

УДК 711.73: 625.711.4

Токмиленко О.С.,  
Клемсонский университет, США,  
д.т.н., профессор П.Ф. Горбачев  
Харковский национальный автомобильно-дорожный университет

## ВЛИЯНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ДОРОГИ НА ЗАТРАТУ ЭНЕРГИИ ПРИ ДВИЖЕНИИ НА ВЕЛОСИПЕДЕ

*Представлен новый подход к планированию велосипедной инфраструктуры, предлагающий выбор оптимального маршрута движения, с учетом времени в пути и затрат энергии велосипедистом. Проведен анализ зависимости факторов влияющих на расход энергии во время движения на велосипеде.*

**Ключевые слова:** велосипед, планирование, затрата энергии, сила, уклон дороги

Велосипед один из старейших видов транспорта, который все еще пользуется популярностью. С развитием автомобильной индустрии использование велосипеда значительно сократилось и, как результат, научные исследования практически сошли на нет. Как бы там ни было, в 1970-х Департамент Транспорта Соединенных Штатов Америки инициировал серию отчетов относительно безопасности использования велосипеда как транспорта и этим открыл новую велосипедную эру в стране [1].

Одним из фундаментальных вопросов, который встал перед инженерами является взаимодействие велосипедного транспорта с моторизованным [2, 3]. Несмотря на то, что ученые и инженеры не пришли к консенсусу относительно этого вопроса, подобное разделение значительно влияет на финансовую реализуемость проектов по строительству велосипедной инфраструктуры. Эффективность транспортной инфраструктуры определяется уровнем ее конечного использования и потому при планировании подобных проектов необходимо понимать природу пользователей и их мотивацию к выбору определенного пути.

Цель поездки на велосипеде выходит за пределы вопроса достижения конечного пункта следования. Сам процесс езды на велосипеде может быть целью. Ученные разделяют цель поездки на велосипеде на утилитарные, рекреационные и смешанные [4]. Целью утилитарной является использование велосипеда как транспортного средства для перемещения к конечному пункту назначения. Разумное сочетание расстояния и времени в пути является важнейшим для такого типа поездок. В то же время, велосипедисты, которые

используют велосипед с рекреационной целью, наиболее ценят качество движения и комфорт во время езды. Смит отмечает, что утилитарные велосипедисты уделяют меньше внимания качеству инфраструктуры и уровню безопасности, и стремятся увеличить эффективность достижения цели движения, в то время как рекреационные велосипедисты ценят безопасность и комфорт самой поездки.

Другим фактором, влияющим на отношение велосипедистов к дорожным условиям является уровень профессионализма. В то время как спортивный мужчина средних лет может использовать практически любую дорогу, молодой неопытный пользователь или напротив пожилой человек предпочтет менее сложный и более безопасный путь.

Большинство современных исследований возникает вокруг вопросов безопасности и комфорта велосипедного движения, которые являются критичными для рекреационных, но не утилитарных пользователей. Другие исследования осуществляются физиологами с целью усовершенствования эффективности профессиональных велогонщиков. Существует заметный недостаток знания для планирования утилитарных поездок велосипедистов со средним физическим уровнем.

Основной характеристикой утилитарных велосипедистов является необходимость добраться до конечной цели. Такие поездки, когда пользователь не раздумывает, совершать поездку или нет, называются обязательными или вынужденными поездками. Смит отмечает, что время в пути имеет значительное влияние на рабочие поездки, осуществляемые на велосипеде. Как бы там ни было, определение время в пути для велосипедного транспорта имеет уникальную особенность не свойственную другим видам транспорта и является не вполне изученной. В отличие от моторизованного транспорта, скорость движения велосипеда значительно сокращается в зависимости от таких факторов как погода, топография, длина пути, длительность поездки и др. Смит объясняет это взаимосвязью физиологических способностей велосипедиста и внешних условий (ветер, наклон дороги, сопротивление качения).

Тэйлор и Дэвидсон [5] подчеркивают значимость горизонтального и вертикального профиля дороги как важного элемента государственных норм по строительству велосипедной инфраструктуры и выделяют недостаток исследований о влиянии этих элементов на эффективность велосипедирования. Вилсон выводит формулу зависимости между силой человека и скоростью движения на велосипеде.

Целью данного исследования является изучить взаимодействие физических характеристик велосипедиста и внешних факторов для разработки рекомендаций по планированию и строительству велосипедной

инфраструктуры, учитывающей минимизацию затрат времени и энергии велосипедиста. Данная статья рассматривает факторы, которые влияют на физическую силу велосипедиста во время движения. Для анализа данных факторов было использована методика предложенная Вилсоном. Исследуемыми переменными были выбраны скорость движения, масса велосипедиста, продольный уклон дороги и скорость встречного ветра. Константные значения: скорость = 5 м/с, масса = 70 кг, уклон = 0% и скорость ветра = 3 м/с. Результаты представлены графически на рисунках 1-4.

В то время как уменьшение сопротивления ветру является одним из наиболее исследуемых вопросов в данной области, на графике видно, что встречный ветер имеет намного меньшее влияние на силу, чем уклон дороги. Несмотря на то что, график взаимосвязи массы и силы человека показывает наименьшее влияния, модель все же должна учитывать различия в физических способностях людей, таких как максимальный уровень энергии и др. Наибольшее и крайне значительное влияние на затраты силы велосипедистом осуществляет вертикальный профиль дороги и скорость движения велосипедиста. Скорость движения в свою очередь определяет время в пути, которое является наиболее значительным фактором для утилитарных велосипедистов.

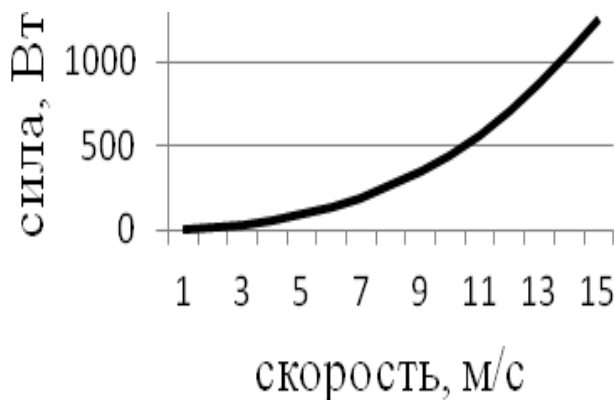


Рис. 1. Зависимость силы от скорости движения

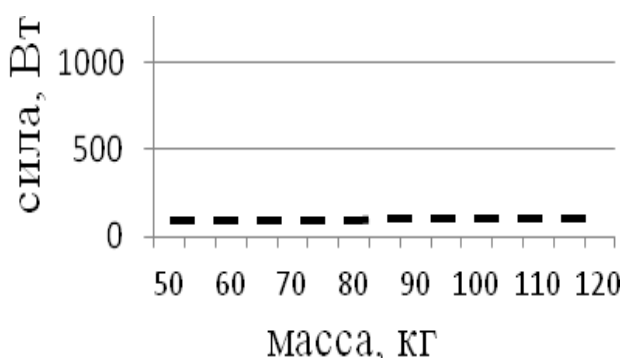


Рис. 2. Зависимость силы от массы велосипедиста

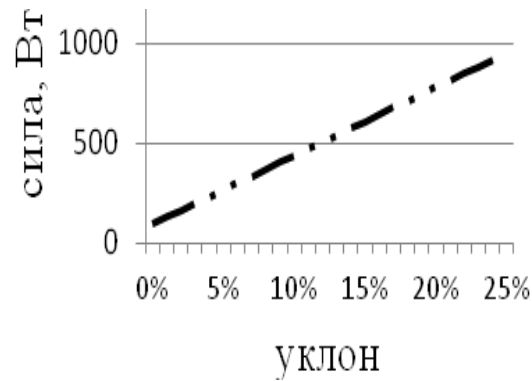


Рис. 3. Зависимость силы от продольного уклона дороги

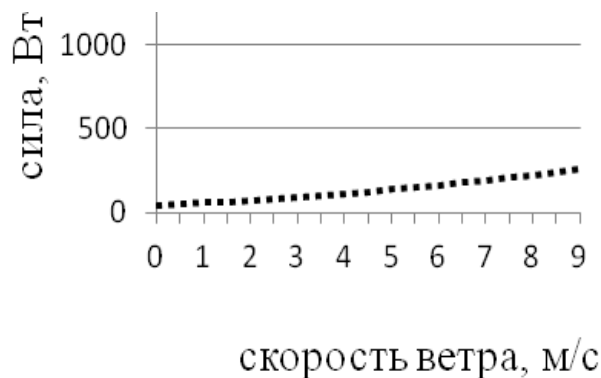


Рис. 4. Зависимость силы от скорости встречного ветра

Учет физических особенностей дороги и реакции велосипедиста на них может значительно усовершенствовать процесс планирования велосипедной инфраструктуры, особенно выделенных путей и велодорожек. Известные способы оценки доступности и связности велопутей через оценку экономического и пространственного характера территории являются ограниченными за счет игнорирования топографии. Данное исследование поможет усовершенствовать существующие методы и сделать их более надежными и эффективными. Авторы ожидают, что данное исследование поможет значительно уменьшить стоимость сбора информации при моделировании велосипедной системы. В настоящее время, распределение корреспонденций осуществляется за счет проведения дорогостоящих анкетирований или сбора GPS данных, которые ограничены размером выборки и источником информации, а также требуют значительных затрат времени. Создание модели выбора пути предоставит возможность упростить процесс сбора информации в дальнейшем.

### Перечень ссылок

1. American Association of State Highway, Transportation Officials. Task Force on Geometric Design, and Transportation Officials. Guide for the Development of Bicycle Facilities: Guide. – Washington, DC: AASHTO, 1999. – 124 p.
2. Forester, J. Bicycle Transportation / J. Forester. – Cambridge: MIT Press, 1983. – 250 p.
3. Forester, J., Bicycle Transportation: A Handbook for Cycling Transportation Engineers. / J. Forester. – Cambridge: MIT Press, 1994. – 346 p.
4. Smith Jr. D. Safety and Locational criteria for bicycle facilities. Final report / Jr. D. Smith. –Washington, DC: FHWA, 1975. – p.103
5. Taylor, D. Review of Basic Research in Bicycle Traffic Science, Traffic Operations, and Facility Design / D. Taylor, W. J. Davis. // Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. 1999. - Vol. 1674. - No. 1. - pp. 102-110.
6. Wilson, D. G. Bicycling Science. / D.G. Wilson, J. Papadopoulos, F. R. Whitt. –Cambridge: The MIT Press, 2004. – 476 p.

### АНОТАЦІЯ

В роботі представлений новий підхід до планування велосипедної інфраструктури, що пропонує обирати оптимальний маршрут руху, враховуючи час у дорозі і витрату енергії велосипедистом. Проведений аналіз залежності факторів, що впливають на витрату енергії під час руху на велосипеді.

**Ключові слова:** велосипед, планування, витрата енергії, сила, ухил дороги

### ABSTRACT

The work presents a new approach for planning bicycling infrastructure. It is suggested to choose optimal route considering travel time and energy expenditure of the rider. The relationship of factors that affect energy expenditure while cycling is analyzed in the paper.

**Key words:** bicycle, planning, energy expenditure, power, slope