

DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-625554>

Оригинальное исследование



# Агрегат турбонаддува четырёхтактного двигателя гоночного болида класса «Формула Студент»

А.А. Дементьев

Московский политехнический университет, Москва, Россия

## АННОТАЦИЯ

**Обоснование.** В любых автоспортивных соревнованиях в целях безопасности применяются какие-либо ограничения на двигатели: по мощностям, объёмам и т. п. Один из видов ограничителей — это воздушный рестриктор, представляющий собой калиброванное отверстие во впускном коллекторе. Наиболее эффективным и разрешённым по условиям соревнований способом увеличения мощности двигателя с рестриктором является установка агрегата турбонаддува.

**Цель работы** — проведение исследования по увеличению мощности одноцилиндрового, рядного 4-тактного двигателя, с рестриктором на впуске воздуха, путём установки агрегата наддува воздуха.

**Материалы и методы.** Исследование выполнено с помощью моделирования работы одноцилиндрового, рядного 4-тактного двигателя, с рестриктором на впуске воздуха, и агрегатом наддува. Для упрощения расчёта, рестриктор принимался как прямой диффузор. Расчёт проводился в программном комплексе Ricardo WAVE, который может выполнять сложные расчёты различных систем впуска и выпуска, с рестриктором и без него, с агрегатами наддува и без них.

**Результаты.** Рассмотрен порядок применения пакета программ Ricardo WAVE для математического моделирования работы одноцилиндрового четырёхтактного бензинового двигателя. С помощью разработанной математической модели проведена симуляция работы двигателя с агрегатом наддува, с рестриктором и без него на основных режимах работы с целью получения его оптимальных характеристик. Научная новизна исследования заключается в выборе и оптимизации длины входного патрубка и применении рестриктора для улучшения характеристик двигателя.

**Заключение.** Система агрегата турбонаддува (с рестриктором) четырёхтактного двигателя гоночного болида класса «Формула Студент» показала значительное преимущество перед атмосферным вариантом двигателя. Так, двигатель без турбонаддува имеет 31 кВт и крутящий момент 34 Нм, тогда как двигатель с турбонаддувом показывает характеристики в 40 кВт и 54 Нм, что даёт значительное увеличение динамики гоночного автомобиля. Таким образом, установка агрегата наддува способна не только решить проблемы, связанные с рестриктором, но и значительно улучшить ключевые показатели двигателя.

**Ключевые слова:** турбонаддув двигателя; рестриктор; ограничительный патрубок.

## Как цитировать:

Дементьев А.А. Агрегат турбонаддува четырёхтактного двигателя гоночного болида класса «Формула студент» // Известия МГТУ «МАМИ». 2024. Т. 18, № 4. С. 299–304. DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-625554>

DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-625554>

Original Study Article

# The turbocharger for a four-stroke gasoline engine of the Formula SAE racecar

Alexander A. Dementiev

Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia

## ABSTRACT

**BACKGROUND:** Any motorsport events consider some restrictions for engines, such as power restrictions or volumes restrictions, for the sake of safety. An air restrictor, which is a gauged orifice in an intake manifold, is one kind of used restrictors. The most efficient and permitted by competition regulations method of engine power increasing is turbocharging.

**OBJECTIVE:** Study of power increasing of a 1-cylinder four-stroke engine with an air restrictor at the intake by means of turbocharging.

**METHODS:** The study was conducted as simulation of operation of the 1-cylinder four-stroke engine with an air restrictor at the intake and a turbocharger. To simplify the simulation, the air restrictor was considered as a direct diffuser. The simulation was performed in the Ricardo WAVE software package, capable of performing complicated simulations of various intake and exhaust systems with or without restrictors or turbochargers.

**RESULTS:** The procedure of using the Ricardo WAVE software package for simulation of the 1-cylinder four-stroke gasoline engine is considered. Using the built mathematical model, simulation of main operation modes of the engine with a turbocharger, with and without a restrictor was performed in order to obtain its optimal characteristic curves. The scientific novelty lies in choosing and optimization the inlet nozzle length and using the restrictor for improvement the engine characteristic curves.

**CONCLUSIONS:** The turbocharged air-restricted four-stroke engine of the Formula SAE racecar showed considerable advantages in comparison with the naturally aspirated one. Thus, the naturally aspirated engine has a maximal power of 31 kW and a maximal torque of 34 Nm, whereas the turbocharged engine has a maximal power of 40 kW and a maximal torque of 54 Nm that gives a significant improvement of racecar performance. Therefore, turbocharging is capable of not only solving problems caused by a restrictor but also improving key engine indicators significantly.

**Keywords:** engine turbocharger; restrictor; restrictive nozzle.

## To cite this article:

Dementiev AA. The turbocharger for a four-stroke gasoline engine of the Formula SAE racecar. *Izvestiya MGTU «MAMI»*. 2024;18(4):299–304.

DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-625554>

Received: 11.01.2024

Accepted: 30.08.2024

Published online: 25.11.2024

## ВВЕДЕНИЕ

В любых автоспортивных соревнованиях в целях безопасности применяются какие-либо ограничения на двигатели: по мощностям, объёмам и т. п. Один из видов ограничителей — это воздушный рестриктор, представляющий собой калиброванное отверстие во впускном коллекторе. Наиболее эффективным и разрешённым по условиям соревнований способом увеличения мощности двигателя с рестриктором является установка агрегата турбонаддува.

## ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Целью работы является проведение исследования по увеличению мощности одноцилиндрового, рядного 4-тактного двигателя, с рестриктором на впуске воздуха, путём установки агрегата наддува воздуха.

Расчёт проводился с помощью моделирования работы одноцилиндрового, рядного 4-тактного двигателя, с рестриктором на впуске воздуха, и агрегатом наддува. Для упрощения расчёта, рестриктор принимался как прямой диффузор.

Расчёт проводился в программном комплексе Ricardo WAVE, который может выполнять сложные расчёты различных систем впуска и выпуска, с рестриктором и без него, с агрегатами наддува и без них.

Перед построением расчётной модели двигателя без турбонаддува, но с рестриктором была опробована расчётная модель двигателя без рестриктора и сверена с характеристиками завода-изготовителя. При построении и расчёте двигателя в заводском исполнении элементов впуска были получены параметры близкие к тем, что приводит завод-изготовитель, а именно мощность — 31 кВт; крутящий момент — 34 Нм, против расчётных 32 кВт по мощности и 35 кВт по крутящему моменту.

## ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования является одноцилиндровый 4-тактный рядный двигатель производства Австрия KTM LC4. Объём — 654 см<sup>3</sup>, диаметр цилиндра — 102 мм. Ход поршня — 80 мм, система смазки с сухим картером, имеет отличные массогабаритные показатели и отличается от похожих моторов хорошими показателями по мощности и крутящему моменту на низких оборотах (3).

Установка рестриктора на турбированном двигателе требует решения ряда проблем, таких как оптимизация размеров необходимого для сглаживания пульсаций воздуха перед впускным клапаном воздушного ресивера; оптимизация длины и формы впускного патрубка, расположенного между ресивером и впускным клапаном двигателя; оптимизация, обеспечивающая малые гидравлические потери и равномерное поле скоростей на входе в компрессор агрегата турбонаддува формы патрубка с рестриктором [2].

Решения этих проблем описаны в проекте «Разработка системы турбонаддува Формулы САИ» Cal Poly [1]. Впускная система двигателя команды «Формула Студент» включает в себя воздушный фильтр, дроссельную заслонку, рестриктор, компрессор, ресивер и впускной патрубок («дудка») (рис. 1).

## ВПУСКНОЙ РЕСИВЕР

С помощью программы Ricardo WAVE был проведён анализ влияния размеров впускного ресивера на характеристики двигателя. Результаты представлены на рис. 2.

Из полученных данных (рис. 2) видно, что крутящий момент увеличивается лишь до определённых объёмов ресивера, затем его значения меняются незначительно. Казалось бы, лучший вариант в этом случае — объём около трёх литров. Однако в этом случае существует некий компромисс, поскольку ресивер расположен между

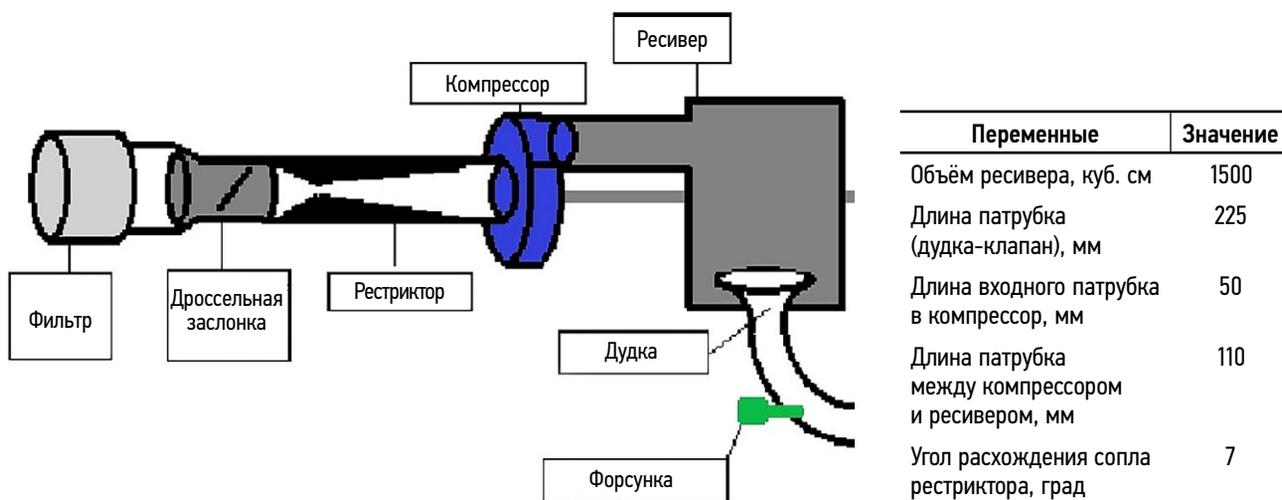
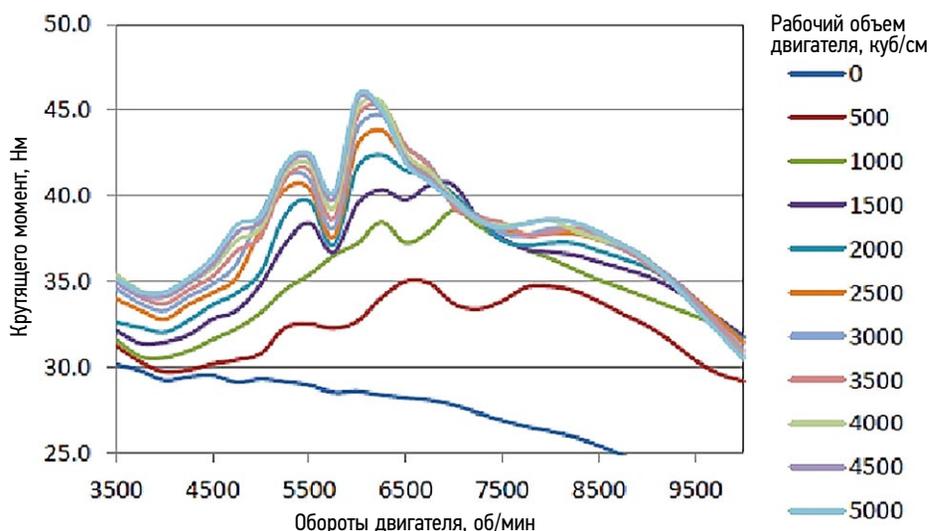


Рис. 1. Система впуска двигателя команды Формулы САИ Cal Poly.

Fig. 1. The intake system of the engine of the Cal Poly Formula SAE team.



**Рис. 2.** Влияние объёма впускного ресивера на крутящий момент.

**Fig. 2.** Influence of the intake receiver volume on engine torque.

дроссельной заслонкой и впускным клапаном двигателя. Если сделать ресивер очень большим пострадает обратная связь водителя с педалью газа (дроссельной заслонкой) [3]. Это означает, что конструкторам приходится находить некий баланс между эффективностью ресивера и обратной связью с мотором. Основываясь на эмпирическом опыте других команд соревнований «Формула Студент», выбрали объём, соответствующий 90% от наилучших показателей момента и мощности, 1500 куб. см.

## ДЛИНА ВПУСКНОГО ПАТРУБКА

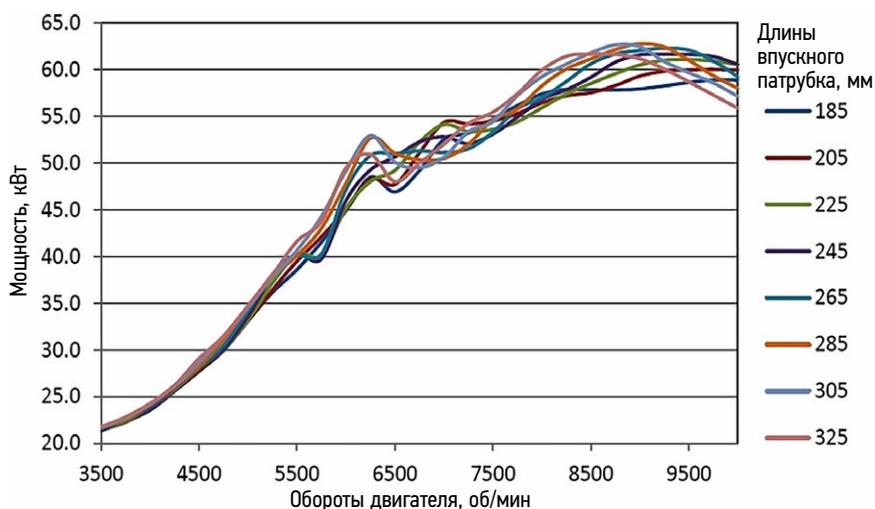
Впускной патрубок ответственен за резонансные эффекты во впускном тракте. В атмосферных ДВС короткий патрубок даёт прирост мощности на высоких оборотах, но проигрыш по мощности на низких. Влияние длинного патрубка прямо противоположно. Для турбонадувных

двигателей характерно использование более длинного патрубка, чем на атмосферных, поскольку это даёт прирост на низких оборотах за счёт резонансных эффектов, где турбонагнетатель ещё не работает в полную силу [4].

Из полученных данных (рис. 3) видно, что длина в 225 мм даёт одну из наиболее пологих кривых крутящего момента, что позволяет более эффективно использовать двигатель на автомобиле.

## ПАТРУБОК С РЕСТРИКТОРОМ

Правильно рассчитанная форма патрубка с рестриктором даёт существенное повышение выходной мощности и крутящего момента двигателя. В конечном итоге лучшей формой было выбрано суживающе-расширяющийся патрубок. В совокупности правильно рассчитанная форма дала 15% прибавления к мощности по сравнению с простой

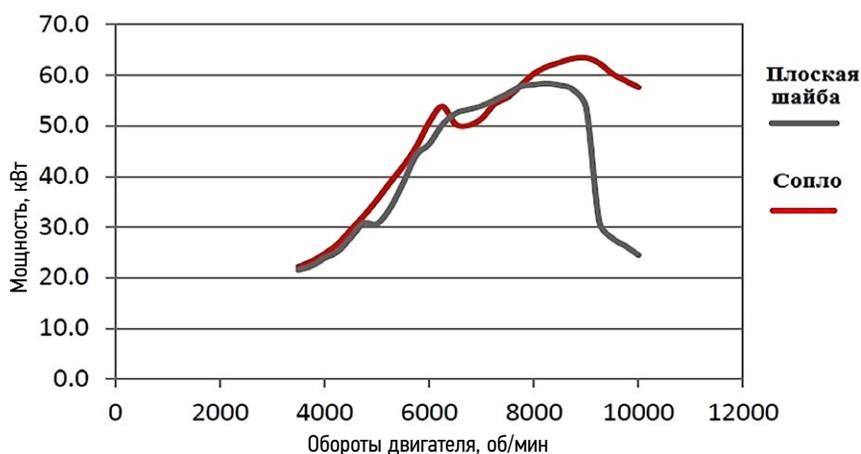


**Рис. 3.** Зависимость крутящего момента от длины впускного патрубка.

**Fig. 3.** Dependence of engine torque on the intake nozzle length.

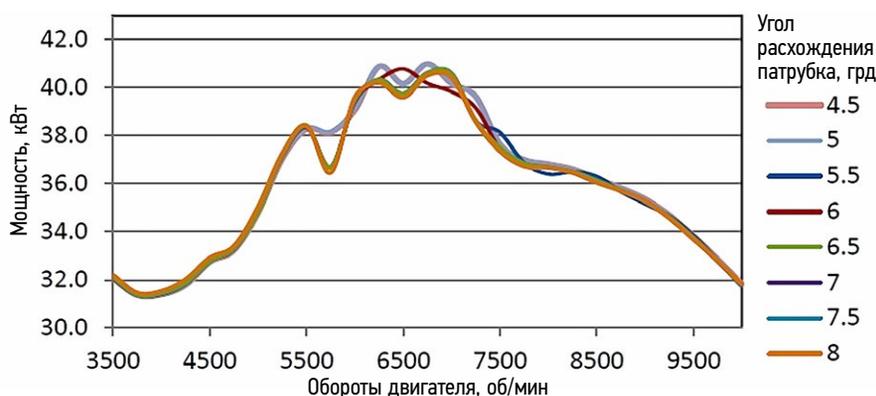
конструкцией в виде шайбы. На рис. 4 приведён график зависимости мощности от конструкции патрубка с рестриктором. Серая линия — конструкция в виде простой плоской шайбы, красная линия — расходящееся сопло.

Не менее важным параметром является угол расширения патрубка с рестриктором. Результаты симуляции с разными углами расширения приведены на рис. 5. Из результатов симуляций (см. рис. 5) видно, что угол



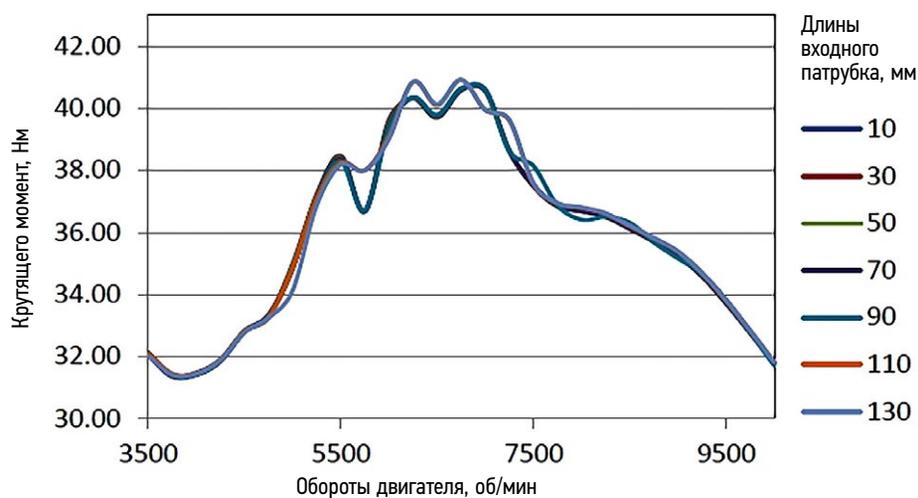
**Рис. 4.** Влияние формы патрубка с рестриктором на мощность двигателя.

**Fig. 4.** Influence of shape of the nozzle with a restrictor on engine power.



**Рис. 5.** Влияние угла расхождения патрубка с рестриктором на мощность двигателя.

**Fig. 5.** Influence of divergence angle of the nozzle with a restrictor on engine power.



**Рис. 6.** Влияние длины входного патрубка на крутящий момент двигателя.

**Fig. 6.** Influence of the intake nozzle length on engine torque.

расширения сопла несильно влияет на пиковые значения характеристик двигателя, однако имеет заметный эффект в сглаживании кривой крутящего момента, что играет значительную роль во время управления автомобилем на трассе. По этой причине был выбран угол в 7 градусов [5].

## ДЛИНЫ ВХОДНОГО И ВЫХОДНОГО ПАТРУБКОВ КОМПРЕССОРА

Крайними двумя факторами, влияющими на характеристики двигателя, являются длины входного и выходного патрубков компрессора. Входной патрубок находится между рестриктором и компрессором, выходной — между компрессором и ресивером (однако с 2015 схема в регламенте изменена — теперь после компрессора стоит дроссельная заслонка, а уже затем ресивер). Однако эти два параметра не сильным образом влияют на характеристики мотора. На рис. 6 ниже показано влияние входного патрубка на крутящий момент двигателя. Из полученных результатов была выбрана длина в 110 мм, поскольку характеристика момента с ней получается наиболее сглаженной.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанная выше система агрегата турбонаддува (с рестриктором) четырёхтактного двигателя гоночного класса «Формула Студент» показала значительное преимущество перед атмосферным вариантом двигателя. Так, двигатель без турбонаддува имеет мощность 31 кВт и крутящий момент 34 Нм, тогда как двигатель с турбонаддувом показывает характеристики в 40 кВт и 54 Нм, что даёт значительное увеличение динамики гоночного автомобиля. Таким образом, установка агрегата наддува способна не только решить проблемы, связанные с рестриктором, но и значительно улучшить ключевые

показатели двигателя. Для дальнейшего совершенствования системы наддува и поиска путей по дальнейшей оптимизации параметров двигателя требуется проведение трёхмерного математического моделирования.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**Вклад автора.** А.А. Дементьев — поиск публикаций по теме статьи, написание текста рукописи; редактирование текста рукописи; создание изображений; экспертная оценка, утверждение финальной версии. Автор подтверждает соответствие своего авторства международным критериям *ICMJE* (автор внёс существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочёл и одобрил финальную версию перед публикацией).

**Конфликт интересов.** Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Источник финансирования.** Автор заявляет об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

## ADDITIONAL INFORMATION

**Author's contribution.** A.A. Dementiev — search for publications on the topic of the article, writing the text of the manuscript; editing the text of the manuscript; creating images; expert opinion, approval of the final version. The author confirms that his authorship meets the international criteria of the *ICMJE* (the author made a significant contribution to the development of the concept, research and preparation of the article, read and approved the final version before publication).

**Competing interests.** The authors declares that he has no competing interests.

**Funding source.** This study was not supported by any external sources of funding.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

- Griess E, McCutcheon K, Roberts M. Formula SAE Turbocharger System Development. 2012.
- Beach B, Hristov S, Napier P, Robie B, Smith P, Wilson Z, Fsaе TurboSystem Design. 2010.
- Habib Aghaali. On-Engine Turbocharger Performance Considering Heat Transfer. 2012.
- Romagnoli A, Martinez-Botas R. Heat Transfer Analysis In A Turbocharger Turbine: An Experimental And Computational Evaluation. 2012.
- Ulrica Renberg. 1D engine simulation of a turbo-charged SI engine with CFD computation on components. 2008.

## ОБ АВТОРЕ

\* **Дементьев Александр Александрович**,  
доцент кафедры «Энергоустановки для транспорта и малой энергетики»;  
адрес: Россия, 107023, Москва, ул. Большая Семеновская, д. 38;  
ORCID: 0009-0001-2311-0849;  
eLibrary SPIN: 7826-5560;  
e-mail: w1941w@yandex.ru

## AUTHOR'S INFO

\* **Alexander A. Dementiev**,  
Associate Professor of the Power Plants for Transport and Small Energy Department;  
address: 38 Bolshaya Semenovskaya st, Moscow, Russia, 107023;  
ORCID: 0009-0001-2311-0849;  
eLibrary SPIN: 7826-5560;  
e-mail: w1941w@yandex.ru