

## **Методика и результаты экспериментальных исследований процесса функционирования автомобилей с динамической системой курсовой стабилизации на стендах с беговыми барабанами**

© А.И. Федотов, О.С. Яньков, А.В. Тен

Иркутский национальный исследовательский технический университет,  
Иркутск, 664074, Российская Федерация

*Активную безопасность современных автомобилей обеспечивает автоматизированная динамическая система курсовой стабилизации. Однако в настоящее время, несмотря на ее широкое распространение, отсутствуют высокоэффективные стендовые методы и реализующее их оборудование для исследования технического состояния такой системы. Представлена разработанная авторами статьи методика экспериментальных исследований процесса функционирования автомобилей с динамической системой курсовой стабилизации, сформулированы требования к стендовому оборудованию. Разработан и изготовлен исследовательский стендовый комплекс, позволяющий задавать тестовые режимы бокового заноса. В соответствии с предлагаемой методикой проведены экспериментальные исследования и получены результаты, подтверждающие возможность эффективно изучать процесс функционирования динамической системы курсовой стабилизации автомобиля на стендах с беговыми барабанами.*

**Ключевые слова:** динамическая система курсовой стабилизации, контроль технического состояния, экспериментальное исследование, диагностика, испытание, стенды, тестовое воздействие

**Введение.** Высокая популярность автомобилей обусловлена потребностью в эффективном перемещении грузов и людей из одного места в другое. С развитием экономики требования, предъявляемые к автомобилям, становятся все более строгими. Обусловлено это тем, что с увеличением динамических свойств автомобилей повышается количество дорожно-транспортных происшествий. Все это стимулирует развитие технологий, направленных на обеспечение безопасности транспортных средств. Динамическая система курсовой стабилизации (ДСКС) является одной из ключевых интеллектуальных систем, обеспечивающих активную безопасность современных автомобилей [1].

Для исследования процессов функционирования автомобилей и их автоматизированных систем используются стендовые методы контроля технического состояния, которые не зависят от погодных и климатических условий [2–4]. Эти методы позволяют оценить эффективность работы систем безопасности транспортных средств в условиях как организаций, занимающихся разработкой и производством

автомобилей, их испытаниями и экспертизой, так и сервисных центров, пунктов инструментального контроля, а также предприятий, осуществляющих техническое обслуживание и ремонт автомобилей. На стендах можно исследовать тормозные, тяговые или экологические свойства автомобилей путем реализации принципа обратимости движения. Однако, к сожалению, современные стендовые методы и реализующее их оборудование пока еще не позволяют проводить исследование динамических систем контроля устойчивости автомобилей. Заменить стендовые методы можно, например, дорожными испытаниями, но для их проведения требуется специализированный испытательный полигон с дорогостоящим оборудованием и подготовленным персоналом, что делает такой метод непригодным для массового применения [5–7]. Кроме того, во время дорожных испытаний возможно повреждение транспортного средства, а их результаты зависят от погодных и климатических условий.

Для контроля технического состояния и диагностики автоматизированных систем автомобилей, в том числе и ДСКС, нередко применяют диагностические сканеры. Однако при их использовании в случае отсутствия испытательного полигона достаточно сложно воспроизвести тестовое воздействие, имитирующее боковой занос автомобиля. При этом практически невозможно контролировать функционирование ДСКС и оценивать эффективность работы исполнительных механизмов, которые регулируют траекторию движения автомобиля.

Следовательно, для исследования ДСКС, проводимого в рамках испытаний, экспертизы, диагностики и контроля технического состояния автомобилей, требуется наукоемкое оборудование, реализующее высокоинформативные и оперативные методы. Такое оборудование должно быть доступно по цене и пригодно к использованию на тех предприятиях, где проводят названные выше исследования.

Цель работы — разработка методов и средств экспериментальных исследований рабочих процессов автомобилей с функционирующей динамической системой курсовой стабилизации на стендах с беговыми барабанами.

**Методы исследования.** Для испытания автомобиля с ДСКС на стенде с беговыми барабанами была разработана методика выполнения экспериментального исследования, этапы которой показаны в виде алгоритма на рис. 1.

**Этап № 1. Подготовительные операции.** Подготовка автомобиля и стенда к экспериментальным исследованиям заключается в проведении следующих операций:

1) контроль соответствия размерности, типа, износа и давления воздуха в шинах, установленных на автомобиль, требованиям завода-изготовителя;

2) настройка расстояния между блоками беговых барабанов стенда, которое соответствует колесной базе автомобиля;

3) контроль соосности продольных осей стенда и кузова автомобиля и, в случае необходимости, их выравнивание посредством привода беговых барабанов ведущими колесами;

4) фиксация автомобиля на стенде от продольных, поперечных и угловых перемещений с помощью стяжных ремней;

5) прогрев шин, трансмиссии и силовой установки автомобиля, а также трансмиссии стенда путем плавного разгона и удержания окружной скорости беговых барабанов стенда, соответствующей движению автомобиля со скоростью 25...30 км/ч в течение не менее 60 с.



Рис. 1. Алгоритм проведения экспериментальных исследований процесса функционирования автомобиля с ДСКС на стенде с беговыми барабанами

**Этап № 2. Задание тестового режима бокового заноса автомобиля.** Тестовый режим (см. п. 2.1 на рис. 1) реализуется в следующем порядке:

1) разгон ведущих колес автомобиля до окружной скорости беговых барабанов стенда, соответствующей движению автомобиля со скоростью  $V_i = 60$  км/ч;

2) удержание заданной скорости в течение всего времени тестового режима;

3) имитация бокового заноса посредством циклического поворота стенда с функционирующим автомобилем при заданной постоянной угловой скорости  $d\gamma_c/dt$  в определенном диапазоне углов поворота стенда  $\gamma_c$  ( $\gamma_c = \pm 7^\circ$ );

4) остановка колес автомобиля и беговых барабанов стенда.

На протяжении операций с 1-й по 3-ю необходимо выполнять непрерывное измерение параметров процесса функционирования автомобиля на стенде (п. 2.2): сил  $F_i$  на беговых барабанах; скоростей беговых барабанов  $V_i$  и колес автомобиля  $V_{ki}$ , а также угол поворота стенда  $\gamma_c$ .

Результаты измерений (п. 2.3) обрабатываются посредством преобразования аналоговых сигналов в цифровой код, который затем представляется числовыми данными в зависимостях  $F_i = f(t)$ ,  $V_i = f(t)$ ,  $V_{ki} = f(t)$  и  $\gamma_c = f(t)$ . По полученным результатам экспериментальных исследований выполняется расчет угловой скорости поворота стенда  $d\gamma_c/dt$  и тормозных сил  $F_{Ti}$ .

Для успешного выполнения такого исследования процесса функционирования автомобиля с ДСКС по разработанной методике применяемое на стенде оборудование должно соответствовать определенным требованиям, приведенным ниже.

1. Трансмиссия стенда должна быть выполнена в виде единой, кинематически связанной системы, функционирование которой обеспечивает условие синхронности вращения каждого колеса, как и в реальных дорожных условиях.

2. Несущая конструкция и трансмиссия стенда должны быть выполнены с достаточной жесткостью составляющих их элементов, чтобы исключить возникновение динамических колебательных явлений, негативно влияющих на реализацию тестовых режимов и изменение контролируемых параметров.

3. Нагрузочные устройства стенда, которыми являются маховые массы, должны обеспечивать реализацию динамических режимов разгона и выбега. Сумма моментов инерции  $\sum J_{mi}$  маховых масс с учетом моментов инерции беговых барабанов и прочих массивных вращающихся элементов трансмиссии стенда должна быть эквивалентна массе  $m_a$  автомобиля.

4. Моменты инерции  $J_{ij}$  беговых барабанов должны быть заданы минимально возможными с целью снижения силовых потерь, затрачиваемых на остановку барабанов при неустановившихся режимах.

5. Конструкция стенда должна иметь возможность имитации процесса бокового заноса автомобиля вместе со стендом за счет его поворота.

6. Измерительные системы стенда должны обеспечивать непрерывное определение контролируемых параметров, если их значения превышают установленные разработанной методикой экспериментального исследования:

- окружной скорости  $V_{ki}$  колес автомобиля в пределах  $V_{ki} \in 0 \dots 120$  км/ч;
- угла  $\gamma_c$  поворота стенда в пределах  $-15^\circ \dots +15^\circ$ ;
- разнонаправленных сил  $F_i$  на беговых барабанах стенда в пределах  $-10 \dots +10$  кН.

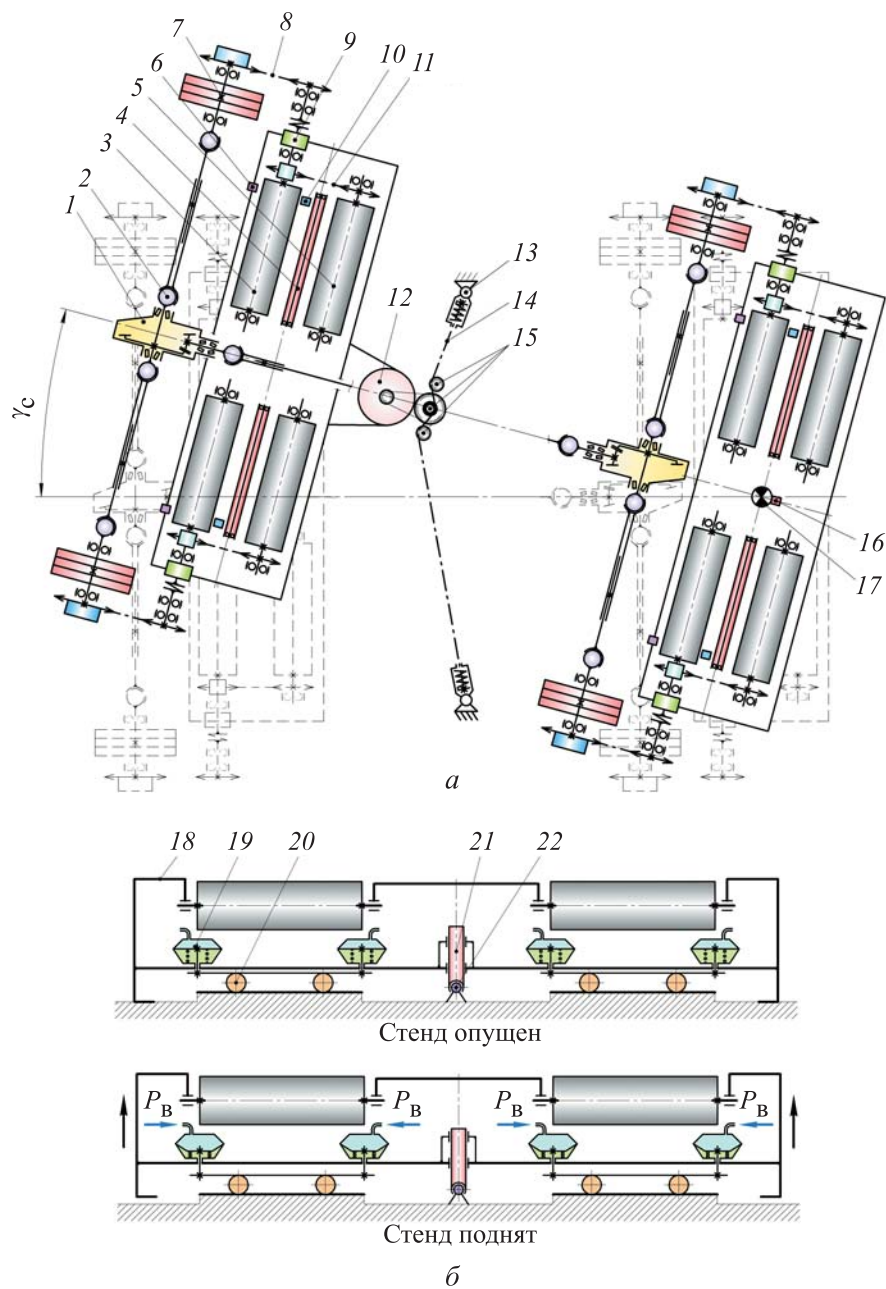
Допустимые значения показателей относительных погрешностей систем измерения силовых и кинематических параметров должны быть не ниже погрешностей систем измерения тормозных стендов в соответствии с ГОСТ 33997–2016:

- для скорости  $V_{ki}$  колес автомобиля — не более  $\pm 1$  %;
- для угла  $\gamma_c$  поворота стенда — не более  $\pm 1$  %;
- для сил  $F_i$  на беговых барабанах стенда — не более  $\pm 3$  %.

**Результаты экспериментов.** Для реализации разработанной методики был спроектирован и изготовлен исследовательский стендовый комплекс (рис. 2), который в полной мере соответствует вышеперечисленным требованиям [8]. Стенд состоит из двух блоков беговых барабанов: переднего блока, выполненного как единое целое с рамой стенда, и заднего блока, установленного на полозьях рамы с возможностью перемещаться, что позволяет изменять расстояние между этими блоками, настраивая стенд под заданную колесную базу испытуемого автомобиля.

Каждый блок состоит из двух пар беговых барабанов: задних 3 и передних 5, соединенных между собой цепной передачей 11 и обгонной муфтой, предназначенной для компенсации циркулирующей мощности в замкнутом контуре «Шина – Барабан – Цепная передача – Барабан – Шина» [9]. Скорости беговых барабанов измеряются датчиками 6. Между барабанами 3 и 5 размещен ролик следящей системы 4, скорость каждого определяется датчиком 10. На выходном валу барабанов 3 размещен датчик силы 9. Выходные валы беговых барабанов связаны с трансмиссией стенда цепной передачей 8 через маховые массы 7, работающие как аккумуляторы энергии. Механическое соединение беговых барабанов в каждом блоке реализуется карданными передачами 2 и редукторами 1. Блоки беговых барабанов соединены друг с другом карданной передачей, что позволяет автомобилю на стенде функционировать так же, как в реальных дорожных условиях.

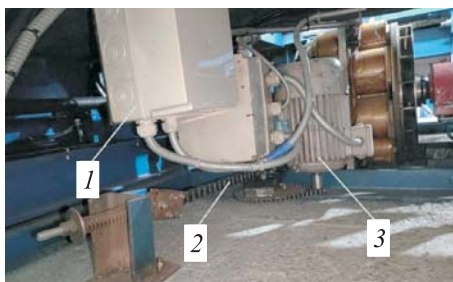
Имитация бокового заноса осуществляется поворотом всего стенда вместе с функционирующим автомобилем. Механизм поворота стенда состоит из электродвигателя 12, звездочек 15 и тяговой цепи 14, закрепленной в упругих шарнирах 13. Цепь 14 зацеплена с тяговыми звездочками 15, центральная из которых соединена с ротором асинхронного трехфазного электродвигателя 12 мощностью  $N_{дп} = 5,5$  кВт



**Рис. 2.** Схема исследовательского стендового комплекса ИРНТУ:

*a* — вид сверху, механизм поворота стенда; *b* — вид сбоку, механизм подъема стенда; 1 — редуктор; 2 — карданная передача привода барабанов; 3 — задний барабан; 4 — ролик следящей системы; 5 — передний барабан; 6 — датчик скорости барабанов; 7 — маятниковая масса; 8 — цепная передача привода маятниковых масс; 9 — датчик силы; 10 — датчик скорости ролика следящей системы; 11 — цепная передача переднего бегового барабана; 12 — электродвигатель привода поворота стенда; 13 — шарниры; 14 — цепная передача привода поворота стенда; 15 — звездочки; 16 — датчик угла поворота стенда; 17 — ось поворота стенда; 18 — лонжерон рамы стенда; 19 — пневмокамера подъема стенда; 20 — подшипники подъема стенда; 21 — шарнир оси стенда; 22 — шарнир Гука оси стенда

с частотой вращения ротора  $n_{\text{дп}} = 1500 \text{ мин}^{-1}$ . Для управления электродвигателем применяется частотный преобразователь «Веспер-Е3-8100-010Н» (рис. 3). При запуске электродвигателя 12 звездочки 15, входящие в зацепление с цепью 14, начинают по ней перемещаться, приводя во вращение стенд относительно оси 17.



**Рис. 3.** Внешний вид электродвигателя механизма поворота стенда и частотного преобразователя:

1 — частотный преобразователь; 2 — цепь механизма поворота стенда;  
3 — электродвигатель

Частотный преобразователь запускается по цифровому каналу связи с модулем АЦП-ЦАП L-Card E-14-440, для того чтобы задать частоту напряжения питания электродвигателя в прямом и обратном направлении вращения ротора. Управление режимом бокового заноса реализуется методом обратной связи по углу  $\gamma_c$  поворота стенда, который задается программно в виде функции  $\gamma_c = f(t)$ .

Для поворота стенда на заданный угол, рама стенда (см. рис. 2) устанавливается на подшипниковых опорах с помощью механизма подъема, состоящего из пневмокамер 19, подшипников качения 20, опор и плит пневмокамер. В исходном состоянии стенд установлен на лонжероны 18. Пневмокамеры 19 жестко закреплены на раме стенда. Для подъема стенда в пневмокамеры 19 подается воздух под давлением  $P_b$ , что приводит к перемещению штоков, соединенных с плитой. Плита опирается на шары подшипников 20. При повороте стенд перекачивается на этих шарах 20 относительно оси 17, которая состоит из двух шарниров — поступательного 21 и шарнира Гука 22, необходимых для обеспечения вертикальной степени свободы рамы стенда и компенсации перекоса. Ось 17 находится только под передним блоком барабанов. Механизмы подъема установлены под обоими блоками. Внешний вид пневмокамер показан на рис. 4.

Подсистема измерения сил, действующих на беговые барабаны, состоит из четырех бесконтактных магнитоупругих датчиков 9 (см. рис. 2), установленных на приводных валах задних беговых барабанов [10]. Система измерения кинематических параметров содержит



подсистемы измерения угловых скоростей вращения беговых барабанов  $\omega_j$ , скоростей колес  $V_{ki}$ , угловой скорости вращения ротора электродинамического тормоза  $\omega_{э.т}$  и угла поворота стенда  $\gamma_c$ .



Рис. 4. Внешний вид механизма подъема стенда с пневмокамерами

В соответствии с этапами разработанной методики были проведены экспериментальные исследования процесса функционирования автомобиля с динамической системой курсовой стабилизации. В качестве объекта исследований был выбран автомобиль Kia Soul EV (рис. 5).



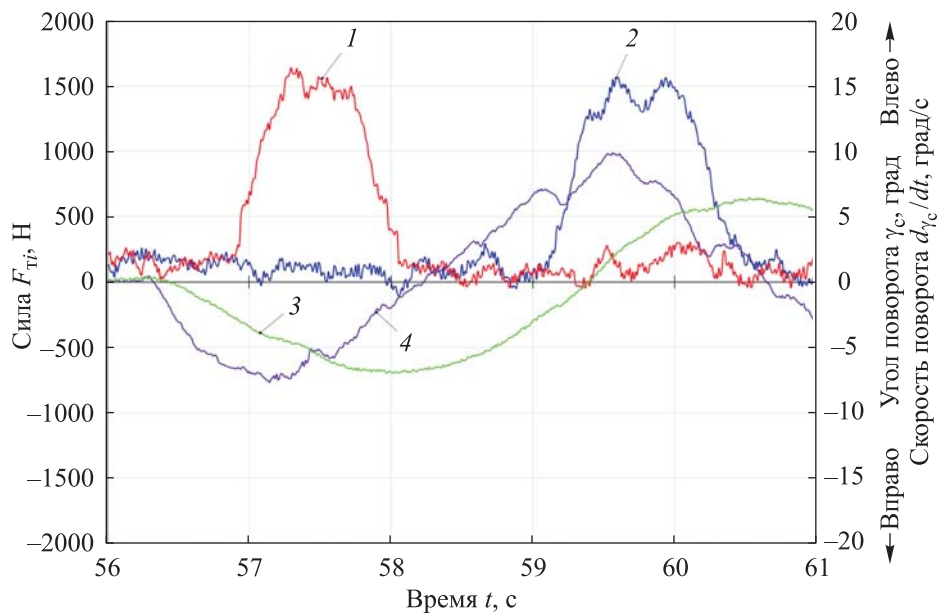
Рис. 5. Внешний вид исследовательского стендового комплекса ИРНТУ с установленным автомобилем Kia Soul EV

Для тестового режима были заданы следующие исходные параметры:

- 1) имитируемая на стенде максимальная скорость автомобиля  $V_a = 50$  км/ч;
- 2) максимальный угол поворота стенда  $\gamma_{c\max} = \pm 7^\circ$ ;
- 3) максимальная скорость поворота стенда  $d\gamma_{c\max}/dt = 8,5$  °/с.



Зависимости тормозных сил  $F_{Ti}$  на колесах автомобиля, угла  $\gamma_c$  и скорости  $d\gamma_c/dt$  поворота стенда при имитации бокового заноса, полученные в результате экспериментального исследования, приведены на рис. 6. Изменение угла поворота стенда задавалось синусоидальной функцией изменения угла  $\gamma_c$  поворота стенда. Регулирование осуществлялось преобразователем частоты напряжения питания привода поворотной системы стенда.



**Рис. 6.** Зависимости тормозных сил  $F_{Ti}$  на колесах, угла  $\gamma_c$  и угловой скорости  $d\gamma_c/dt$  поворота стенда вместе с автомобилем Kia Soul EV при имитации бокового заноса:

1 — тормозная сила  $F_{T1}$  на переднем левом колесе; 2 — тормозная сила  $F_{T2}$  на переднем правом колесе; 3 — угол  $\gamma_c$  поворота; 4 — скорость  $d\gamma_c/dt$  поворота

На графике отчетливо виден момент срабатывания ДСКС по нарастанию тормозных сил на передних левом  $F_{T1}$  и правом  $F_{T2}$  колесах. При имитации бокового заноса автомобиля в правую сторону ( $\gamma_c < 0$ ) нарастает тормозная сила  $F_{T1}$  на переднем левом колесе, а по мере уменьшения скорости  $d\gamma_c/dt$  она снижается. При повороте стенда с автомобилем влево ( $\gamma_c > 0$ ) система поддерживает курсовую стабилизацию за счет увеличения тормозной силы  $F_{T2}$  правого переднего колеса.

**Заключение.** Результаты, полученные в соответствии с разработанной методикой, показывают функционирование ДСКС при заданном тестовом режиме, что подтверждает целесообразность использования стендов с беговыми барабанами для выполнения исследований рабочих процессов этой системы. Сформулированные требования к экспериментальному оборудованию позволили разработать и изготовить образец исследовательского стендового комплекса для выполнения оперативного, качественного и количественного исследования технического состояния ДСКС в условиях организаций и предприятий, выполняющих производство, эксплуатацию и экспертизу автомобилей.

Дальнейшие исследования в данном направлении дают возможность:

– для разработки и отладки комплекса математических моделей процесса функционирования автомобиля с ДСКС на стенде с беговыми барабанами;

– разработки комплексных методов исследований технического состояния ДСКС на стендах с беговыми барабанами, в том числе и для электромобилей, имеющих индивидуальный привод на каждом ведущем колесе;

– выполнения имитационного моделирования процесса функционирования ДСКС на основе измеренных тормозных сил, используя их в качестве управляющих параметров тестового режима. Это позволит в режиме реального времени с применением комплекса математических моделей динамики автомобиля при срабатывании ДСКС на стенде имитировать его движение, а также полученные в рамках виртуального моделирования параметры.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Умнищын А.А. Анализ развития систем курсовой устойчивости легковых автомобилей. *Автомобиль для Сибири и Крайнего Севера: конструкция, эксплуатация, экономика: 90-я Международная научно-техническая конференция Ассоциации автомобильных инженеров в ИРНИТУ, Иркутск, 09–10 апреля 2015 года*. Иркутск, Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2015, с. 222–231.
- [2] Бяков К.Е., Иваненков В.В., Холоденко В.Б., Чудаков О.И. Обзор конструкций современных динамометрических стендов для испытаний колесных транспортных средств. *Транспортные системы*, 2021, № 4 (22), с. 4–15. DOI: 10.46960/62045\_2021\_4\_4
- [3] Бяков К.Е., Горелов В.А., Чудаков О.И. Технология стендовых испытаний колесных машин с воспроизведением эксплуатационных нагрузочных режимов. *Транспортные системы*, 2021, № 2 (20), с. 16–24.
- [4] Федотов А.И. *Диагностика автомобиля*. Иркутск, 2012, 467 с.
- [5] Бахмутов С.В., Куликов И.К., Барашков А.А. Исследование динамических характеристик автомобиля с системами активной безопасности посредством виртуальных и дорожных испытаний. *Труды НАМИ*, 2016, № 265, с. 53–65.

- [6] Безверхий С.Ф., Яценко Н.Н. *Основы технологии полигонных испытаний и сертификация автомобилей*. Москва, ИПК Изд-во стандартов, 1996, 600 с.
- [7] Иванов А.М., Ревин А.А., Никульников Э.Н., Балакина Е.В., Барашков А.А., Лосев С.А., [и др.]. Экспериментальная проверка методов оценки эффективности систем динамической стабилизации АТС. *Автомобильная промышленность*, 2009, № 7, с. 31–33.
- [8] Федотов А.И., Яньков О.С., Чернышков А.С., Тен А.В. *Способ контроля технического состояния динамической системы курсовой стабилизации автомобиля на стендах с беговыми барабанами и устройство для его осуществления*. Патент № 2755626 С1 Российская Федерация, МПК G01L 5/13, G01M 15/00; № 2020143881; заявл. 30.12.2020; опубл. 17.09.2021.
- [9] Федотов А.И., Яньков О.С., Холманских М.В., Чернышков А.С. *Стенд контроля технического состояния колесных транспортных средств с обгонной муфтой*. Патент на полезную модель № 213401 U1 Российская Федерация, МПК G01L 5/13, G01M 17/007; № 2022106787; заявл. 16.03.2022; опубл. 09.09.2022. EDN LLPAAN
- [10] Федотов А.И., Яньков О.С., Чернышков А.С. [и др.] *Бесконтактный измеритель для силового тормозного роликового стенда*. Патент на полезную модель № 198516 U1 Российская Федерация, МПК G01L 5/28. № 2020113148; заявл. 26.03.2020; опубл. 14.07.2020.

Статья поступила в редакцию 15.10.2024

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Федотов А.И., Яньков О.С., Тен А.В. Методика и результаты экспериментальных исследований процесса функционирования автомобилей с динамической системой курсовой стабилизации на стендах с беговыми барабанами. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2024, вып. 12. EDN CVCQII

**Федотов Александр Иванович** — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой автомобильного транспорта ИРНИТУ, Заслуженный деятель науки РФ.  
e-mail: fai.abs@yandex.ru

**Яньков Олег Сергеевич** — канд. техн. наук, доцент кафедры автомобильного транспорта ИРНИТУ. e-mail: yos913005@mail.ru

**Тен Александр Владимирович** — аспирант кафедры автомобильного транспорта ИРНИТУ. e-mail: aten2010@mail.ru

## Methodology and results of an experimental research of the operation process in vehicles with the course stabilization control system using the running drum benches

© A.I. Fedotov, O.S. Yankov, A.V. Ten

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, 664074, Russian Federation

*The automated dynamic course stabilization system is ensuring active safety in the modern vehicles. However, despite its widespread use at present, the highly effective bench methods and the equipment implementing them are missing in identifying technical state of such a system. Authors of the paper present a methodology for experimental research in operation of the vehicles with the dynamic course stabilization system and formulate requirements for the bench equipment. A research bench complex was developed and manufactured making it possible to set the testing modes for lateral skidding. In accordance with the proposed methodology, experimental studies were conducted and results were obtained confirming a possibility to effectively study the process of the vehicle dynamic course stabilization system operation using the running drum benches.*

**Keywords:** dynamic course stabilization system, technical condition monitoring, experimental research, diagnostics, testing, benches, testing impact

### REFERENCES

- [1] Umnitsyn A.A. Analiz razvitiya kursovoy ustoychivosti legkovykh avtomobiley [Analysis of development of the passenger vehicle stability control systems]. In: *Avtomobil dlya Sibiri i Kraynego Severa: konstruksiya, ekspluatatsiya, ekonomika: 90-ya Mezhdunarodnaya nauchno-tehnicheskaya konferentsiya Assotsiatsii avtomobilnykh inzhenerov v IRNITU, Irkutsk, 09–10 aprelya 2015 goda* [Automobile for Siberia and the Far North: design, operation, economics: The 90<sup>th</sup> International Scientific and Technical Conference of the Association of the Automobile Engineers in the IRNTU, Irkutsk, April 09-10, 2015]. Irkutsk, 2015, Irkutskiy Natsionalnyi Issledovatel'skiy Tekhnicheskii Universitet Publ., pp. 222–231.
- [2] Byakov K.E., Ivanenkov V.V., Kholodenko V.B., Chudakov O.I. Obzor konstruksiy sovremennykh dinamometricheskikh stendov dlya ispytaniya koleznykh transportnykh sredstv [Review of designs of the dynamometric benches for testing the wheeled transport vehicles]. *Transportnye sistemy — Transport Systems*, 2021, no. 4 (22), pp. 4–15. [https://doi.org/10.46960/62045\\_2021\\_4\\_4](https://doi.org/10.46960/62045_2021_4_4)
- [3] Byakov K.E., Gorelov V.A., Chudakov O.I. Tekhnologiya stendovykh ispytaniy koleznykh mashin s vosproizvedeniem ekspluatatsionnykh nagruzochnykh rezhimov [Technology of bench testing the wheeled vehicles with reproduction of the operational load conditions]. *Transportnye sistemy — Transport systems*, 2021, no. 2 (20), pp. 16–24.
- [4] Fedotov A.I. *Diagnostika avtomobilya* [Vehicle diagnostics]. Irkutsk, 2012, 467 p.
- [5] Bakmutov S.V., Kulikov I.K., Barashkov A.A. Issledovanie dinamicheskikh kharakteristik avtomobilya s sistemami aktivnoy bezopasnosti posredstvom virtualnykh i dorozhnykh ispytaniy [Investigation of dynamic characteristics of a vehicle with active safety systems through virtual and road testing]. *Trudy NAMI*, 2016, no. 265, pp. 53–65.
- [6] Bezverkhii S.F., Yatsenko N.N. *Osnovy tekhnologii poligonnykh ispytaniy i sertifikatsii avtomobiley* [Fundamentals of the field-testing technology and certification of vehicles]. Moscow, IPK Izd-vo Standartov, 1996, 600 p.

- [7] Ivanov A.M., Revin A.A., Nikulnikov E.N., Balakina E.V., Barashkov A.A., Losev S.A. et al. Eksperimentalnaya proverka metodov otsenki effektivnosti sistemy dinamicheskoy stabilizatsii ATS [Experimental verification of methods for evaluating effectiveness of the ATS dynamic stabilization systems]. *Avtomobilnaya promyshlennost' — Automotive Industry*, 2009, no. 7, pp. 31–33.
- [8] Fedotov A.I., Yankov O.S., Chernyshkov A.S., Ten A.V. *Sposob kontrolya tekhnicheskogo sostoyaniya dinamicheskoy sistemy kursovoy stabilizatsii avtomobilya na stendakh s begovymi barabanami i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya* [A method for monitoring technical condition of the vehicle dynamic course stabilization system on benches with the begon drums and a device for its implementation]. Patent no. 2755626 C1 Russian Federation, IPC G01L 5/13, G01M 15/00: no. 2020143881: appl. December 30, 2020: publ. September 17, 2021.
- [9] Fedotov A.I., Yankov O.S., Kholmanskikh M.V., Chernyshkov A.S. *Stend kontrolya tekhnicheskogo sostoyaniya kolesnykh transportnykh sredstv s obgonnoy muftoy* [Stand for monitoring technical condition of the wheeled vehicles with an overrunning clutch]. Patent na poleznuyu model no. 231401 U1 Russian Federation, IPC G01L 5/13, G01M 17/007; no. 2022106787: appl. March 16, 2022: publ. September 9, 2022. EDN LLPAAN.
- [10] Fedotov A.I., Yankov O.S., Chernyshkov A.S. et al. *Beskontaktnyy izmeritel dlya silovogo tormoznogo rolikovogo stenda* [Contactless meter for the power brake roller stand]. Utility model patent no. 198516 U1 Russian Federation, IPC G01L 5/28: no. 2020113148: appl. March 26, 2020: publ. July 14, 2020.

**Fedotov A.I.**, Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Department of Road Transport, Irkutsk National Research Technical University. e-mail: fai.abs@yandex.ru

**Yankov O.S.**, Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Department of Road Transport, Irkutsk National Research Technical University. e-mail: yos913005@mail.ru

**Ten A.V.**, Postgraduate, Department of Road Transport, Irkutsk National Research Technical University. e-mail: aten2010@mail.ru