расширения в турбине с введением изменений в конструкцию базового ГТД, что потребует дополнительных материальных затрат. Рассмотрим основные методы.

1. Повышение температуры воздуха перед камерой сгорания за счет использования тепла выхлопных газов реализуется в теплообменнике за

компрессором. Некоторая часть теплоты, ранее сбрасываемая с отработавшим рабочим телом в атмосферу, полезно используется для подогрева воздуха перед КС. Это позволяет экономить топливо на подогрев топливо-воздушной смеси. Такой способ можно использовать в случае, когда температура продуктов сгорания за турбиной больше температуры воздуха после компрессора. Введение такой регенерации не изменяет внутренний относительный КПД цикла, а внутренний КПД установки возрастает [2]. Однако такой метод может привести к значительному усложнению конструкции, увеличению громоздкости, уменьшению ресурса, ухудшению эксплуатационных характеристик.

2. Промежуточное охлаждение при сжатии используется в ГТУ с регенератором. В реальной регенеративной ГТУ охлаждение в процессе сжатия в компрессоре повышает КПД установки. Введение регенерации в ГТУ снижает отрицательный эффект охлаждения воздуха в процессе сжатия, и поскольку с увеличением отрицательный эффект растет медленнее положительного, то промежуточная граничная степень регенерации, необходимая для уничтожения отрицательного эффекта, уменьшается [3]. Для простейшей ГТУ получено, что, несмотря на неэкономичность охлаждения при сжатии для идеального цикла, для действительного цикла - охлаждение экономически целесообразно при низких КПД узлов [4].

3. Промежуточный подогрев рабочего тела при расширении реализуется в ГТУ с регенератором и подогревом при расширении. Подвод теплоты в процессе расширения повышает среднюю температуру рабочего тела, увеличивает работу процесса расширения и цикла в целом. Совмещение процессов подвода теплоты и расширения позволяет получить единый политропный процесс, при котором происходит наибольшее увеличение работы. Такой процесс можно осуществить при сжигании топлива в проточной части турбины. Топливо в этом случае поступает, например, через форсунки, размещенные в сопловом аппарате, или непосредственно через выходные кромки сопловых лопаток. Попадание топлива на рабочие лопатки

вызывает их охлаждение, что может обеспечить неизменную или даже пониженную температуру лопаток, несмотря на повышение температуры газа в турбине.

По рассмотренным выше методам существуют патенты. В них описаны решения, которые используют либо один из методов, либо их совокупность. Ниже привожу примеры патентов:

- Полузамкнутая газотурбинная установка: пат. 118178 СССР: МПК F02C6/02 / В.Л. Дехтярев (СССР). – № 591871/25; заявл. 10.02.1958; опубл. 01.01.1958. – 3 с.
- Способ работы газотурбинной установки: пат. 2186232 Рос. Федерация: МПК F02C6 / заявитель и патентообладатель Особов В.И. (РФ) – заявл. 06.05.1997; опубл. 27.07.2002

Повышение КПД одноконтурных ГТУ, созданных на базе авиационных ГТД возможно за счет:

- уменьшения радиальных зазоров;
- предварительного подогрева топлива, поступающего в основную камеру сгорания, выхлопными газами;
- уменьшения расхода охлаждающего воздуха в газогенераторе за счет применения топливо - воздушных теплообменников.

Впрыск воды, водяного пара в проточную часть ГТУ.

При впрыске воды на вход в компрессор, температура воздуха на выходе из компрессора снижается, тем самым уменьшается потребная мощность компрессора, возрастают мощность и эффективный КПД ГТУ. Впрыск пара на входе в камеру сгорания в небольших количествах (порядка 2–4% от расхода воздуха) способствует значительному уменьшению эмиссии окислов азота в продуктах сгорания (экологический впрыск) [4]. При впрыске 2% (с температурой +2500 С) воды, на вход в ГТУ ALSTOM GT9D, температура воздуха на выходе из компрессора снижается на 52°С, мощность ГТУ увеличивается на 14%, КПД возрастает на 1% [1]. По данным А.В.

Челомбитько и Л. И. Швеца [1] ввод пара в камеру сгорания ГТУ 55СТ-20 приводят к увеличению мощности ГТУ с 20,4 до 24 МВт, росту эффективного КПД с 28 до 36%, связанного с уменьшением расхода топлива. Результаты исследований влияния ввода водяного пара в газоздушный тракт ГТУ ГТЭ-10/95 (ОАО “НПП”Мотор”), выполненные Горюновым И.М., показывают, что впрыск 6,6 кг пара в ОКС приводит к увеличению мощности с 8 до 12 МВт при увеличении КПД до 30,7 %. Достигнутая в существующей компоновке ГТЭ-10/95 мощность 8 МВт может быть получена при впрыске пара в количестве примерно 5 кг/с при КПД 26,6 %. Недостатком такого способа является высокие требования к качеству впрыскиваемых в проточную часть ГТУ воды и водяного пара. Дальнейшее повышение эффективности использования теплоты топлива направлено на утилизацию выхлопных газов, передающих теплоту теплоносителю, не участвующему в цикле и не требующему затрат мощности для повышения давления. Объектами утилизации зачастую служат паровые или водогрейные котлы, котлы–утилизаторы (КУ), устанавливаемые для обогрева и теплоснабжения объектов (ГТУ-ТЭЦ), генерации пара для паровых турбин (ПГУ). Некоторое снижение электрической нагрузки связано с повышением сопротивления выходного тракта при утилизации теплоты уходящих газов ГТУ в КУ. Преимуществом таких схем являются малые безвозвратные потери цикловой подготовленной воды, а недостатком - наличие металлоемких крупногабаритных конструкций, требующих существенных промышленных площадей для размещения. Промышленные ГТУ-ТЭЦ используются также для производства технологического пара (с давлением до 6 МПа и температурой до 6000 С), практически не зависящего от температуры наружного воздуха. Исследования специалистов ИВТ РАН и МЭИ показали - несмотря на то, что ПГУ потребляют вдвое меньше исходной воды (при открытой схеме) по сравнению с обычными ТЭС, затраты на подготовку воды в ПГУ выше и это примерно на 2% увеличивает себестоимость производимой электроэнергии.

По методам, в которых для повышения эффективности ГТУ используется впрыск воды, так же существуют патенты:

- Способ повышения эффективности работы газотурбинной установки: пат. 2229030 Рос. Федерация: МПК F02C3/30 / Кириленко В.Н. (РФ), Брулев С.О. (РФ), Иванов В.В. (РФ); заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью "ИНТЕРБИЗНЕСПРОЕКТ" (РФ). – заявл. 20.02.2002; обупл. 20.05.2004.
- Способ форсирования газотурбинных установок: пат. 2284418 Рос. Федерация: МПК F02C3/30 / заявитель и патентообладатель Письменный В.Л. (РФ). – заявл. 01.04.2005; опубл. 27.09.2006.

Установка STIG

Цикл работы ГТУ, в которых происходит смешивание двух рабочих тел (продуктов сгорания и водяного пара), на Западе получил название STIG (Steam Injection Gas). Под энергетическим впрыском понимают подачу в камеру сгорания ГТУ большого количества пара – от 10 до 25 % от расхода воздуха через газо-воздушный тракт двигателя, что обеспечивает рост к.п.д. на 25 - 60 % и мощности установки на 50 - 90 %. По технологии "STIG" пар впрыскивается в камеру сгорания непосредственно через форсунки и (или) подмешивается к вторичному воздуху. Поскольку пар вводится в зону активного горения топлива, резко снижается выделение оксидов азота NO_x. Кроме того, пар может вводиться и в турбину низкого давления. Парогазовая установка смешения, с впрыском пара в камеру сгорания (по схеме STIG), является альтернативной обычной ПГУ, имеющей пароводяной контур. Она проще по устройству и имеет отличие в том, что в ее комплект не входят конденсационная паровая турбина с конденсатором и соответствующая система охлаждения [5]. Один из вариантов исполнения ПГУ смешения представлен на рис. 1.

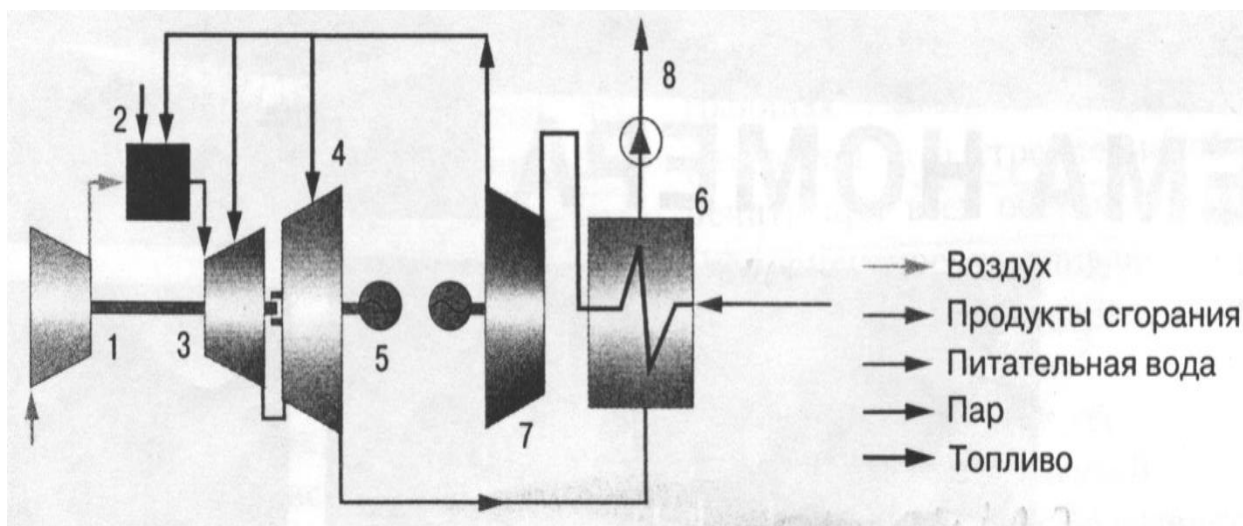


Рисунок 1 – Принципиальная схема ПГУ смешения – компрессор; 2 – камера сгорания; 3 – турбина высокого давления – привод компрессора; 4 – силовая турбина; 5 – электрогенератор (или нагнетатель); 6 – котел – утилизатор; 7 – предвключенная противодавленческая паровая турбина, из которой пар поступает в камеру сгорания ГТУ; 8 – дымосос (устанавливается в отдельных случаях).

Противодавленческая турбина 7 приводится в действие паром высоких параметров, выработанного в котле – утилизаторе 6, и позволяет использовать большой перепад энтальпий пара. В результате, она вырабатывает крутящий момент на валу и является приводом либо для нагнетателя, либо для электрогенератора [5].

Меньшая часть отработанного пара после паровой турбины через фронтальные устройства (горелки) вводится в зону горения для подавления образования оксидов азота. Основная часть отработанного пара используется для охлаждения жаровой трубы камеры сгорания 2 и смешивается с продуктами сгорания уже по завершению процесса горения, обеспечивая при этом расчетные среднюю температуру и поле скоростей на выходе камеры сгорания. Эффективно также использование пара для охлаждения горячих венцов турбины 3,4 вместо компримированного воздуха [5]. Существует также технология "STIG" с насосной подачей питательной воды в котел –

утилизатор, из которого она, в паровой фазе, поступает в систему. Увеличение мощности ПГУ смешения достигается, в основном, за счет утяжеления рабочего тела (впрыск пара в камеру сгорания) и, в результате этого, повышения давления за счет дополнительного рабочего тела (при отсутствии дополнительных затрат мощности на привод компрессора). Кроме этого, эффект повышается за счет замены воздушного охлаждения лопаток и камеры сгорания на более эффективное охлаждение – паровое. ПГУ смешения обладают определенными преимуществами. При одинаковой мощности энергоблока и повышенных капитальных вложениях в систему химической водоочистки, оборудование ПГУ смешения проще, и удельные капиталовложения меньше на 15 – 17 %, чем у обычной ПГУ. Это приводит к снижению на 7...8 % стоимости электроэнергии и определяет ее перспективность. Газотурбинные установки с энергетическим впрыском пара обладают рядом преимуществ перед ПГУ и конденсационными турбинами, основными из которых являются [5]:

- простота, так как отсутствует паровая турбина, конденсатор и пр. оборудование пароводяного контура;
- значительно меньший, чем в паровых турбинах расход топлива (на 15 – 25 %);
- широкий диапазон рабочих нагрузок, который обеспечивается различным количеством подводимого пара;
- снижение в 2 – 8 раз выбросов в атмосферу вредных веществ;
- примерно в 2 раза меньше, по сравнению с ПГУ, стоимость установленного кВт мощности;
- меньше, чем в конденсационных электростанциях, стоимость 1 кВт выработанной энергии;
- срок окупаемости сокращается до 2 – 3 –х лет при сокращении сроков строительства и необходимых площадей.

Технология регенерации воды в цикле. Установки типа "Водолей"

При работе ГТУ по циклу STIG пар, после срабатывания в проточной части газотурбинного двигателя, вместе с выхлопными газами безвозвратно теряется: уходит в атмосферу. Цикл разомкнут, а потому недостаточно эффективен [5]. Эффективность установки повышается, если для улавливания влаги на выходе котла – утилизатора установить конденсатор контактного типа КК (рис. 2).

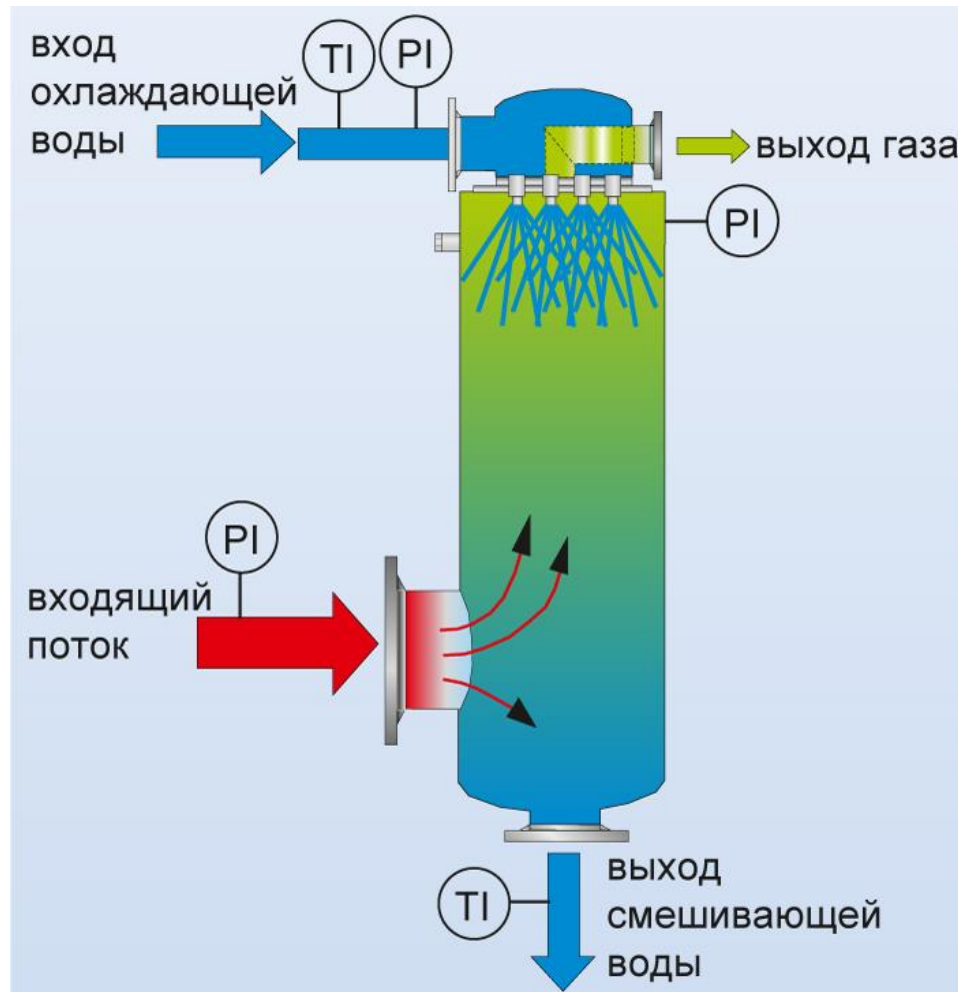


Рисунок 2 – конденсатор контактного типа.

В контактном конденсаторе, установленном на выхлопном патрубке котла-утилизатора, за счет орошения водой происходит охлаждение выхлопных газов до температуры ниже точки росы водяного пара, осаждение воды и сбор конденсата. Собранная вода поступает в бак-накопитель, очищается от примесей и подается снова в котел-утилизатор.

Из серии установок, работающих без регенерации воды в термодинамическом цикле у нас хорошо известны установки КГПТУ схемы "Водолей" [5]. Это контактные газопаротурбинные установки с утилизационным парогенератором (котлом – утилизатором), подачей сгенерированного пара в камеру сгорания и улавливанием водяного пара в конденсаторе парогазового потока.

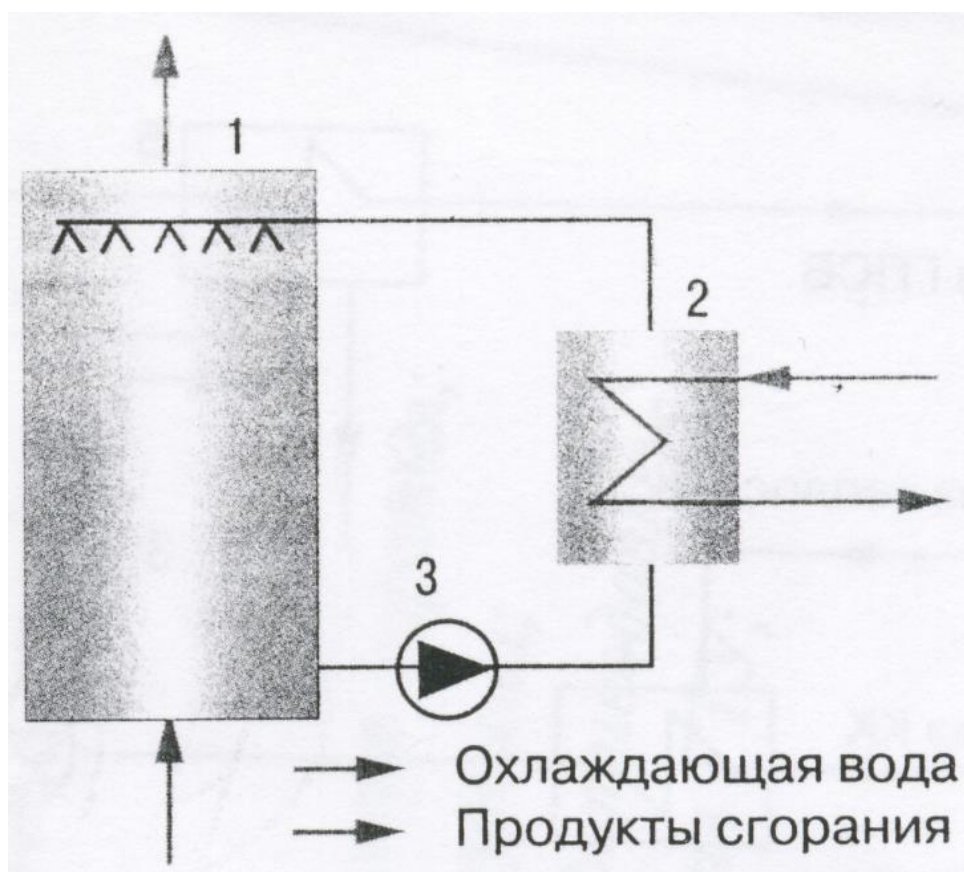


Рисунок 3 – Контур контактного конденсатора:

1 – контактный конденсатор; 2 – конденсатор; 3 – насос

Опытный образец ПГУ – STIG "Водолей" конструкции "Машпроект" (г. Николаев, Украина) мощностью 25 МВт отработал на заводском стенде с выдачей мощности в энергосистему более 8000 ч. (2001 г.) [5].

В установках типа "Водолей" пар выделяется из выхлопных газов и возвращается в цикл в виде конденсата вода для повторного использования. Установка работает по замкнутому циклу.

2. УСТАНОВКИ, ИСПОЛЬЗУЮЩИЕ ПАРОГАЗОВОЕ РАБОЧЕЕ ТЕЛО

Двигатели Вальтера

Еще в начале 1930-х годов Гельмут Вальтер обратил внимание на любопытные свойства давно известного химикам вещества — перекиси водорода. В растворах высокой концентрации она немедленно поджигала дерево, ткани и другие органические материалы, причем пламя можно было потушить только водой, а не песком или огнетушителем. Горение продолжалось даже без доступа воздуха. И Вальтер сообразил, что перекись можно использовать в качестве окислителя для сжигания органического топлива в двигателях подводных лодок [6].

Исследования показали, что растворы перекиси высокой концентрации неустойчивы. При нагревании или под действием катализаторов они легко разлагаются по формуле $2\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$. Процесс можно рассматривать как окисление водорода, содержащегося в молекуле воды, одним из атомов кислорода. Второй атом кислорода, которому уже не с чем реагировать, остается свободным [6]. Смесь водяного пара с атомарным кислородом образует так называемый «парогаз». Реакция идет с выделением большого количества тепла. Температура парогаза, в зависимости от степени начальной концентрации перекиси водорода, может достигать 700 С°—800 С° [7].

В качестве катализаторов применялись перманганат натрия, калия или кальция. В сложных реакторах двигателей Вальтера применялось чистое пористое серебро [7].

Есть два типа двигателей Вальтера [7]:

- Однокомпонентные - перекись водорода и катализатор (Т-stoff и Z-stoff);

- Двухкомпонентные – перекись водорода и второй компонент, например, C-stoff (смесь гидразина, метанола и воды). На такой смеси работал двигатель Walter HWK RI-203.

В двигателях Вальтера ПГТУ образующийся в реакторе парогаз T-stoff и Z-stoff или T-stoff и C-stoff направлялся на рабочие лопатки турбины, где происходило преобразование химической энергии топлива в механическую энергию вращающегося вала, позволяющего передавать энергию, например, на двигательные винты подводной лодки или торпеды [7].

Более сложный цикл, необходимый для бесследных ПГТУ подводных лодок или торпед, включал в себя сжигание в T-stoff солярового масла. Образующийся газ сгорания совершал работу в турбине и затем направлялся в конденсатор, где конденсировался в водяной пар, а углекислый газ сжижался и выбрасывался из подводной лодки при помощи барботирования через мелкие отверстия специального выпускного устройства. Устремляясь к поверхности воды, мелкие пузырьки углекислого газа растворялись в воде, чем и достигалась практическая бесследность подводной лодки [7].

В некоторых циклах Вальтера турбина не вращала винты через механический редуктор, а приводила в действие электрогенератор, который уже приводил в действие ходовые электромоторы подводной лодки, а кроме того при необходимости и мог заряжать аккумуляторы ПЛ [7].

На рис. 4 условно-схематически, без соблюдения масштабов показано устройство подводной лодки с ПГТУ.

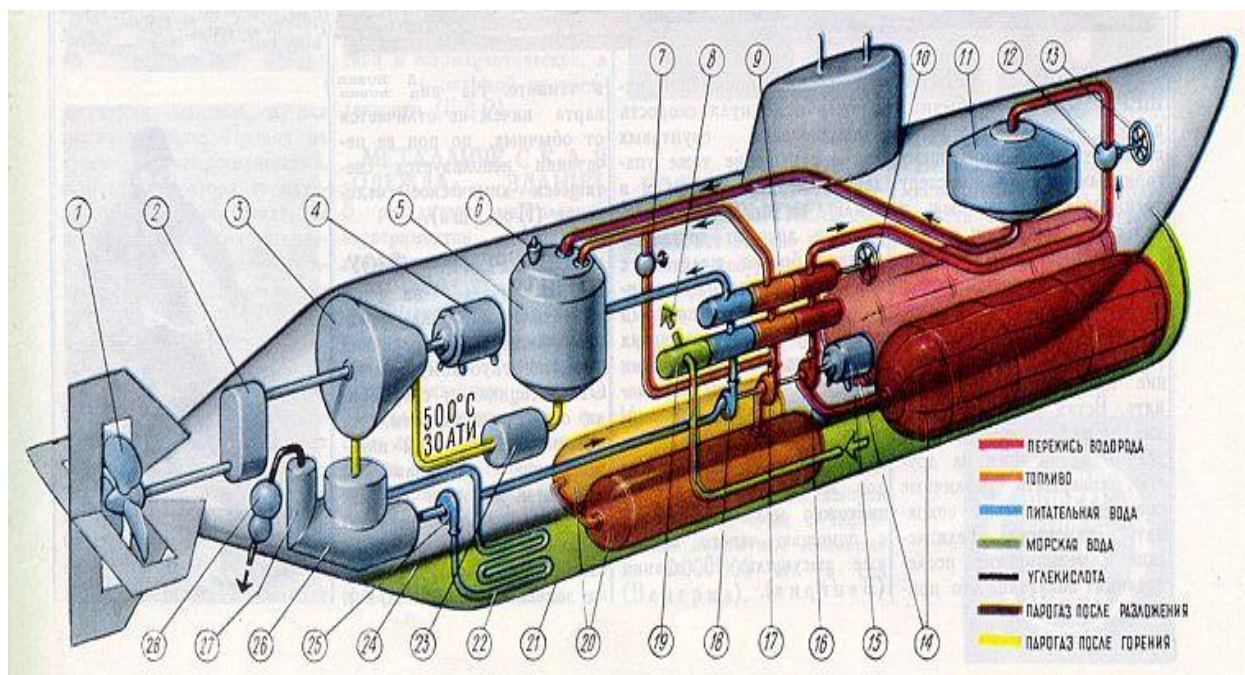


Рисунок 9 – Устройство подводной лодки с ПГТУ

Обозначения [5]:

- 1 – гребной винт;
- 2 – понижающий редуктор;
- 3 – турбина;
- 4 – гребной электродвигатель;
- 5 – камера горения;
- 6 – запальное устройство;
- 7 – клапан;
- 8 – выход с регулятора;
- 9 – переключатель;
- 10 – ручной привод переключателя;
- 11 – камера разложения;
- 12 – форсунки;
- 13 – ручной привод клапана включения форсунок;
- 14 – эластичные емкости с раствором перекиси водорода;
- 15 – электродвигатель насоса;
- 16 – насос перекиси водорода;

- 17 – насос топливный;
- 18 – насос воды;
- 19 – регулятор;
- 20 – топливные цистерны;
- 21 – легкий корпус;
- 22 – заборный охладитель;
- 23 – сепаратор;
- 24 – прочный корпус;
- 25 – насос для сконденсированных паров воды;
- 26 – конденсатор;
- 27 – газосборник;
- 28 – компрессор.

Двигатели Вальтера в СССР.

После войны один из заместителей Гельмута Вальтера некий Франц Статеcki выразил желание работать на СССР. Статеcki и группа «технической разведки» по вывозу из Германии военных технологий под руководством адмирала Л. А. Коршунова нашли в Германии фирму «Брюнер-Канис-Рейдер», которая была смежником в изготовлении турбинных установок Вальтера [8].

Для копирования немецкой подводной лодки с силовой установкой Вальтера сначала в Германии, а затем в СССР под руководством А. А. Антипина было создано «бюро Антипина», организация, из которой стараниями главного конструктора подводных лодок (капитана I ранга) А. А. Антипина образовались ЛПМБ «Рубин» и СПМБ «Малахит» [8].

Задачей бюро было копирование достижений немцев по новым подводным лодкам (дизельным, электрическим, парогазотурбинным), но основной задачей было повторение скоростей немецких подводных лодок с циклом Вальтера [8].

В результате проведённых работ удалось полностью восстановить документацию, изготовить (частично из немецких, частично из вновь изготовленных узлов) и испытать парогазотурбинную установку немецких лодок серии XXVI [6].

После этого было решено строить советскую подлодку с двигателем Вальтера. Тема разработки подлодок с ПГТУ Вальтера получила название проект 617 [8].

В 1951 году лодка проекта 617, названная С-99, была заложена в Ленинграде на заводе № 196. 21 апреля 1955 года, лодку вывели на государственные испытания, законченные 20 марта 1956 года. В результатах испытания указано: «...На подводной лодке достигнута впервые скорость подводного хода в 20 узлов в течение 6 часов...» [8].

В 1956—1958 годах были спроектированы большие лодки проект 643 с надводным водоизмещением в 1865 т и уже с двумя ПГТУ Вальтера. Однако в связи с созданием эскизного проекта первых советских подлодок с атомными силовыми установками проект был закрыт. Но исследования ПГТУ лодки С-99 не прекратились, а были переведены в русло рассмотрения возможности применения двигателя Вальтера в разрабатываемой гигантской торпеде Т-15 с атомным зарядом, предложенной Сахаровым для уничтожения военно-морских баз и портов США. Т-15 должна была иметь длину в 24 м, дальность подводного хода до 40-50 миль, и нести термоядерную боеголовку, способную вызывать искусственное цунами для уничтожения прибрежных городов США [8].

После войны в СССР были доставлены торпеды с двигателями Вальтера, и НИИ-400 приступило к разработке отечественной дальнеходной бесследной скоростной торпеды. В 1957 году были завершены государственные испытания торпед ДБТ. Торпеда ДБТ принята на вооружение в декабре 1957 года, под шифром 53-57. Торпеда 53-57 калибром 533 мм, имела вес около 2000 кг, скорость 45 узлов при дальности хода до 18 км. Боеголовка торпеды весила 306 кг [8].

Парогазовые энергосиловые установки торпед.

ПГЭСУ торпед являются разновидностью тепловой машины. Источником энергии в тепловых ЭСУ является топливо, представляющее собою совокупность горючего и окислителя [9].

Используемые в современных торпедах виды топлива могут быть [9]:

- многокомпонентными (горючее – окислитель – вода);
- унитарными (горючее смешано с окислителем – вода);
- твердые пороховые;
- твердые гидрореагирующие.

Тепловая энергия топлива образуется в результате химической реакции окисления или разложения веществ, входящих в его состав.

Температура сгорания топлива составляет 3000...4000°C. При этом возникает возможность размягчения материалов, из которых изготовлены отдельные узлы ЭСУ. Поэтому вместе с топливом в камеру сгорания подают воду, что снижает температуру продуктов сгорания до 600...800°C. Кроме того, впрыскивание пресной воды увеличивает объём парогазовой смеси, что существенно повышает мощность ЭСУ [9].

В первых торпедах использовалось топливо, включавшее в себя керосин и сжатый воздух в качестве окислителя. Такой окислитель оказался малоэффективным из-за низкого содержания кислорода. Составная часть воздуха – азот, не растворимая в воде, выбрасывалась за борт и являлась причиной демаскирующего торпеду следа. В настоящее время в качестве окислителей используют чистый сжатый кислород или маловодную перекись водорода. При этом продуктов сгорания, не растворимых в воде, почти не образуется и след практически не заметен [9].

Применение жидких унитарных топлив позволило упростить топливную систему ЭСУ и улучшить условия эксплуатации торпед.

Твёрдые топлива, являющиеся унитарными, могут быть мономолекулярными или смесевыми. Чаще используются последние. Они

состоят из органического горючего, твёрдого окислителя и различных добавок. Количество выделяемого при этом тепла можно регулировать количеством подаваемой воды. Применение таких видов топлива исключает необходимость нести на борту торпеды запас окислителя. Это снижает массу торпеды, что значительно повышает скорость и дальность её хода [9].

Двигатель парогазовой торпеды, в котором тепловая энергия преобразуется в механическую работу вращения гребных винтов, является одним из её главных агрегатов. Он определяет основные тактико-технические данные торпеды – скорость, дальность, следность, шумность.

Торпедные двигатели имеют ряд особенностей, которые отражаются на их конструкции [9]:

- кратковременность работы;
- минимальное время выхода на режим и строгое его постоянство;
- работа в водной среде с высоким противодавлением выхлопу;
- минимальные масса и габариты при большой мощности;
- минимальный расход топлива.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные в работе материалы показывают, что газотурбинные установки имеют высокий спрос и большое значение в современной технике.

У рассмотренных установок и методов повышения эффективности есть определенные недостатки: они либо достаточно сложные и громоздкие, либо имеют низкий ресурс работы. В установке новой схемы эти «минусы» учтены. И в итоге преимуществами стали компактность, простота, надежность, возможность обеспечения достаточно высокого ресурса. А так же новую установку можно будет легко освоить в производстве поскольку большинство конструктивных решений, необходимых для ее создания, уже освоены.

Наиболее схожим техническим решением с рассматриваемой новой схемой является ПГЭСУ торпед.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Гриценко Е.А., Данильченко В.П., Лукачев С.В., Резник В.Е., Цыбизов Ю.И. Конвертирование авиационных ГТД в газотурбинные установки наземного применения. – Самара: СНЦ РАН, 2004. – 266 с.
- 2 Сенюшкин Н. С., Лоскутников А. А. Способы повышения эффективности энергоустановок на базе ГТД // Молодой ученый. — 2011. — №7. Т.1. — С. 53-55. — URL <https://moluch.ru/archive/30/3496/> (дата обращения: 10.05.2018)
- 3 Арсеньев Л.В., Тырышкин В.Г., Богов И.А. Стационарные газотурбинные установки – Л.: Машиностроение. Ленинградское отделение, 1989. – 543 с.
- 4 Теория и проектирование газотурбинных двигателей и комбинированных установок: Учебник для вузов / Ю.С. Елисеев, Э.А. Манушин, В.Е. Михальцев и др. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 640 с.
- 5 Технология впрыска пара в камеру сгорания двигателя (ПГУ-STIG) / Студопедия, 30.05.2015. URL: https://studopedia.ru/10_204626_tehnologiya-vpriska-para-v-kameru-sgoraniya-dvigatelya-pgu-STIG.html (дата обращения: 13.05.2018)
- 6 Шапиро, Л. В надежде на тотальную войну [Электронный ресурс] // Техника молодежи. URL: http://technicamolodezhi.ru/rubriki_tm/voennyye_znaniya/v_nadejde_na_totalnuyu_voynu (дата обращения: 15.05.2018)
- 7 Козырев, М. Необычное оружие третьего рейха / М. Козырев, В. Козырев. — М.: «Центрполиграф», 2006. — 399 с.
- 8 Черток, Б. Е. Ракеты и люди. Т. 1 / Б. Е. Черток. — М.: «Машиностроение», 1999. — 416 с.

9 Устройство торпед. Энергосиловые установки торпед /
StudFiles.net. URL: <https://studfiles.net/preview/896333/page:5/>
(дата обращения: 18.05.2018)