

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА RICARDO WAVE ДЛЯ СИМУЛЯЦИИ РАБОТЫ ДВИГАТЕЛЯ С ТУРБОКОМПРЕССОРОМ ГОНОЧНОГО БОЛИДА КЛАССА "ФОРМУЛА СТУДЕНТ"

**Марк Георгиевич Татаров,**  
аспирант ФГБОУ ВПО "Московский политехнический университет"

*В статье рассмотрены результаты одномерной симуляции компонентов системы впуска мотоциклетного двигателя KTM 450 с турбокомпрессором Garrett GT1241 с рестриктором перед входом в компрессор. Двигатель применяется на гоночных болидах класса "Формула Студент".*

*The article considers the intake system 1D simulation results of turbocharged motorcycle engine KTM 450 with the restrictor before compressor inlet.*

**Ключевые слова:** ДВС, турбонаддув двигателя, рестриктор, ограничительный патрубок.  
**Key words:** ICE, turbocharger, restrictor, the restrictive nozzle.



Болид класса "Формула Студент"

## Введение

В любых автоспортивных соревнованиях в целях безопасности применяются какие-либо ограничения на двигатели: по мощностям, объемам и т.п. Один из видов ограничителей это воздушный рестриктор (ограничительный патрубок определенного диаметра проходного сечения). Он создает ограничения по количеству воздуха, попадающего в двигатель, в связи с чем возникают дополнительные проблемы при проектировании и расчете систем впуска гоночных двигателей. Одним из решений по минимизации ограничивающего эффекта рестриктора является установка агрегата турбонаддува, что не запрещено техническими регламентами спортивных соревнований. Одним из программных комплексов, широко применяемых для проведения подобных расчетов, является RicardoWAVE. С помощью этого комплекса были проведено моделирование рабочих процессов двигателя с турбокомпрессором с рестриктором и получены графики крутящего момента и мощности.

## Двигатель KTM RF4 без агрегата турбонаддува

В качестве силового агрегата за основу был взят двигатель KTM RF4, так как он имеет малый вес и при этом хорошие показатели крутящего момента и мощности на низких оборотах. Четырехтактный двигатель объемом 477,5 кубических сантиметров имеет четыре клапана на цилиндр, является короткоходным (диаметр и ход поршня соответственно 100 мм и 60.8 мм), поэтому отлично подходит под гоночное использование, требующее быстрого отклика двигателя на изменение угла дроссельной заслонки.

В варианте без агрегата турбонаддува двигатель с рестриктором имеет следующие характеристики.

Из рис. 1 видно, что крутящий момент (46 Нм) имеет очень неровную характеристику, что затрудняет управление автомобилем и плохо сказывается на приемистости двигателя. Рестриктор является одной из основных причин подобной характеристики момента, поскольку из-за его присутствия во впускном тракте более сильное влияние на характеристику двигателя начинают оказывать резонансные явления. Одним из эффективных способов борьбы с этим явлением является установка агрегата турбонаддува. На рис. 2 представлен график мощности двигателя с рестриктором без турбокомпрессора. Ее значение равно 38 кВт.

## Система турбонаддува с рестриктором во впускном тракте

С помощью программного комплекса Ricardo Wave была построена расчетная модель ДВС с агрегатом турбонаддува Garrett GT1241 с рестриктором.

Как видно из рис. 3 характеристика момента значительно улучшилась в количественном отношении, максимальное зна-

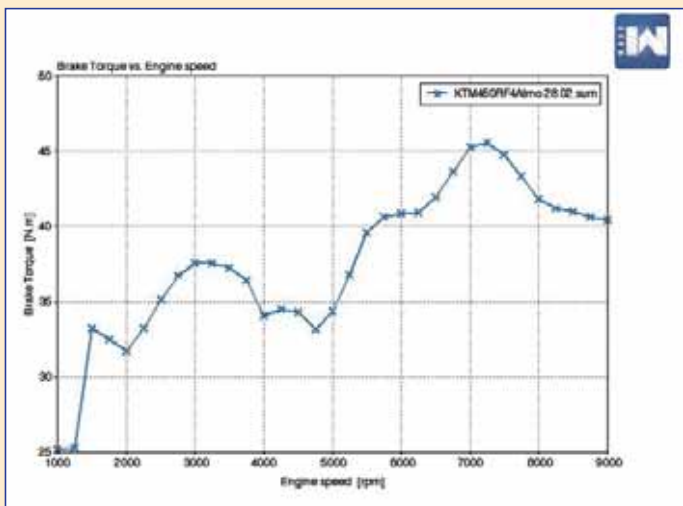


Рисунок 1 - Крутящий момент ДВС без ТК

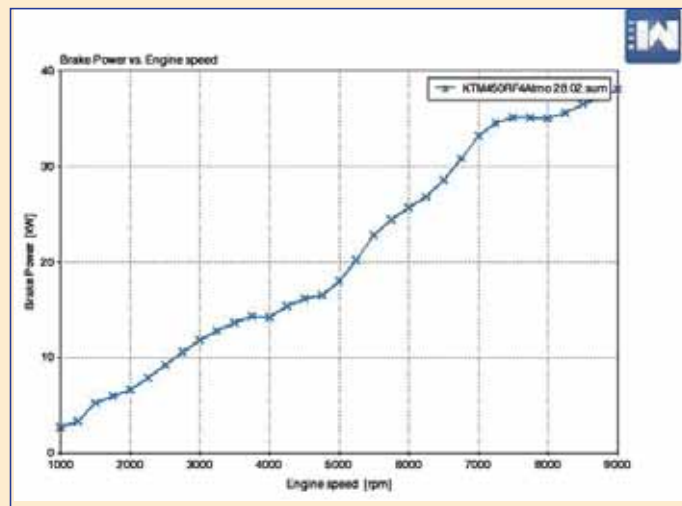


Рисунок 2 - Мощность ДВС без ТК

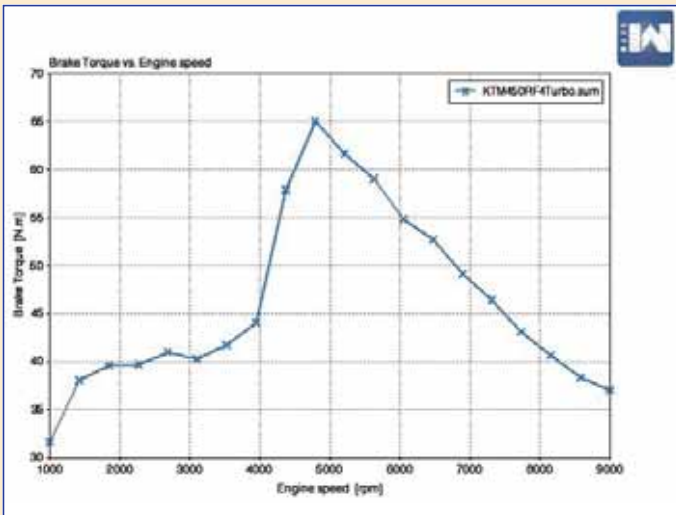


Рис. 3 Крутящий момент ДВС с ТК

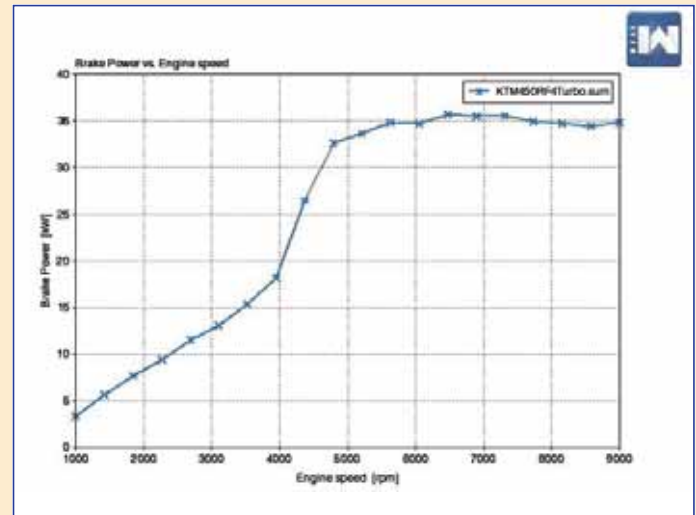


Рис. 4 Мощность ДВС с ТК

чение составило 65 Нм. Однако в качественном отношении оставляет желать лучшего, поскольку в середине рабочего диапазона на оборотах двигателя 4000 об/мин видно резкое увеличение крутящего момента, такое явление имеет не совсем положительный эффект, поскольку резко возросший крутящий момент способен вызвать потерю сцепления колес с дорожным покрытием, а также возникнут ударные нагрузки на трансмиссию и кривошипно-шатунный механизм. В то же время это говорит о том, что система турбонаддува может быть вполне эффективна, хотя и требует регулировки и более тщательного подбора турбокомпрессора под конкретный ДВС. На Рис. 4 представлен график мощности двигателя с турбокомпрессором с рестриктором на входе в компрессор.

**Заключение**

Описанная выше система двигателя с агрегатом турбонаддува (с рестриктором) четырехтактного двигателя гоночного болида класса

”Формула Студент” показала значительное преимущество перед вариантом двигателя без наддува. Так, двигатель без турбонаддува имеет 38 кВт и крутящий момент 46 Нм, тогда как двигатель с агрегатом турбонаддува показывает характеристики в 35 кВт и 65 Нм, что дает значительное увеличение динамики гоночного автомобиля.

**Литература**

1. Brian Beach, Stoyan Hristov, Patrick Napier, Brian Robie, Paul Smith, Zachary Wilson, 2010, Fsaе Turbo-System Design.
2. Habib Aghaali, 2012, On-Engine Turbocharger Performance Considering Heat Transfer.
3. A. Romagnoli, R. Martinez-Botas, 2012, Heat Transfer A nalysis In A Turbocharger Turbine: An Experimental And Computational Evaluation.
4. Ulrica Renberg, 2008, 1D engine simulation of a turbocharged SI engine with CFD computation on components.

Связь с автором: [angelo92@mail.ru](mailto:angelo92@mail.ru)

**ИНФОРМАЦИЯ**

27 октября 2017 г. состоялись первые испытания сверхзвукового автомобиля Bloodhound Supersonic Car (Bloodhound SSC). Они прошли в Англии на аэродроме городка Ньюквей, что на полуострове Корнуолл. Были проведены два заезда, в которых он, как и ожидалось, разогнался до 200 миль в час (322 км/ч).



Bloodhound SSC на ВПП 27.10.2017 г.

Этой скорости Bloodhound SSC достиг за девять секунд с момента старта. Большой скорости достичь не позволила взлетно-посадочная полоса, длина которой всего три километра. В ходе этого заезда Bloodhound SSC использовался реактивный двигатель EJ200. Двигатель разработан и производится консорциумом Eurojet Turbo GmbH, основателями которого стали Rolls-Royce (Великобритания), FiatAvio (Италия), ITR (Испания) и MTU Aero Engines (Германия). При

массе двигателя 1038 кг он обеспечивает тягу на форсаже 9 тс. В настоящее время EJ200 устанавливается на реактивный истребитель Eurofighter Typhoon.

Управлял Bloodhound SSC Энди Грин, которому принадлежит мировой рекорд скорости для авто, установленный им в октябре 1997 г. на болиде Thrust SSC в пустыне Блэк-Рок в США. Тогда он разогнался до 1228 км/ч и преодолел звуковой барьер.

Bloodhound SSC создаётся для того, чтобы стать первым в мире автомобилем, которому удастся преодолеть скорость в одну тысячу миль в час (1609 км/ч). Это должно произойти на 19-километровом участке ровного солончакового дна пересыхающего озера Хэкскин-Пэн в ЮАР.

Кроме авиационного двигателя на Bloodhound SSC будет установлен ракетный двигатель, изготовленный компанией Nammo. Тяга ракетного двигателя будет около 12,3 тс. Ракетный двигатель находится под реактивным, и при совместной работе их суммарная тяга составит 21,3 тс, что соответствует суммарной мощности в 135 тысяч л.с.

Ракетного двигателя пока нет, однако в ближайшие годы норвежская аэрокосмическая и оборонная компания Nammo производит для болида два двигателя. Один из них

будет работать на однокомпонентном ракетном топливе и ориентировочно в 2019 году должен будет позволить Bloodhound SSC установить абсолютный рекорд скорости в 800 миль в час (1287 км в час). А второй, гибридный, планируется собрать к 2020 году. Он как раз и будет тем самым двигателем, который и позволит болиду преодолеть 1000-мильный барьер скорости.

Помимо реактивного EJ200 и ракетного двигателей на Bloodhound SSC установлен поршневой двигатель F-Type R от Jaguar. Он предназначен для подачи топлива в ракетный двигатель. Во время рекордного заезда ракетный двигатель должен будет включиться при достижении 1050 км/ч.

Длина автомобиля Bloodhound SSC порядка 13 м, а масса около 7 т. Кузов изготовлен из карбоновых и формованных титановых листов, которые крепятся к шасси при помощи специального клея и заклепок.

