

ЖАВРИД Антон Александрович

*Белорусский государственный университет физической культуры,
Минск, Республика Беларусь*

КОЛЕДА Виктор Антонович, д-р пед. наук, профессор

*Белорусский государственный университет физической культуры,
Минск, Республика Беларусь*

ОЦЕНКА АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЕЛОСИПЕДИСТА НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЯ МОЩНОСТИ

В статье рассматривается ключевая роль аэродинамики в велосипедном спорте и методы ее оптимизации с использованием измерителя мощности. Современный велоспорт высших достижений превратился в арену ожесточенной конкурентной борьбы, где победы и рекорды определяются не только уровнем функциональной подготовленности спортсмена, но и эффективностью взаимодействия системы «велосипедист-велосипед» с окружающей средой. В условиях, когда физиологические показатели топ-атлетов мирового уровня достигли практически предела человеческих возможностей, основным резервом для радикального улучшения результатов становится минимизация аэродинамического сопротивления, которое является доминирующей силой, противодействующей движению на скорости свыше 40 км/ч. Вклад аэродинамики в общее сопротивление может достигать 90 %, что делает ее ключевым фактором успеха в таких дисциплинах, как индивидуальная и командная гонка на время, триатлон, а также на решающих этапах шоссейных гонок.

Ключевые слова: аэродинамическое сопротивление; велоспорт; измеритель мощности; коэффициент лобового сопротивления (C_{dA}); полевое тестирование; индивидуальная гонка на время; оптимизация; спортивная наука.

ASSESSMENT OF THE AERODYNAMIC PROPERTIES OF A BICYCLIST USING A POWER METER

This article discusses the key role of aerodynamics in cycling and methods of its optimization using a power meter. Modern high-performance cycling has become an arena of fierce competition, where victories and records are determined not only by the athlete's level of fitness but also by the efficiency of the "cyclist-bike" system interaction with the environment. In conditions where the physiological performance of top-level world-class athletes has reached almost the limit of human capabilities, the main reserve for radical improvement of results is the minimization of aerodynamic drag, which is the dominant force opposing movement at speeds above 40 km/h. The contribution of aerodynamics to the total drag can reach up to 90 %, making it a key factor in success in disciplines such as individual and team time trials, triathlons, and crucial stages of road races.

Keywords: aerodynamic drag; cycling; power meter; coefficient of drag (C_{dA}); field testing; individual time trial; optimization; sports science.

Введение. История развития аэродинамики в велосипедном спорте представляет собой наглядный пример последовательной оптимизации сложной биомеханической системы «велосипедист-велосипед» для преодоления силы лобового сопротивления, которая является доминирующим фактором, лимитирующим скорость при движении по ровной поверхности. На скоростях свыше 40 км/ч более 90% мощности гонщика расходуется исключительно на преодоление аэродинамического сопротивления, что делает его редуцированной первостепенной инженерной задачей [1].

Начало систематическому изучению аэродинамики в велоспорте было положено в конце 1970-х начале 1980-х годов. Исследователям в данной области выступил инженер Честер Кайл, который, используя аэродинамические трубы и методы, заимствованные из аэрокосмической промышленности, количественно оценил вклад различных компонентов системы в общее сопротивление. Эмпирическим путем было установлено, что тело гонщика создает 65–80 % общего аэродинамического сопротивления, тогда как рама, колеса и прочие компоненты – оставшиеся

20–35 %. Это фундаментальное открытие сместило фокус разработок с оптимизации исключительно формы рамы на поиск решений по снижению сопротивления тела велосипедиста [2].

Первой практической реализацией этих исследований стало появление аэродинамических велосипедов для индивидуальных гонок на время. Конструктивно они характеризовались каплевидным профилем труб, интегрированными рулями-лежаками и глубокими ободами колес. Аэродинамические трубы позволили оптимизировать геометрию рам и позицию гонщика, минимизируя площадь фронтальной проекции и формируя ламинарные обтекаемые потоки для снижения коэффициента лобового сопротивления. Ключевым технологическим прорывом стало внедрение компанией Lotus Engineering нового велосипеда Type 108 для Криса Бордмана, на котором он выиграл индивидуальную гонку на время на Олимпийских играх 1992 года в Барселоне. Карбоновая конструкция не только обеспечила высочайшую жесткость при минимальном весе, но и позволила создать идеально обтекаемую интегрированную форму, радикально снизившую сопротивление.

Параллельно велись исследования в области турбулентности и управления пограничным слоем. Было обнаружено, что в определенных зонах (например, за подседельной трубой или в области соединения рулевой колонки и вилки) поток воздуха отрывается, формируя зоны низкого давления и вихреобразования, которые существенно увеличивают сопротивление. Решением стало проектирование рам с вогнутыми профилями, которые направляли воздушный поток и задерживали его отрыв, а также камуфлерных дисков, закрывавших спицевые зоны колес – основные генераторы турбулентности [3].

Следующим этапом эволюции стала тотальная интеграция всех компонентов

системы. Появились полностью интегрированные рулевые системы, скрытые тормозные механизмы (интегрированные в вилку и перья рамы), аэродинамические блоки «шатуны-педали» и оптимизированные под определенные условия колесные пары. Глубокие ободья (60–90 мм) стали стандартом для ровных трасс, в то время как для холмистых трасс предпочтение отдается более легким и управляемым на боковом ветре вариантам (35–50 мм). Исследования в аэродинамических трубах показали, что взаимодействие переднего и заднего колеса, а также их положение относительно рамы и гонщика, критически важно для итогового аэродинамического эффекта [1].

Современный этап развития аэродинамики характеризуется переходом от оптимизации отдельных компонентов к системному анализу всей системы. Учитывается не только статическое положение гонщика, но и его динамика: микродвижения таза, головы, работа ног. Используются технологии 3D-сканирования для создания точных цифровых аватаров гонщиков. Аэродинамические испытания проводятся совместно с анализом биомеханики для нахождения компромисса между аэродинамической эффективностью и энергетической экономичностью педалирования. Аэродинамика превратила велосипедный спорт в арену для применения передовых научных методов и высоких технологий, где победу обеспечивают доли секунды, сэкономленные за счет преодоления сопротивления воздуха [2].

Целью работы является изучение особенностей аэродинамики в подготовке велосипедистов для достижения высоких результатов. Предпосылкой к исследованию и рабочей гипотезой является то, что при помощи аэродинамики можно рационально использовать энергию, которую спортсмены нередко расходуют в пустую, что позволит направить сэкономленную

энергию для достижения наивысших результатов.

Методы исследования: анализ научно-методической литературы, анализ интернет источников.

Основное содержание. В быстро развивающемся мире велоспорта стремление к скорости и эффективности никогда не прекращается. Среди многих достижений, которые сформировал современный велоспорт, особое влияние оказала эволюция легких шоссейных велосипедов. Одной из наиболее значимых тенденций, определяющих эту эволюцию, является растущий спрос на аэродинамические конструкции рам, которые сочетают в себе легкую конструкцию с эффективностью воздушной нарезки для обеспечения выдающейся производительности.

Аэродинамика в велоспорте – это наука об оптимизации взаимодействия системы «велосипедист-велосипед» с воздушной средой для минимизации сопротивления движению. При скоростях свыше 40 км/ч аэродинамическое сопротивление становится доминирующим фактором, составляя до 90 % от общего сопротивления. Это объясняет, почему аэродинамическая оптимизация имеет решающее значение для легких шоссейных велосипедов, поскольку она позволяет гонщикам поддерживать более высокие скорости с меньшими затратами усилий [1].

Измеритель мощности представляет собой прецизионный мехатронный датчик, интегрированный в кинематическую цепь «велосипедист-велосипед» с целью прямого и высокочастотного измерения механической мощности, генерируемой спортсменом в процессе педалирования. В отличие от опосредованных физиологических показателей (таких как частота сердечных сокращений), мощность является объективной и мгновенной мерой внешней механической работы, что делает ее ключевой метрикой для управления тренировочной нагрузкой и оценки

эффективности [3]. Ключевая роль измерителя мощности в данном контексте заключается в том, что он предоставляет абсолютно объективную и количественную метрику для оценки эффективности любой аэродинамической интервенции в полевых условиях. В то время как аэродинамическая труба и вычислительная гидродинамика моделируют идеализированные условия, измеритель мощности позволяет оценить итоговый энергетический выигрыш или потерю в реальном времени, на реальной трассе, с учетом всех переменных: рельефа, температуры, давления, влажности и, что наиболее важно, турбулентности и вариабельности ветра. Гонщик выполняет повторяющиеся заезды на эталонном отрезке в стабильном состоянии, варьируя лишь тестируемую скорость (позицию, оборудование). Измеритель мощности регистрирует среднюю мощность, а GPS-компьютер – время прохождения отрезка. Поскольку кинетическая энергия системы в начале и конце отрезка идентична, вся работа, совершенная гонщиком, расходуется исключительно на преодоление сопротивлений, главным из которых является аэродинамическое сопротивление.

Каждый велосипедист при прохождении дистанции преодолевает сопротивление воздуха. Обычные велосипеды, за исключением топовых моделей гоночных велосипедов для гонок с раздельным стартом, имеют очень слабые аэродинамические характеристики.

Если форму велосипеда можно довести до максимально обтекаемой, то с телом гонщика это сделать весьма сложно. Можно уменьшить сопротивление воздуха за счет изменения посадки велосипедиста, чем и занимаются на протяжении многих лет разработчики и экспериментаторы в области велосипедостроения.

Любой велосипедист знает, что если прекратить педалирование, он остановится, а если будет встречный ветер, то

остановка произойдет еще быстрее. Для того, чтобы двигаться вперед, велосипедист должен преодолеть внешнее сопротивление воздушной массы, для этого необходима дополнительная энергия.

Аэродинамическое сопротивление рассчитывается по следующей формуле [3]:

$$F_D = \frac{1}{2} \rho A C_D v^2$$

где: F_D – сила перетаскивания;

ρ – плотность воздуха;

A – лобовая область велосипедиста на велосипеде;

C_D – коэффициент аэродинамического сопротивления;

V – скорость.

F_D представляет собой силу сопротивления, которую велосипедист испытывает при движении себя и своего велосипеда через тело воздуха на скорости. Чтобы рассчитать это, нам нужно знать несколько вещей, таких как плотность воздуха (которая уменьшается с высотой), площадь велосипеда и велосипедиста, представленная воздуху, коэффициент лобового сопротивления и, конечно же, скорость движения [2].

Поскольку плотность воздуха уменьшается на больших высотах, велосипедисты будут испытывать меньшее сопротивление на вершине горы по сравнению с уровнем моря. Что касается площади велосипеда и внешних

параметров велосипедиста, то, чем они меньше, тем меньше сила сопротивления.

В тоже время коэффициент лобового сопротивления зависит от множества факторов, таких как неровность поверхности, скорость велосипеда и подготовка велосипедиста. Как видно из уравнения, аэродинамическое сопротивление увеличивается по мере квадрата скорости. Это означает, что, если удвоить скорость, вам понадобится в четыре раза больше энергии, чтобы преодолеть сопротивление.

Другими словами, для каждого приращения дополнительной мощности, которую велосипедист прилагает к педалям, увеличение скорости становится все меньше. По этой причине поиск способов уменьшить сопротивление так же важен для велосипедистов, как и для самолетов или гоночных автомобилей.

Аэродинамика в велоспорте – это обширная и постоянно развивающаяся область, которая может сильно повлиять на производительность велосипедиста. Понимая принципы снижения сопротивления воздуха, оптимизации положения тела и выбора правильного оборудования, велосипедисты могут раскрыть свой истинный потенциал в гонках на шоссе.

Данные измерения, которые представлены в таблице, сделаны на шоссе с использованием измерителя мощности. Для получения объективного наилучшего результата необходим велогонщик, который способен стабильно удерживать тестируемую мощность во время педалирования.

Таблица – Сравнительные показатели аэродинамики, при различной комплектации велосипеда [2]

Комплектация	Скорость (км/ч) при 278 Вт	Мощность, требуемая для 40 км/ч (Вт)*
Шоссейный велосипед, шоссейный шлем, шоссейный руль	40,00	278,3
Шоссейный велосипед, шоссейный шлем, лежак на руле	41,65	248,9
Шоссейный велосипед, аэрошлем, лежак на руле	42,25	239,5
Разделочный велосипед, шоссейный шлем, аэроруль	42,90	229,6
Разделочный велосипед, аэрошлем, аэроруль	43,50	221,0

Значимость использования измерителя мощности для оценки аэродинамики велосипедиста показывает

экспериментальное исследование, которое представлено в таблице, они свидетельствуют тому, что спортсмен совместно с тренером могут проводить самостоятельное исследование для оценки аэродинамических свойств велосипеда, а также корректировать посадку велосипедиста.

Разница между шоссейным велосипедом с лежачим на руле и разделочным велосипедом составило 19,3 ватт, а разница между рамой шоссейного велосипеда и рамой с разделочным рулем составило 29,4 ватта. Эта разница стала возможной благодаря изменению посадки гонщика (шоссейный руль против аэроуля), что позволило сэкономить 60 ватт.

Заключение.

1) Аэродинамика в современном велосипедном спорте превратилась из второстепенного фактора в ключевой элемент стратегии, определяющий результат наравне с физической подготовкой гонщика.

2) Использование измерителя мощности позволило определить на основе оценки влияние аэродинамики на техническую скорость, что существенно изменило подход к подготовке оборудования, экипировки и тактики гонок.

3) Полученные результаты имеют практическое значение для профессиональной подготовки тренеров, спортсменов, в контексте научно обоснованного подхода к повышению эффективности спортивной подготовки аэродинамического фактора.

1. *Equation of motion of a cyclist / P. E. Di Prampero [et al.] // Journal of Applied Physiology. – 1979. – P. 201–206.*

2. *Power output during the Tour de France / S. Vogt [et al.] // International Journal of Sports Medicine. – 2006. – P. 196–201.*

3. *Validation of a mathematical model for road cycling power / J. C. Martin [et al.] // Journal of Applied Biomechanics. – 1998. – P. 85–88.*

Поступила в редакцию: 02.09.2025