

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

---

Кафедра А8

Отчет по научно-исследовательской работе

Тема:

Анализ и постановка задачи построения математической модели  
высокотемпературных процессов

Выполнил:

студент группы А8М31

Верещагин Н.М.

Проверил:

доцент, к.т.н.

Анискевич Ю.В.

Санкт-Петербург 2017

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ ПО ТЕМАТИКЕ ДИССЕРТАЦИИ .....	4
1.1 Парогазовые установки .....	4
1.2 Парогазотурбинная установка Вальтера .....	9
2. АНАЛИЗ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ПОСТРОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ПРОЦЕССОВ.....	15
2.1 Новая схема .....	15
2.2 Математическая модель .....	16
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	20
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	21

## ВВЕДЕНИЕ

Для преобразования исходной энергии в полезную (например, в электрическую) используются различные устройства, в число которых входят турбины. Турбины могут быть разными в зависимости от используемого рабочего тела: паровые, газовые, а так же комбинированные – парогазовые.

Паровые турбины – большие и мощные устройства, использующие в качестве рабочего тела водяной пар. Основными преимуществами у данного типа являются возможность работы на различных видах топлива (газообразное, твердое, жидкое), свободный выбор теплоносителя и большой ресурс турбин. Однако, достаточно низкий объем производимого электричества в соотношении с объемом тепловой энергии.

Газовые турбины – устройства, которые используют энергию сжатого и нагретого газа. Имеют высокое отношение мощности к весу, а также высокую маневренность и диапазон регулирования. Но в то же время неэффективны на малых нагрузках (низкий КПД) и имеют внушительный расход энергии на привод компрессора.

Парогазовые турбины – объединение паровых и газовых турбинных установок общим циклом (бинарным), что позволяет повысить эффективность. Однако, из-за отдельной подачи пара и газа установка получается довольно громоздкой.

Учесть этот недостаток можно путем смешения потоков пара и газа в единое рабочее тело, которое в дальнейшем будет подаваться на турбину. Данная работа посвящена рассмотрению данной схемы.

# **1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ ПО ТЕМАТИКЕ ДИССЕРТАЦИИ**

## **1.1 Парогазовые установки**

Совокупность паротурбинной и газотурбинной установок, которые объединены общим технологическим циклом, называют парогазовой установкой (ПГУ). Соединение этих установок в единое целое позволяет [1]:

- более полно использовать энергию уходящих газов или пара, тем самым уменьшая потери,
- использовать газы за газовыми турбинами в качестве подогретого окислителя при сжигании топлива,
- повысить КПД парогазовой электростанции по сравнению с паротурбинной и газотурбинной электростанциями.

Применение ПГУ для современной энергетики — наиболее эффективное средство повышения общей экономичности электростанций на органическом топливе.

Среди различных вариантов ПГУ наибольшее распространение получили следующие схемы [1]:

- ПГУ с высоконапорным парогенератором (ВПГ),
- ПГУ со сбросом газов газовой турбины в топку парового котла,
- ПГУ с утилизационным паровым котлом (УПК),
- полузависимые ПГУ,
- ПГУ с внутри цикловой газификацией твердого топлива.

Разработанные в НПО ЦКТИ ПГУ с высоконапорным парогенератором работают на природном газе или на жидком газотурбинном топливе [2].

Высоконапорный парогенератор представляет из себя общую камеру сгорания топлива для паротурбинной и для газотурбинной установки. Особенностью такой ПГУ является тот факт, что избыточное давление газов в схеме позволяет отказаться от дымососов, а воздушный компрессор заменяет дутьевой вентилятор; отпадает необходимость в

воздухоподогревателе [1]. Принципиальная тепловая схема ПГУ с ВПГ представлена на рисунке 5.

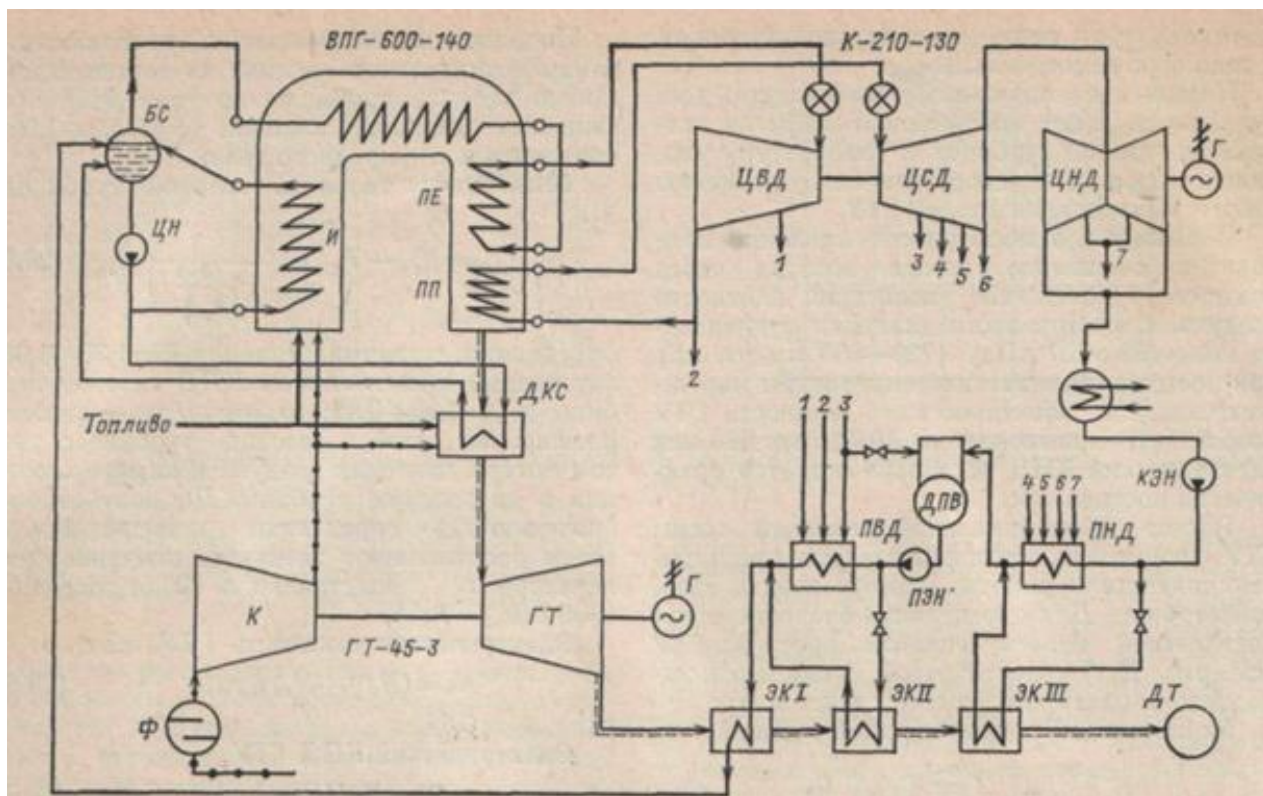


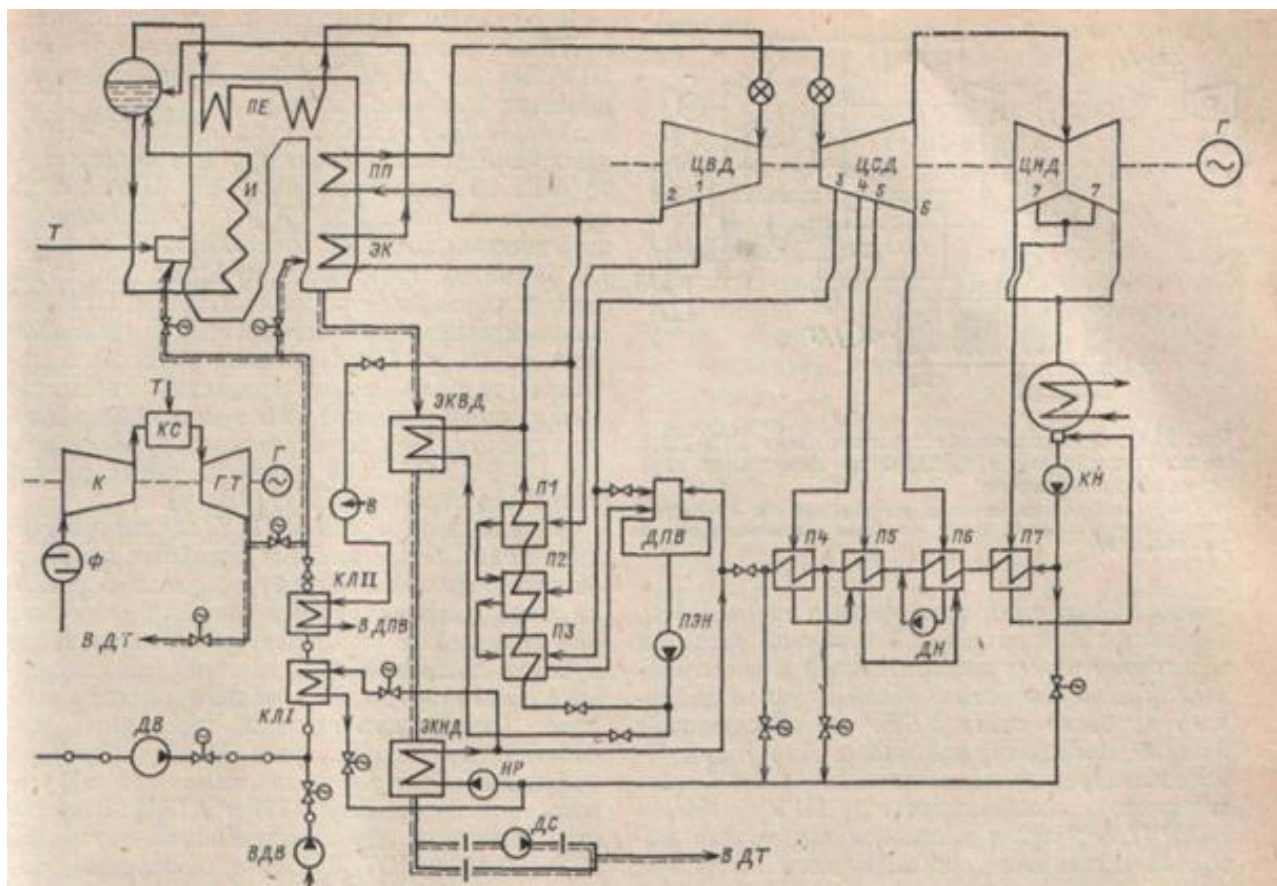
Рисунок 5 – принципиальная тепловая схема ПГУ с ВПГ

ПГУ со сбросом газов газовой турбины в топку парового котла характеризуются тем, что уходящие газы газовой турбины являются хорошо подогретым забалластированным окислителем с содержанием кислорода 14—16%. По этой причине их целесообразно использовать для сжигания основной массы топлива в паровом котле [1].

ПГУ по такой схеме реализована и успешно работает на Молдавской ГРЭС (станционные энергоблоки № 11 и 12). Данная схема ПГУ позволяет работать в трех различных режимах: режим ПГУ и режимы автономной работы газовой и паровой ступеней. Парогазовые электростанции такого типа широко распространены за рубежом (США, Англия, ФРГ и др.) [1].

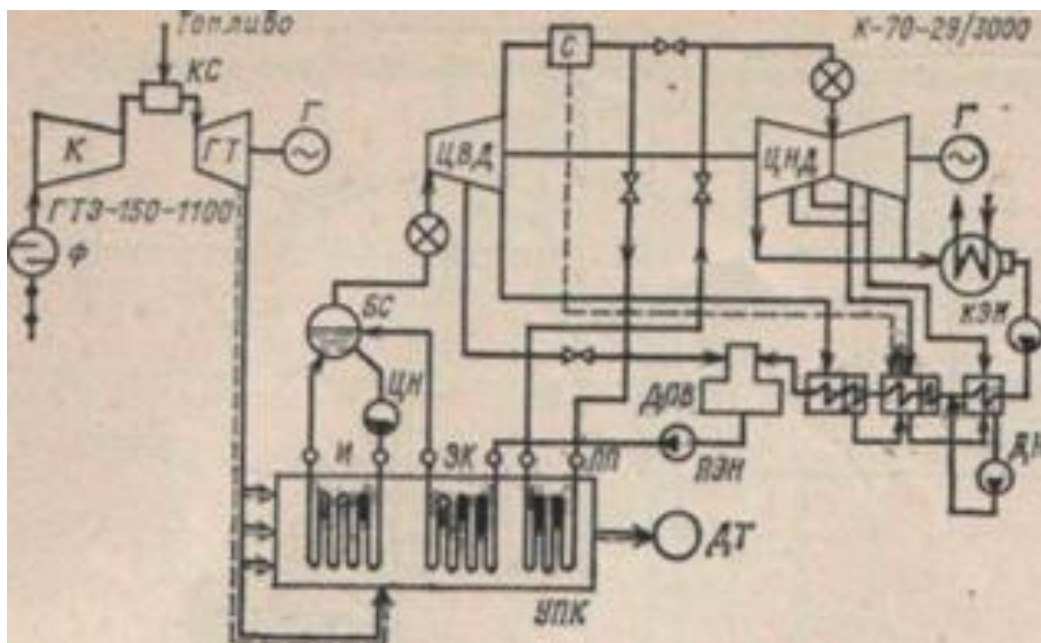
Преимущество ПГУ такой схемы заключается в том, что используется паровой котел обычной конструкции, в котором возможно применение

любого вида топлива, в том числе твердого [1]. Принципиальная тепловая схема ПГУ такого типа представлена на рисунке 6.



*Рисунок 6 – принципиальная тепловая схема ПГУ со сбросом газов газовой турбины в точку парового котла*

ПГУ с утилизационными паровыми котлами позволяют использовать уходящие газы газовых турбин для генерации пара. На таких установках возможна реализация чисто бинарного цикла без дополнительного сжигания топлива с получением пара низких параметров. Для таких установок характерны высокие значения энергетического коэффициента ПГУ и, как недостаток, использование только высококачественного органического топлива, главным образом природного газа [1]. Принципиальная тепловая схема ПГУ такого типа представлена на рисунке 7.



*Рисунок 7 – принципиальная тепловая схема ПГУ с утилизационным паровым котлом*

Сочетание газотурбинных и паротурбинных установок с использованием типового серийного оборудования осуществляется в полузависимой парогазовой установке. Она предназначена для использования при прохождении пиков графика электрической нагрузки и предполагает полное или частичное отключение подогревателей высокого давления по пару[1]. Принципиальная тепловая схема ПГУ такого типа представлена на рисунке 8.



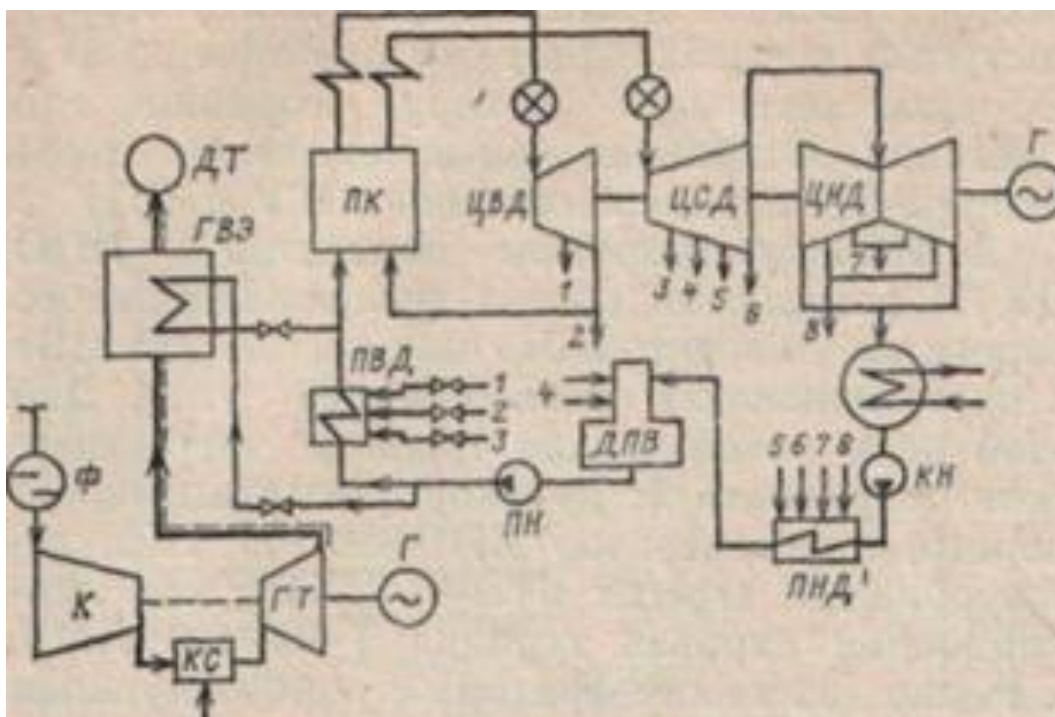


Рисунок 8 – принципиальная тепловая схема полувисимой ПГУ

Рассмотренные схемы ПГУ предполагают частичное или полное использование высококачественного органического топлива, что тормозит их широкое внедрение. Значительный интерес представляют разработанные ЦКТИ различные схемы парогазовых установок с высоконапорными парогенераторами и внутрицикловой газификацией твердого топлива, позволяющие перевести парогазовые установки целиком на уголь.

Преимущества ПГУ [3]:

- парогазовые установки позволяют увеличить электрический КПД выше 60 %;
- низкая стоимость единицы установленной мощности;
- парогазовые установки потребляют гораздо меньше воды на единицу вырабатываемой электроэнергии по сравнению с паросиловыми установками;
- короткие сроки возведения (9-12 мес.);
- нет необходимости в постоянном подвозе топлива ж/д или морским транспортом;



- компактные размеры позволяют возводить непосредственно у потребителя (завода или внутри города), что сокращает затраты на ЛЭП и транспортировку электрической энергии;
- более экологически чистые в сравнении с паротурбинными установками.

Недостатки ПГУ [3]:

- необходимость осуществлять фильтрацию воздуха, используемого для сжигания топлива;
- ограничения на типы используемого топлива (природный газ, дизельное топливо, редко когда твердое топливо);
- необходимость строительства недешевых коммуникаций транспортировки топлива — трубопроводов;
- сезонные ограничения мощности (максимальная производительность в зимнее время).

Рассмотренные парогазовые установки относятся к промышленному типу.

## 1.2 Парогазотурбинная установка 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 [4].

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 [4]. 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° [5].

В качестве катализаторов применялись перманганат натрия, калия или кальция. В сложных реакторах двигателей Вальтера применялось чистое пористое серебро [5].

Есть два типа двигателей Вальтера [5]:

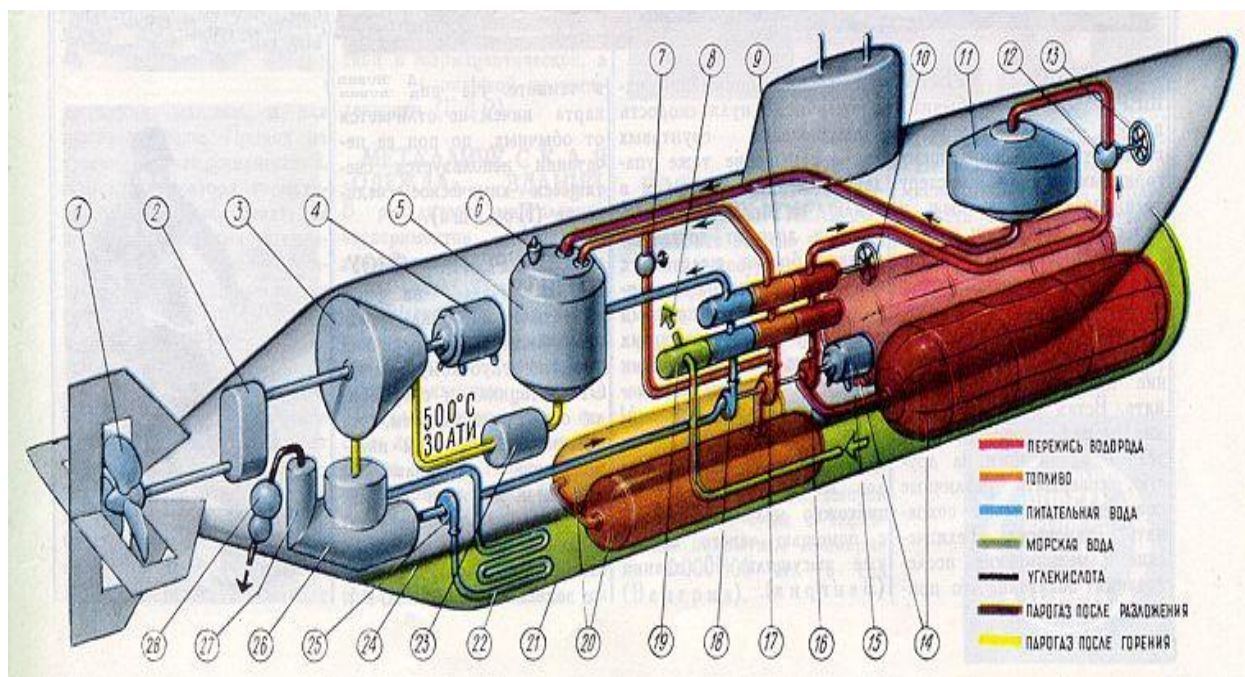
- Однокомпонентные - перекись водорода и катализатор (T-stoff и Z-stoff);
- Двухкомпонентные – перекись водорода и второй компонент, например, C-stoff (смесь гидразина, метанола и воды). На такой смеси работал двигатель Walter HWK RI-203.

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 [5].

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 [5].

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 [5].

На рис. 9 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 Статецки выразил желание работать на СССР. Статецки 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 [6].

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» [6].

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 [6].

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 [6].

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...» [6].

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 торпедой 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 [6].

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 [6].

## **2. АНАЛИЗ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ПОСТРОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ПРОЦЕССОВ**

### **2.1 Новая схема**

Дальнейшее развитие турбин на данный момент ограничено материалами. Повышение КПД во многом связано с увеличением давления и температуры цикла, а это при нынешнем уровне развития или невозможно технически, или необоснованно экономически. Выходом из ситуации могут стать установки с комбинированным циклом, в котором, за счет устранения потерь, удастся повысить эффективность.

Новое решение заключается в следующем: за аналог принимается газотурбинная установка, а именно, газотурбинный двигатель со свободной турбиной (например, ТВЗ-117). Компрессор данного двигателя оставляем без изменений, меняем параметры работы и конструкцию узла камеры сгорания. Компоненты топлива подаются в соотношении, близком к стехиометрии. Это делается для того, чтобы обеспечить получение газа с высокими энергетическими параметрами (высокой температурой). Стенки такой камеры будут охлаждаться водой, которая затем будет подаваться в испарительную камеру, а дальше смесь пара и газа проходит через смесительную камеру для получения максимального уровня однородности рабочего тела. Поскольку рабочее тело будет иметь параметры, отличные от обычного газа, получаемого в ГТД, конструкция турбины так же изменяется (диск и лопатки первой ступени, а так же лопатки последующих ступеней).

Таким образом, удастся совместить такие положительные моменты двух установок, как мобильность и высокая энергетика. Устраняются большие потери на собственные нужды, и повышается безопасность в виду отсутствия котла. Недостатками такой установки станут: необходимость водоподготовки.



## 2.2 Математическая модель

Для описания процессов новой схемы используем следующую систему уравнений:

- 1) Удельная масса рабочего тела:

$$m_{уд} = \frac{N_{уст}}{N_{уд}}$$

$N_{уст}$  – заданная мощность установки, Вт;

$N_{уд}$  – удельная мощность на валу турбины, Вт.

- 2) Заданная мощность установки:

$$N_{уст} = var$$

- 3) Удельная мощность на валу турбины:

$$N_{уд} = N_T - N_K - N_{нв} - N_{нг}$$

$N_T$  – мощность турбины, Вт;

$N_K$  – мощность компрессора воздуха, Вт;

$N_{нв}$  – мощность насоса воды, Вт;

$N_{нг}$  – мощность насоса горючего, Вт.

- 4) Мощность турбины:

$$N_T = f(m_{пг}; R_{пг}; n_{пг}; T_T; \pi_T) = m_{пг} \frac{n_{пг}}{n_{пг} - 1} R_{пг} T_T \left[ 1 - (\pi_T)^{\frac{n_{пг}}{n_{пг} - 1}} \right]$$

$m_{пг}$  – масса парогаса, кг;

$R_{пг}$  – газовая постоянная парогаса, Дж/кг\*К;

$n_{пг}$  – показатель адиабаты;

$T_T$  – температура рабочего тела на турбине, К;

$\pi_T$  – перепад давления на турбине.

- 5) Мощность компрессора воздуха:

$$N_K = f(m_{ок}; R_{ок}; n_{ок}; \pi_K) = m_{ок} \frac{n_{ок}}{n_{ок} - 1} R_{ок} T_0 \left[ (\pi_K)^{\frac{n_{ок}}{n_{ок} - 1}} - 1 \right]$$

$m_{ок}$  – масса воздуха, кг;

$R_{ок}$  – газовая постоянная воздуха, Дж/кг\*К;

$n_{ок}$  – показатель адиабаты;

$T_0$  – температура окислителя перед компрессором, К;

$\pi_k$  – перепад давления на компрессоре.

Учет нагрева воздуха при адиабатическом сжатии:

$$T_1 = T_0 \left( \frac{p_{\text{ВЫХ}}}{p_{\text{ВХ}}} \right)^{\frac{n_{\text{ОК}}}{n_{\text{ОК}} - 1}}$$

$T_1$  – температура окислителя на входе в камеру сгорания, К;

$p_{\text{ВЫХ}}$  – давление на выходе из компрессора, Па;

$p_{\text{ВХ}}$  – давление на входе в компрессор, Па.

6) Мощность насоса воды:

$$N_{\text{НВ}} = f(m_{\text{В}}; \rho_{\text{В}}; \Delta p_{\text{НВ}}) = m_{\text{В}} \frac{\Delta p_{\text{НВ}}}{\rho_{\text{В}}}$$

$m_{\text{В}}$  – масса воды, кг;

$\rho_{\text{В}}$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;

$\Delta p_{\text{НВ}}$  – разность давлений на насосе воды, Па.

7) Мощность насоса горючего:

$$N_{\text{НГ}} = f(m_{\text{Г}}; \rho_{\text{Г}}; \Delta p_{\text{НГ}}) = m_{\text{Г}} \frac{\Delta p_{\text{НГ}}}{\rho_{\text{Г}}}$$

$m_{\text{Г}}$  – масса горючего, кг;

$\rho_{\text{Г}}$  – плотность горючего, кг/м<sup>3</sup>;

$\Delta p_{\text{НГ}}$  – разность давлений на насосе горючего, Па.

В случае если в качестве горючего используется газ (метан) насос горючего заменяется на компрессор горючего.

Мощность компрессора горючего:

$$N_{\text{КГ}} = f(m_{\text{Г}}; R_{\text{Г}}; n_{\text{Г}}; \pi_{\text{КГ}}) = m_{\text{Г}} \frac{n_{\text{Г}}}{n_{\text{Г}} - 1} R_{\text{Г}} T_0 \left[ (\pi_{\text{КГ}})^{\frac{n_{\text{Г}}}{n_{\text{Г}} - 1}} - 1 \right]$$

$m_{\text{Г}}$  – масса горючего, кг;

$R_{\text{Г}}$  – газовая постоянная горючего, Дж/кг\*К;

$n_{\text{Г}}$  – показатель адиабаты;

$T_0$  – температура горючего перед компрессором, К;

$\pi_{\text{КГ}}$  – перепад давления на компрессоре горючего.

8) Масса газа в камере сгорания:

$$m_{\text{КС}} = m_{\text{Г}} + m_{\text{ОК}}$$

9) Масса парогаса:

$$m_{\text{ПГ}} = m_{\text{КС}} + m_{\text{В}} = m_{\text{Г}} + m_{\text{ОК}} + m_{\text{В}}$$

10) Уравнение теплового баланса для камеры сгорания на участке смешения:

$$m_{\text{КС}} C_p^{\text{КС}} (T_{\text{КС}} - T_{\text{Т}}) = m_{\text{В}} C_p^{\text{В}} (T_{\text{кип}} - T_0) + m_{\text{В}} r + m_{\text{В}} C_p^{\text{пар}} (T_{\text{Т}} - T_{\text{кип}})$$

$C_p^{\text{КС}}$  – удельная теплоемкость газа в камере сгорания, Дж/кг\*К;

$T_{\text{КС}}$  – температура газа в камере сгорания, К;

$C_p^{\text{В}}$  – удельная теплоемкость воды при нормальных условиях, Дж/г\*К;

$T_{\text{кип}}$  – температура кипения воды, К;

$T_0$  – начальная температура воды, К;

$r$  – теплота фазового перехода, Дж/кг;

$C_p^{\text{пар}}$  – удельная теплоемкость водяного пара, Дж/кг\*К.

Из этого уравнения следует отношение массы воды к массе газа в камере сгорания:

$$\frac{m_{\text{В}}}{m_{\text{КС}}} = \frac{C_p^{\text{КС}} (T_{\text{КС}} - T_{\text{Т}})}{C_p^{\text{В}} (T_{\text{кип}} - T_0) + r + C_p^{\text{пар}} (T_{\text{Т}} - T_{\text{кип}})}$$

11) Массовые доли компонентов в составе рабочего тела:

$$g_{\text{В}} = \frac{m_{\text{В}}}{m_{\text{ПГ}}}$$

$$g_{\text{КС}} = \frac{m_{\text{КС}}}{m_{\text{ПГ}}}$$

$$g_{\text{Г}} = \frac{m_{\text{Г}}}{m_{\text{ПГ}}}$$

$g_{\text{В}}$  – массовая доля воды в составе парогаса;

$g_{\text{КС}}$  – массовая доля газа в составе парогаса;

$g_{\text{Г}}$  – массовая доля горючего в составе парогаса.

12) Характеристики рабочего тела:

$$R_{\text{пг}} = R_{\text{кв}} g_{\text{кв}} + R_{\text{в}} g_{\text{в}}$$

$$n_{\text{пг}} = n_{\text{кв}} g_{\text{кв}} + n_{\text{в}} g_{\text{в}}$$

$$C_p^{\text{пг}} = C_p^{\text{кв}} g_{\text{кв}} + C_p^{\text{в}} g_{\text{в}}$$

$C_p^{\text{пг}}$  – удельная теплоемкость парогаса, Дж/кг\*К;

13) Уравнение теплового баланса для экономайзера:

$$m_{\text{пг}} C_p^{\text{пг}} (T_{\text{т}} - T_2) = m_{\text{в}}^{\text{э}} C_p^{\text{в}} (T_{\text{кип}} - T_0) + m_{\text{в}}^{\text{э}} r + m_{\text{в}}^{\text{э}} C_p^{\text{пар}} (T_2 - T_{\text{кип}})$$

$m_{\text{в}}^{\text{э}}$  – масса воды в экономайзере, кг;

$T_2$  – температура воды и парогаса на выходе из экономайзера, К.

Из данного уравнения следует отношение массы воды к массе парогаса для экономайзера:

$$\frac{m_{\text{в}}}{m_{\text{пг}}} = \frac{C_p^{\text{пг}} (T_{\text{т}} - T_2)}{C_p^{\text{в}} (T_{\text{кип}} - T_0) + r + C_p^{\text{пар}} (T_2 - T_{\text{кип}})}$$

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведения экономической оценки предложенной принципиальной схемы с применением вышеуказанной математической модели были получены следующие результаты:

- При стандартной компоновке («компрессор» + «узел КС» + «турбина»), где рассматривался модернизированный узел КС новая схема проигрывает традиционной по удельной мощности на кг используемого горючего (в качестве горючего использовалось дизтопливо). Вероятной причиной проигрыша является уменьшение расхода рабочего тела на турбине ввиду уменьшения расхода воздуха.

Для повышения эффективности установки в схему внедряем экономайзер для подогрева воды для камеры сгорания.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Парогазовые установки электростанций // Познайка.Орг – 2016-2017 год. URL: <http://poznayka.org/s68538t1.html> (дата обращения: 04.11.2017)
- 2 Что лучше, надежнее, экономичнее для автономной электростанции: газопоршневые или газотурбинные силовые агрегаты? // Новая генерация. URL: [http://www.manbw.ru/analytics/which\\_is\\_better\\_gas\\_piston\\_or\\_gas\\_turbine\\_power\\_units.html](http://www.manbw.ru/analytics/which_is_better_gas_piston_or_gas_turbine_power_units.html) (дата обращения: 07.11.2017)
- 3 Современная теплоэнергетика // Росэнергосервис. URL: <http://lib.rosenergосervis.ru/sovremennaya-teploenergetika?start=41> (дата обращения: 15.11.2017)
- 4 Шапиро, Л. В надежде на тотальную войну [Электронный ресурс] // Техника молодежи. URL: [http://technicamolodezhi.ru/rubriki\\_tm/voennyye\\_znaniya/v\\_nadejde\\_na\\_totalnuyu\\_voynu](http://technicamolodezhi.ru/rubriki_tm/voennyye_znaniya/v_nadejde_na_totalnuyu_voynu) (дата обращения: 16.11.2017)
- 5 Козырев, М. Необычное оружие третьего рейха / М. Козырев, В. Козырев. — М.: «Центрполиграф», 2006. — 399 с.
- 6 Черток, Б. Е. Ракеты и люди. Т. 1 / Б. Е. Черток. — М.: «Машиностроение», 1999. — 416 с.