

ГАЗОТУРБИННАЯ УСТАНОВКА

Письменный В.Л.

Филиал «Взлет» Московского авиационного института в г. Ахтубинске

Ключевые слова: газотурбинная установка, энергетическая установка, внутренний термодинамический цикл, энергосбережение, двухконтурная установка.

Аннотация. Предложена оригинальная двухконтурная газотурбинная установка, в которой повышение топливной эффективности (КПД) достигается за счет использования внутреннего термодинамического цикла. Для достижения предельных температур газа перед турбиной (2400 К) использован циркуляционный теплообменник, установленный во втором контуре газотурбинной установки. Ожидаемое повышение эффективного КПД более 65 %.

GAS TURBINE INSTALLATION

Pismennyi V.L.

Branch “Vzlet” of Moscow Aviation Institute, Ahtubinsk

Keywords: gas turbine installation, power plant, internal thermodynamic cycle, energy saving, double-circuit installation.

Abstract. An original two-circuit gas turbine unit is proposed, in which an increase in fuel efficiency (KPD) is achieved through the use of internal thermodynamic cycles. To achieve the limiting gas temperatures in front of the turbine (2400 K), a circulation heat exchanger was used, installed in the second circuit of the installation. The expected increase in effective efficiency is over 65%.

В соответствии с законами термодинамики работа тепловой машины определяется как разница подведенной и отведенной в термодинамическом цикле теплоты. При этом природа рабочего тела не влияет на величину указанной работы, а термический КПД не может быть выше, чем в цикле Карно при тех же температурах «нагревателя» и «холодильника».

Задача приближения КПД тепловой машины к КПД цикла Карно в общем случае решается методом внутренних термодинамических циклов [1]. Внутренний термодинамический цикл – это цикл, имеющий энергообмен только с внешним циклом. Внешний цикл – это цикл, имеющий энергообмен с внешними источниками энергии (внешней средой). Замечательным свойством внутренних циклов является то, что их КПД в составе тепловой машины равен единице, поэтому, чем больше внутренних циклов имеет тепловая машина, тем выше ее КПД [2-9].

Автором предложена газотурбинная установка (ГТУ) [10], в которой повышение эффективности (КПД) достигается за счет использования внутреннего термодинамического цикла. Предложен теплообменник [11], позволяющий кардинально изменить эффективность охлаждения лопаток газовой турбины.

Газотурбинная установка (рис. 1) состоит из входного устройства 1, вентилятора 2, внутреннего и внешнего контуров, теплообменника-регенератора 3.

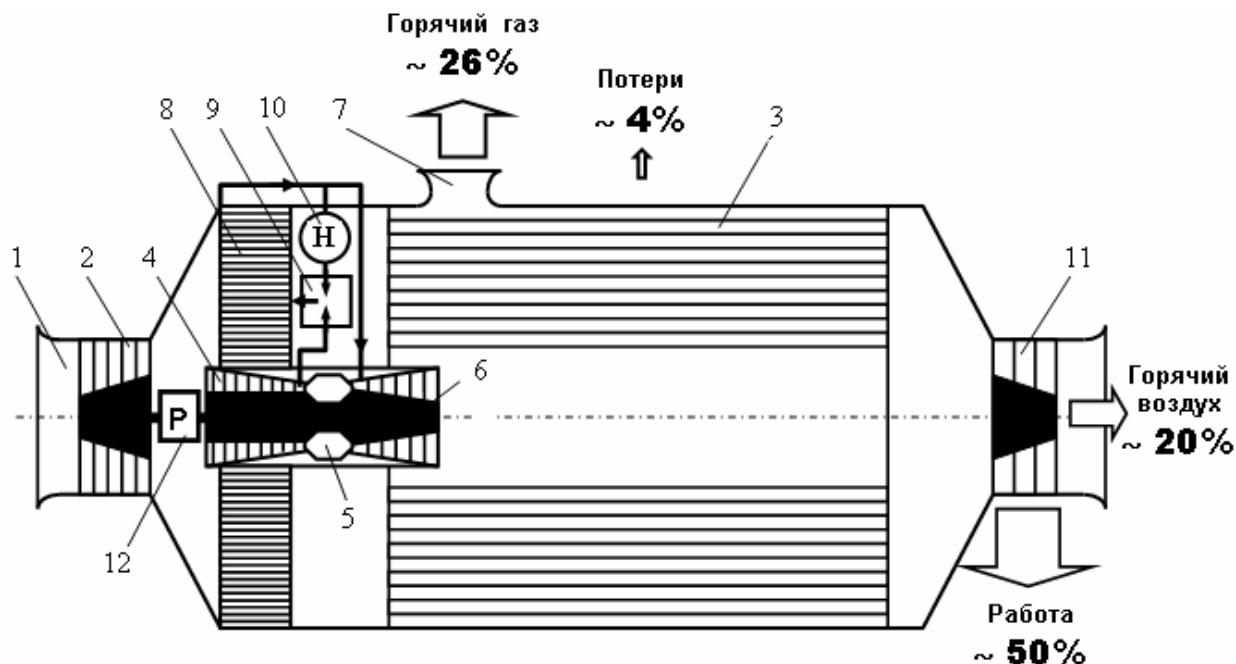


Рис. 1. Газотурбинная установка

Во внутреннем контуре расположены: компрессор 4, камера сгорания 5, турбина привода вентилятора и компрессора 6 (далее турбина), выходное устройство в виде выхлопного патрубка 7.

Во внешнем контуре расположены: теплообменник 8, смеситель 9, нагнетатель 10. Внутренние каналы теплообменника 8 с одной стороны через смеситель 9 соединены с воздушной полостью за компрессором 4, а с другой стороны – со смесителем 9 через нагнетатель 10 и воздушными каналами системы охлаждения турбины 6, выходное устройство 11, выполненное в виде свободной турбины.

Теплообменник-регенератор 3 расположен за турбиной 6 внутри обоих контуров (газовые каналы теплообменника принадлежат внутреннему контуру, воздушные – внешнему).

Вентилятор 2 соединен с компрессором 4 через редуктор 12.

Работа ГТУ не отличается от работы двухконтурного турбореактивного двигателя с раздельными контурами [12], за исключением работы системы охлаждения турбины и выходных устройств.

Работа системы охлаждения турбины осуществляется следующим образом. Горячий воздух отбирается за компрессором 4 и подается в смеситель 9, и далее в теплообменник 8. Охлажденный в теплообменнике 8 воздух поступает в систему охлаждения турбины 6 и нагнетатель 10, который нагнетает воздух в смеситель 9. В смесителе 9 охлажденный воздух перемешивается с горячим воздухом, поступающим из компрессора. В результате смешения температура горячего воздуха понижается. Образовавшаяся смесь поступает в теплообменник, и цикл повторяется. Снижение температуры воздуха будет продолжаться до тех пор, пока не будет достигнут тепловой баланс между теплом, поступающим в смеситель 9 от компрессора, и теплом, отводимым через теплообменник 8 во внешний контур установки.

Из внутреннего и внешнего контуров газ (воздух) поступает в теплообменник-регенератор 3.

Работа теплообменника-регенератора осуществляется следующим образом. Горячий газ из турбины 6 истекает во внутреннюю полость теплообменника-регенератора 3, через которую по теплопроводящим каналам движется воздух внешнего контура. Статическое давление газа на выходе из турбины за счет скорости истечения газа поддерживается ниже атмосферного, что создает неравномерное поле давлений внутри теплообменника-регенератора (давление в центре теплообменника ниже, чем на периферии). Под действием перепада давлений образуются зоны обратных токов, которые заставляют охлажденный газ возвращаться в зону истечения горячего газа и смешиваться с ним, после чего процесс повторяется (чем больше объем теплообменника, тем лучше охлаждается газ). Через патрубок 7 охлажденный газ истекает в атмосферу либо поступает в паросиловую установку (ПСУ) для дальнейшего преобразования его энергии в полезную работу и полезную теплоту (например, горячую воду).

Нагретый воздух из теплообменника 3 под высоким давлением поступает в свободную турбину 11, расширяется до атмосферного давления – совершает полезную работу. Из турбины 11 воздух истекает в атмосферу либо поступает в ту же паросиловую установку, либо используется для обогрева промышленных объектов (теплиц, жилых зданий и др. объектов).

На рисунке 2 в P - v координатах показан смешанный термодинамический цикл энергетической установки, состоящей из ГТУ (рис. 1) и ПСУ. Цикл состоит из внешнего цикла $L\mu_1$ (цикл Брайтона) и двух внутренних циклов: $L\mu_2$ (цикл Брайтона) и $L\mu_3$ (цикл Ренкина).

К внешнему циклу подводится теплота Q_1 (процесс к-г). Часть этой теплоты преобразуется в работу $L\mu_1$, а часть (Q_{1-2} и Q_{1-3}) передается во внутренние циклы, в которых преобразуется в работу $L\mu_2$ и $L\mu_3$ (рис. 2). Оставшаяся теплота Q_3 условно возвращается внешнему циклу, после чего рассеивается в атмосфере.

Благодаря наличию внутренних циклов количество отводимой из внешнего цикла теплоты, как видно из рисунка 2, уменьшается до величины Q_3 при сохранении подведенной теплоты Q_1 , а следовательно, повышаются работа и КПД энергетической установки.

Выполнена количественная оценка ожидаемого эффекта. Заданы следующие параметры ГТУ: температура газа перед турбиной $T_g^* = 2400$ К; степень двухконтурности установки $m = 4,0$; температура лопаток первой ступени турбины $T_l = 1250$ К; коэффициент интенсивности охлаждения лопаток турбины $\nu = 0,65$; отбор воздуха на охлаждение турбины $\delta_{омб} = 20\%$; КПД вентилятора $\eta_v = 0,85$; КПД компрессора $\eta_k = 0,85$; КПД турбины $\eta_t = 0,96$; КПД свободной турбины $\eta_{тс} = 0,96$; механический КПД $\eta_m = 0,99$; полнота сгорания топлива $\eta_r = 0,99$; коэффициент восстановления давления в камере сгорания $\sigma_{кс} = 0,98$; коэффициент восстановления давления в теплообменниках $\sigma_t = 0,98$; потери теплоты (несгоревшее топливо, теплоотдача через корпус ГТУ) $\sim 4\%$. Эффективный КПД паросиловой установки принят равным 30%.

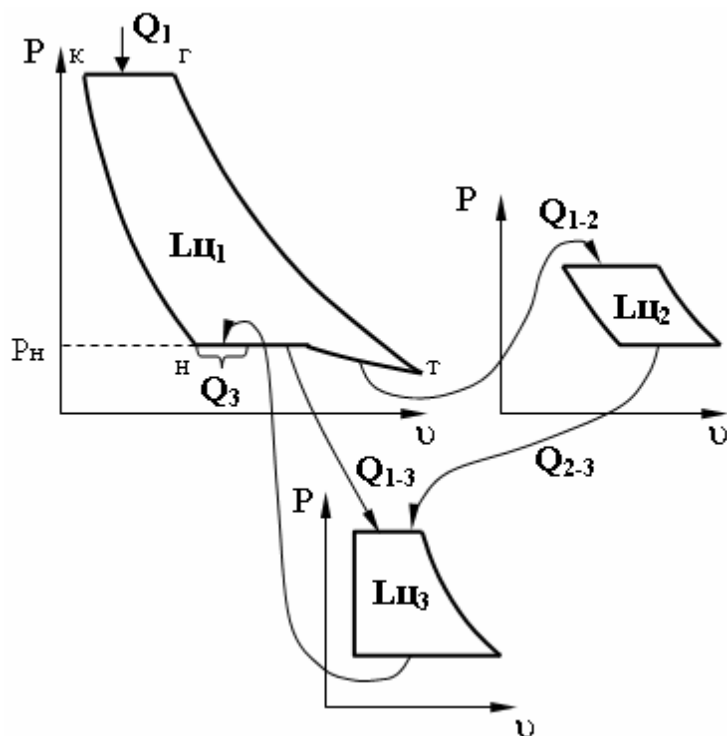


Рис. 2. Смешанный термодинамический цикл энергетической установки (ГТУ+ПСУ)

Температура газа $T_g^* = 2400$ К достигается как результат размещения во втором контуре теплообменника [11], который позволяет понизить температуру охлаждающего воздуха практически до температуры воздуха за вентилятором 2.

Обобщенная оценка эффективности ГТУ представлена на рисунках 3, 4. На рисунке 3 показаны: сплошной линией – эффективный КПД η_e ГТУ в зависимости от степени повышения давления воздуха π ; пунктирной линией – эффективный КПД энергетической установки (ГТУ+ПСУ). На рисунке 4 показаны зависимости температуры газов, истекающих из ГТУ, от степени повышения давления воздуха π .

Видно (рис. 1, 3), что ГТУ позволяет 50% энергии топлива преобразовать в полезную работу, оставшиеся 50% (за малым исключением $\sim 4\%$) – в конвертируемую теплоту, половину из которой также можно преобразовать в полезную работу в той же ПСУ.

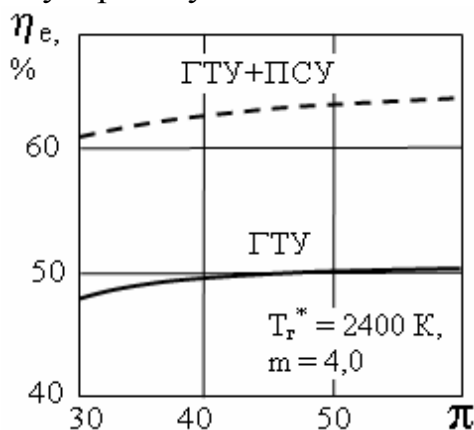


Рис.3. Зависимость эффективного КПД от степени повышения давления воздуха

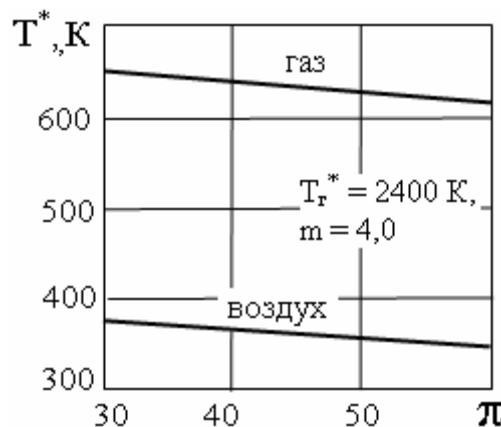


Рис.4. Зависимость температуры воздуха и газа от степени повышения давления воздуха

Газотурбинная установка может быть использована в качестве базового модуля для создания тепловых машин с эффективным КПД 65% и более. Создание высокоэффективных энергетических установок ($\eta_e > 65\%$) в условиях России (низкие среднегодовые температуры воздуха и наличие значительных запасов углеводородных топлив), по мнению автора, следует рассматривать как *важнейшую национальную задачу*. Более того, при резком сужении рынков сбыта сырья, что для России сегодня актуально, не заниматься проблемами повышения эффективности тепловых машин [2-11] уже непозволительная роскошь.

Список литературы

1. Письменный В.Л. Внутренние термодинамические циклы // Конверсия в машиностроении. 2006. № 3. С. 5-10.
2. Патент № 2272916 РФ. Парогазотурбинная установка / В.Л. Письменный. – Оpubл. 27.03.2006, Бюл. № 9.
3. Патент № 2284418 РФ. Способ форсирования газотурбинных установок / В.Л. Письменный. – Оpubл. 27.09.2006, Бюл. № 27.
4. Патент № 2520762 РФ. Парогазовая установка / В.Л. Письменный – Оpubл. 28.04.2014, Бюл. №18.
5. Патент № 2523087 РФ. Парогазотурбинная установка / В.Л. Письменный. – Оpubл. 22.05.2014, Бюл. № 20.
6. Патент № 2666701 РФ. Стехиометрическая парогазовая установка / В.Л. Письменный. – Оpubл. 11.09.2018, Бюл. № 26.
7. Патент № 2671264 РФ. Стехиометрическая парогазотурбинная установка / В.Л. Письменный. – Оpubл. 13.10.2018, Бюл. № 31.
8. Патент № 2673948 РФ. Энергоустановка / В.Л. Письменный. – Оpubл. 03.12.2018, Бюл. №34.
9. Патент № 2674089 РФ. Способ форсирования газотурбинной установки / В.Л. Письменный. – Оpubл. 04.12.2018. Бюл. № 34.
10. Патент № 2675167 РФ. Газотурбинная установка / В.Л. Письменный. – Оpubл. 17.12.2018, Бюл. № 35.
11. Патент № 2607916 РФ. Теплообменник / В.Л. Письменный. – Оpubл. 11.01.2017, Бюл. № 2.
12. Теория и расчет воздушно-реактивных двигателей / Под ред. С.М. Шляхтенко. – М.: Машиностроение, 1987. – С.17.

Сведения об авторе:

Письменный Владимир Леонидович – к.т.н., доцент кафедры испытаний авиационной техники, филиал «Взлет» МАИ (НИУ), г. Ахтубинск.