

DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-108958>

Научный обзор



Стенды для испытаний несущей конструкции и подвесок мотоцикла. Ресурсные испытания мотоциклов и их компонентов

А.О. Кузьмин, Д.Е. Мещеряков, А.Л. Эйдельман

Государственный научный центр Российской Федерации «НАМИ», Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Ведущие производители мототехники используют обширную номенклатуру испытательного оборудования в процессе создания новых транспортных средств. На различных стадиях проектирования мототехники проводятся статические и динамические испытания для определения характеристик будущего транспортного средства, внесения изменений в конструкцию или для валидации виртуальной модели.

Цель работы – проведение анализа отечественного и иностранного испытательного оборудования с целью создания стенда с беговыми барабанами для испытания мототехники на усталостную долговечность.

Материалы и методы. Были проанализированы результаты испытаний и публикации по теме испытаний мототехники.

Результаты. Проведен анализ различных стендов для испытания мототехники, видов испытаний несущей конструкции мотоцикла.

Заключение. Практическая ценность исследования заключается в использовании проанализированной информации для проектирования и создания стенда с беговыми барабанами для испытания мототехники на усталостную долговечность.

Ключевые слова: мотоцикл; барабанный стенд; сервогидравлический стенд; подвеска мотоцикла; рама мотоцикла.

Для цитирования:

Кузьмин А.О., Мещеряков Д.Е., Эйдельман А.Л. Стенды для испытаний несущей конструкции и подвесок мотоцикла. Ресурсные испытания мотоциклов и их компонентов. // Известия МГТУ «МАМИ». 2022. Том 16, № 4. С. 337–343. DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-108958>

Рукопись получена: 23.06.2022

Рукопись одобрена: 12.10.2022

Опубликована: 15.12.2022

DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-108958>

Review

The test rigs for motorcycle framework and suspension testing. Durability testing of motorcycles and their components

Andrey O. Kuzmin, Denis Ye. Meshcheryakov, Alexander L. Eidelman

State Scientific Center of the Russian Federation "NAMI", Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: Leading motorcycle manufacturers use a wide range of testing equipment in the process of development of new vehicles. At various stages of the motorcycle development, static and dynamic tests are carried out to determine the properties of the being developed vehicle, to make changes in the design or to validate the virtual model.

AIMS: The analysis of domestic and foreign testing equipment in order to create the roller test rig for fatigue testing of motorcycles.

METHODS: The tests results and articles on the subject of motorcycle testing were analyzed.

RESULTS: Various motorcycle test rigs and types of the motorcycle framework testing were analyzed.

CONCLUSIONS: The practical value of the study lies in the use of the analyzed information for the development and producing of the roller test rig for motorcycle durability testing.

Keywords: *motorcycle, roller test rig, servohydraulic test rig, motorcycle suspension; motorcycle framework.*

Cite as:

Kuzmin AO, Meshcheryakov DYe, Eidelman AL. The test rigs for motorcycle framework and suspension testing. Durability testing of motorcycles and their components. *Izvestiya MGTU «MAMI»*. 2022;16(4):337–343. DOI: <https://doi.org/10.17816/2074-0530-108958>

Received: 23.06.2022

Accepted: 12.10.2022

Published: 15.12.2022

ВСТУПЛЕНИЕ

Рынок мототехники с настоящее время продолжает своё интенсивное развитие. Ведущими фирмами, производителями мототранспортных средств, наряду с расчетными исследованиями, проводятся объёмные работы по натурным испытаниям, создаваемой техники, с целью доводки и оптимизации конструкции. Каждое предприятие, как правило, имеет собственные методики, основанные на накопленном опыте и возможностях. В то же время, можно выделить следующие основные направления по экспериментальной проверке агрегатов шасси мотоциклов, которые в той или иной степени, применяются производителями. Среди них:

- оценка жесткости и прочности компонентов мотоцикла, при его испытаниях, как отдельными агрегатами (вилка, балансирующий рычаг, рама), так и испытаниях этих агрегатов в составе мотоцикла в сборе;
- оценка модальных характеристик рамы, выявление резонансных зон и частот;
- оценка долговечности агрегатов передней и задней подвесок при их испытаниях на специализированных стендах;
- оценка долговечности мотоцикла в сборе с использованием режимов нагружения, полученных на основании ходовых режимометрических испытаний.

Важно отметить, что первые три направления экспериментальных работ рекомендуются и проводятся на стадии проектирования и доводки агрегатов шасси, а также для получения целевых показателей на основе аналогов. Четвертый этап проводится на заключительной стадии испытаний для окончательной проверки долговечности всех агрегатов и систем шасси.

СТЕНДОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ АГРЕГАТОВ ШАССИ

Испытания отдельных ответственных агрегатов мотоцикла в стендовых условиях, которыми являются рама, вилка передней подвески и балансирующий рычаг, технически и экономически оправданы, поскольку позволяют производить оценку характеристик и осуществлять доводку конструкции на стадии проектирования, не дожидаясь полной готовности мотоцикла. К тому же полученные характеристики являются ценным материалом для подразделений, занимающихся расчетным анализом конструкций, которые могут произвести необходимые уточнения в модели. Рассмотренные компоненты могут испытываться как статическими, так и динамическими нагрузками. Статические испытания необходимы для определения действительной прочности детали, так как виртуальная модель «идеальна», в ней отсутствуют какие-либо погрешности производства. Ресурсные испытания компонентов производят с целью определения

их долговечности, такие испытания зачастую проводят для всего узла в сборе, чтобы наиболее приблизить условия нагружения к тем, которые будут при дальнейшей эксплуатации мотоцикла.

СТЕНДОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ РАМЫ МОТОЦИКЛА

Рама является несущей системой мотоцикла, на ней закрепляется передняя и задняя подвески, двигатель, тяговая батарея и элементы трансмиссии. Рама так же находится под воздействием нагрузок от водителя, пассажира и грузов, находящихся на мотоцикле [1]. На раму действуют нагрузки, возникающие при торможении и разгоне мотоцикла, а также нагрузки при маневрировании. Величины этих нагрузок задаются ещё на стадии проектирования мотоцикла, исходя от назначения мотоцикла (кроссовый, шоссейный, спортивный и другие), поэтому оценить их влияние не представляется затруднительным. Рассчитанные нагрузки используются при проведении статических испытаний рамы мотоцикла, к ним относятся испытания по определению угловой жесткости рамы без и с установленным двигателем с коробкой передач. Связано это с тем, что силовая установка мотоцикла является частью несущей конструкции мотоцикла. Раму мотоцикла закрепляют в точках крепления передней вилки или крепления задней подвески, а с противоположной стороны прикладывают усилие или крутящий момент. Внешний вид такого стенда показан на рис. 1.

Ресурсные испытания рамы проводятся для определения её усталостной прочности и долговечности. В процессе движения нагрузки, возникающие в пятне контакта колеса с дорогой, вызванные неровностями профиля

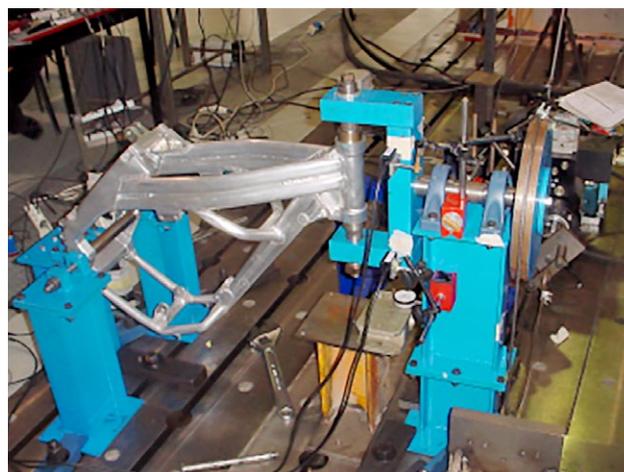


Рис. 1. Стенд для определения угловой жесткости рамы мотоцикла [1].

Fig. 1. Test rig for determining the angular rigidity of the motorcycle framework [1, p 519].

дороги, передаются через подвеску мотоцикла на раму. Это воздействие как количественно, так и по времени, носит случайный характер, подчиняется определенным статистическим законам и как правило имеет нормальный закон распределения воздействующих нагрузок. В связи с этим, испытания могут проводиться на основе сгенерированного сигнала по определенным статическим законам или же на основе нагрузок, записанных на мотоцикле-аналоге при его движении по дорогам полигона.

СТЕНДОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ ВИЛКИ ПЕРЕДНЕЙ ПОДВЕСКИ И ЗАДНЕГО БАЛАНСИРНОГО РЫЧАГА (МАЯТНИК) МОТОЦИКЛА

Подвеска осуществляет упругую связь несущей системы транспортного средства с его колесами и при этом уменьшает динамические нагрузки, действующие на транспортное средство, водителя, пассажиров и грузы. Подвеска передает силы и моменты, возникающие от внешних воздействий, как на колеса, так и на несущую систему. Кроме того, подвеска гасит вертикальные и сопутствующие колебания колёс [2].



Рис. 2. Вилка передней подвески мотоцикла на стенде Cam Drum.

Fig. 2. The motorcycle front suspension fork at the Cam Drum test rig.

Элементы направляющего аппарата подвесок испытывают при квазистатическом нагружении для определения прочностных параметров, величины нагрузок, как и в случае рамы мотоцикла, они могут быть определены расчетным путем. Задний балансирный рычаг может подвергаться испытанию по определению его крутильной жесткости. Направление нагружения в данном случае будет определяться особенностями конструкции будущего мотоцикла.

Для определения усталостной прочности элементов подвески мотоцикла определение нагрузок может быть затруднительным, поэтому они испытываются в составе передней и задней подвесок в сборе или в составе комплектного мотоцикла. Такие испытания могут проводиться как на сервогидравлических стендах, так и на стендах с беговыми барабанами. Подвеска крепится на жесткой оснастке, имитирующей раму мотоцикла, а колесо устанавливается на беговой барабан, с установленными на нем неровностями.

Специалисты известной фирмы Öhlins (Швеция), работающей в области проектирования и исследований подвесок мотоциклов и горных велосипедов, разработали методику испытаний вилки мотоцикла и балансирного рычага. Эти работы были выполнены на стенде с беговыми барабанами – Cam Drum. Величины нагружения рассчитываются исходя из геометрических размеров неровностей, установленных на барабанах, направлением их установки на барабанах и скоростью вращения самих барабанов. Передняя подвеска мотоцикла, установленная на стенде Cam Drum, изображена на рис. 2.

СТЕНДОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ КОМПЛЕКТНОГО МОТОЦИКЛА

Главным отличием от испытаний, описанных в предыдущем разделе статьи, является комплектность объекта испытаний. Мотоцикл испытывается в сборе с обеими подвесками, двигателем, макетом тяговой батареи, навесным оборудованием, имитаторами водителя (возможно, пассажира) и грузом. Такие условия воссоздают наиболее тяжелое нагружение, которое достаточно сильно приближенно к условиям эксплуатации мотоцикла. Подобные испытания проводятся, как правило, с нагружением одного или двух колес мотоцикла. Так же могут испытываться мотоциклы с боковым прицепом (ноляской) и квадроциклы. В случае испытаний одиночного мотоцикла или мотоцикла с боковым прицепом на стенде с 6-ю степенями свободы, сложность заключается в установке объекта испытаний на стенде, так как указанные стенды предназначены для испытаний автомобильных подвесок или автомобилей в сборе и предполагают закрепление объекта испытаний за счет ступичного узла. Во время таких испытаний могут оцениваться характеристики передней и задней подвесок

с получением амплитудно-частотных характеристик, выявление слабых мест и оценка усталостной прочности рамы и элементов подвески.

В качестве динамических возбудителей на стендах распространение получили сервогидравлические цилиндры и электромеханические барабанные стенды.

Сервогидравлические цилиндры являются универсальной системой нагружения, обеспечивающей различные режимы динамического нагружения объекта испытаний от стандартных сигналов в режиме развертки в частотном диапазоне до воспроизведения записанных на дороге сигналов или смоделированных режимов на базе математической модели. Диапазон нагрузок, ускорений и задаваемого сигнала определяется исключительно техническими характеристиками гидравлических цилиндров, масляной станции и системы управления.

Одним из способов испытания является испытание на имитаторе дороги с вертикально расположенными силовыми возбудителями. Как правило это сервогидравлический стенд. Во время таких испытаний раму испытывают вместе с подвесками и другими узлами, которые закрепляются на раме. К недостаткам указанных испытаний можно отнести одно направление нагружения (только вертикальные нагрузки) и отсутствие действия гироскопического момента из-за отсутствия вращения колес мотоцикла, а также высокая стоимость по сравнению со стендами с беговыми барабанами.

Для приближения условий испытаний к реальным условиям эксплуатации мотоцикла, рамы испытываются в составе мотоцикла на стендах с 6 степенями свободы, например MTS 329. Конструкция таких стендов представляет собой сервогидравлические цилиндры, усилие от которых передается через качалки и тяги к имитатору колеса. Указанные стенды имеют самую высокую стоимость по сравнению с другими. К их достоинствам можно отнести возможность воспроизводить все виды нагружения: три силы и три момента. Сложность при таких испытаниях заключается в установке мототехники на стенде, так как подобные стенды преимущественно проектируются для испытаний агрегатов автомобилей, поэтому, нагружающие устройства стенда соединяются с транспортным средством за счет ступичных узлов. Такой стенд можно использовать для испытаний квадроциклов (рис. 3).

Вместе с тем, мототехника испытывается на барабанных стендах, которые вращаются с заданными скоростями, а на поверхности барабанов расположены неровности различной геометрии. По сравнению с сервогидравлическими – стенды с беговыми барабанами имеют меньшую стоимость, более простое воздействие на объект испытаний, возможность обеспечивать вертикальные, продольные и поперечные нагрузки. К их недостаткам можно периодический характер нагружения, который зависит от количества



Рис. 3. Стенд с 6 степенями свободы MTS 329.
Fig. 3. The MTS 329 6 degrees-of-freedom test rig.

препятствий и расположения препятствий, установленных на барабанах.

Важной проблемой, как при испытаниях на сервогидравлических стендах, так и на Sam Drum является система удерживания мотоцикла, которая должна до минимума снижать влияние оснастки на массу и инерционные свойства объекта испытаний. Каждая компания имеет в своем арсенале различные системы закрепления, начиная от простых тросов, заканчивая сложными системами с направляющими стойками и ремнями, изготовленными из специальных материалов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам настоящего обзора можно сделать вывод, что испытания подвесок, элементов несущей конструкции и комплектных мотоциклов являются неотъемлемой частью проектирования и производства мототехники. Обычно, компании опираются на собственные методики и схемы во время испытаний, благодаря этому образовалась большая база знаний и материалов, которые помогают в проектировании испытательных стендов, разработке новых методик испытаний и проведении самих испытаний.

В НАМИ проводятся испытания комплектных мотоциклов и отдельных узлов подвески. Мотоцикл испытывается на стенде «Дорожный имитатор», являющимся стендом, состоящим из сервогидравлических цилиндров. Устанавливая цилиндры в различных конфигурациях, удастся испытывать одиночный мотоцикл, мотоцикл с боковым прицепом и квадроциклы.

В настоящее время ведётся разработка и производство барабанного стенда для ресурсных испытаний мототехники. Этот стенд будет иметь модульную конструкцию, благодаря которой представляется возможным испытание как одиночных подвесок, так и комплектного мотоцикла в различных его конфигурациях. Следует отметить интересный факт, что «барабанный» стенд был

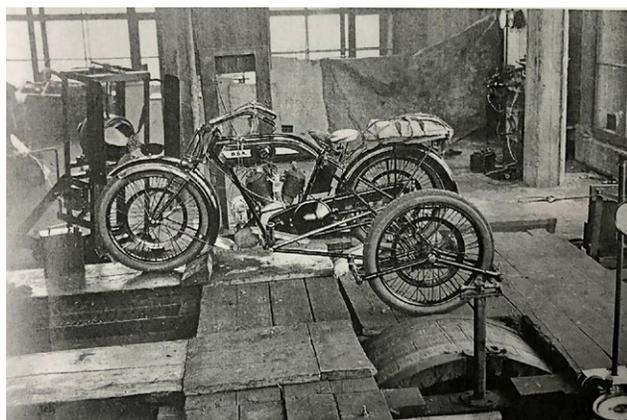


Рис. 4. Стенд с беговыми барабанами для определения тягово-скоростных свойств мотоциклов. НАМИ 1922 г.

Fig. 4. The roller test rig for defining the traction and speed performance of motorcycles. NAMI, 1922.

создан в НАМИ в 1922 году (ровно 100 лет назад). Его отличительной чертой является то, что он был спроектирован для измерения тягово-скоростных свойств мотоцикла (рис. 4).

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Вклад авторов. *А.Л. Эйдельман, А.О. Кузьмин* — поиск публикации по теме статьи, написание текста рукописи; *Д.Е. Мещеряков* — редактирование текста рукописи; *А.О. Кузьмин* — создание

ЛИТЕРАТУРА

1. Иваницкий С.Ю., Карманов Б.С., Рогожкин В.В. и др. Мотоцикл. Теория, конструкция, расчет. М.: Машиностроение, 1971.
2. Гусаков Н.В., Зверев И.Н., Карунин А.Л. и др. Конструкция автомобиля. Шасси. Учебник для ВУЗов. М.: МАМИ, 2000.
3. Бекман В.В. Динамика мотоциклов скоростного типа. М.: Физкультура и спорт, 1956.
4. Nord R. Modelling of a motorcycle /mountain bike suspension and digitization of a cam drum motor control. Degree project in vehicle engineering, second cycle, 30 credits. Stockholm: KTH Royal Institute of Technology, School of Engineering Sciences, 2019. Режим доступа: <https://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:1380258/FULLTEXT01.pdf> дата обращения:

REFERENCES

1. Ivanitsky SYu, Karmanov BS, Rogozhkin VV, et al. Motorcycle. Theory, design, calculation. Moscow: Mashinostroenie; 1971. (in Russ).
2. Gusakov NV, Zverev IN, Karunin AL, et al. Car design. Chassis. Textbook for universities. Moscow: MAMI; 2000. (in Russ).
3. Beckman VV. Dynamics of high-speed motorcycles. Moscow: Fizkultura i sport; 1956. (in Russ).

изображений. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям *ICMJE* (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

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

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors contribution. *A.L. Eidelman, A.O. Kuzmin* — search for publications, writing the text of the manuscript; *D.Ye. Meshcheryakov* — editing the text of the manuscript; *A.O. Kuzmin* — creating images. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Competing interests. The authors declare no any transparent and potential conflict of interests in relation to this article publication.

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

5. Boccione , Cheli F., Pezzola M., et al. Static And Dynamic Properties Of A Motorcycle Frame: Experimental And Numerical Approach // WIT Transactions on Modelling and Simulation. 2005. Vol. 41. P. 517-526. doi: 10.2495/CMEM050501
6. Jacoby G. Prüfung im Automobilbau // Prüfung von werkstoffen und maschinen-bauteilen vittels programmierbarer elektrohydraulischer prüfmaschinen. Darmstadt, 1984.
7. Gadola M., Armellin D., Marchesin F. Design of a Road Simulator for Motorcycle Applications Daniel Chindamo // Appl. Sci. 2017. Vol. 7(12). P. 1220. doi: 10.3390/app7121220
8. Model 329 Spindle-Coupled Road Simulators [internet] Режим доступа: <https://www.mts.com/en/products/automotive/full-vehicle-test-systems/model-329-spindle-coupled-road-simulator> дата обращения: 23.06.2022.

4. Nord R. Modelling of a motorcycle /mountain bike suspension and digitization of a cam drum motor control. Degree project in vehicle engineering, second cycle, 30 credits. Stockholm: KTH Royal Institute of Technology, School of Engineering Sciences, 2019. Available from: <https://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:1380258/FULLTEXT01.pdf> accessed: 23.06.2022.

5. Boccione M, Cheli F, Pezzola M, et al. Static And Dynamic Properties Of A Motorcycle Frame: Experimental And Numerical Approach. *WIT Transactions on Modelling and Simulation*. 2005;41:517-526. doi: 10.2495/CMEM050501
6. Jacoby G. Prüfung im Automobilbau. In: *Prüfung von werkstoffen und maschinen-bauteilen vittels programmierbarer elektrohydraulischer prufmaschinen*. Darmstadt; 1984.

7. Gadola M, Armellin D, Marchesin F. Design of a Road Simulator for Motorcycle Applications Daniel Chindamo. *Appl. Sci*. 2017;7(12):1220. doi: 10.3390/app7121220
8. Model 329 Spindle-Coupled Road Simulators [internet] Available from: <https://www.mts.com/en/products/automotive/full-vehicle-test-systems/model-329-spindle-coupled-road-simulator> accessed: 23.06.2022.

ОБ АВТОРАХ

***Кузьмин Андрей Олегович,**

Инженер-исследователь 3 категории испытательного центра
продукции автомобилестроения;
адрес: Российская Федерация, 105005, Москва,
2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4062-6345>;
eLibrary SPIN: 1419-7851;
e-mail: a.kuzmin@nami.ru

Мещеряков Денис Евгеньевич,

канд. физ.-мат. наук,
начальник управления исследований и испытаний несущей
конструкции автотранспортных средств;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1069-1517>;
eLibrary SPIN: 3301-3941;
e-mail: D.Meshcheryakov@nami.ru

Эйдельман Александр Львович,

канд. техн. наук,
старший научный сотрудник испытательного центра
продукции автомобилестроения;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7437-7714>;
eLibrary SPIN: 1316-1950;
e-mail: alexander.eidelman@nami.ru

*Автор, ответственный за переписку

AUTHORS' INFO

***Andrey O. Kuzmin,**

Research engineer category 3 of the Automotive Product
Testing Center;
address: 5 2nd Baumanskaya street, 105005 Moscow,
Russian Federation;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4062-6345>;
eLibrary SPIN: 1419-7851;
e-mail: a.kuzmin@nami.ru

Denis Y. Meshcheryakov,

Cand. Sci. (Phys.-Math.),
Head of the Department for Research and Testing of the Carrier
Structure of Motor Vehicles;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1069-1517>;
eLibrary SPIN: 3301-3941;
e-mail: D.Meshcheryakov@nami.ru

Alexander L. Eidelman,

Cand. Sci. (Tech.),
Senior Research Associate of the Automotive Product
Testing Center;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7437-7714>;
eLibrary SPIN: 1316-1950;
e-mail: alexander.eidelman@nami.ru

*Corresponding author