

DOI: 10.53078/20778481_2022_3_96

УДК 629.113

А. В. Юшкевич, М. Л. Петренко, С. Ю. Билык, А. А. Мельников

РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ТОРМОЗНЫХ СИСТЕМ И МЕХАНИЗМОВ ДВУХКОЛЕСНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

A. V. Yushkevich, M. L. Petrenko, S. Y. Bilyk, A. A. Melnikov

DEVELOPMENT OF A TEST BENCH FOR BRAKING SYSTEMS AND MECHANISMS OF TWO-WHEELED VEHICLES

Аннотация

Увеличение количества мотоциклов, мопедов и мотороллеров на дорогах общего пользования влечет за собой увеличение количества дорожных происшествий с их участием. Мотоциклы из-за своей конструкции являются склонными к опрокидыванию, падению при начале скольжения и в процессе торможения, что приводит к потере управляемости и устойчивости.

Для повышения безопасности движения мотоциклов и других двухколесных транспортных средств требуется разработка систем безопасности. Такими системами активной безопасности должны выступать системы, использующие в качестве источников информации силовые источники информации для работы алгоритмов управления систем. К источникам информации о дорожных условиях относятся: силовые факторы, тормозное усилие, величина боковых сил, нормальные реакции в пятне контакта колеса с опорной поверхностью.

Разработка новых антиблокировочных систем и их усовершенствованных алгоритмов управления на силовых факторах требует целого ряда стендовых и дорожных испытаний с воссозданием и реализацией с помощью стенда дорожных условий, которые соответствуют дорожным режимам проведения испытаний.

Ключевые слова:

стенд, роликовый стенд, испытание мотоцикла, испытание тормозной системы, пьезометрический датчик, тензометрический датчик, процесс торможения, датчик боковых сил, нормальные реакции, электродвигатель, частота вращения, стендовые испытания, тяговая сила, тормозная сила.

Для цитирования:

Разработка стенда для испытания тормозных систем и механизмов двухколесных транспортных средств / А. В. Юшкевич, М. Л. Петренко, С. Ю. Билык, А. А. Мельников // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2022. – № 3 (76). – С. 96–107.

Abstract

An increase in the number of motorcycles, mopeds and scooters on public roads entails an increase in road accidents with their involvement. Due to their design, motorcycles are prone to tipping over and falling down when they start to slide during braking, leading to the loss of control and stability.

The development of safety systems is required to improve safety of motorcycles and other two-wheeled vehicles. These systems of active safety are those using force sources of information as the information source for the system control algorithms to operate. The sources of information about road conditions include force factors, braking force, lateral forces, normal reactions in the contact patch between the wheel and the road surface.

The development of new anti-lock braking systems and their improved algorithms of control based on force factors requires a number of bench and road tests with the test bench creating and implementing road conditions, which correspond to road conditions of conducting tests.

Keywords:

test bench, roller test bench, motorcycle test, braking system test, piezometric sensor, strain gauge, braking process, lateral force sensor, normal reactions, electric motor, speed of rotation, bench testing, traction force, braking force.

For citation:

Development of a test bench for braking systems and mechanisms of two-wheeled vehicles / A. V. Yushkevich, M. L. Petrenko, S. Y. Bilyk, A. A. Melnikov // The Belarusian-Russian university herald. – 2022. – № 3 (76). – P. 96–107.

Введение

Безопасность движения двухколесных транспортных средств обуславливается конструктивными параметрами, оказывающими влияние на пассивную безопасность и активные системы безопасности, обеспечивающими помощь водителю мотоцикла в процессе управления и контроль за поведением транспортного средства в ходе торможения. От конструктивных параметров зависят точки расположения датчиков для снятия силовых параметров, возникающих в пятне контакта колеса с опорной поверхностью.

С целью повышения уровня исследований систем активной безопасности потребовалась разработка измерительного стенда, который позволил бы максимально приблизить моделирование стендовых испытаний к дорожным условиям с возможностью имитации условий процесса торможения при криволинейном движении. При криволинейном движении происходит поворот рулевого колеса и наклон корпуса мотоцикла. На поведение мотоцикла влияют также его геометрические параметры. При наклоне корпуса мотоцикла увеличивается вероятность срыва колеса в боковом направлении при торможении. Важной задачей при моделировании процесса торможения на стенде является обеспечение возможности перераспределения нормальных сил, действующих на колеса мотоцикла. Для этого требуется обеспечить возможность колебания масс мотоцикла относительно точки закрепления.

На устойчивость мотоцикла при движении, в процессе разгона и торможения существенное влияние оказывают его геометрические параметры. Наклон передней вилки, расположение

центра масс мотоцикла, жесткость и упругость передней и задней подвески влияют на раскачивание и перераспределение нормальных сил. Существует ряд систем активной безопасности, работающих на принципе управления геометрическими параметрами для повышения устойчивости мотоцикла [2].

К пассивным мерам безопасности относятся конструктивные параметры геометрии двухколесных транспортных средств, влияющих на устойчивость мотоцикла при движении. Основные геометрические параметры мотоцикла представлены на рис. 1.

Вылет вилки мотоцикла зависит от угла наклона рулевой колонки. Путем изменения угла наклона рулевой колонки и вылета передней вилки мотоцикла возможно изменение коэффициента управляемости.

На устойчивость мотоцикла оказывают влияние база мотоцикла и вылет. Соотношение данных параметров влияет на коэффициент устойчивости R , который вычисляется по формуле [1]

$$R = C / (L + C) \cdot 100 \% \quad (1)$$

Взаимосвязь между геометрическими параметрами мотоцикла и коэффициентом устойчивости характеризует класс мотоцикла, обуславливающий дорожные условия эксплуатации и стиль вождения, и представлена в табл. 1.

Геометрические параметры также влияют на расположение центра масс двухколесного мотоцикла и посадку водителя. Увеличение колесной базы приводит к снижению вероятности возникновения опрокидывания мотоцикла через руль. При этом при рассмотрении конструктивных параметров двухколесных транспортных средств следует учи-

тывать их влияние на источники информации о нормальных реакциях, ве-

личины боковых сил в пятне контакта колеса с опорной поверхностью.

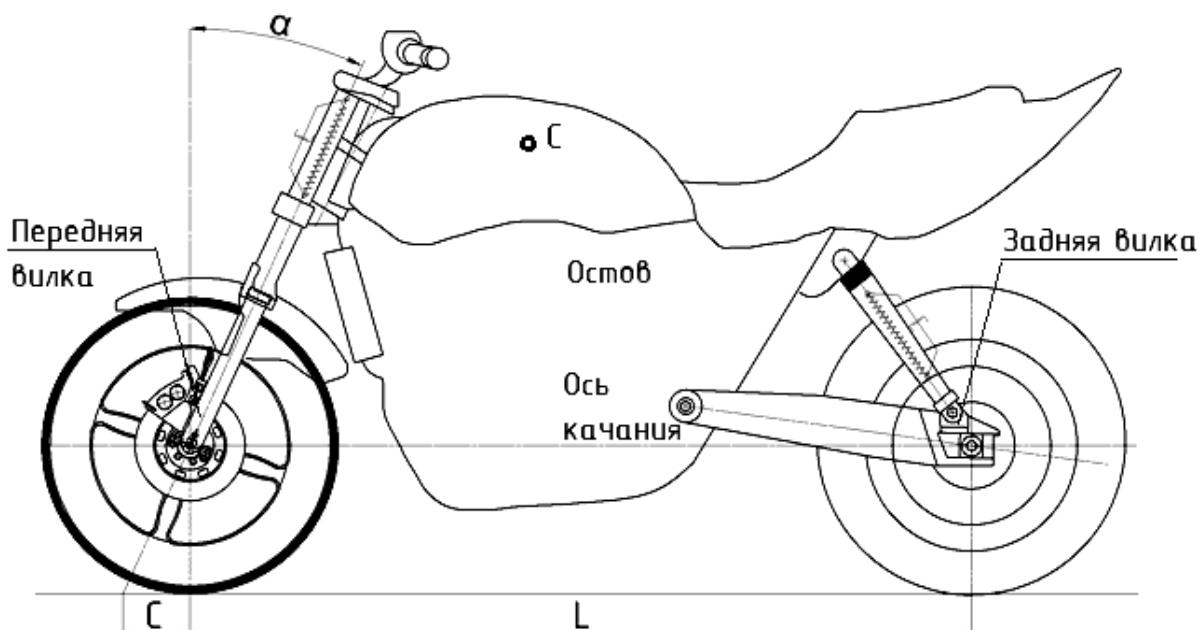
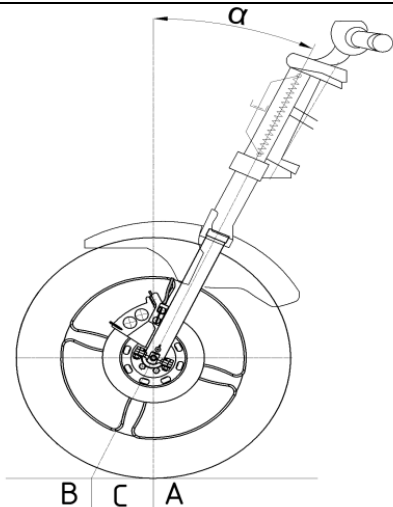
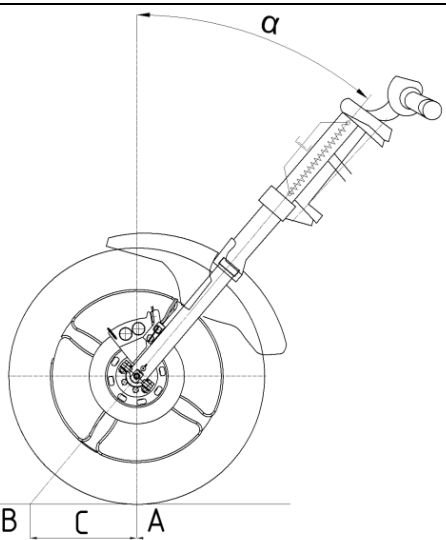


Рис. 1. Основные геометрические параметры мотоцикла: L – база мотоцикла; C – вылет; α – угол наклона рулевой колонки

Табл. 1. Взаимосвязь между геометрическими параметрами мотоцикла и коэффициентом устойчивости

Класс мотоцикла	Вылет C , мм	R , %	Схема передней вилки
Спортбайк	85...100	5,5...6	

Окончание табл. 1

Класс мотоцикла	Вылет C , мм	R , %	Схема передней вилки
Классик	100...110	6...7	
Крузер	130...150	< 7	

Согласно правилам ЕЭК № 13 [3] и принятым в 2012 г. законам все мотоциклы, оснащенные двигателями объемом 125 см^3 и выше, должны иметь антиблокировочные системы. Разработка и совершенствование алгоритмов управления САБ с применением источников информации на первичных факторах, в качестве которых выступают тормозное усилие, величина боковых сил, нормальные реакции, реализуемые в пятне контакта колеса с опорной поверхностью [4–6], и модернизация систем, функционирующих на основе источников информации о силовых факторах, требует проведения широкого

перечня испытаний с анализом полученных результатов.

Для проведения исследований САБ, тормозной системы и рабочих тормозных устройств требуется замерить множество параметров. При стендовых испытаниях определяют тормозной момент, приводное усилие, действующее на тормозные колодки испытуемого тормозного механизма, давление в гидравлическом приводе тормозного механизма, температуру тормозных накладок, частоту вращения тормозного диска. Для определения, измерения и отслеживания контролируемых параметров тормозной системы и системы активной

безопасности мотоцикл и разрабатываемый стенд оснащаются всеми необходимыми датчиками. Стенд исследования

тормозных систем, механизмов и систем активной безопасности мотоциклов представлен на рис. 2.

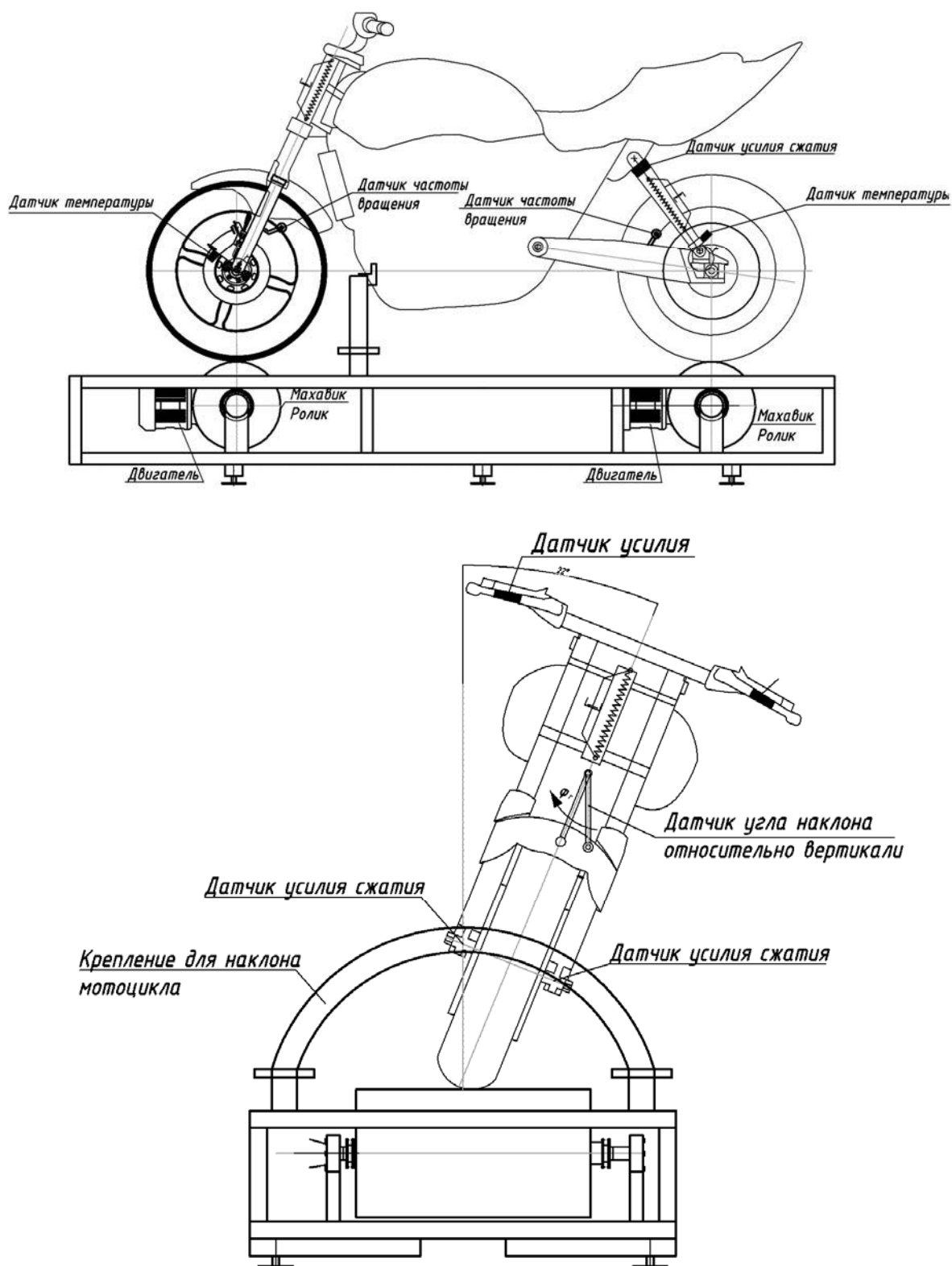


Рис. 2. Стенд исследования тормозных систем, механизмов и систем активной безопасности мотоциклов

Разработан роликовый стенд, который позволяет проводить испытания мотоцикла в процессе торможения и разгона и выполнять наклон мотоцикла на угол 15 град.

С целью измерения и отслеживания параметров мотоцикла (боковых сил в пятне контакта колеса с опорной поверхностью, нормальных реакций, частоты вращения колеса), тормозной системы и систем активной безопасности двухколесного транспортного средства на стенде смонтированы следующие датчики.

Датчик частоты вращения – отслеживает частоту вращения колес с точностью до $0,05 \text{ мин}^{-1}$.

Датчик температуры – отслеживает температуру нагрева тормозного диска в процессе торможения, что позволяет проводить контроль температуры с точностью до $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$.

Датчик усилия, установленный на приводной рукоятке и педали заднего тормозного механизма, – отслеживает усилие воздействия, приложенное к приводу тормозного механизма, и момент воздействия на тормозной привод, что в совокупности с остальными датчиками позволяет измерять величину усилия, с которым происходит воздействие на привод, достоверно проводить измерения, обеспечив одинаковое значение в момент измерений, и определять скорость срабатывания тормозного привода замером времени между началом воздействия на орган управления и созданием усилия в тормозном механизме.

Два датчика усилия сжатия, установленные в перьях передней вилки на оси вращения колеса, – отслеживают изменение нормальных сил, действующих на амортизационную вилку. Рассчитаны на 4000 Н.

Датчик усилия сжатия, установленный в крепление амортизатора маятниковой вилки заднего колеса мотоцикла, – отслеживает изменение нормальных сил, действующих на заднее коле-

со. Рассчитан на 10000 Н.

Датчик угла поворота – отслеживает угол поворота передней вилки мотоцикла при криволинейном движении, что позволяет отслеживать угол поворота рулевого колеса.

Крепление для наклона мотоцикла, фиксирующее мотоцикл на стенде за раму мотоцикла, позволяет ему оставаться подвижным, что дает возможность отслеживать перераспределение нормальных нагрузок в процессе торможения и разгона мотоцикла.

На стенде установлены два электродвигателя, подключенные к инвертору и управляемые их частотой вращения с помощью разработанного программного обеспечения.

Отслеживание частоты вращения колес мотоцикла и барабанов стенда индивидуально, дает возможность отслеживать относительное скольжение в пятне контакта за счет отношения частоты вращения приводящего во вращение барабана и ведомого колеса, что позволяет с точностью до $0,05 \text{ с}$ замерить момент начала скольжения колеса в пятне контакта.

Двигатели могут работать синхронно и управляться одновременно, могут управляться и работать каждый в своем заданном режиме или же могут работать в режиме, когда один двигатель работает, а второй приводится в действие колесом мотоцикла, вращающимся в приводном режиме.

С помощью двигателя определяется тормозное усилие, возникающее на ролике стенда в процессе торможения, а также мощность и момент, затрачиваемый на раскручивание ролика стенда в тяговом режиме. Мощность двигателя $N = 4,5 \text{ кВт}$, частота вращения $n = 1420 \text{ мин}^{-1}$.

Разработанный стенд оснащается измерительным комплексом сбора и обработки информации, передающим результаты измерения на персональный компьютер. Измерительный блок способен передавать данные на расстоя-

ние до 100 м.

Устройство сбора и обработки информации – основная часть устройства блока измерения и обработки данных. Представляет собой микропроцессорное устройство, основными задачами которого являются:

1) формирование необходимых уровней напряжения для питания модулей устройства, а также датчиков;

2) обработка показаний датчиков микроконтроллером;

3) программная фильтрация показаний датчиков;

4) реализация протокола обмена данными между УСОИ и ПК посредством интерфейса UBS2.0 или посредством беспроводного протокола обмена данными на основе радиомодулей.

Устройство содержит 16 аналоговых (А Вх) и 16 цифровых (Ц Вх) входов.

Обработка данных аналоговых входов производится прецизионным, быстродействующим АЦП с высокой разрешающей способностью. Для согласования сигнала, идущего с аналогового датчика к АЦП, используется модуль согласования уровней; для выбора обрабатываемого канала – быстродействующий аналоговый мультиплексор.

Для обработки данных от цифровых датчиков используется встроенная периферия микроконтроллера; для обработки данных со всех 16 цифровых входов – быстродействующая мультиплексорная матрица.

Программа микроконтроллера основана на операционной системе реального времени, благодаря чему микроконтроллер способен параллельно выполнять операции сбора, обработки, фильтрации и передачи данных.

Передача данных возможна посредством высокоскоростного интерфейса передачи данных с помощью беспроводного интерфейса, используя радиомодуль. Дальность связи на открытой местности составляет 100 м.

Питается устройство от сетевого напряжения 220 В/50 Гц либо, при его отсутствии, от автономного источника питания 12 В.

Основное назначение модуля питания – формирование необходимых уровней напряжения, питающих датчики и модули устройства. Также данный модуль выполняет функцию контроля уровня зарядки автономного источника питания.

В качестве источников информации о величине боковых сил и нормальных реакций применяются тензометрические и пьезометрические датчики.

Современные антиблокировочные системы, устанавливаемые на мотоциклы, представляют комплекс устройств, имеющих сложный вычислительный блок управления и гидравлические элементы тормозной системы, в которых применяются дорогостоящие материалы, изготовленные с высокой точностью, что приводит к существенному повышению стоимости транспортных средств, на которые они устанавливаются.

Высокая стоимость блоков управления САБ связана с применением сложных вычислительных устройств, функционирующих на основе алгоритмов на кинематических параметрах.

Применение в алгоритмах управления источников информации о силовых факторах, возникающих в пятне контакта колеса с опорной поверхностью [4–6], в качестве которых выступают величина боковых сил в пятне контакта, нормальные реакции, фактически реализуемый тормозной момент, позволяет повысить быстродействие работы алгоритма управления за счет применения первичных источников информации, которые дают возможность повысить точность принятия решения вырабатываемого управляющего воздействия.

Система обработки данных, получаемых от датчиков, установленных на стенде, позволяет проводить комплексное исследование процесса торможения

и эффективности тормозных систем и механизмов.

Отслеживание времени между воздействием на датчик приводного усилия, установленный на рукоятку тормозного привода тормозной системы, и моментом нарастания тормозного момента, возникающего на ролике тормозного стэнда, дает возможность определить скорость срабатывания тормозного привода.

Датчик частоты вращения определяет частоту вращения колеса, установленного на ролик стэнда, и позволяет фиксировать момент проскальзывания колеса путем сравнения разницы частоты вращения, определяемой датчиком частоты вращения, и частоты вращения двигателя. Моделирование проскальзывания колеса в процессе торможения дает возможность выполнять проверку работы антиблокировочной системы и других систем активной безопасности. Отслеживание изменения фактически реализуемого тормозного момента и момента проскальзывания колеса позволяет оценивать эффективность рабо-

ты системы активной безопасности и отслеживать изменение величины боковых сил, возникающих в пятне контакта колеса с опорной поверхностью. Величину боковых сил регистрируют датчик изгибающего момента и два датчика усилия, установленные в трубе передней вилки и опирающиеся на ось вращения колеса.

Нагрузочная площадка позволяет задавать необходимую нагрузку для создания различной величины опорных реакций колеса и усилия прижатия передней вилки к оси вращения колеса, которая регистрируется двумя датчиками усилия.

Тормозной роликовый стэнд дает возможность проводить исследование сил в пятне контакта колеса с опорной поверхностью с учетом различных значений угла наклона рулевой вилки и угла наклона корпуса мотоцикла до 15 град.

Разработанный стэнд исследования систем активной безопасности мотоцикла представлен на рис. 3.

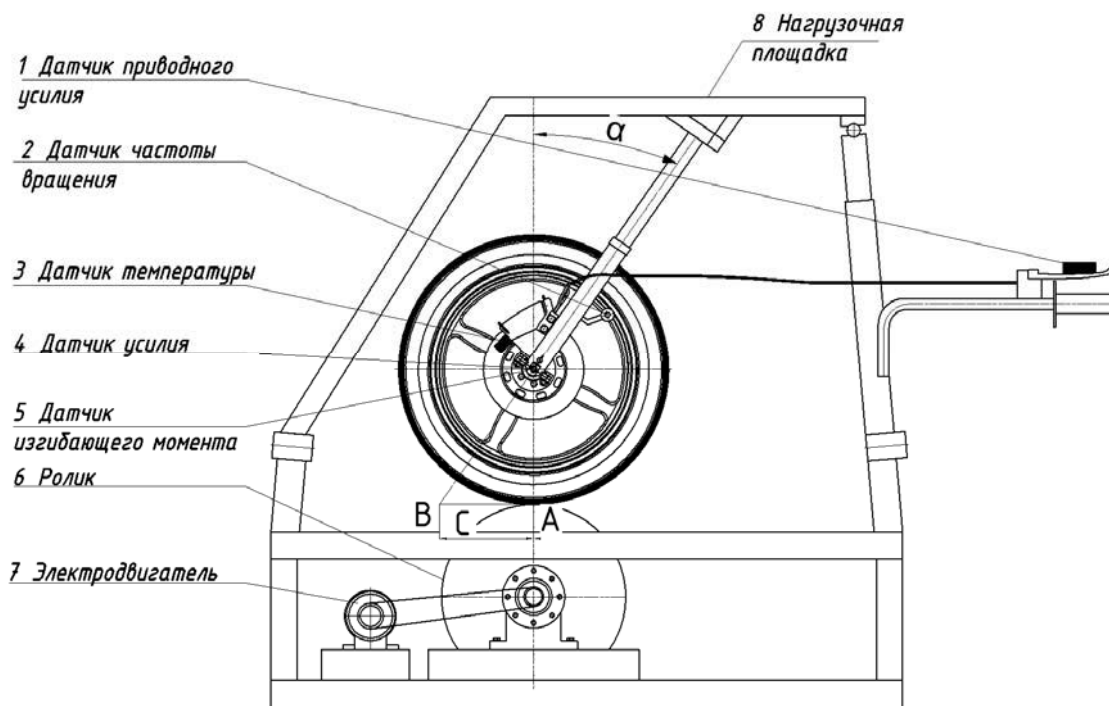


Рис. 3. Разработанный роликовый тормозной стэнд для исследования эффективности тормозных систем и механизмов с учетом конструктивных параметров мотоцикла

Эффективность тормозных систем и механизмов на тормозном стенде исследуется путем измерения развиваемого тормозного момента, тормозного усилия, боковых сил, возникающих в пятне контакта колеса с опорной поверхностью ролика стенда, и скорости срабатывания тормозного привода тормозных устройств.

Стенд позволяет определить эффективность торможения, величину боковых сил и фактически реализуемый тормозной момент при криволинейном движении путем наклона передней вилки с колесом от вертикали.

Конструкция роликового тормозного стенда дает возможность исследовать влияние расположения тормозного механизма на передней вилке на эффективность торможения и величину боковых сил, возникающих в пятне контакта колеса с опорной поверхностью.

На стенде проводятся исследования эффективности гидравлических и механических тормозных систем и устройств. Тормозной роликовый стенд с установленными гидравлической и механической тормозными системами на колесо мотоцикла представлен на рис. 4.



Рис. 4. Тормозной роликовый стенд с установленными гидравлической и механической тормозными системами на колесо мотоцикла: *а* – роликовый стенд с установленной гидравлической тормозной системой; *б* – роликовый стенд с установленной механической тормозной системой

Для созданного стенда разработана методика проведения различного вида испытаний для процесса торможения и разгона мотоцикла, позволяющая измерять силы в пятне контакта колеса с опорной поверхностью, выполнять повторные измерения путем контроля

начальных условий испытаний и имитации различных дорожных условий посредством моделирования процесса дорожных испытаний.

Результаты, полученные при моделировании движения мотоцикла, приведены на рис. 5.

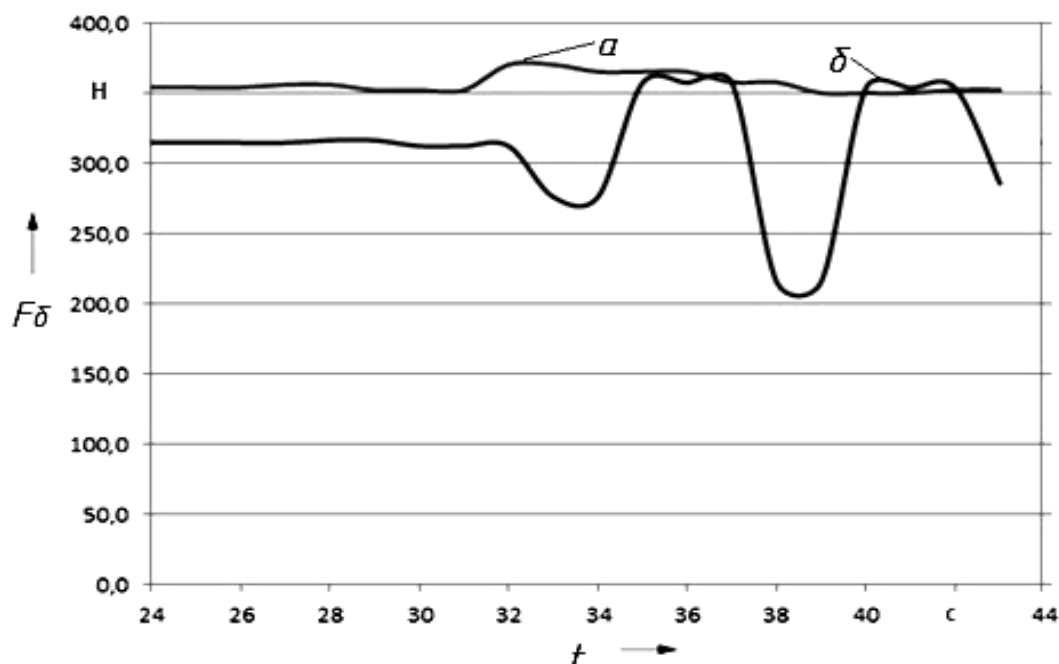


Рис. 5. График боковых сил, полученный при моделировании движения мотоцикла: *a* – прямолинейное движение; *б* – криволинейное движение с проскальзыванием в боковом направлении

На испытательном стенде была проведена серия испытаний, направленная на определение отдельных параметров работы тормозной системы и сил, возникающих в процессе торможения. Примером таких испытаний являются графики величины боковых сил, возникающих в пятне контакта колеса с опорной поверхностью при различном угле наклона корпуса мотоцикла на стенде. На рис. 6 представлены графики, соответствующие углу наклона 1,5 и 2,5 град.

В ходе исследования разрабатываемой системы активной безопасности и тормозной системы мотоцикла, сил в пятне контакта колеса с опорной поверхностью проводятся эксперименты с соблюдением начальных условий начала процесса торможения, с неоднократным повторением начальных параметров процесса для неоднократного повторения процесса с целью сбора данных и подтверждения их достоверности.

Для исследования работы тормозного механизма и разрабатываемой системы активной безопасности стенд совместно с системой сбора информации позволяет проводить испытания, изменяя величину значения одного из параметров, влияющего на работу системы, с точным отслеживанием его значения в зависимости от времени. Измерительная система дает возможность синхронизировать полученные значения по времени относительно момента начала торможения.

При проведении исследования работы тормозных механизмов одним из этапов выполнения испытаний является проверка работы системы активной безопасности, тормозных механизмов штатной тормозной системы, доработанной тормозной системы с установкой элементов антиблокировочной системы, тормозной системы с установленными разработанными механическими тормозными устройствами.

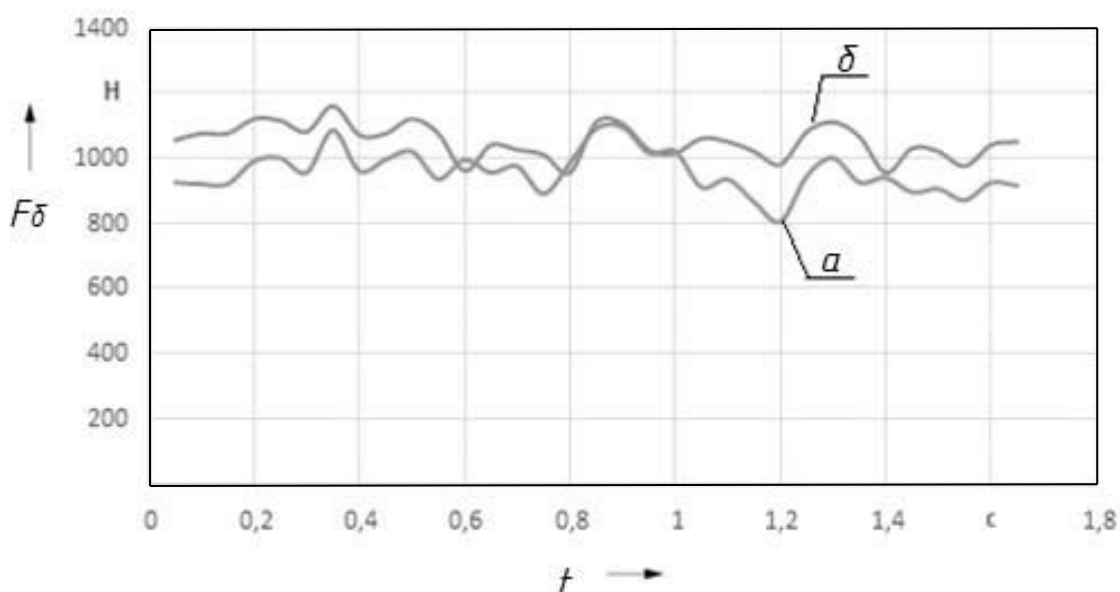


Рис. 6. Графики боковых сил в пятне контакта с опорной поверхностью, полученные при моделировании торможения мотоцикла: *a* – угол наклона мотоцикла 1,5 град; *б* – угол наклона мотоцикла 2,5 град

Были проведены испытания работы штатных тормозных механизмов со штатными тормозными колодками и разработанных механических тормозных устройств при температуре тормозного диска 55 °С...60 °С на момент начала торможения со скорости 60 км/ч. Температура тормозного диска в начале и конце процесса торможения контролируется лазерным датчиком температуры.

Разработанный измерительный роликовый стенд позволяет проводить испытания тормозных систем и механизмов для двухколесных транспортных средств на различные параметры и моделировать различные условия процесса торможения, осуществляя контроль всех необходимых параметров процесса торможения.

Выводы

Разработан измерительный комплекс, состоящий из роликового стенда и блока сбора и обработки информации,

который позволяет:

- осуществлять измерение параметров работы тормозной системы и систем безопасности при проведении дорожных испытаний с передачей данных на расстояние до 100 м;
- располагать мотоцикл под разными углами положения его корпуса;
- проводить измерение сил, действующих на колесо со стороны дорожного покрытия, при различных углах наклона передней вилки колеса.

Это дает возможность проводить испытания, максимально приближенные к реальным дорожным условиям, а также на основе полученных данных разрабатывать и воссоздавать эти условия при проведении стендовых испытаний путем управления работой электродвигателей, приводящих в действие роликовые барабаны стенда, на которых установлен испытываемый мотоцикл.

Созданный стенд позволяет проводить испытания как существующих САБ, так и вновь разработанных.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. ABS наоборот: системы курсовой стабилизации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.zr.ru/content/articles/364300-abs_naoborot_sistemy_kursovoj_stabilizacii/. – Дата доступа: 11.06.2022.
2. Honda Riding Assist: Motor Anti Roboh dan Bisa Jalan Sendiri [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.otomefia.net/news/honda-riding-assist-motor-anti-roboh-dan-bisa-jalan-sendiri>. – Date of access: 11.06.2022.
3. ГОСТ Р 41.13–99. Правила ЕЭК ООН № 13. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения механических транспортных средств категорий М, N и O в отношении торможения. – Москва: Изд-во стандартов, 1999. – 46 с.
4. **Ким, В. А.** Методология создания адаптивных САБ АТС на основе силового анализа: монография / В. А. Ким. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2003. – 346 с.
5. **Захаров, А. Ю.** Исследование динамики колесных машин на стенде с беговыми барабанами / А. Ю. Захаров, В. А. Горелов, Г. О. Котиев // Автомобильная промышленность. – 2014. – № 7. – С. 9–12.
6. **Петренко, М. Л.** Теоретические основы создания системы следящего торможения велосипеда «Аист» / М. Л. Петренко, В. А. Ким // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. – Вып. 8. – С. 26–29.
7. Система активной безопасности: пат. ВУ 9363 / И. С. Сазонов, В. А. Ким, А. С. Мельников, М. Л. Петренко, А. В. Юшкевич. – Опубл. 22.11.2012.
8. **Юшкевич, А. В.** Теоретическое обоснование метода диссипации кинетической энергии мотоцикла «Минск» при торможении / А. В. Юшкевич, В. А. Ким // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. – 2019. – Вып. 8. – С. 26–29.

Статья сдана в редакцию 15 июня 2022 года

Александр Владимирович Юшкевич, ст. преподаватель, Белорусско-Российский университет.
E-mail: alex_bru@mail.ru.

Михаил Леонидович Петренко, ст. преподаватель, Белорусско-Российский университет.
E-mail: petrenkoamf@gmail.com.

Софья Юрьевна Билык, преподаватель, Белорусско-Российский университет.
E-mail: Soniabiluk@mail.ru.

Артем Александрович Мельников, аспирант, Белорусско-Российский университет.
E-mail: artem.melnikov502@gmail.com.

Aleksandr Vladimirovich Yushkevich, senior lecturer, Belarussian-Russian University.
E-mail: alex_bru@mail.ru.

Mikhail Leonidovich Petrenko, senior lecturer, Belarussian-Russian University.
E-mail: petrenkoamf@gmail.com.

Sofia Yurievna Bilyk, lecturer, Belarussian-Russian University. E-mail: Soniabiluk@mail.ru.

Artem Aleksandrovich Melnikov, PhD student, Belarussian-Russian University.
E-mail: artem.melnikov502@gmail.com.