

# ЭНЕРГОМАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621.436

## ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ ТОРМОЗНЫЕ СТЕНДЫ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ МАЛОГАБАРИТНЫХ ДВС

**С.В. Гусаков, И.В. Епифанов,  
В.Е. Уклейкин**

Кафедра теплотехники и тепловых двигателей  
Российский университет дружбы народов  
*ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198*

**Махмуд Мохамед Эльгобаши Эльхагар**

Университет Бени-Суэйф  
*г. Бени-Суэйф, Египет*

Актуальность задачи создания исследовательских тормозных стендов для испытаний малогабаритных ДВС определяется широким распространением двигателей такого типа для механизации ручного труда, использования в качестве привода мобильных транспортных средств и средств малой механизации. В то же время проведение испытаний такого типа двигателей на типовых тормозных стендах с максимальной номинальной мощностью испытываемых ДВС, как правило, не менее 50—100 кВт неоправданно ни с экономической точки зрения, ни с точки зрения обеспечения приемлемых метрологических характеристик. В статье рассмотрены основные подходы к созданию малогабаритного стенда на основе серийно выпускаемых устройств и известных технологических решений.

**Ключевые слова:** двигатель, нагрузка, тормоз, мощность, частота вращения.

Необходимость создания исследовательских стендов для испытаний малогабаритных ДВС связана с широким распространением двигателей такого типа и рядом проблем, требующих повышенного внимания со стороны производителей ДВС. Первая из таких проблем — улучшение эколого-экономических показателей двигателей; вторая — необходимость резкого сокращения сроков их разработки; третья проблема заключается в дальнейшем повышении надежности и ресурса малоразмерных ДВС в условиях встречной необходимости снижения удельной материалоемкости и увеличения уровня форсирования двигателей. Перечисленные проблемы могут успешно решаться только на базе творческого использования фундаментальных и технологических достижений в области кон-

струирования ДВС, а также на этапе доводочных испытаний, проводимых на тормозных стендах.

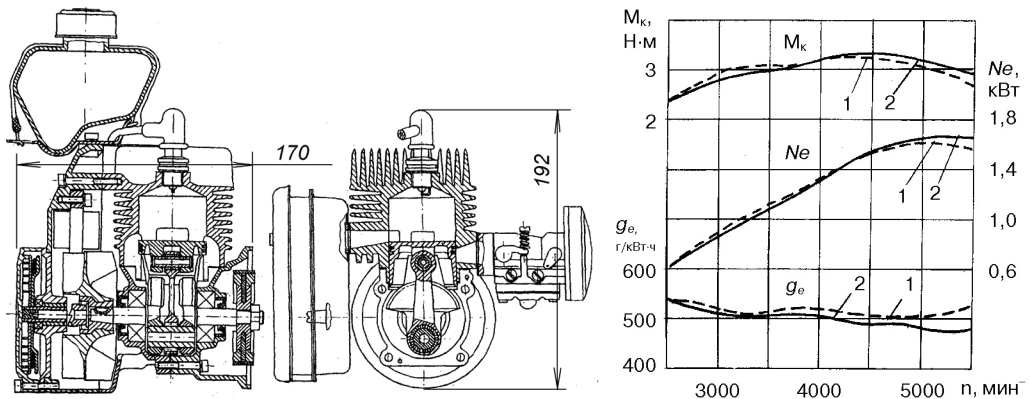
Несмотря на успехи в создании моделей ДВС, отвечающих самым жестким требованиям по токсичности ОГ, в сочетании с высокой топливной экономичностью, наибольший прогресс достигнут в основном по двигателям автомобильного типа. В значительно меньшей степени развита теория, расчетные методы оптимизации параметров и средства для натурных испытаний малоразмерных ДВС. Поэтому задача создания стендов для исследования рабочего процесса малогабаритных ДВС является весьма актуальной.

Одним из основных узлов малогабаритного моторного стенда является нагрузочное устройство, которое должно удовлетворять следующим требованиям:

- иметь минимальные габаритные размеры;
- иметь минимальное количество внешних обслуживающих коммуникаций;
- обеспечивать возможность осуществлять торможение двигателя во всем диапазоне нагрузочных и скоростных режимов его работы;
- обеспечивать возможность определения механических потерь двигателя.

В наибольшей степени этим критериям удовлетворяет нагрузочное устройство типа электрического двигателя-генератора. Известно, что большинство электрических машин обладают свойствами обратимости, например, синхронный генератор переменного тока (такую конструкцию, как правило, имеют генераторы современных автомобильных двигательных установок) может быть использован и как электродвигатель.

Для примера рассмотрим подходы к проектированию тормозного стенда для малоразмерного двигателя с воздушным охлаждением «Сунгирь», выпускаемого ОАО «Волгоградский моторный завод» (рис. 1).

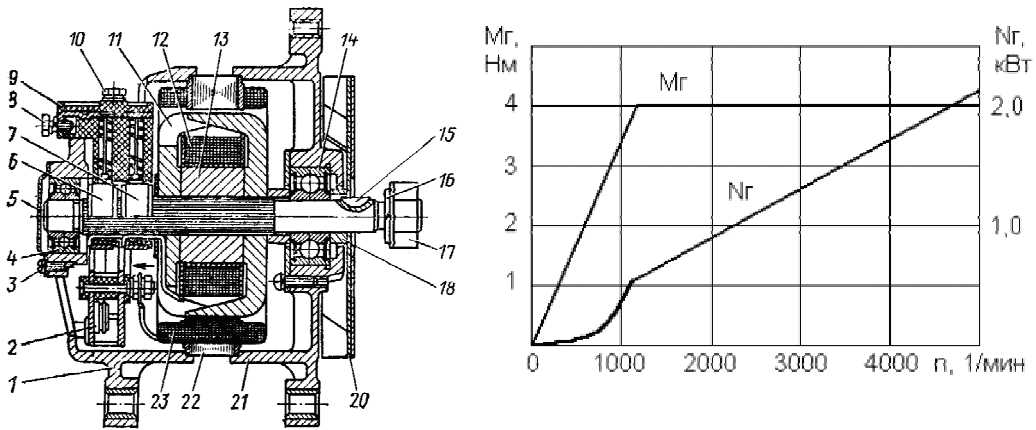


**Рис. 1.** Конструкция малогабаритного двигателя «Сунгирь» ( $1\text{Д}4,6/3,0$ ,  $V_n = 50 \text{ см}^3$ ,  $N_{e \text{ ном}} = 1,5 \text{ кВт}$  при  $n = 5000 \text{ мин}^{-1}$ ) и его скоростная характеристика:  
1 — при двухканальной продувке; 2 — при трехканальной продувке

Запуск этого двигателя осуществляется вручную. Поэтому для упрощения конструкции стенда его электрическая машина используется только в режиме тормоза. При этом вопрос снятия характеристики механических потерь двигателя ре-

шается методом двойного выбега, т.е., проведением испытаний по свободному выбегу двигателя на двух режимах работы, что позволяет перейти с достаточной для практики точностью от эффективных показателей к индикаторным показателям.

Для обеспечения устойчивой работы ДВС в любой точке внешней скоростной характеристики необходимо, чтобы выполнялось условие  $M_K = M_C$ , т.е. момент, развиваемый ДВС, во всем рабочем скоростном диапазоне работы, должен быть не больше момента сопротивления, развиваемого генератором при максимально допустимой электрической нагрузке. На рис. 1 приведены внешние скоростные характеристики малогабаритного двигателя, а на рис. 2 приведена механическая характеристика генератора Г552 при ограничении допустимого тока в рабочих обмотках 65А [1]. Как видно из приведенных рисунков, данный генератор удовлетворяет условиям его использования в качестве нагрузочного устройства малогабаритного двигателя «Сунгирь».



**Рис. 2.** Конструкция и механическая характеристика генератора Г552 при ограничении по рассеиваемой мощности

Для использования генератора в качестве нагрузочного устройства требуется решить вопрос о регистрации момента сопротивления (и, соответственно, определения развиваемой мощности двигателем). Балансирная установка генератора требует сложной переделки его корпусных деталей. Предлагается следующая схема установки генератора на стандартный узел крепления с возможностью замера реактивного момента (рис. 3). Момент от ДВС передается генератору через компенсирующую несоосность муфты, поэтому на вал генератора не действуют радиальные усилия. Реактивный момент  $M_C$  действует относительно оси корпуса генератора (точка *B*). Момент  $M_C$  может быть заменен парой сил —  $P_C$  — измеряемой силой (по величине деформации упругой балки, например, с помощью индикатора часового типа) и  $P_O$  — реакции в опоре. Соотношение между ними  $P_C/P_O = a/b$ , откуда момент сопротивления равен  $M_C = 2aP_C$ .

При тарировке нагрузочного устройства статическое усилие  $P_T$ , прикладываемое к точке *C* консоли, создает крутящий момент, равный  $M_T = P_T$ .

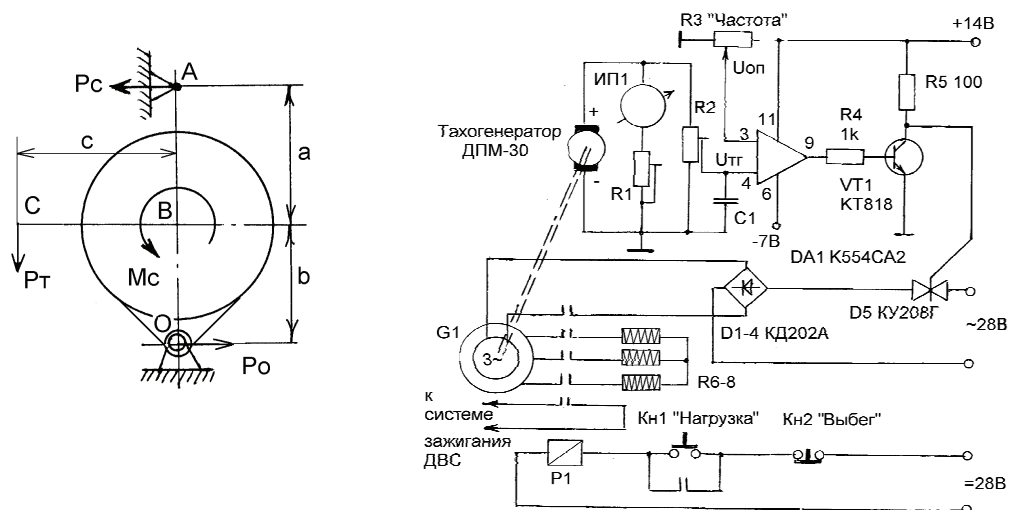


Рис. 3. Схема сил, действующих на генератор и примерная электрическая схема нагрузочного устройства стенда

Возможная электрическая схема нагрузочного устройства стенда приведена на рис. 3. Схема работает следующим образом. Перед запуском двигателя нажимается кнопка Кн1, которая подает напряжение на реле Р1. Реле, сработав, своими контактами блокирует кнопку Кн1, замыкает первичную цепь системы зажигания двигателя, подключает нагрузку R6-8 к силовой цепи генератора и замыкает цепь обмотки возбуждения генератора. При пуске двигателя тиристор D5 закрыт и ток в обмотку возбуждения генератора не поступает. Поэтому генератор не вырабатывает напряжения, в силовой цепи ток отсутствует, и генератор не оказывает сопротивления вращению двигателя. Как показано на рисунке, с валом генератора жестко связан вал тахогенератора постоянного тока типа ДПМ-30. Характеристика тахогенераторов такого типа линейна, поэтому измерительный прибор ИП1, регистрирующий напряжение тахогенератора, имеет градуировку непосредственно в об/мин и служит тахометром стенда. Напряжение, пропорциональное частоте вращения, с подстроечного резистора R2 через фильтр высокочастотных гармоник C1, поступает на компаратор DA1, который сравнивает напряжение  $U_{тг}$  с опорным напряжением  $U_{оп}$ , поступающем с резистора R3. Этим резистором устанавливается требуемая частота вращения коленчатого вала ДВС.

Если частота вращения превысит установленную движком резистора R3, то напряжение  $U_{тг}$  станет больше  $U_{оп}$  и на выходе компаратора появится ток, который после усиления транзистором VT1 откроет симметричный тиристор D5. Это приведет к тому, что на обмотку генератора поступит выпрямленное диодным мостом напряжение, переводящее генератор в режим торможения. При этом снимаемая с вала двигателя мощность, преобразованная в электрический ток через нагрузочные сопротивления R6-8, рассеивается на них в виде тепла.

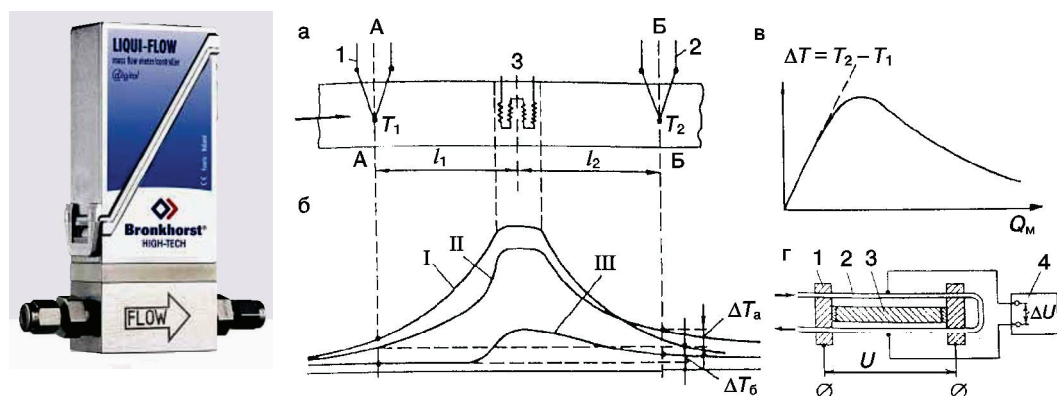
При снижении оборотов ДВС ниже заданных напряжение  $U_{тг}$  становится меньше опорного  $U_{оп}$ , и тиристор D5 размыкает цепь обмотки возбуждения. Генератор переходит в режим холостого хода, практически не оказывая сопротивления вращению коленчатого вала двигателя. Процессы подключения и отклю-

чения нагрузки происходят с большой частотой, в силу высокой чувствительности компаратора DA1. Практически стенд поддерживает постоянной заданную частоту вращения вне зависимости от нагрузки двигателя.

Для снятия характеристики механических потерь после установления начальной частоты вращения нажимается кнопка Кн2, реле обесточивается, отключая нагрузку и зажигание двигателя. Время выбега двигателя до полной остановки фиксируется с помощью секундомера.

Для определения параметров рабочего процесса и оценки удельных топливно-экономических показателей при испытаниях ДВС требуется регистрация расхода воздуха и расхода топлива. Если расход воздуха порядка 3—30 м<sup>3</sup>/ч, характерный для малогабаритных ДВС, можно легко измерить с помощью стандартных сужающих устройств [2], то расход топлива с достаточной точностью (погрешность не более 1%) в диапазоне от 0,2 до 2 л/ч требует применения специальных измерительных устройств. Например, компания *Bronkhorst High-Tech B.V.* одной из первых в мире начала разработку и производство расходомеров, работающих на тепловом принципе измерений, для сверхмалых и малых расходов жидкостей. Цифровые массовые расходомеры *LIQUI-FLOW*<sup>®</sup> (рис. 4) предназначены для работы в диапазонах расходов от 5 до 1000 г/ч, обладают быстрым временем отклика порядка 2—10 мс, точностью  $\pm 1\%$  и повторяемостью  $\pm 0,2\%$  от полной шкалы. Расходомер представляет собой трубку из нержавеющей стали и не имеет движущихся частей и препятствий для потока. Датчик расхода (вместе с нагревательным элементом) расположен на внешней поверхности трубки и работает на анемометрическом принципе: поддерживается постоянный перепад температуры ( $\Delta T$ ), и количество тепла, необходимое для поддержания  $\Delta T$ , зависит от величины массового расхода. Уникальный патентованный датчик расхода нагревает поток жидкости не более чем на 5 °С. Однако стоимость этих приборов достаточно высока (от 3000 евро).

Принцип действия калориметрического расходомера известен давно и основан на зависимости от мощности нагрева среднемассовой разности температур потока. Приведенная погрешность калориметрических расходомеров составляет  $\pm(0,3—1)\%$  [2], что вполне удовлетворяет требованиям к измерителям расхода топлива [3]. Такой расходомер состоит из нагревателя 3 (рис. 4 а), расположенного внутри или снаружи трубопровода, и двух термопреобразователей 1 и 2 для измерения температуры до  $T_1$  и после  $T_2$  нагревателя. Распределение температуры по обе стороны от источника нагрева будет зависеть от расхода через трубку. При отсутствии расхода  $Q_M = 0$  температурное поле симметрично, как это показано кривой I на рис. 4 б. При наличии расхода эта симметрия нарушается. При малых скоростях потока  $T_1$  падает вследствие притока холодного вещества сильнее, чем температура  $T_2$ , которая при малых скоростях может даже возрасти (кривая II). В результате вначале с ростом расхода растет разность температур  $\Delta T = T_2 - T_1$  (рис. 4 в). При достаточном увеличении расхода  $Q_M$  температура  $T_1$  станет постоянной, равной температуре поступающего вещества, в то время как  $T_2$  будет падать (кривая III). При этом разность  $\Delta T$  будет снижаться по гиперболическому закону.



**Рис. 4.** Внешний вид расходомера LIQUI-FLOW и пояснение принципа действия колориметрического расходомера:  
 а — принципиальная схема; б — распределение температур;  
 в — зависимость  $\Delta T$  от расхода  $Q_M$  при  $W = const$ ; г — расходомер с нагреваемой стенкой трубы (без самостоятельных нагревателя и термопреобразователей)

Особый интерес представляют расходомеры, у которых отсутствуют самостоятельные нагреватель и термопреобразователи, роль которых выполняет нагреваемый участок трубы (рис 4 г) [4]. К дугообразной никелевой трубке 2 диаметром 1 мм и толщиной стенки 0,05 мм подается ток напряжением  $U$  через массивные никелевые токоподводы 1. Части трубки 2, находящиеся между токоподводами, образуют четыре плеча моста, в диагональ которого включен микровольтметр 4. Стержень 3 обеспечивает жесткость конструкции. При возникновении расхода изменяется температура отдельных плеч моста, и он выходит из равновесия. В диагонали моста возникает разность напряжений  $\Delta U$ , пропорциональная расходу  $Q_M$  при малых значениях последнего.

Таким образом, проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы:

- серийно выпускаемое как отечественное, так и зарубежное стендовое оборудование для проведения исследовательских работ на малоразмерных двигателях внутреннего сгорания отсутствует;

- в силу малой массы, габаритов и развиваемой мощности малоразмерными ДВС испытательный стенд может быть создан собственными силами при наличии механических мастерских и подразделения, обслуживающего промышленную энергетику;

- в качестве нагрузочного устройства может быть использован автомобильный генератор со схемой стабилизации частоты вращения;

- расходомер топлива может быть спроектирован на calorиметрическом принципе и при соответствующей калибровке может обеспечить требуемую точность регистрации.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Чижков Ю.П., Акимов С.В. Электрооборудование автомобилей. — М.: За рулем, 1999.
- [2] Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества веществ: Справочник. Кн. 1 (Кн. 2). — 5-е изд., перераб. и доп. — СПб.: Политехника, 2002 (2004).

- [3] ГОСТ 14846-81 Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний; ГОСТ 18509-88 Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний. — М.: Изд-во стандартов.
- [4] *Груздев В.А.* Колориметрический метод измерения малых расходов газа // Измерител. техника. — 1968. — № 11. — С. 24—25.

## **RESEARCH BRAKE STANDS FOR TESTING SMALL SIZED ICE**

**S.V. Gusakov, I.V. Epifanov,  
V.E. Ukleikin**

Department of heating engineers and heat engines  
Peoples' Friendship University of Russia  
*Miklukho-Maklaya str., 6, Moscow, Russia, 117198*

**Mahmoud Mohamed El Ghobashy El Hagar**

University Beni Suef  
*Beni Suef, Egypt*

The urgency of a problem of creation of research stands for testing small sized ICE is defined by a wide circulation of engines of such type for mechanization of the manual skills, intended for use in structure of mobile vehicles and means of mechanization of auxiliary operations. During too time carrying out of tests of such type of engines at typical brake stands with the maximal rated power tested ICE 50—100 kW unfairly neither from the economic point of view, nor from the point of view of maintenance of comprehensible metrological characteristics. In article the basic approaches to create of the small sized stand basis of serially let out devices and known technological decisions are considered.

**Key words:** the engine, loading, a brake, capacity, frequency of rotation.