

УДК 621.311

## ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ МАЛОЭТАЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В ОТСУТСТВИИ ИНФРАСТРУКТУРЫ ПРИ ПОМОЩИ МИКРО-ТЭС НА БАЗЕ ДВС С ВОЗДУШНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ И КОГЕНЕРАЦИЕЙ

*Щинников П.А., Синельников Д.С.*

*Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск*

В момент начала строительства малоэтажных зданий в территориях, предназначенных для индивидуального жилого строительства в рамках садовых некоммерческих товариществ, как правило, полностью отсутствует инфраструктура. Собственники начинают работы, используя для энергоснабжения различные варианты микро-ТЭС на базе двигателей внутреннего сгорания (ДВС) карбюраторного типа с воздушным охлаждением. Указанные микро-ТЭС (бензогенераторы) используются по прямому назначению для выработки электроэнергии, вместе с тем существует возможность повысить их эффективность за счет применения когенерации, то есть дополнительной выработки теплоты.

Ниже предлагаются результаты исследования лабораторной когенерационной установки на базе ДВС с воздушным охлаждением (Хитачи-2400) мощностью 2,4 кВт с возможностью отпуска теплоты в режиме горячего водоснабжения (ГВС). Это обеспечивается следующими техническими решениями: генерация электроэнергии; воздух из контура охлаждения двигателя направляется в газоход и обеспечивает отопительную нагрузку; выхлопные газы после ДВС направляются в теплообменник, водяной контур которого обеспечивает нагрузку горячего водоснабжения.

Функционально установка делится (рис.1) на следующие части: топливоподача, бензиновая электростанция, система охлаждения двигателя, система эвакуации дымовых газов, система подогрева сетевой воды, система измерительных приборов, нагрузка и дополнительное оборудование [1].

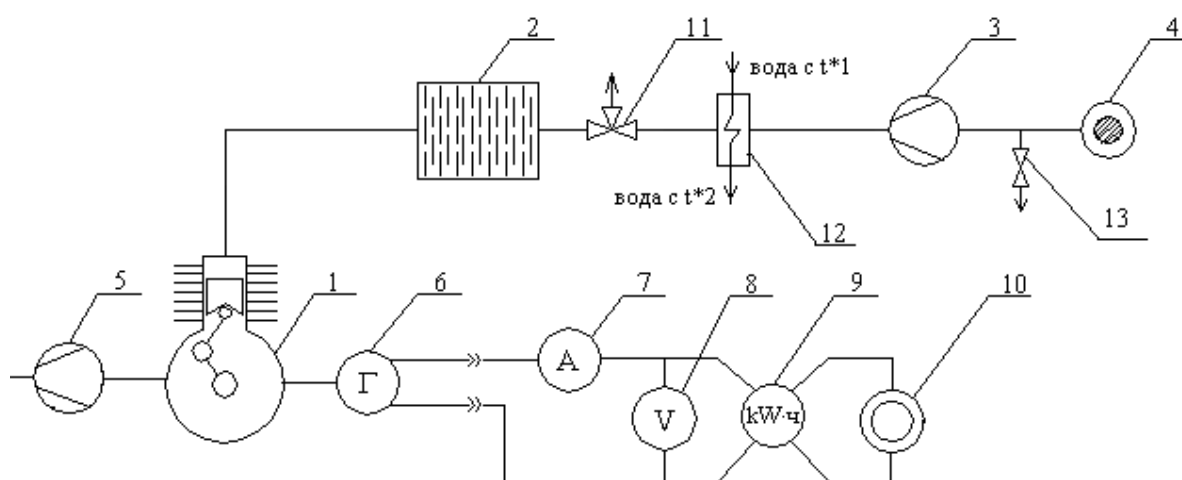


Рис.1. Принципиальная схема установки: 1 – двигатель внутреннего сгорания; 2 – глушитель; 3 – расходомер уходящих газов; 4 – дымовая труба; 5 – расходомер топлива; 6 – генератор; 7 – амперметр; 8 – вольтметр; 9 – счетчик электрической энергии; 10 – нагрузка; 11 – трехходовой кран; 12 – кожухотрубчатый газовойодяной теплообменник; 13 – слив конденсата

Бензиновая электростанция состоит из четырехтактного двигателя мощностью 2400 Вт, электрогенератора в защитном исполнении от механических и климатических воздействий окружающей среды, панели управления генератора (вольтметр, прерыватель цепи, терминал подключения переменного тока).

Система охлаждения двигателя обеспечивает отопительную нагрузку и представляет собой вентилятор, расположенный на валу ДВС. Движение охлаждающего двигателя потока воздуха ограничено коробом, который направляет воздух в помещение объемом  $\approx 150 \text{ м}^3$ .

Система эвакуации дымовых газов представляет собой последовательно соединенные гофрированным газопроводом глушитель с защитным кожухом и дымовую трубу. Компонентами системы подогрева сетевой воды являются: сетевой подогреватель и расходомер воды, проходящей через него. Сетевой подогреватель представляет собой кожухо-трубчатый газовойдяной теплообменный аппарат. Нагреваемая вода проходит внутри медных трубок, а дымовые газы – в межтрубном пространстве. Площадь поверхности трубок равна площади поверхности теплообмена:

$F_{медь}^{труб} \approx 1140 \text{ см}^2$ . Внутренняя площадь корпуса теплообменного аппарата:

$F_{внутр}^{корпуса} \approx 1032,4 \text{ см}^2$ .

Электрическая нагрузка представляет собой гирлянду ламп накаливания мощностью  $n$ , кВт и автомат защиты сети для включения нагрузки. Нагрузка ГВС обеспечивается постоянным сливом горячей воды.

Анализ рабочего цикла двигателя показывает, что только часть теплоты, выделяющейся при сгорании топлива, используется на полезную работу, остальная же часть составляет тепловые потери. Вместе с тем в когенерационной установке большая часть тепловых потоков полезно используется.

Распределение теплоты, полученной при сгорании вводимого в цилиндр топлива, называют тепловым балансом, который обычно определяется экспериментальным путем.

Уравнение теплового баланса имеет вид:

$$Q = Q_e + Q_{г.в} + Q_{г} + Q_{пот} + Q_{от} + Q_{ост}, \text{ кВт} \quad (1)$$

где  $Q$  – теплота топлива, введенная в двигатель;

$Q_e$  – теплота, превращенная в полезную работу;

$Q_{от}$  – теплота с охлаждающим агентом (водой или воздухом), направленная на нужды отопления;

$Q_{г.в}$  – теплота с горячей водой на нужды ГВС;

$Q_{г}$  – теплота, потерянная с отработавшими газами;

$Q_{пот}$  – теплота, потерянная в окружающую среду через стенки системы эвакуации дымовых газов;

$Q_{ост}$  – остаточный член баланса, который равен сумме всех неучтенных потерь.

Количество располагаемой (введенной) теплоты:

$$Q = \frac{V_i \cdot Q_p^n}{\tau}, \text{ кВт} \quad (2)$$

где  $V_i$  определяется по формуле

$$V_i = V_{i_{изм}} \cdot \rho \cdot 10^{-6}, \text{ кг} \quad (3)$$

$i$  – режим;

$\rho = 725-780 \text{ кг/м}^3$  – плотность топлива.

Теплота (кВт), превращенная в полезную работу:

$$Q_e = N_e, \text{ кВт} \quad (4)$$

Теплота (кВт), теряемая с отработавшими газами:

$$Q_z = \frac{V_z \cdot c_{pz} \cdot t_z}{\tau}, \text{ кВт} \quad (5)$$

$V_z$  - расход газов, м<sup>3</sup>/кг;

$c_{pz}$  - средняя объемная теплоемкость газов при постоянном давлении, кДж/(м<sup>3</sup>·К);

$t_z$  - температура отработавших газов, °С.

Теплота, отведенная от ДВС обдувающим воздухом (отопительная нагрузка) и потери теплоты:

$$Q_{от} = \alpha \cdot F \cdot \Delta t, \text{ кВт}, \quad (6)$$

$$Q_{пот} = \alpha \cdot F_{zt} \cdot \Delta t, \text{ кВт}, \quad (7)$$

где  $F$ ,  $F_{zt}$  – площадь поверхности камеры сгорания ДВС и поверхности глушителя и газоотводных труб соответственно;  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи;  $\Delta t$  – соответствующий температурный напор.

Теплота, отведенная на нужды горячего водоснабжения

$$Q_{г.в} = G \cdot c_p \cdot \Delta t, \quad (8)$$

где  $G$  – расход воды через теплообменник;  $c_p$  – изобарная теплоемкость воды;  $\Delta t$  – температурный напор на теплообменнике.

Остаточный член теплового баланса:

$$Q_{ост} = Q - (Q_e + Q_{г.в} + Q_z + Q_{пот} + Q_{от}), \text{ кВт}. \quad (9)$$

Показатели эффективности установки оцениваются следующим образом [2, 3].

Электрический КПД учитывает все виды потерь и не учитывает отпуск теплоты

$$\eta_e = \frac{N_e}{B_i \cdot Q_p^H}. \quad (10)$$

Удельный расход условного топлива на выработку электроэнергии, кг/кВт·ч

$$b_y = \frac{0,123}{\eta_e}. \quad (11)$$

Коэффициент использования теплоты топлива

$$\eta = \frac{Q_e + Q_{от} + Q_{з.в}}{B_i \cdot Q_p^H}. \quad (12)$$

В этом выражении в числителе первое слагаемое учитывает отпуск только электроэнергии (электрический КПД), второе слагаемое отпуск теплоты на отопление (когенерацию), третье слагаемое отпуск теплоты на нужды горячего водоснабжения (когенерация «плюс»).

Следует отметить, что тепловые потоки с отпускаемой теплотой являются «даровыми» для данной установки, так как не требуют дополнительных затрат топлива, поэтому когенерация и когенерация «+» позволяет вытеснять то топливо, которое затрачено на ТЭЦ при централизованном отпуске теплоты. При физическом методе разнесения затрат эта величина составит кг/кВт·ч (кг/Гкал)

$$b_Q = \frac{0,123}{\eta_Q}; \quad b_Q = \frac{147}{\eta_Q}, \quad (13)$$

где  $\eta_Q$  – КПД установки по отпуску теплоты.

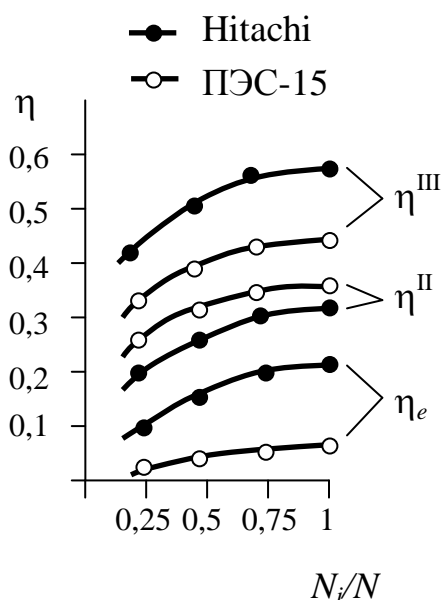


Рис. 2. Показатели эффективности поршневых ДВС в условиях когенерации:  $\eta_e$  – КПД по отпуску электроэнергии;  $\eta^{\text{II}}$  – коэффициент использования теплоты топлива при обеспечении отопительной нагрузки;  $\eta^{\text{III}}$  – коэффициент использования теплоты топлива при обеспечении нагрузки ГВС

отличается тем, что для первой когенерация (отопительная нагрузка,  $\eta^{\text{II}}$ ) обеспечивает прирост коэффициента использования топлива в  $\approx 0,5$  раз, а во втором – в  $\approx 3...4$  раза, что очевидно и связано с использованием разных теплоносителей (воздух и вода).

Несложные расчеты показывают, что при отсутствии когенерации «+» в установке с воздушным охлаждением, необходимо дополнительно затрачивать топливо в количестве, по меньшей мере, 100 г/ч на производство теплоты. Вместе с тем нагрев воздуха в помещении (отопительная нагрузка,  $\eta^{\text{II}}$ ) от 18 °С до комфортной температуры в 21 °С за счет возможностей когенерации обеспечен за 30 мин.

Экспериментами установлено, что удельный расход топлива для микро-ТЭС мощностью 2 кВт и выше находится на уровне  $\sim 500$  г.у.т./кВт·ч (при плотности бензина 750 кг/м<sup>3</sup>), а характеристики работы микро-ТЭС мощностью 2,4 кВт на базе ДВС «Hitachi» в зависимости от режима работы показывают, что абсолютный расход топлива на номинальной нагрузке при когенерации находится на уровне  $\sim 700$  г/час (рис.2).

При сравнительных оценках когенерационных установок на базе ДВС (как и других типов) следует опираться на комплексный (системный) подход к оценкам, который заключается в приведении вариантов к сопоставимому виду как по затратам во все виды ресурсов (топливо, вода, воздух и т.д.), так и по отпускаемым видам продукции. В случае применения установок подобных рассматриваемой в статье можно вести технико-экономические оценки при замыкании затрат на теплоту, которую необходимо купить от ТЭЦ. В этом случае КПД по отпуску теплоты на ТЭЦ можно считать равным единице ( $\eta_Q=1$ ).

Таким образом  $b_Q=0,123$  кг/кВт·ч (147 кг/Гкал) может использоваться при технико-экономических оценках когенерации и когенерации «+» как пессимистический вариант. На реальных ТЭЦ  $\eta_Q < 1$  (0,78-0,88 в зависимости от вида топлива, типа оборудования и его износа, уровня эксплуатационной культуры и т.п.), что увеличивает расход топлива на отпуск данного вида продукции.

Коэффициент использования теплоты топлива в условиях когенерации «+» растет с ростом мощности и находится на уровне 0,47, а собственно когенерация «+» обеспечивает повышение эффективности в  $\approx 2,5$  раза, рис.2.

Кроме того, можно видеть (рис.2), что работа ТЭУ на базе ДВС с воздушным охлаждением (Хитачи) в сравнении с ТЭУ на базе ДВС с водяным охлаждением (ПЭС-15)

Вывод. Представлена лабораторная когенерационная теплоэнергетическая установка на базе ДВС с воздушным охлаждением и возможностью работы в режиме когенерации с контура охлаждения двигателя и утилизацией теплоты уходящих газов, для которой разработаны основные положения методики исследования. Показана работоспособность методики на различных нагрузках работы установки. Показано, что когенерация для ТЭУ на базе ДВС с воздушным охлаждением увеличивает коэффициент использования теплоты топлива в  $\approx 0,5$  раз, а для ТЭУ на базе ДВС с водяным охлаждением в  $\approx 3...4$  раза. Показано, что когенерация «+» для ТЭУ на базе ДВС с воздушным охлаждением позволяет увеличить полноту использования топлива в  $\approx 2,5$  раза. Показано, что абсолютный расход топлива на номинальной нагрузке при когенерации находится на уровне  $\sim 700$  г/час.

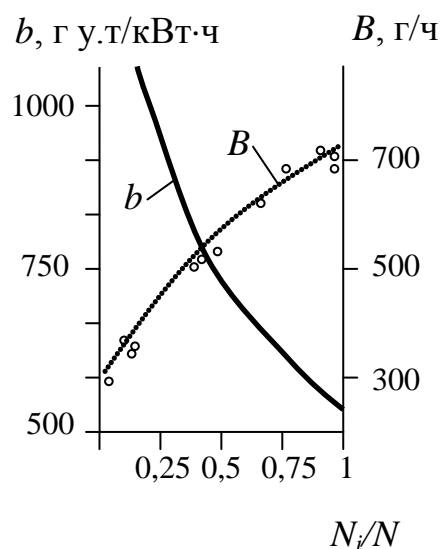


Рис. 3. Удельный ( $b$ ) и массовый ( $B$ ) расход топлива теплоэнергетической установкой

### Литература

1. Щинников П.А., Кутузова А.С. Теплоэнергетика. Методические указания. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2009.
2. Ноздренко Г.В., Шаров Ю.И., Бородихин И.В. Тепловая электростанция на базе ДВС. Методические указания. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2008.
3. Григорьева О.К., Боруш О.В. Расчет тепловых схем теплофикационных паротурбинных установок. Методические указания. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2014.