

Всероссийское СМИ

«Академия педагогических идей «НОВАЦИЯ»

Свидетельство о регистрации Эл №ФС 77-62011 от 05.06.2015 г.

(выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций)

Сайт: [akademnova.ru](http://akademnova.ru)

e-mail: [akademnova@mail.ru](mailto:akademnova@mail.ru)

*Судас С.А., Маликов С.Б. Технический облик разрабатываемой схемы газотурбинной установки сложного цикла на твердом топливе // Академия педагогических идей «Новация». Серия: Студенческий научный вестник. – 2017. – № 05 (май). – АРТ 130-эл. – 0,3 п.л. - URL: <http://akademnova.ru/page/875550>*

**РУБРИКА: ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

**УДК 62**

**Судас Сергей Александрович**

Студент 6 курса, факультет «АККТиСУ»

кафедра «ТПЭДЛА»

«Московский авиационный институт»

г. Москва, Российская Федерация

e-mail: [ssudas@mail.ru](mailto:ssudas@mail.ru)

**Маликов Сергей Борисович,**

к.т.н., доцент кафедры «ТПЭДЛА»

«Московский авиационный институт»

г. Москва, Российская Федерация

e-mail: [malikovsb@mati.ru](mailto:malikovsb@mati.ru)

**ТЕХНИЧЕСКОЙ ОБЛИК РАЗРАБАТЫВАЕМОЙ СХЕМЫ  
ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ СЛОЖНОГО ЦИКЛА  
НА ТВЕРДОМ ТОПЛИВЕ**

*Аннотация:* В данной статье представлена перспективная схема газотурбинной установки на твердом возобновляемом топливе. В качестве твердого возобновляемого топлива предполагается использовать древесину. Рассмотрен облик разрабатываемой газотурбинной установки сложного цикла.

*Ключевые слова:* газотурбинная установка, сложный цикл, твердое топливо, возобновляемые ресурсы, малая энергетика.

Всероссийское СМИ

«Академия педагогических идей «НОВАЦИЯ»

Свидетельство о регистрации Эл №ФС 77-62011 от 05.06.2015 г.

(выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций)

Сайт: [akademnova.ru](http://akademnova.ru)

e-mail: [akademnova@mail.ru](mailto:akademnova@mail.ru)

**Sudas SA**

A student of the 6th year, Faculty of "AKKTISU"

Department "TPEDLA"

"Moscow Aviation Institute"

Russian Federation, Moscow

E-mail: [ssudas@mail.ru](mailto:ssudas@mail.ru)

**Malikov S.B.**

Ph.D., Associate professor of the department "TPEDLA"

"Moscow Aviation Institute"

Russian Federation, Moscow

e-mail: [malikovsb@mati.ru](mailto:malikovsb@mati.ru)

## TECHNICAL CHARACTERISTICS OF THE DEVELOPED SCHEME OF GAS TURBINE COMPLEX CYCLE SOLID FUEL

*Annotation:* This article presents a promising scheme of a gas turbine plant based on solid renewable fuel. As a solid renewable fuel is expected to use wood. The appearance of a gas turbine complex of a complex cycle is considered.

*Keywords:* gas-turbine plant, complex cycle, solid fuel, renewable resources, small energy.

Для получения энергии из повсеместно распространенного древесного топлива, необходимо создавать установки работающие на этом топливе. Наиболее эффективно можно получать электроэнергию с помощью газовых турбин.

Газотурбинные установки, как правило, используют жидкое или газообразное топливо как наиболее удобное в эксплуатации, сжигаемое непосредственно в камере сгорания.

Неоднократные попытки использовать в газотурбинном двигателе с обычной камерой сгорания значительно более дешёвое в выработке,

транспортировке и хранении твердое топливо, оказались неудачными по двум причинам:

- топливо в обычную камеру сгорания необходимо подавать под высоким давлением, что требует использования сложных шлюзовых устройств;

- несгораемые частицы сильно изнашивают проточную часть газовой турбины.

Для решения задачи обеспечения работы газотурбинного двигателя на твёрдом топливе предложен переход от простого цикла к сложному, с внешним сгоранием и непрямым нагревом сжатого воздуха в теплообменнике. Схема установки (рис.1) включает турбоблок в составе турбокомпресса (компрессор 1 + турбина 2), электрогенератора 3 и твердотопливную камеру сгорания в составе: горелку 4, смеситель 5, теплообменник 6.

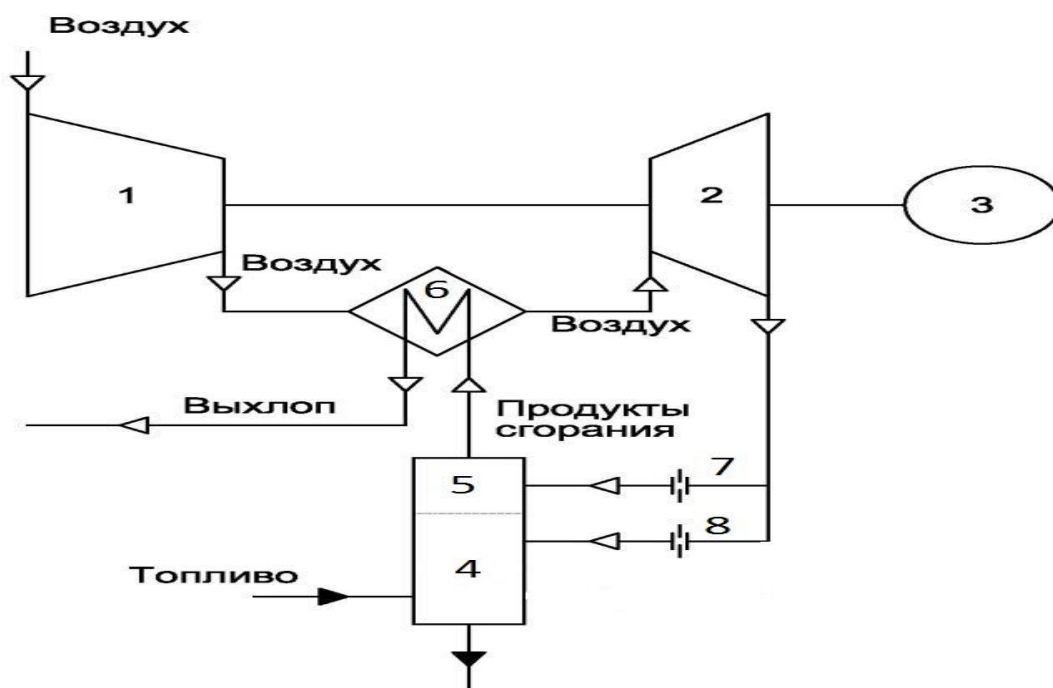


Рисунок 1. Схема газотурбинной установки внешнего сгорания

Атмосферный воздух сжимается в компрессоре 1, нагревается в теплообменнике 6 и поступает в турбину 2, где в ходе расширения производит полезную работу. Турбина работает на чистом воздухе. Горячий воздух с выхода турбины под избыточным давлением в несколько кило паскаль разделяется на два потока. Первый поток в количестве, оптимальном для горения, поступает в горелку 4, в котором сжигается твердое топливо. Остальной воздух поступает в смеситель 5, где продукты сгорания за счёт разбавления снижают температуру до допустимой по условиям прочности теплообменника температуры. Дроссели 7 и 8 предназначены для первоначальной установки требуемого соотношения расходов по потокам воздуха в камеру сгорания.

Указанные выше причины, препятствующие использованию твёрдого топлива, исключаются благодаря тому, что:

- низкое избыточное давление в твёрдотопливной камере сгорания не требует шлюзовых устройств для подачи топлива и удаления золы;
- несгораемые частицы удаляются из потока синтез-газа за счёт восходящего потока со скоростью ниже скорости витания частиц.

Ниже рассмотрен технический облик и критические технологии разрабатываемой газотурбинной установки сложного цикла

Энергетическая газотурбинная установка сложного цикла мощностью  $N=4$  кВт делится на два основных блока:

а) теплообменная камера сгорания (ТКС) в составе:

- система подачи топлива;
- камера сгорания;
- смеситель;

- теплообменный аппарат.

б) турбоблок в составе:

- турбокомпрессор (компрессор + турбина);

- высокоскоростной электрогенератор.

Кроме перечисленных узлов, установка включает корпус, систему автоматического управления, электронный силовой преобразователь, фильтр циклового воздуха, подшипники с системой смазки, трубопроводы и другие узлы, облик которых будет определяться по мере проработки критических узлов.

Камера сгорания выполнена по типу топки с восходящим потоком к которой присоединяется твердотопливная горелка реализующая горение в кипящем слое. Восходящий поток рассчитан таким образом, что бы твердые частицы оседали в зольнике, установленном на дне топки. Также в топку подведен подмес воздуха из за турбины.

Проведение экспериментальных исследований показало хорошие характеристики камеры сгорания для твердого топлива. Эксперимент подтвердил возможность использования нержавеющей сталей в конструкции, высокую полноту сгорания топлива, отсутствие твердых частиц в газе, поступающем на смеситель и далее в теплообменный аппарат. Экспериментальным путем была определена максимально возможная продолжительная мощность работы камеры сгорания для демонстратора, которая составила 45кВт. При проведении длительных испытаний был подтвержден факт само очистки чаши горения от твердых несгораемых частиц.

Температура сгорания зарегистрированная в ходе эксперимента достигла 1500К. При температурах свыше 870К прекращается образование

**Всероссийское СМИ**

**«Академия педагогических идей «НОВАЦИЯ»**

Свидетельство о регистрации Эл №ФС 77-62011 от 05.06.2015 г.

(выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций)

**Сайт:** [akademnova.ru](http://akademnova.ru)

**e-mail:** [akademnova@mail.ru](mailto:akademnova@mail.ru)

копоти, смол, дегтя; достигается полное сгорание топлива. В тоже время этих температур недостаточно для образование окислов азота, что благоприятно сказывается на экологичности процесса горения.

Для обеспечения более высокого давления в камере сгорания и предотвращения попадания газообразных продуктов сгорания в окружающую среду через топливоподающий канал был разработан шлюзовой затвор с двойным перекрытием, что позволило поднять давление внутри камеры сгорания до 100Па

Теплообменный аппарат газотурбинной установки сложного цикла работает при температуре до 1223 К и давлении до 4 бар. Для таких условий подходят только цельносварные матрицы. Конструкция теплообменника должна противостоять вибрации и при этом выдерживать не менее нескольких тысяч термических циклов без потери герметичности. Материал матрицы должен противостоять выгоранию и иным повреждениям в течение всего срока службы теплообменника. Большое значение имеет технологическая и конструктивная проработка конструкции. Отжиг готовой матрицы в вакуумной печи позволит исключить локальные напряжения материала от сварки и начальные дефекты поверхности, приводящие к коррозии. Замкнутые кольцевые сварные швы исключат разрушение концов шва. Автоматическая сварка исключит местные дефекты сварных швов. Эти и другие меры многократно увеличат стойкость конструкции к вибрации и тепловым циклам. Требование работоспособности теплообменника в течение тысяч термических циклов вынуждает к максимальной автоматизации сборочных процессов, в первую очередь сварки, для обеспечения стабильности сварных швов. Другой технологической проблемой является сварка тонкостенных (0,2...0,3 мм) деталей матрицы с корпусом теплообменного аппарата толщиной 2 мм.

**Всероссийское СМИ**

**«Академия педагогических идей «НОВАЦИЯ»**

Свидетельство о регистрации Эл №ФС 77-62011 от 05.06.2015 г.

(выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций)

Сайт: [akademnova.ru](http://akademnova.ru)

e-mail: [akademnova@mail.ru](mailto:akademnova@mail.ru)

Параметры компрессора, полученные в результате расчета тепловой схемы, с точки зрения авиационного двигателестроения невысоки и их достижение не представляет особых трудностей. Это позволяет сосредоточиться на получении максимального КПД компрессора. Степень повышения давления в компрессоре 3,0...3,2 делает наиболее рациональным выбор центробежного компрессора [1]. Колесо компрессора полузакрытое как оптимальный компромисс между технологичностью и эффективностью. Благодаря невысокой степени повышения давления температура за компрессором не превышает 150 °С, что позволяет изготовить детали компрессора из алюминиевых сплавов с минимальной механической обработкой [3]. Диффузор компрессора выполнен в виде улитки, так как в отличие от принятых для авиационных двигателей симметричных кольцевых диффузоров с непосредственным переходом в камеру сгорания теплообменная камера сгорания с теплообменником располагается отдельно от турбоблока.

Турбина выполнена центростремительной [2]. Полузакрытое колесо турбины из жаропрочного сплава соединяется с валом сваркой трением, как это принято в автомобильных турбокомпрессорах. Турбина выполняется без соплового аппарата, с конфузором в виде улитки для стыковки с трубопроводами подвода и отвода рабочего тела – воздуха. Полузакрытые колёса компрессора и турбины изготавливаются по давно отработанной литейной технологии. Главную сложность представляет разработка конструкции (колеса и формы для отливки), позволяющей изготовить колесо с высоким КПД, и, как следствие, лопатками сложной формы.

Высокоскоростной электрогенератор на номинальную частоту вращения 60 000 мин<sup>-1</sup> с прямым приводом от вала турбокомпрессора выполняется на базе высокоскоростного вентильного мотор-генератора с возбуждением от постоянных магнитов по схеме с внутренним ротором.

В результате проведенной работы сформирован технический облик турбоблока ГТУсц, представленный на рис. 2.

Высокоскоростной электрогенератор выполнен в отдельном корпусе. Ротор электрогенератора вращается на собственных радиальных опорах (высокооборотные шарикоподшипники). Упорного подшипника нет, осевая фиксация через упорный подшипник турбины. Охлаждение турбогенератора всасываемым воздухом. Корпусные детали литые из лёгкого сплава [3]. Генератор собирается и испытывается как единое целое.

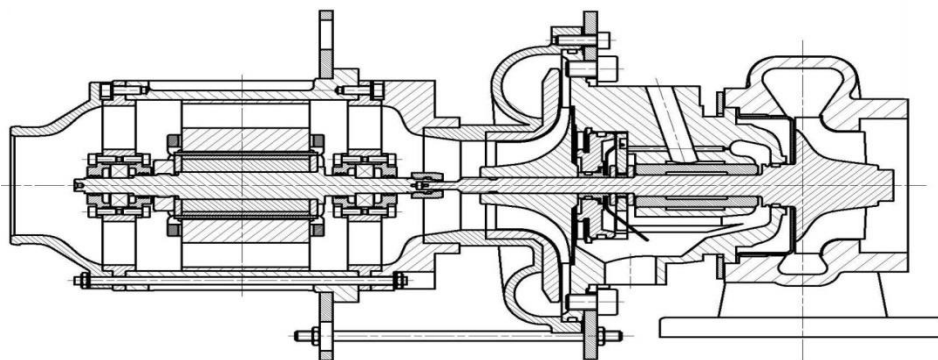


Рисунок 2. Продольный разрез турбоблока

Конструкция турбокомпрессора основана на схеме, отработанной для турбокомпрессора системы наддува поршневого двигателя внутреннего сгорания. Помимо высокой технологичности конструкция турбокомпрессора позволяет в ходе испытаний при необходимости гибко варьировать конструкцию отдельных узлов.

Упорный и опорные подшипники турбины — подшипники скольжения. Смазка подшипников принудительная с подачей масла под давлением и самосливом масловоздушной смеси.



**Всероссийское СМИ**

**«Академия педагогических идей «НОВАЦИЯ»**

Свидетельство о регистрации Эл №ФС 77-62011 от 05.06.2015 г.

(выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций)

**Сайт:** [akademnova.ru](http://akademnova.ru)

**e-mail:** [akademnova@mail.ru](mailto:akademnova@mail.ru)

Соединение роторов турбины и электрогенератора цанговым зажимом на валу генератора. Цанга зажимается после стыковки корпусов через специальное окно в корпусе (на разрезе не показано).

Разработанная конструкция основана на отработанной конструкции турбокомпрессора для поршневого двигателя внутреннего сгорания. Помимо высокой технологичности конструкция турбокомпрессора позволяет в ходе испытаний при необходимости гибко варьировать конструкцию отдельных узлов.

Использование в конструкции установки узлов получивших широкое распространение в автомобильной промышленности позволяет сэкономить значительные средства на разработке, испытаниях, производстве изделия.

Разрабатываемая ГТУ очень востребована в районах крайнего севера, трудно-доступных районах, куда сложно или дорого завозить топливо для котельных и электрогенераторов. Помимо этого, мы уменьшим использование исчерпаемых видов топлив, которые с каждым годом дорожают.

Дальнейшая разработка должна быть направлена на уменьшение габаритных размеров камеры сгорания. Она может быть достигнута путем создания камеры с центробежным движением потока газа. В результате чего можно уменьшить объем камеры сгорания в 20 раз и вес в 5 раз. Также для увеличения ресурса работы камеры желательно использовать жаростойкие сплавы.

Анализ результатов расчета, существующих технологий и имеющихся мощностей показал, что данный инновационный проект может быть создан и сможет обеспечивать заданные параметры работы. Практическими экспериментами была подтверждена работоспособность установки. Одним из важных факторов успешного завершения проекта является достаточное финансирование со стороны государства, разрабатываемая микро ГТУ сможет

**Всероссийское СМИ**

**«Академия педагогических идей «НОВАЦИЯ»**

Свидетельство о регистрации Эл №ФС 77-62011 от 05.06.2015 г.

(выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций)

**Сайт:** [akademnova.ru](http://akademnova.ru)

**e-mail:** [akademnova@mail.ru](mailto:akademnova@mail.ru)

конкурировать со многими зарубежными производителями энергетических установок.

**Список использованной литературы:**

- Б. Эккерт Осевые и центробежные компрессоры, М., Машгиз, 1959.
- А. Джадж Газотурбинные двигатели малой мощности, М., Издательство иностранной литературы, 1963.
- Чернышов Е.А. Литейные сплавы и их зарубежные аналоги. Справочник, М., Машиностроение, 2006.

*Дата поступления в редакцию: 24.05.2017 г.*

*Опубликовано: 25.05.2017 г.*

*© Академия педагогических идей «Новация». Серия «Студенческий научный вестник», электронный журнал, 2017*

*© Судас С.А., Маликов С.Б., 2017*