

ФОРСИРОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ БОЛИДА ФОРМУЛЫ "СТУДЕНТ" МАДИ

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ):
Павел Витальевич Душкин, к.т.н., ст. преподаватель
Муса Мурадovich Анасов, студент
Иван Денисович Гумбин, студент
Сергей Михайлович Кузнецов, студент
Николай Владимирович Великий, студент

В статье представлены результаты моторных испытаний двигателя Yamaha YFZ450R. Цель испытаний - уточнение мощностных показателей и разработка рекомендаций по конфигурации выпускной системы. Работа проведена в рамках проекта Формула студент МАДИ, в котором команда студентов строит гоночный болид.

Поскольку требования Технического регламента Формулы студент вносят ограничения на силовую установку болида, обоснована целесообразность установки российской инженерной электронной системы управления двигателем и проведения калибровочных работ.

The article presents the results of a bench tests of a gasoline engine Yamaha YFZ450R. The purpose of the tests is to measuring its torque curve and develop recommendations for the configuration of the exhaust system. This work was carried out as part of the Formula Student project, in which the student team builds a racing car. After these tests, the Formula student team plans to install a Russian engineering electronic control system on the engine for its calibration.

Ключевые слова: моторные испытания, Формула студент, внешняя скоростная характеристика, шум выпуска.
Keywords: engine calibration, full load engine test, Formula student.

Первая в России команда "Формула Студент" была основана в 2005 году Московским автомобильно-дорожным государственным техническим университетом (МАДИ). Команда построила 6 автомобилей и приняла участие в соревнованиях: в Германии, США, России, Венгрии, Италии и Австрии.

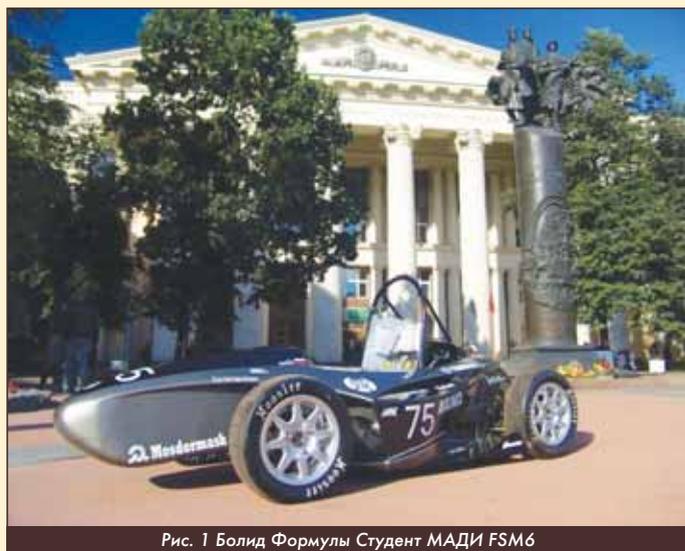


Рис. 1 Болид Формулы Студент МАДИ FSM6

Одна из главных задач Формулы Студент МАДИ - адаптация двигателя под требования Технического регламента [1], предъявляющего ряд ограничений на силовую установку:

- разрешается использование только поршневых 4-тактных двигателей с искровым зажиганием с рабочим объемом не более 710 см³;

- ограниченный выбор видов топлива - бензин с октановым числом 98 или смеси этанола с бензином марки E85;

- при применении в качестве топлива бензина диаметр впускного трубопровода должен быть ограничен рестриктором (дополнительным местным сопротивлением) диаметром 20 мм. Место установки рестриктора - между дросселем и двигателем;

- ограничения по уровню шума выпуска болида - 103 дБ на минимальной частоте вращения холостого хода (ХХ) и 110 дБ на частоте вращения ХХ, соответствующей скорости поршня $c_n = 15,25$ м/с.

Для форсирования и адаптации двигателя под требования Технического регламента Центр студенческих инженерных проектов МАДИ обратился за поддержкой к Проблемной лаборатории транспортных двигателей (ПЛТД) кафедры "Теплотехника

и автотракторные двигатели" МАДИ, которая имеет опыт проведения моторных испытаний [3, 4] и располагает необходимым оборудованием.

В статье приведены результаты работы над двигателем болида Формулы Студент и планы на дальнейшую работу.

Двигатель Yamaha YFZ450R

В результате анализа доступных двигателей на рынке, с учётом требований Технического регламента и компоновки болида (рис. 2),



Рис. 2 Компоновочная модель болида с двигателем Yamaha YFZ 450R

командой был выбран двигатель квадроцикла Yamaha YFZ450R, имеющий параметры, представленные в таблице 1.

Таблица 1

Параметры двигателя болида Формул Студент [2]	
Диаметр цилиндра D , мм	95
Ход поршня S , мм	63,4
Рабочий объем двигателя V_H , см ³	449
Количество цилиндров	1
Степень сжатия, ϵ	11,6
Количество клапанов	3 впускных, 2 выпускных
Частота вращения холостого хода $n_{\text{ххmin}}$, мин ⁻¹	1950...2050
Тип системы охлаждения	Жидкостная
Тип системы смазки	С сухим картером
Устройство, облегчающее запуск двигателя	Декомпрессор

Основные достоинства данного двигателя - высокая компактность и литровая мощность (N_L , кВт/л). При этом двигатель соответствует требованиям Технического Регламента по величине рабочего объема и типу используемого топлива.

Для выполнения поставленной задачи был сформирован перспективный план:

- подготовительный этап - установка двигателя на моторный стенд (рис. 3);

- 1-й этап - уточнение параметров ДВС в штатной комплекта-



Рис. 3 Установленный на стенде двигатель

ции: мощностные, экономические показатели и шум (требования по токсичности Техническим регламентом не предусмотрены);

- 2-й этап - установка системы управления ИТЭЛМА и впускного трубопровода с рестриктором;
- 3-й этап - проведение калибровочных работ.

Установка двигателя и регистрация стендовых характеристик

Необходимость уточнения основных показателей работы двигателя обоснована в первую очередь тем, что в руководстве по ремонту и обслуживанию квадроцикла [2] не приведены мощностные и экономические показатели. Есть только сведения о номинальной мощности, без указаний условий и режима, при которых получен данный показатель.

В связи с этим в ПЛТД МАДИ при участии коллектива студентов была проведена регистрация внешней скоростной характеристики (ВСХ). Результаты представлены на рис. 4-5.

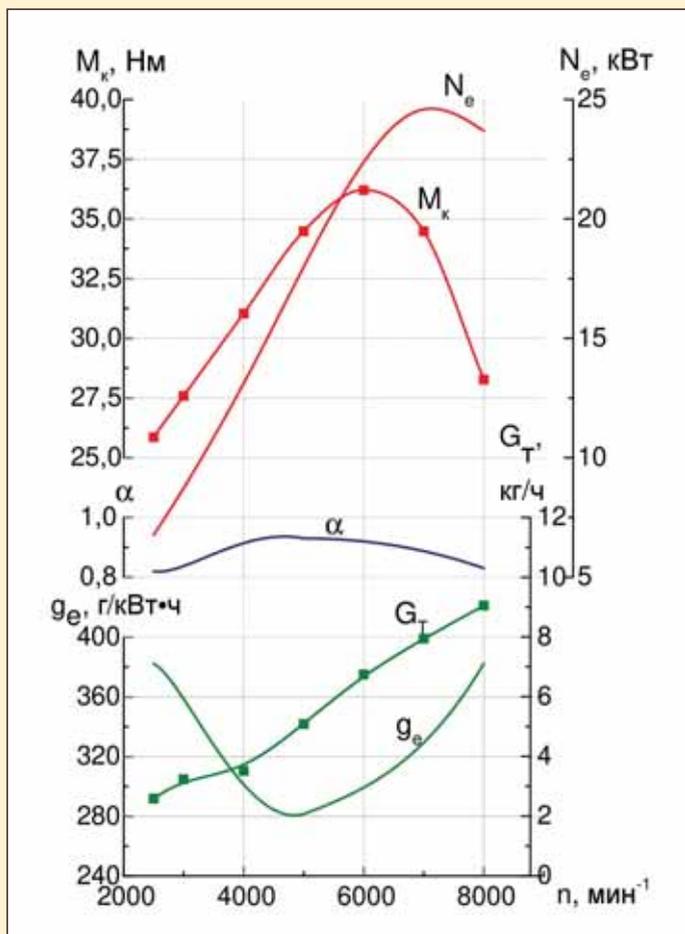


Рис. 4 ВСХ двигателя Yamaha YFZ450R: N_е - эффективная мощность, M_к - крутящий момент, α - коэффициент избытка воздуха, G_Т - массовый расход топлива, g_е - удельный эффективный расход топлива

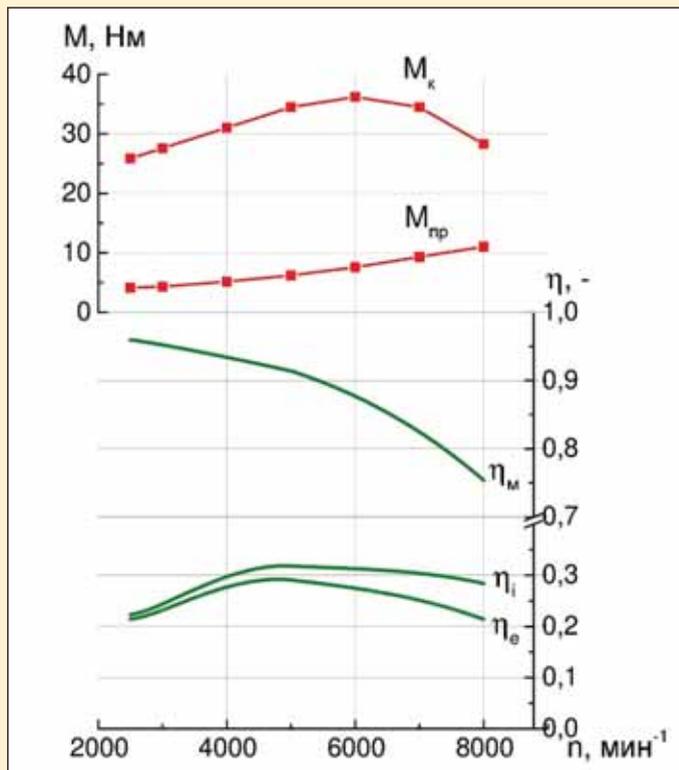


Рис. 5 ВСХ двигателя Yamaha YFZ450R: M_к - крутящий момент, M_{пр} - момент прокрутки, η_и - индикаторный КПД, η_м - механический КПД, η_е - эффективный КПД

Из представленных на рис. 4 и 5 данных можно сделать вывод о предельных показателях работы двигателя:

- номинальная частота вращения n_{ном} = 7000 мин⁻¹;
- максимальная мощность N_{емax} = 25,5 кВт;
- максимальный крутящий момент M_{кmax} = 36,5 Н·м;
- литровая мощность N_л = 57 кВт/л;
- минимальный удельный эффективный расход топлива g_{еmin} = 280 г/кВт·ч.

В процессе регистрации ВСХ требующим внимания наблюдением стал сильный нагрев выпускного трубопровода (рис. 6).

Причины высокой температуры отработавших газов:



Рис. 6 Выпускной коллектор двигателя в процессе регистрации ВСХ

- позднее зажигание, необходимое для обеспечения бездетонационной работы двигателя с высокой степенью сжатия (ε = 11,6) без датчика детонации;

- большой угол опережения открытия выпускного клапана, необходимый для улучшения очистки цилиндра на высоких скоростных и нагрузочных режимах. Косвенно об этом можно судить по пламени из выпускной системы со снятым выпускным коллектором (рис. 7).

Также здесь необходимо учесть относительно невысокую точность определения углового положения коленчатого вала. Это вызвано:

- повышенными колебаниями частоты вращения коленчатого вала (YFZ450R - одноцилиндровый двигатель, не оснащённый маховиком для обеспечения высокой компактности);

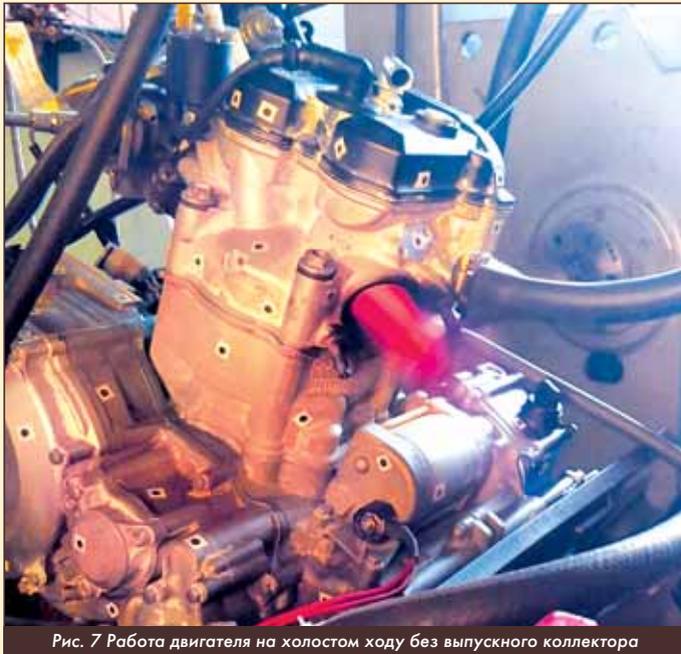


Рис. 7 Работа двигателя на холостом ходу без выпускного коллектора

- применением инкрементного колеса, выполненного по системе "12-1" (11 отметок на один оборот коленчатого вала). Уменьшение количества отметок относительно наиболее распространенной схемы "60-2" обусловлено ограниченными вычислительными возможностями системы управления [6, 7].

Недостаток такой работы двигателя - большие потери теплоты с отработавшими газами [5] что негативно сказывается на его показателях.

Одним из требований Технического регламента является ограничение на уровень шума. В связи с этим проведена оценка шума двигателя при различных конфигурациях выпускного трубопровода.

Работа заключалась в проведении замеров уровня звукового давления в различных условиях: в помещении (двигатель на стенде), на улице (двигатель на болиде) для различных нагрузочных и скоростных режимов с несколькими глушителями. Здесь приведен график (рис. 8), демонстрирующий уровень шума двигателя, установленного в боксе при работе на частоте вращения $n = 6000 \text{ мин}^{-1}$.

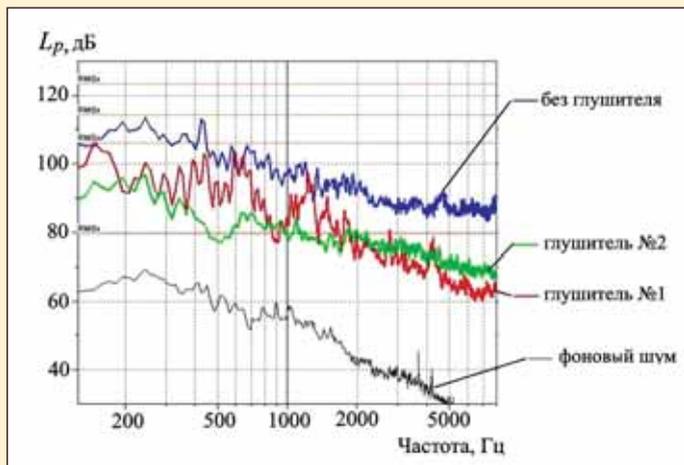


Рис. 8 Уровень звукового давления (L_p) выпуска двигателя Yamaha YFZ450R установленного в боксе ЛД-5 (полный дроссель, $n = 6000 \text{ мин}^{-1}$)

Полученные результаты были полезны для дальнейшего проектирования системы выпуска отработавших газов. На данном этапе можно дать рекомендацию по применению глушителя № 2.

Планы на дальнейшую работу

Установка предписанного Техническим регламентом рестриктора приводит к значительному нарушению рабочего процесса двигателя. В связи с этим принято решение по установке инженерной системы управления НПП ИТЭЛМА, что должно позволить про-

водить калибровочные работы после внесения изменений в конструкцию двигателя.

Адаптация системы управления к установке на двигатель осложнена тем, что двигатель имеет ряд нехарактерных для легковых автомобилей особенностей с точки зрения электронного управления, например, фазированный впрыск с определением фазы по разрежению на впуске с помощью датчика абсолютного давления.

Выводы

Двигатель болида Формулы Студент МАДИ установлен на моторный стенд в проблемной лаборатории транспортных двигателей (ПЛТД) кафедры "Теплотехника и автотракторные двигатели" МАДИ, проведены замеры его уровня шума и зарегистрирована внешняя скоростная характеристика (ВСХ). Это позволило дать рекомендации по выбору глушителя и определить предельные мощностные показатели двигателя.

Основная текущая задача - замена штатной системы управления на систему управления ИТЭЛМА, её адаптация и калибровка. Целесообразность данной работы обусловлена необходимостью настройки двигателя после внесения в него конструктивных изменений, требуемых Техническим регламентом. **П**

Литература

1. Formula Student // Formula Student Germany - URL: <http://www.formulastudentgermany.de/fsgrules> (дата обращения: 08.10.2018).
2. Yamaha Motor Corporation. Service manual YFZ450RY. -1-e изд. / Yamaha Motor Corporation - U.S.A., 2008. - 386 с.
3. Shatrov M.G. Research Of The Impact Of Injection Pressure 2000 Bar And More On Diesel Engine Parameters / M.G. Shatrov, L.N. Golubkov, Dunin A.U., Yakovenko A.L., Dushkin P.V. // Inter-national Journal Of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562. Volume 10, number 20 (2015), pp 41098-41102.
4. Shatrov M.G. Influence of high injection pressure on fuel injection performances and diesel engine working process / M.G. Shatrov, L.N. Golubkov, Dunin A.U., Yakovenko A.L., Dushkin P.V. // Thermal Science. Volume 19, Issue 6, 2015, Pages 2245-2253.
5. Автомобильные двигатели: учебник для вузов / под ред. М.Г. Шатрова. - М.: Академия, 2010. - 464 с.
6. Гирявец А.К. Теория управления автомобильным бензиновым двигателем. / А.К. Гирявец - М.: Стройиздат, 1997. - 161 с.
7. Пинский, Ф.И. Микропроцессорные системы управления автомобильными двигателями внутреннего сгорания / Ф.И. Пинский, Р.И. Давтян, Б.Я. Черняк. - М.: Легион-Автодата, 2004. - С.136.

Связь с авторами: levvap@gmail.com

