

УДК 621.1

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ МАЛОГАБАРИТНЫЕ
УСТАНОВКИ ДЛЯ СНАБЖЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ
ЭНЕРГИЕЙ АВТОНОМНО ФУНКЦИОНИРУЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВЕН-
НЫХ И СОЦИАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

В.И. Посметьев, В.А., В.В. Посметьев (ВГЛТА)

Имеется большое количество подразделений и филиалов крупных организаций, малых предприятий, передвижных автоколонн, полевых экспедиций, и других производственных и социальных объектов, функционирующих автономно и созданных для выполнения разовых или на постоянной основе специфических задач в трудных условиях дорожного строительства, мелиорации, лесозаготовок, устранения последствий чрезвычайных ситуаций, сезонных сельскохозяйственных и других производств. Часто им приходится выполнять большие объемы работ на значительном удалении от стационарных мест базирования своих предприятий или функционировать автономно на постоянной основе непосредственно на таких объектах работы. В этих условиях рассматриваемая категория предприятий испытывает большие трудности из-за отсутствия на рабочих объектах развитой производственной и социальной инфраструктуры, а также стабильного и своевременного снабжения всем необходимым для их нормальной жизнедеятельности. При этом качественное выполнение работ и в установленные сроки во многом зависит от надежности обеспечения таких предприятий доступной по цене электрической и тепловой энергией.

Для нормальной производственной деятельности в полевых условиях и, особенно в зимний период, ремонтно-обслуживающей базе и на бытовые нужды обслуживающего персонала требуется значительное количество электрической и тепловой энергии. Применяемые в настоящее время многочисленными газотурбинные и установки на жидком и твердом топливе имеют ряд недостатков, сдерживающих их широкое использование в полевых условиях. Они сложны по конструкции, громоздки, имеют высокие первоначальную стоимость и последующие эксплуатационные расходы, а также повышенный расход топлива или газа. Существенное подорожание энергоносителей в последние годы значительно повысило требования к экономичности таких установок, так как основные эксплуатационные затраты предприятий приходятся на топливо.

Кроме этого, анализ номенклатуры предлагаемого на рынке энергетического оборудования свидетельствует об ограниченности выбора для небольших предприятий недорогих, малогабаритных, экологически чистых и экономичных электро и теплогенерирующих установок [1].

Многолетние совместные исследования, выполненные в ВГЛТА и ВГТУ, позволили разработать и предложить пригодные для практического использования две концептуальные схемы энергосберегающих малогабаритных электро и теплогенерирующих установок (далее установки) [2]. Обе установки созданы на основе проработки классических схемных решений, лучших аналогичных серийных образцов отечественного и зарубежного производства.

Первую из предложенных конструкций тепло и электрогенерирующих установок отличают простота и компактность исполнения (рис. 1). Основными узлами и агрегатами установки являются: котел, состоящий из днища 1, корпуса 2, раструба 3 и активатора 8; турбину 7, установленную в оригинальных подшипниковых узлах (на рисунке не показано); электрогенератор 24; сопло 10; баки для воды 27 и топлива 28; стойку с электрической и гидравлической аппаратурой 25; блок с ЭВМ автоматического управления и контроля работой установки 26.

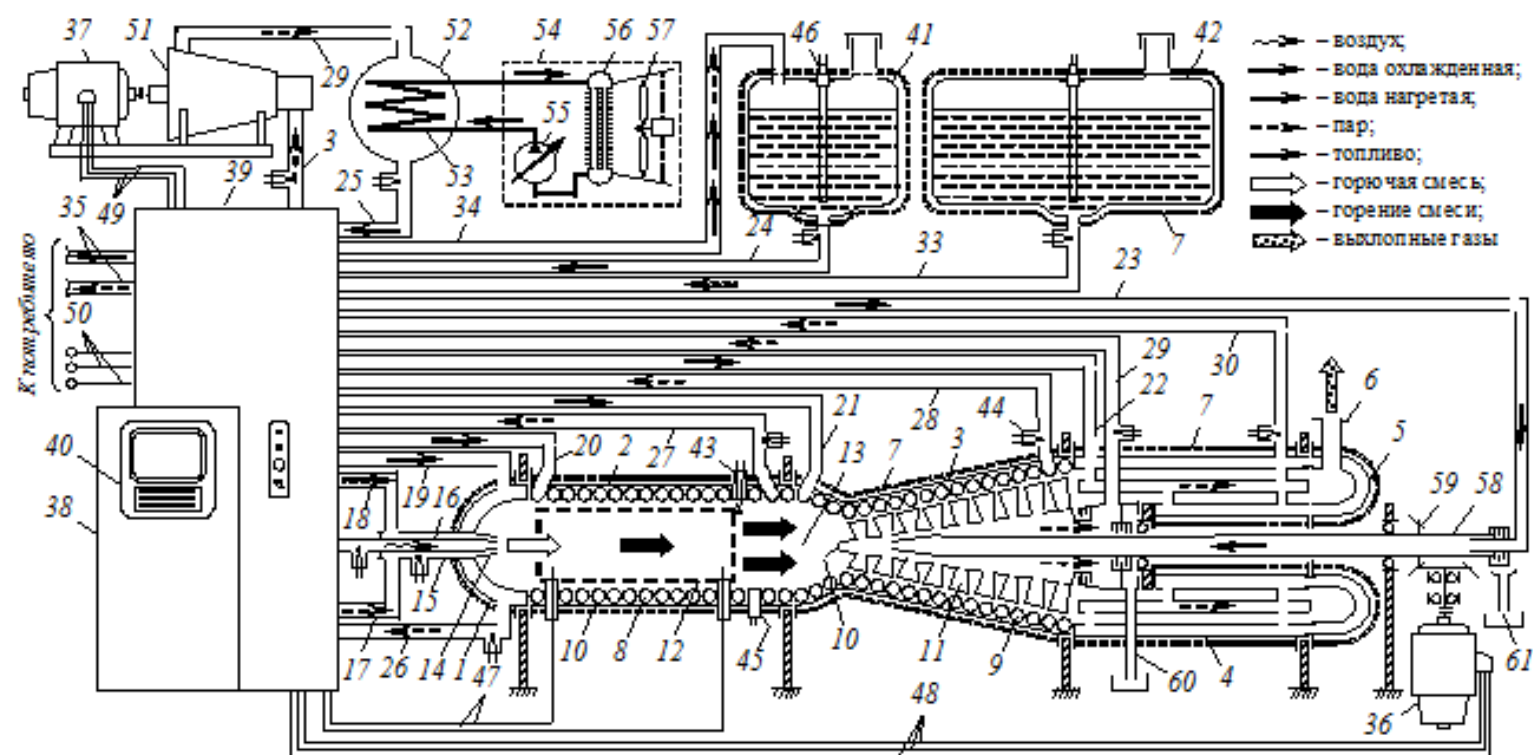
Принцип работы установки заключается в следующем. Подготовленная путем очистки, подогрева и дозирования горючая смесь, состоящая из водяного пара, топлива и сжатого воздуха, из стойки 25 отдельно по патрубкам, соответственно 13, 14 и 11, в смешанном газообразном состоянии под давлением подается через форсунку 12 в активатор 8 котла, где и происходит собственно процесс горения. При этом оптимальные параметры горючей смеси устанавливаются автоматически с помощью ЭВМ, с учетом всех основных факторов рабочего процесса котла. Продукты горения под давлением подаются в раструб 3 на лопатки турбины 7 и вращают ее, а отработанные газы выходят через выпускной коллектор 23 в атмосферу. От турбины крутящий момент передается с помощью управляемой муфты электрическому генератору 24. Сгенерированная электрическая энергия по силовым кабелям 40 поступает в стойку 25, где после преобразования поступает по силовым кабелям 41 потребителю. При необходимости потребитель может отбирать тепловую энергию в виде пара или подогретой воды с нужными параметрами из предусмотренных для этой цели трубопроводов 22, но в этом случае соответственно уменьшается генерация элект-

мого установкой тепла. Основные отличия этой установки от конструкции предыдущей заключаются в следующем. Выпускной тракт котла дополнительно снабжен водонагревателем 4 с крышкой 5, а охлаждение лопаток 11 турбины 10 осуществляется с помощью принудительной циркуляции охлажденной воды через подводящий 23, отводящий 29 трубопроводы и пустотелый вал 58 турбины. Принудительное охлаждение лопаток позволяет увеличить их долговечность, а также использовать более доступные и дешевые материалы при изготовлении турбины. С целью полезного использования производимого котлом пара высокого давления установка укомплектована унифицированными паровой турбиной 51, конденсатором 52, охладителем 54 и электрогенератором 37.

Повышение энергосбережения в предлагаемых установках обеспечивается за счет увеличения температуры и давления в камере сгорания, т.е. обязательного условия для использования в горючей смеси большего объема водяного пара. В результате многочисленных исследований выявлено, что использование в горючей смеси водяного пара улучшает также экологические показатели работы установок. Известно, что в отработавших газах всех типов электро и теплогенерирующих установок содержатся токсичные соединения, основными из которых являются оксид углерода CO, углеводороды C_xH_x, оксиды азота NO_x. Впрыск пара в зону горения позволяет снизить содержание наиболее вредных компонентов отработавших газов – окислов азота. С достаточной степенью точности количество получаемых оксидов азота определяется в зависимости от конструктивных параметров и режимов работы установки из выражения [3]:

$$NO_2 = (3,7 \cdot 10^{12} \sqrt{O_2 N_2} e^{-(12900/RT_\phi)})_{\alpha=1} \cdot \left(\frac{1,37}{\alpha_1} - 0,34\right) t_{np} \cdot \left(\frac{1,6 P_{kc} \cdot 0,23}{0,6 P_{kc} + 0,77}\right) \cdot k_f, \quad (1)$$

где P_{кc} – давление в камере сгорания; O₂, N₂ – количество кислорода и азота в воздухе при α = 1,1; T_φ – эффективная температура факела, °C; α – коэффициент избытка воздуха в первичной зоне; t_{np} – время пребывания продуктов сгорания в топочном объеме камеры сгорания; k_f – коэффициент, учитывающий влияние качества смешения в фронтальной зоне.



1 – днище; 2 – корпус камеры сгорания; 3 – корпус раструба; 4 – водонагреватель; 5 – крышка; 6 – выхлопная труба; 7 – теплоизоляция; 8 и 9 – трубопроводы внутренней облицовки корпусов котла и раструба; 10 – газовая турбина; 11 – лопатка турбины; 12 – активатор; 13 – камера сгорания; 14 – сопло; 15 и 16 – патрубки подачи воздуха и топлива; 17 и 18 – подводящие к форсунке паровой и топливный трубопроводы; 19-25 – трубопроводы подачи воды; 26-30 – трубопроводы отвода пара; 31 и 32 – трубопроводы подачи пара и отвода из турбины отработанного пара; 33 – трубопровод подачи топлива; 34 – трубопровод возврата конденсата и излишков воды; 35 – трубопроводы подачи потребителю горячей воды и пара; 36 и 37 – электрогенераторы газовой и паровой турбин; 38 и 39 – стойки с электрической и гидравлической аппаратурой; 40 – пульт управления и контроля; 41 и 42 – баки для воды и топлива; 43 и 44 – датчики температуры; 45 – датчик давления; 46 – датчик уровня; 47, 48, 49 и 50 – кабели; 51 – паровая турбина; 52 – конденсатор; 53 – теплообменник; 54 – охладитель; 55 – регулируемый насос; 56 – радиатор; 57 – вентилятор; 58 – вал газовой турбины; 59 – коническая передача; 60 и 61 – дренажные устройства лабиринтных уплотнений системы охлаждения газовой турбины

Рисунок 2 – Принципиальная схема мобильной электро и теплогенерирующей установки с паровой турбиной

Из анализа выражения (1) следует, что при прочих равных условиях уровень эмиссии увеличивается при увеличении температуры в зоне горения, времени протекания процесса горения и концентрации кислорода и азота. Поэтому одним из наиболее эффективных мероприятий является ввод в зону горения инертных веществ, оптимальный выбор типа и объема которых подлежит еще исследовать.

Одним из основных из негативных факторов, влияющих на работоспособность устано-вок является известная проблема отложения солей в проточной части, коррозия и эрозия в различных элементах тракта и лопаток турбины. Несмотря на сложность проблема водопод-готовки при достаточно глубоком обессоливании питательной воды решается за счет услож-нения и удорожания водоподготовки. Сравнительный анализ затрат на воду и топливо предус-матривает определение максимально допустимых затрат на воду, при которых издержки на впускаемый в турбину пар компенсируется снижением затрат на топливо вследствие повышения КПД установок. Это удобнее оценить с помо-щью удельной себестоимости $C_{уд}$ вырабатываемой установками тепловой и электрической энергии, которая составляет, р./кВт:

$$\Sigma C_{уд} = (C_T G_T - C_T \Delta G_T + C_M G_M + C_X G_B) / (N + \Delta N) + C_{уд\ рто} + C_{уд\ зп}, \quad (2)$$

где C_T , C_M и C_X – стоимость топлива, масла и затраты на химводоочистку; G_T , G_M и G_B – расход топлива, масла и воды; ΔG_T – снижение расхода топлива в сравнении с традиционными установками; $C_{уд\ рто}$ и $C_{уд\ зп}$ – удельные стоимость ре-монта и технического обслуживания установки и затраты на зарплату обслужи-вающего персонала; N – электрическая мощность простого цикла; ΔN – относи-тельное увеличение удельной электрической мощности в сравнении с традици-онными установками.

Ввод пара в проточную часть увеличивает расход и теплоемкость рабоче-го тела в турбине, а следовательно, и ее работу. Так как затраты энергии на прокачку пароводяного рабочего тела малы, мощность установки выгодно воз-растает. Удельная стоимость вырабатываемой тепло и электрической энергии предлагаемых установок определяется разностью, между себестоимостью вы-рабатываемой тепло и электрической энергией и экономии за счет утилизации тепла.

Достоверная количественная оценка абсолютных показателей рассматриваемых установок для отечественных условий сегодня затруднительна из-за неопределенности исходных стоимостных показателей и нормативов, а также экономической ситуации в целом. Поэтому имеет смысл лишь оценка относительной стоимости производства тепловой и электрической энергии на установках различного типа.

Высокий тепловой КПД цикла является важнейшим, но не единственным фактором, определяющим стоимость производства электроэнергии. Не менее важную роль играют удельные капитальные затраты и количество часов использования установленной мощности. При этом следует иметь в виду, что в РФ доля топливной составляющей заметно ниже, чем в большинстве промышленно развитых стран. Это естественно для страны, располагающей большими запасами органического топлива и являющейся его экспортером. В итоге с учетом низкой стоимости труда в стране составляющая капитальных затрат на новом оборудовании достигает 50 % и более от общей стоимости генерируемой энергии.

В предлагаемых конструкциях установок применены ряд новых технических решений, существенно повышающих их эксплуатационные свойства. Отличительными особенностями установок являются: увеличение температуры и давления в камере сгорания за счет более эффективного процесса горения и совершенной теплоизоляции всех основных элементов конструкции котла; применение активатора особой конструкции (ноу-хау), позволяющего эффективно использовать в повышенных объемах перегретый пар в топливной составляющей; поддержание оптимальных рабочих параметров установки в реальном масштабе времени с помощью ЭВМ и системы датчиков контроля температуры и давления. Большим преимуществом установок является высокая унификация и блочно-модульное исполнение используемых в их конструкциях деталей, узлов и агрегатов (60-70 %), что ускоряет и удешевляет разработку и производство такого оборудования.

Обе установки в полной заводской готовности монтируются в специальных контейнерах со стандартными размерами и могут использоваться в любых климатических условиях, как в стационарном, так и в мобильном исполнении. Содержание вредных выбросов в выхлопных газах NO_x и CO составляет в пределах 25-75 ppm, т.е. не превышает допустимых значений и меньше, чем у ана-

логичных по мощности серийно выпускаемых газовых, твердо и жидкотопливных электростанций. Это позволяет размещать установки вблизи производственных и бытовых помещений передвижных автоколонн без использования высоких, дорогостоящих и неудобных в эксплуатации дымовых труб.

В установках предусмотрены системы надежной защиты от возможных аварийных ситуаций, что в сочетании с высокой степенью автоматизации и контроля работы позволяет обходиться всего одним оператором и тем самым снизить суммарные издержки при их эксплуатации. Электрическая мощность предлагаемых установок с габаритными размерами, обеспечивающими их транспортирование без специальной подготовки автомобильным транспортом грузоподъемностью 5-10 т, составляет 50-250 кВт. Ориентировочно стоимость предлагаемых установок не превысит 15 тыс. рублей за 1 кВт установленной электрической мощности, против 50 тыс. рублей у серийных газотурбинных и дизельных электростанций. Без существенных доработок и изменений конструкции в установках в качестве топлива могут использоваться все виды традиционного жидкого топлива, а также природный или сжиженный газ.

Библиографический список

1 Елисеев, Ю. С. ПГУ смешения: проблемы и перспективы / Ю. С. Елисеев, В. Е. Беляев, А. С. Косой, М. В. Синкевич // Газотурбинные технологии. – 2006. – № 2. – С. 18-20.

2 Посметьев, В. И. О перспективах использования тепловихревых генераторов для теплоснабжения автотранспортных и авторемонтных предприятий [Текст] / В. И. Посметьев, С. В. Григорьев : межвуз. сб. науч. тр. Вып. 4 / Фед. Агентство по образованию, ГОУ ВПО «ВГЛТА». – Воронеж, 2009. – С. 60-65.

3 Морозенко, М. И. Газотурбинные установки с впрыском пара – повышение эколого-экономической эффективности энергосберегающих технологий [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.manbw.ru/analytics/gtu-gtd.html>. – Загл. с экрана.