

В.А. Фигурин¹, В.В. Михайлов², А.Н. Мухин³, В.А. Жуков¹

Рыбинская государственная авиационная технологическая академия
им. П.А. Соловьева, г. Рыбинск, Россия (1)
ООО «Лаборатория энергосистем», г. Рыбинск, Россия (2)
ООО «НПП «САТЭК», г. Рыбинск, Россия (3)

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ НА БАЗЕ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

АННОТАЦИЯ

В работе проводится экспериментальное исследование работы теплоэлектростанции на базе ДВС (мини-ТЭЦ). Экспериментально определён тепловой баланс установки. Исследована зависимость удельных выбросов вредных веществ с продуктами сгорания от режима работы установки.

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время широко развито и является перспективным производство когенерационных теплоэлектростанций на базе ДВС. Для анализа эффективности совместной работы двух и более когенерационных установок необходимо знать их рабочие характеристики во всём диапазоне режимов. Однако производители заявляют лишь выходные параметры на номинальном режиме работы. Этим обусловлена необходимость проведения испытаний подобной установки на всех режимах работы, включая холостой ход, переходные и номинальные режимы.

2. ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ УСТАНОВКИ

2.1. Описание установки

С целью более детального рассмотрения и решения данной проблемы разработан и изготовлен испытательный стенд на базе ДВС. В качестве объекта исследований был выбран двигатель ВАЗ 21083. Данный выбор объясняется относительно невысокой ценой этого двигателя и простотой его эксплуатации и технического обслуживания.

Схема испытательного стенда с его габаритными размерами показана на рис.1.

Двигатель 1 установлен на неподвижной раме 3. Нагрузка на вал двигателя обеспечивается трёхфазным электрогенератором 2, подключенным к электрокалориферу со ступенчатой регулировкой нагрузки от 0 до 30 кВт (шаг 1 кВт).

Для передачи крутящего момента двигатель и электрогенератор соединены упругой муфтой. Для снижения уровня вибрации двигатель установлен на виброгасящих опорах. Соосность агрегатов обеспечивается за счёт поперечной подвижности

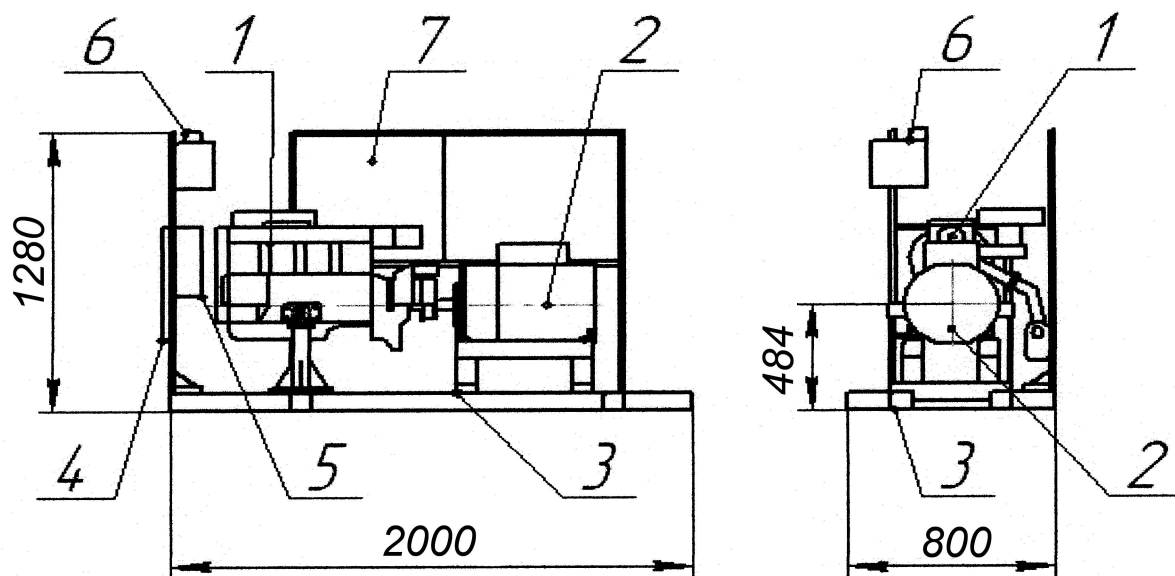


Рис. 1. Схема испытательного стенда; 1 – двигатель ВАЗ 21083; 2 – электрогенератор; 3 – рама установки; 4 – теплообменник системы охлаждения; 5 – электровентиль; 6 – расширительный бачок; 7 – монтажная панель.

опор двигателя и продольной подвижности опоры электрогенератора. Для моделирования тепловой нагрузки на двигатель используется теплообменник жидкость-воздух 4. Продувка теплообменника воздухом обеспечивается за счёт работы осевого вентилятора 5. Для компенсации теплового расширения теплоносителя (вода) системы жидкостного охлаждения двигателя на стенде установлен расширительный бачок 6. Вспомогательные системы и оборудование, необходимые для работы стенда, монтируются на панели 7.

Электрокалориферы, используемые для нагрузки установки, состоят из ряда трубчатых электронагревателей (ТЭН) и осевого вентилятора. Применение принудительного обдува позволяет снизить массу и габариты калориферов. Каждый из калориферов имеет возможность ступенчатой регулировки мощности с шагом 25 %. Изменение мощности калориферов позволяет получить 16 различных значений нагрузки.

Теплота, отводимая через систему охлаждения установки (рис. 2) используется для нужд отопления. Циркуляция теплоносителя, в качестве которого может использоваться вода или «Тосол», обеспечивается штатным насосом системы охлаждения двигателя.

Для рассеивания отведенной теплоты используется калорифер стальной оребренный КСнЗ-4, мощность 71,5 кВт. Принудительное охлаждение теплоносителя, осуществляемое электровентилятором, позволяет сократить массогабаритные характеристики установки и обеспечить плавную регулировку тепловой нагрузки.

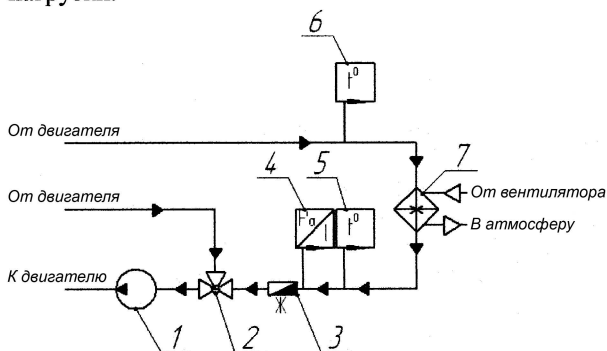


Рис. 2. Система охлаждения; 1 – насос охлаждающей жидкости; 2 – термостат; 3 – датчик расхода; 4 – датчик давления теплоносителя; 5, 6 – датчик температуры теплоносителя; 7 – теплообменник жидкость-газ

Система отвода продуктов сгорания (рис. 3) обеспечивает шумоглушение и безопасное удаление отработавших газов за пределы установки. Компоненты системы являются стандартными с незначительными конструктивными доработками.

В системе измерения и контроля используются вторичные измерительные приборы:
- анализатор параметров электрической сети SVM144, Circutor;

- регистратор процессов на базе компьютера Celeron-500 и АЦП на 16 каналов производства ЗАО «Л-кард», г. Москва;
- цифровой осциллограф Rigol;
- газоанализатор JT-280, Brisk.

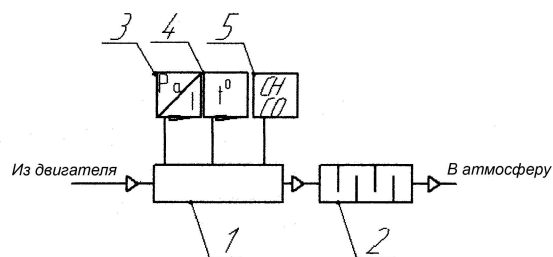


Рис. 3. Система отвода продуктов сгорания; 1 – мерный участок; 2 – глушитель; 3 – датчик давления; 4 – датчик температуры; 5 – пробоотборник газоанализатора.

В испытательной установке сохранена штатная карбюраторная топливная система двигателя ВАЗ 21083.

Схема топливной магистрали стенда показана на рис. 4.

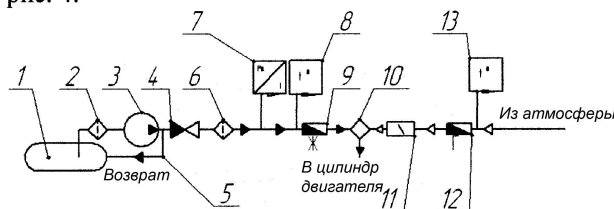


Рис. 4. Схема топливной магистрали стенда. 1 – топливный бак; 2 – фильтр грубой очистки; 3 – топливный насос; 4 – обратный клапан; 6 – фильтр тонкой очистки; 7 – датчик давления топлива; 8 – датчик температуры топлива; 9 – датчик расхода топлива; 10 – карбюратор; 11 – воздушная заслонка; 12 – датчик расхода воздуха; 13 – датчик температуры воздуха

2.2. Ход эксперимента

Целью проведенных экспериментов являлось определение зависимостей основных эксплуатационных показателей установки, таких как расход топлива, электрический, тепловой и суммарный коэффициенты полезного действия, токсичность отработавших газов, от режимов ее работы.

Для достижения поставленной цели в ходе эксперимента фиксировались следующие параметры:

- n – частота вращения коленчатого вала двигателя, об/мин;
- $P_{ож}$ – давление в системе охлаждения, кПа;
- G_1 – расход топлива через бензонасос, л;
- G_2 – расход топлива через магистраль слива, л;
- dP – разрежение во впускном коллекторе топливной системы двигателя, кПа;
- $T_{выхл}$ – температура выхлопных газов, °С;
- I – ток нагрузки, А;
- U – напряжение нагрузки, В;
- N – мощность нагрузки, кВт;

$G_{ож}$ – расход охлаждающей жидкости в системе охлаждения, м³/ч;

$T_{вх}$ – температура охлаждающей жидкости на входе в радиатор, °С;

$T_{вых}$ – температура охлаждающей жидкости на выходе из радиатора, °С;

СО – содержание СО в отработавших газах;

СН – содержание СН в отработавших газах.

По рекомендациям [1], [2], [3] все указанные параметры регистрировались на установившихся режимах работы установки. За установившиеся режимы принимались такие, на которых регистрируемые величины не изменялись в течение не менее 5 мин.

2.3. Обработка результатов

Значения параметров при каждом замере заносились в таблицу, после чего по приведенным ниже формулам и данным из [4], [5] рассчитывались следующие величины:

- расход топлива:

$$G_{т} = G_1 - G_2, \text{ л/ч};$$

- экспериментальная электрическая мощность:

$$N_{э} = \frac{3 \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi}{1000}, \text{ кВт};$$

где φ – сдвиг фаз;

- тепловая мощность:

$$Q_{т} = \frac{\bar{\rho} \cdot \bar{c}_p \cdot G_{ож} \cdot (T_{вх} - T_{вых})}{3600}, \text{ кВт};$$

где $\bar{\rho}$ – средняя плотность охлаждающей жидкости (воды) в интервале температур от $T_{вых}$ до $T_{вх}$;

\bar{c}_p – средняя удельная изобарная теплоемкость охлаждающей жидкости (воды) в интервале температур от $T_{вых}$ до $T_{вх}$;

- количество теплоты, выделившейся при сгорании топлива:

$$N_{подв} = \frac{H_u \cdot G_{т} \cdot \rho_{т}}{3,6 \cdot 10^9}, \text{ кВт};$$

где H_u – низшая удельная теплота сгорания топлива;

$\rho_{т}$ – плотность топлива (бензин),

$\rho_{т} = 0,76 \text{ кг/м}^3$;

- электрический КПД установки:

$$\eta_{эл} = 100 \cdot \frac{N_{э}}{N_{подв}}, \text{ \%};$$

- тепловой КПД установки:

$$\eta_{тепл} = 100 \cdot \frac{Q_{т}}{N_{подв}}, \text{ \%};$$

- суммарный КПД установки:

$$\eta_{сум} = \eta_{э} + \eta_{тепл}, \text{ \%}.$$

Для мониторинга сигналов с используемых датчиков разработано программное обеспечение, позволяющее наглядно в реальном времени вести

наблюдение за исследуемыми параметрами двигателя.

Для построения графиков проводилось не менее пяти параллельных измерений на каждом режиме. Интервал между замерами составлял не менее одной минуты.

Погрешность прямых измерений не превышала 5% от измеряемой величины, электрической мощности – 1%, тепловой мощности – 7%.

Зависимость КПД установки от нагрузки представлена на рис. 5.

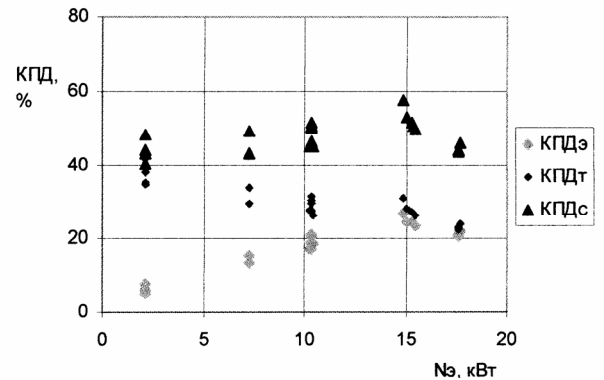


Рис. 5. Зависимости электрического, теплового и суммарного КПД от нагрузки $N_{э}$.

Параллельно с оценкой энергетической эффективности определялось содержание токсичных компонентов (СО и СН) в отработавших газах установки. Результаты исследований представлены на рис. 6 - 9.

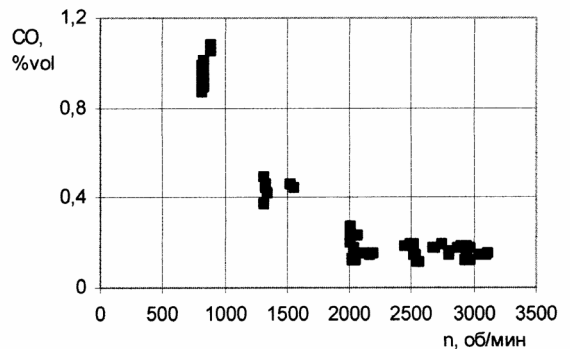


Рис. 6. Зависимость содержания СО в отработавших газах от частоты вращения коленчатого вала двигателя.

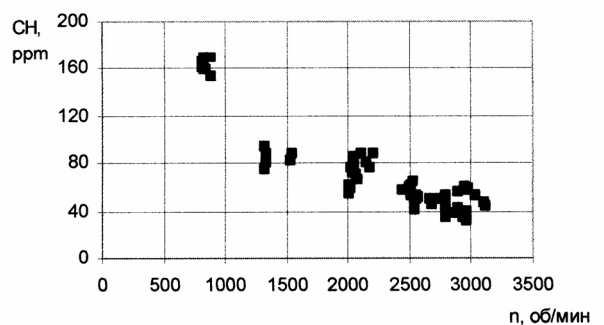


Рис. 7. Зависимость содержания СН в отработавших газах от частоты вращения коленчатого вала двигателя.

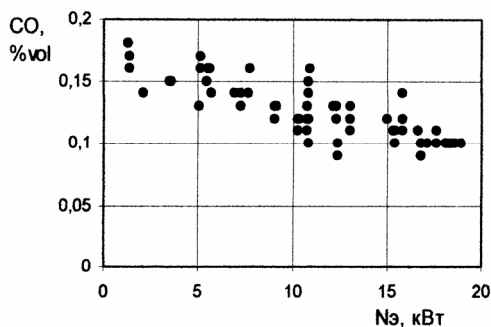


Рис.8. Зависимость содержания СО в отработавших газах установки от нагрузки.

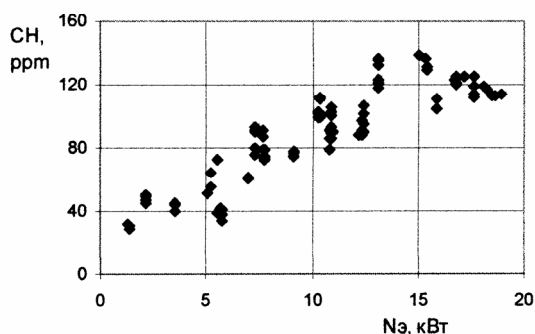


Рис. 9. Зависимость содержания СН в отработавших газах от нагрузки.

2.3. Анализ результатов

Проведенные исследования показали, что максимальный суммарный КПД испытываемой установки составляет 55 – 60%.

Из графиков зависимостей электрического, теплового и суммарного КПД от нагрузки (рис. 5) очевидно, что максимум суммарного КПД достигается в районе нагрузок, равных 15 – 16 кВт.

Существует резерв повышения суммарного КПД за счет утилизации теплоты отработавших газов установки. Расчеты показали, что в этом случае максимальный суммарный КПД возрастет на 10 – 15%.

Представляет интерес тот факт, что при увеличении нагрузки наблюдается росте электрического КПД с одновременным снижением теплового КПД. При этом их сумма остается практически постоянной.

Данные экспериментов показывают необходимость поиска оптимального потребления тепловой и электрической энергией на различных режимах и разработки закона оптимального управления подобными установками.

Из графиков (рис. 6 – 9) видно, что максимальные значения содержания выбросов СО и СН в отработавших газах двигателя приходится на режим холостого хода двигателя, т.е. $n = 800-900$ об/мин, что объясняется характерными для этих режимов проблемами со смесеобразованием и сгоранием в карбюраторных двигателях.

С ростом нагрузки от 2 до 16 кВт при частоте вращения 3000 об/мин выброс СО уменьшается от 0,2 до 0,1 %vol, выброс СН при тех же параметрах увеличивается от 30 до 140 ppm.

Относительно невысокое значение оптимальной рабочей нагрузки (8 – 10 кВт) объясняется тем, что двигатель ВАЗ 21083 имеет максимальный крутящий момент при частоте вращения коленчатого вала 3400 об/мин, в то время, как рабочая частота вращения генератора не превышает 3000 об/мин.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ дает возможность спрогнозировать работу нескольких подобных установок в составе одного энергетического комплекса. Такой прогноз позволяет получить максимальный КПД всего комплекса при минимальном износе оборудования, максимальных экономических и экологических параметрах при работе на оптимальных режимах каждой из установок.

Отсюда следует снижение затрат на обслуживание установок, на покупку запасных частей, горюче-смазочных материалов, облегчение подбора вспомогательного энергетического оборудования, возрастает долговечность энергокомплекса в целом.

Перспективными направлениями совершенствования конструкции установок рассмотренного типа с целью повышения их экономических и экологических показателей является модернизация систем зажигания, перевод установок на газовое топливо, совершенствование систем охлаждения с целью более глубокой утилизации теплоты, отводимой как охлаждающей жидкостью, так и отработавшими газами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Повх И.Л. Аэродинамический эксперимент в машиностроении. — М; — Л.: Машиностроение, 1966. — 480 с.
2. Эстеркин Р.И., Иссерлин А.С., Певзнер М.И. Методы теплотехнических измерений и испытаний при сжигании газа. — Л.: Недра, 1972. — 376 с.
3. Преображенский В.П. Теплотехнические измерения и приборы. — М.: Энергия, 1978. — 704 с.
4. Ривкин С.Л., Александров А.А. Термодинамические свойства воды и водяного пара: Справочник. 2-е изд., перераб. и доп.-М.:Энергоатомиздат, 1984, 80 с. с ил.