

**Штефан Юрий Витальевич**

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ),  
отдел качества образования  
Начальник отдела качества образования  
Кандидат технических наук  
*Shtephan Yuriy Vitalievich*  
*Moscow Automobile And Road Construction State Technical University (MADI),*  
*Quality Management of Education Department*  
*Head Manager of the Quality Management of Education Department*  
E-Mail: [shtephan@madi.ru](mailto:shtephan@madi.ru)

**Понарин Глеб Алексеевич**

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ),  
кафедра «Дорожно-строительных материалов»  
Студент  
*Panarin Gleb Alekseevich*  
*Moscow Automobile And Road Construction*  
*State Technical University (MADI), «Road construction materials» chair*  
*Student*

Автомобильные дороги

**Методика оценки параметров углов установки колес на стенде «КУИДМ-2»  
и оценка этого влияния на изменение процесса износа шин и покрытия**

Development of a technique and analysis of camber angles on “KUIDM-2” test site  
and assessment of this influence on change of process of wear of tires and covering

**Аннотация:** В статье рассматривается возможность количественной оценки влияния углов установки колес на процесс износа автомобильных шин и покрытий. Разработана специальная конструкция для динамического измерения углов установки колес в процессе испытаний шин и покрытий на стенде «КУИДМ-2». Научно обоснована и технически реализована возможность исследования влияния углов установки колес на процессы износа во время проведения испытаний дорожных покрытий и шин.

**Abstract:** In article possibility of a quantitative assessment of influence of wheel alignment angles on process of wear of car tires and road pavements is considered. The special design is developed for dynamic measurement of wheel alignment angles in the course of tests of tires and road pavements on the " KUIDM-2" stand. Possibility of probe of influence of wheel alignment angles on wear processes is scientifically proved and technically realized during carrying out tests of road pavement and tires.

**Ключевые слова:** Углы установки колес, колееобразование, трение шин, износ дорожного покрытия.

**Keywords:** Wheel alignment angles, track, friction of tires, wear of a road pavement.

\*\*\*

Из транспортной науки широко известно, что интенсивность износа автомобильных шин в значительной степени зависит от множества параметров, таких как сила сопротивления

качению колеса, углы установки колес по отношению к раме транспортного средства (развал-схождение колес), силы сцепления колеса с покрытием (шероховатости дорожного покрытия), размера и величины износа протектора шины и множества других второстепенных факторов, таких как температура колеса и покрытия, давление в шинах и др. Однако, основным параметром многие ученые все так же считают углы установки колес, поскольку именно вариативность значений данных углов приводит к значительному износу протекторов автомобильных шин. Авторским коллективом была разработана методика оценки влияния углов установки колес не только на процесс износа покрышек колеса, но и на интенсивность образования износной колеи на дорожном покрытии.

Вопросами исследования углов установки колес по отношению к оси автомобиля занимаются многие инженеры автомобильной и шинной промышленности, а также ученые. Это связано с необходимостью значительного улучшения методик оценки, появлением новейших приборов с высокими значениями точности измерений углов установки колес, и, кроме того, с понятным желанием продлить ресурс автомобильных шин, снизить расход топлива автомобилей, улучшить параметры управляемости и безопасности системы водитель-автомобиль-дорога-среда.

Особую актуальность в последнее время обретает изучение закономерностей колееобразования на дорожных покрытиях платных участков автомобильных дорог. Эксплуатирующие организации этих участков тщательно следят за эксплуатационными показателями дорожных покрытий, стремясь в условиях повышенных скоростей и нагрузок на дорожную одежду максимально продлить межремонтные сроки ремонта дорожных покрытий. Для этого они устраивают слои износа и повышают макрошероховатость скоростных участков платных автомобильных дорог. Применение покрытий из материалов с не исследованной стойкостью к образованию износной колеи в таких условиях приведет к тому, что стоимость многочисленных ремонтов будет сравнима с таковой на строительство платного участка дороги. Для таких дорог уже на стадии проектирования необходимо учитывать влияние высоких скоростей движения, повышенных нагрузок и воздействие шипованной резины. Имея достоверные результаты испытаний готовых покрытий, проектировщик или эксперт сможет оценить сроки безопасной эксплуатации без колееобразования такого покрытия и не допустит применение неизносостойких строительных материалов при подборе составов дорожных покрытий.

К настоящему времени автомобилестроение значительно повысило средние скорости движения автотранспорта, в то время как теория влияния углов установки колес незначительно претерпела изменения с момента испытаний первых транспортных средств, способных развивать скорость не выше 60 км/ч. Многие годы ученые считали, что именно после таких скоростей появляется необходимость корректировать схождение колес. Для этого уменьшали трение в пятне контакта и меняли вертикальные углы установки колес в зависимости от нагрузки на колесо. Методика регулировки углов развала-схождения колес прошлого столетия с использованием светового луча, отвесов и шнуровок вполне справлялась со своей задачей, улучшая управляемость автомобилей с не высокими эксплуатационными скоростями. С увеличением средней скорости движения транспортного потока ученые стали понимать, что измерения двух-трех параметров углов установки колес уже не достаточно. Были разработаны новые более точные установки для регулировки углов при помощи лазеров, однако количество измеряемых параметров при этом не менялось.

В настоящее же время, когда эксплуатационные скорости повысились до 110-150 км/ч ученые стали искать более сложные методики оценки углов установки колес, измеряя не только вертикальный и горизонтальный углы развала и схождения колес в стационарном положении транспортного средства, но и поведение автомобиля на высоких скоростях,

включая маневрирование автомобиля. Так зарубежные исследователи [7] разработали сложную систему датчиков измерений, которые вынуждены на ходу производить измерения углов установки колес, когда измерительное оборудование передает сигналы оператору, находящемуся в салоне автомобиля. Это позволило установить, что весьма значительным влиянием на управляемость автомобиля оказываются углы установки передних стоек и взаимосвязь с углами установки передних (управляемых или ведущих) колес и параметры установки задних ведомых колес.

Зарубежные методики оценки управляемости автомобиля во время его движения по сложной траектории позволили установить углы установки колес по значительно более сложным осям и углам замеров и диапазонам их изменения с увеличением нагрузки и скорости движения.

Нами разработана упрощенная методика оценки углов установки колес на испытательном стенде, призванном исследовать процесс износа автомобильных шин и дорожных покрытий в различных режимах вращения стенда.

Многофункциональность установки для оценки процесса износа колеса и покрытия позволяет исследовать влияние множества технологических параметров устройства дорожных покрытий, применения различных материалов для изготовления дорожных покрытий, оценить влияние шипованной резины на процессы износа, исследовать различные эксплуатационные характеристики, такие как шум, изменение пятна контакта с повышением эксплуатационных скоростей и пр.

Новая методика подразумевает измерение углов установки колес по отношению к траектории движения, к раме привода установки, оценивать изменение усилий в приводе установки во время движения и динамических изменений нагрузки на колесо. Это позволяет также осуществлять мониторинг изменения параметров установки колес на различных скоростях движения, когда оператор снимает показания датчиков, находясь в стационарном состоянии. Это стало возможным, благодаря использованию специально разработанной универсальной рамы для навески измерительных устройств, установки современных дальномеров и стерео- камер на эту раму, а также энкодера на оси вращения колеса для синхронизации сигнала со скоростью вращения. Предлагаемая методика позволит исследовать стойкость автомобильных шин и дорожных покрытий безотносительно к данному конкретному автомобилю, где конструктивные особенности и техническое состояние подвески автомобиля оказывают значительное влияние на результаты измерений углов установки колес. Кроме того, такой испытательный автомобиль невозможно заставить двигаться по одному и тому же покрытию, где хотя бы условно считалось бы дорожное покрытие однородным в рамках эксперимента.

Классификация современных методов регулировки развал-схождения на автомобилях следующая:

- электронно-оптические стенды;
- стенды, получаемые данные с измерительных головок;
- стенды, использующие технологию трехмерного измерения (3D стенды).

При использовании электронно-оптических стендов на колеса автомобиля устанавливаются датчики, которые посылают световые лучи на шкалы. По положению световых лучей на шкалах судят о положении колес. Данная технология была разработана в середине 50х годов XX века. Принцип действия компьютерных стендов с измерительными головками. На колеса устанавливают специальные измерительные головки. Внутри головок установлены

электронные датчики, которые передают данные на обработку компьютеру. Компьютер преобразует показания и выводит их в графическом виде на дисплей. Недостаток метода в том, что измерительные головки со временем они начинают искажать результат. Измерительным головкам требуется периодическая калибровка. Измерительная головка может пострадать в результате неосторожного обращения, что усложняет работу на таком стенде. В таких стендах используются либо 2, либо 4 измерительные головки. Стенд с 4 головками намного точнее, так как в процессе измерения углов учитывается положение задних колес. Помимо этого в измерительных головках может использоваться различное количество датчиков, что тоже сильно влияет на качество результата.

Принцип системы измерения на основе 3D-технологии разработанной в середине 90-х годов, в обработке изображения, получаемого с CCD-видеокамер высокого разрешения. Для построения изображения используются мишени с метками, которые устанавливаются на колеса. Методика измерений основывается на свойствах предметов в перспективе и ракурсе. Зная форму, реальный и видимый размеры предмета, можно рассчитать расстояние до этого предмета и угол, на который он отклонен. Система высокоточная и дает погрешность в 1 мм при расположении камеры на расстоянии 10 м. Процедура измерения углов достаточно проста. Первым шагом является выполнение позиционирования - определение положения осей автомобиля в пространстве. Для этого достаточно прокатить автомобиль назад на 30 см (отклонение колеса на 45 градусов). Во время откатывания по мишеням определяются координаты осей вращения колес, и затем строится трехмерная модель базиса автомобиля. Относительного этого базиса и вычисляются углы развал-схождения.

Преимущества стендов регулировки развал-схождения с системой 3D:

- упрощенная процедура компенсации биения дисков ускоряет процесс измерения;
- мишени не изнашиваются;
- малая погрешность измерений.

Данная методика и была взята за основу для разработки методики оценки углов установки колес во время движения его по покрытию на испытательном стенде «КУИДМ». Несмотря на ряд преимуществ, 3D стенды имеют ряд недостатков, по сравнению с "головочными" стендами:

- стационарность;
- высокая стоимость;
- ограниченный рабочий диапазон высот подъемника (существует система вертикального перемещения балки, но она увеличивает стоимость стенда);
- камера может «не видеть» мишень, если на линии между камерой и мишенью существует физическое препятствие.

Развитие системы 3D измерений углов установки колес привело к появлению полностью роботизированного стенда измерения развал - схождения, в основу которого специалисты SIEMENS положили метод трехмерного бесконтактного сканирования. Этот стенд развал - схождения представляет собой подъемник, на который заезжает автомобиль, с двумя сканерами, движущимися с двух сторон автомобиля. Высокая точность измерений до 0,002 градуса и отсутствие работы оператора выводит методику измерений углов установки колес на новый уровень точности. Алгоритм действия измерительной системы таков:

- выбирается модель автомобиля из базы данных;

- автомобиль заезжает на специальный подъемник;
- после идентификации передней оси робот движется к задней.

Кроме влияния углов установки колес движущегося автомобиля на образование колеи и истирание покрышек есть еще целый ряд факторов. Резкому увеличению уровня износа дорожных покрытий способствует применение шипованной резины. Шины, оборудованные шипами, начали применяться в 1960-х годах с целью увеличения сцепления в зимний период. Но сравнительно недавно повысились эксплуатационные скорости таких шин и интенсивность движения уже не та, что была в прошлом столетии. Исследования показывают, что применение шипованной резины резко увеличивает износ дорожного покрытия [3, 6].

Наибольшее количество исследований, связанных с использованием шипов, проведено в Финляндии. Также проблема износа изучается в северных штатах США. Расчеты и эксперименты показали, что каждое транспортное средство, оборудованное шипованной резиной, за год способствует износу покрытия на 11 кг [6].

Для прогнозирования процесса колееобразования необходимо применять методики, наиболее приближенные к условиям эксплуатации покрытия. В Московском автомобильно-дорожном государственном техническом университете (МАДИ) был разработан и сконструирован универсальный комплекс для испытаний дорожных покрытий и автомобильных шин КУИДМ-2 «Карусель» (рис. 1), позволяющий проводить исследования влияния углов установки колес, применения шипованной резины как на ведомых, так и на ведущих колесах на условия образования колеи при движении колес по покрытиям из различных материалов. Кроме того, данный комплекс имеет ряд особенностей, позволяющих считать этот комплекс уникальным, за счет возможности проведения следующих испытаний:

- Исследование уровня шума при движении колес по покрытиям из различных материалов;
- Испытание нескольких образцов конструкций дорожной одежды в одних и тех же гидрогеологических, климатических, температурных условиях и фиксируемой динамической нагрузки;
- Исследование влияния антигололедных химических реагентов на долговечность материалов покрытия и скорость колееобразования при воздействии автотранспорта;
- Исследование влияния воздействия шипов автомобильных покрышек на материалы дорожного покрытия и их устойчивость к износу и образованию колеи;
- Исследование работы слоев дорожной одежды из различных материалов при различной скорости образования чаши прогиба;
- Испытание материалов дорожной разметки на устойчивость к истиранию и долговечность.

Кроме того, испытательный комплекс позволяет производить разные виды исследований одновременно:

- нескольких материалов и/или конструкций дорожной одежды на прочность, износ, колееобразование;
- при воздействии покрышек с шипами и без шипов;
- при воздействии ведущих и ведомых колес;
- сцепных свойств материалов;

- материалов дорожной разметки;
- материалов и конструкций деформационных швов;
- по уровню шума при движении колес по покрытиям из различных материалов;
- другие исследования.

Схема установки, реализованная на базе учебно-производственного полигона МАДИ, представлена на рис. 1. Фото сделано на стадии монтажа грузового стенда, легковой стенд уже функционировал в полной мощности.



*Рис. 1. Общий вид комплекса КУИДМ-2 «Карусель»*

КУИДМ-2 предназначен для эксплуатации в условиях соответствующих климатическому исполнению V категории 3.1. ГОСТ 15150, в атмосфере не активнее типа 2а со степенью коррозионной агрессивности до 3 по ГОСТ 9.039 [5] при температуре окружающего воздуха от минус 30°С до плюс 40°С при естественной влажности.

Комплекс универсальных испытаний дорожных материалов КУИДМ-2 «Карусель» укомплектован силовой установкой, мощностью до 200 КВт и установленной на нем комплектом оборудования для проведения измерений в следующем составе (рис. 1.2):

- система фиксации параметров продольной ровности;
- система фиксации параметров поперечной ровности покрытия;
- система фиксации параметров шероховатости;
- система фиксации деформации слоев дорожной одежды;
- система замера уровня шума;
- система замера температуры конструкции дорожной одежды.

Установка оснащена датчиками скорости, перемещения, нагрузки на ось, счетчиками числа оборотов и т.д. Авторское право на данную установку защищено двумя патентами Российской Федерации на полезную модель [4, 5].

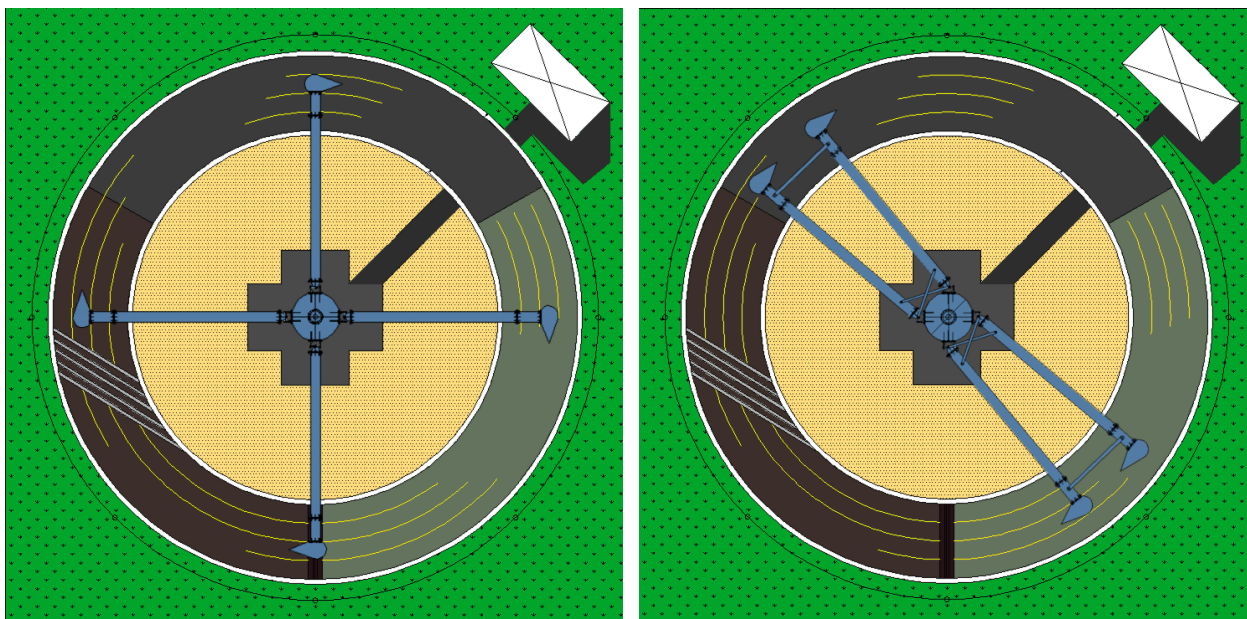
Гидравлические движители устанавливаются на колесах установки, что позволяет моделировать воздействия ведущих и ведомых колес автомобиля.

На колесах установлена также тормозная система, что обеспечивает моделирование процессов разгона-торможения в реальных условиях.

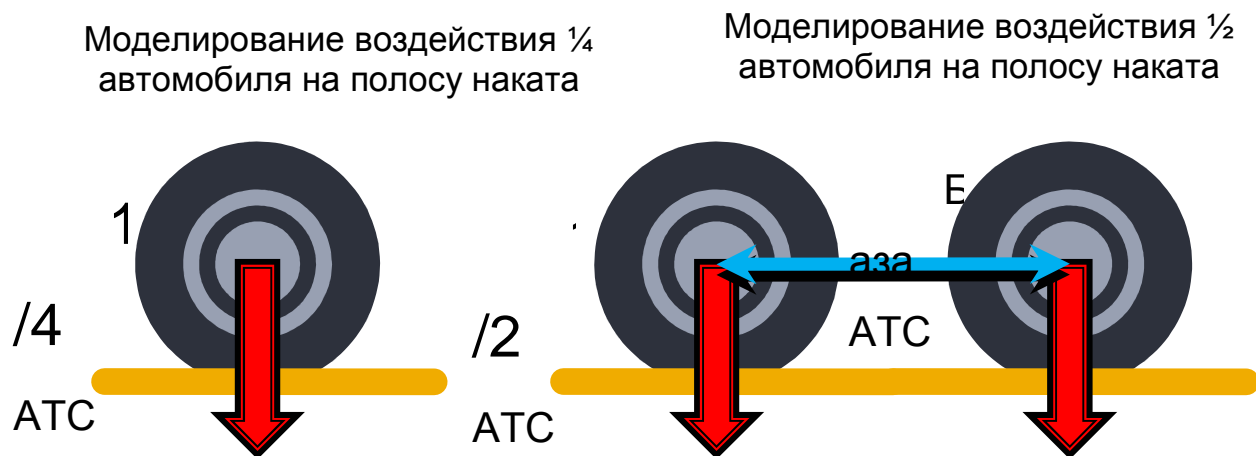
Технические возможности комплекса позволяют моделировать различные режимы воздействия автомобильного транспорта на покрытие при скорости движения до 140 км/ч.

Кроме того, комплекс КУИДМ-2 позволяет обеспечивать расчетное давление каждого колеса автотранспортного средства на покрытие (эквивалентное давлению  $\frac{1}{4}$  автомобиля) 600

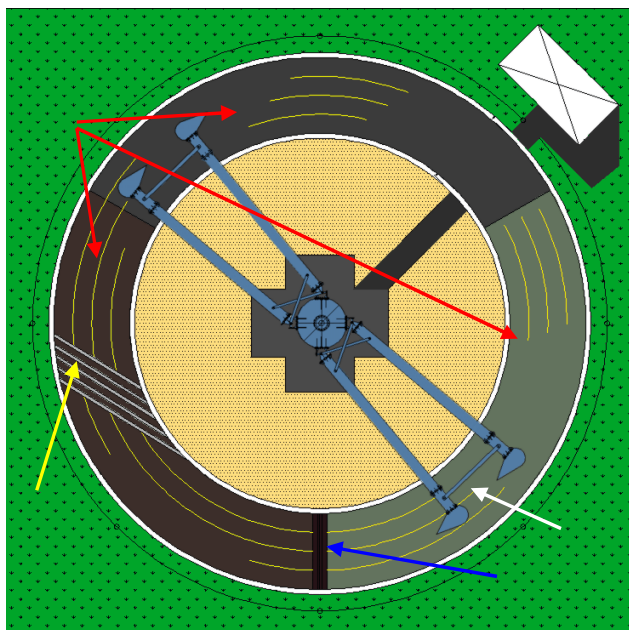
кг и обеспечивать расчетное давление двух колес при различной базе (эквивалентное давлению  $\frac{1}{2}$  автомобиля) 1200 кг (рис. 2, 3).



*Рис. 2. Моделирование воздействия автомобиля на полосу наката*



*Рис. 3. Расчетная схема воздействия автомобиля на полосу наката*



1. - Одновременные испытания нескольких материалов и/или конструкций дорожной одежды на прочность, износ, колееобразование при воздействии покрышек с шипами и без шипов;
  2. - Исследование сцепных свойств материалов;
  3. - Испытания материалов дорожной разметки;
  4. - Испытания материалов и конструкций деформационных швов;
- И другие исследования.

*Рис. 4. Варианты испытаний, проводимые комплексом*

Технические характеристики установки:

Работа комплекса обеспечивается наличием одной трехфазной сети напряжением 220В - 380 В. Потребляемая мощность до 200 кВт/час.<sup>1</sup>

Масса установки комплекса с оборудованием не более 6000 кг.

Габаритные размеры КУИДМ-2: радиус колеи 15±1м.

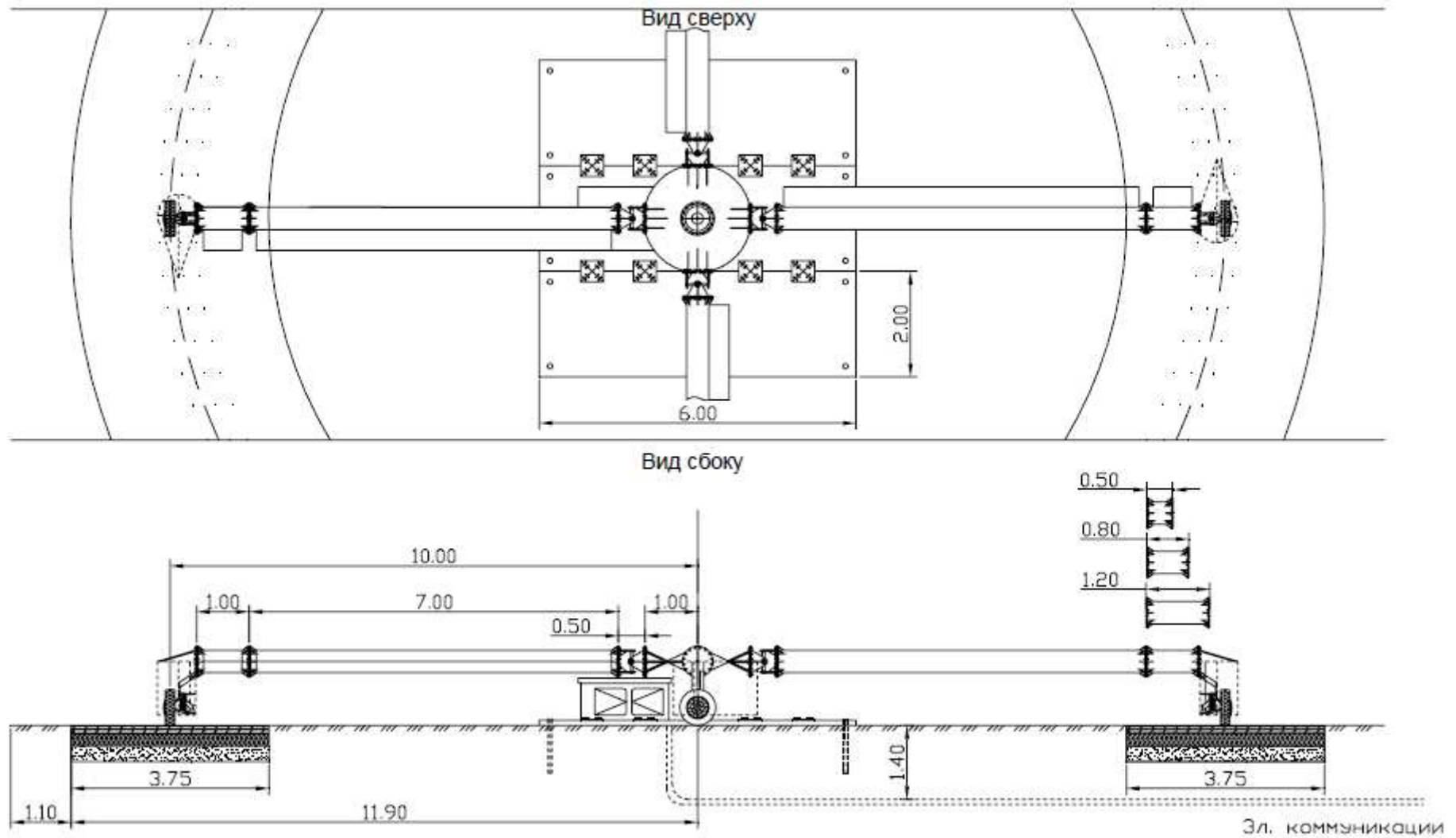
Размеры площадки для размещения установки 50х30 м, дополнительно 50 м<sup>2</sup> для размещения подсобных помещений.

Установка аттестована в качестве средства измерения.

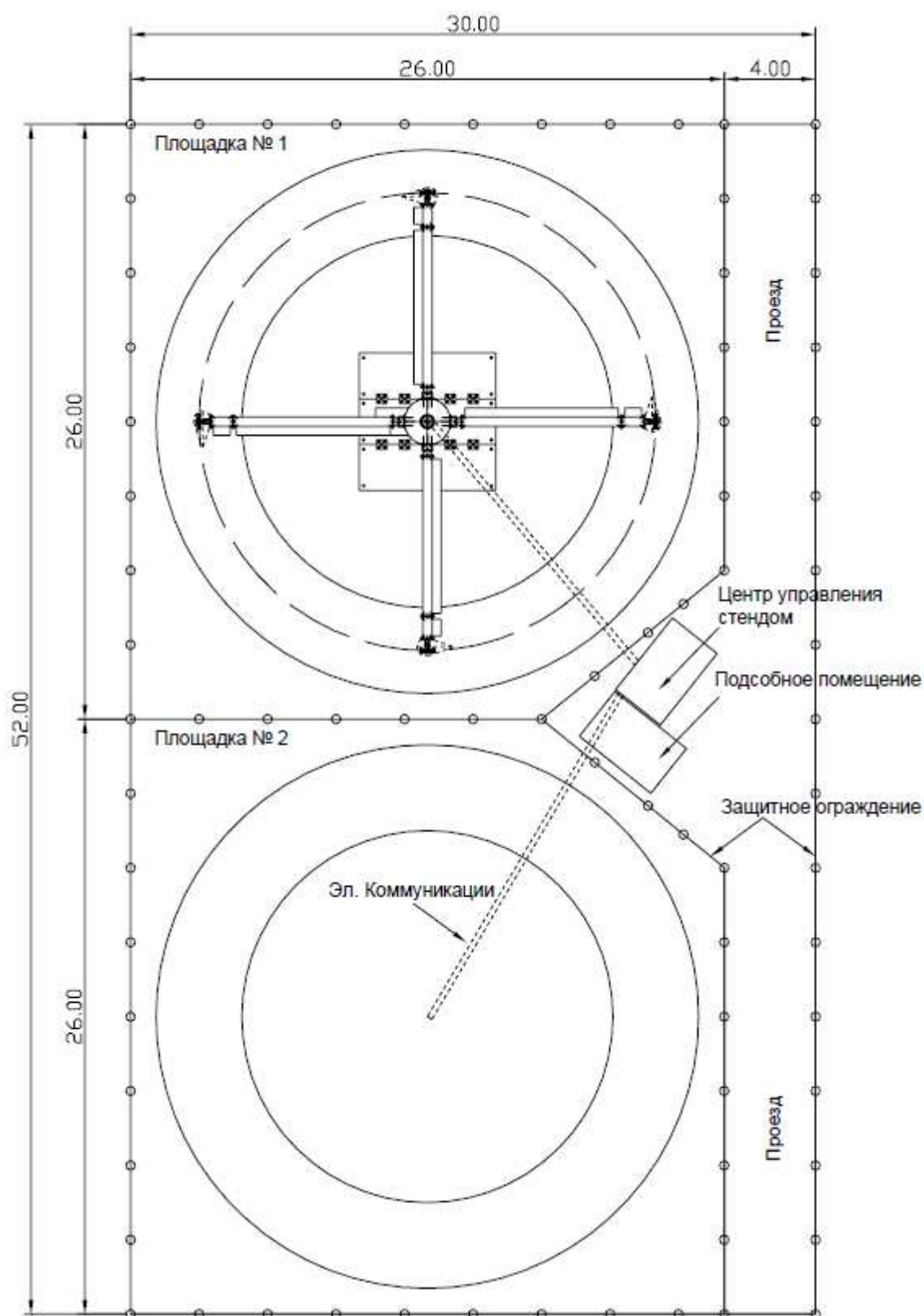
На рис. 5-6 приведена принципиальная схема установки и ее габаритные размеры. Как видно на рис.6, на полигоне МАДИ реализована возможность проведения испытаний как на легковом стенде, на Площадке № 1, так и на стенде, моделирующем нагрузку на покрытие от движения грузового транспорта. Исследование углов установки колес на таком стенде будет реализован в будущем, а на первом этапе планируется ограничиться легковым стендом.

<sup>1</sup> Будет уточняться в процессе ходовых испытаний.





*Рис. 5. Схема комплекса универсальных испытаний дорожных материалов КУИДМ-2 «Карусель»*



**Рис. 6.** План испытательной площадки комплекса универсальных испытаний дорожных материалов КУИДМ-2 «Карусель»

Отечественными и зарубежными исследованиями давно подтверждено, что в условиях повышенных скоростей движения автомобилей особое внимание уделяется как воздействиям

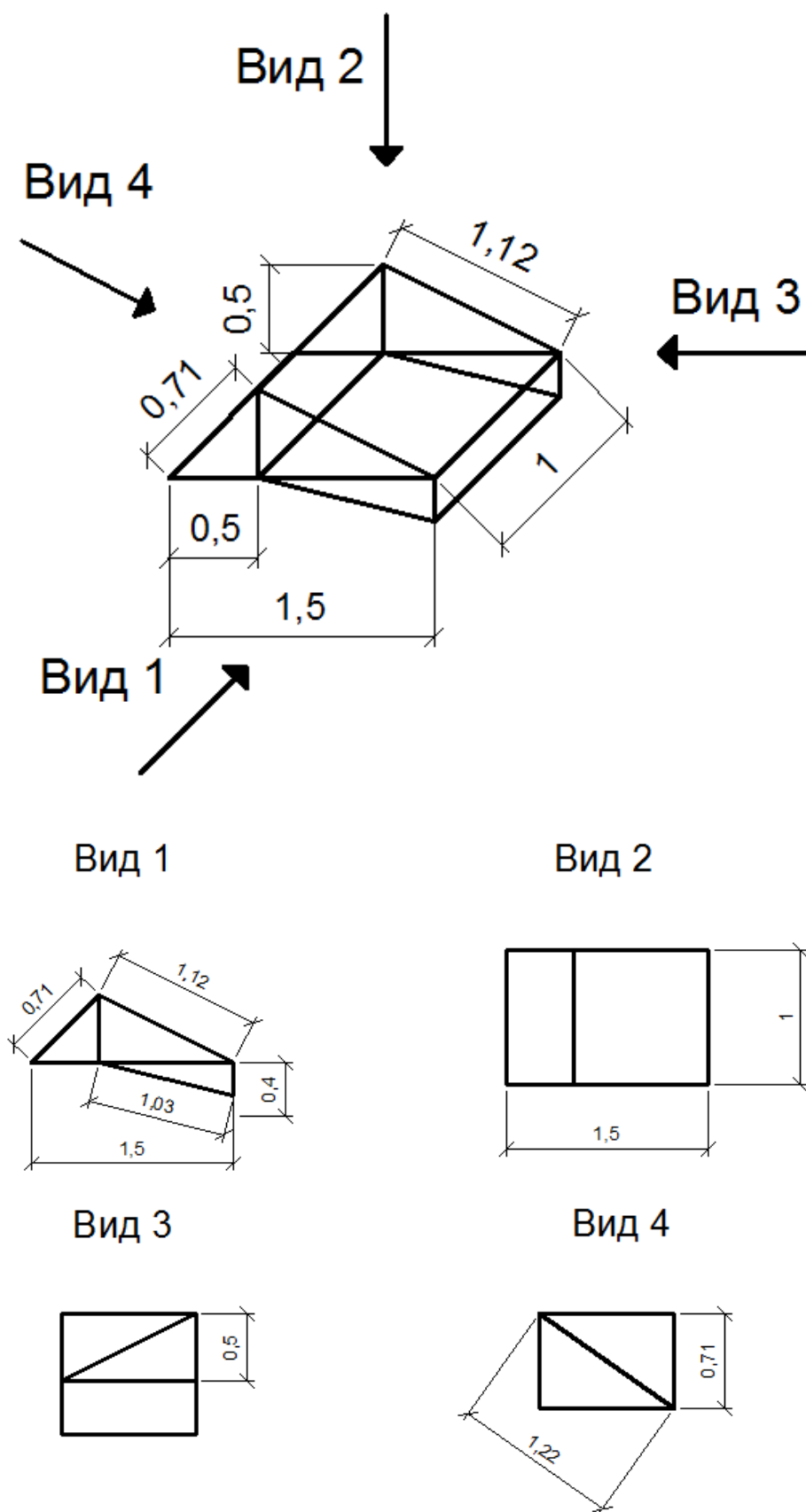
шипованной резины, так и углам установки колес. В своих исследованиях на причину колееобразования дорожных покрытий все чаще называют воздействие шипованной резины. Европейские страны давно регулируют количество оснащенных шипами автомобилей через налогообложение и регулирование ценообразования таких колес. В России же ограничить количество транспорта с шипами не представляется возможным, поэтому остается один путь к уменьшению влияния интенсивного воздействия шипов на дорожное покрытие – закладывать данный износ на стадии проектирования, чтобы этот показатель стал одним из основополагающих при выборе материала покрытия дорожной одежды. Поэтому особую актуальность приобретает исследование различных составов асфальтобетонных покрытий, сравнение их с цементобетонами на покрытии по степени влияния шипованной резины на процесс износа покрытий дорог. Это позволит оптимизировать широкий спектр предлагаемых на рынке материалов для асфальтобетона и наложит определенные рамки качества на исходные материалы для проектирования дорожных покрытий.

Кроме того, не вызывает сомнения, что изменение углов установки колес в значительной мере определяет скорость износа шин и покрытий, изменяет коэффициент сопротивления качению колеса, ведет к потере управляемости и ухудшению тормозных характеристик автомобилей. Однако нет исследований, показывающих объективно: насколько сильно влияет «переобувка» автомобиля в зимнюю ошипованную шину без изменений углов установки колес автомобиля. Намеченные исследования призваны исправить ситуацию, показать всю важность ранжирования материалов дорожных покрытий по стойкости к образованию износной колеи, оценить степень износа при смене резины с дорожной резины на ошипованную зимнюю и оценить необходимость корректировки углов установки ведущих и ведомых колес при такой замене.

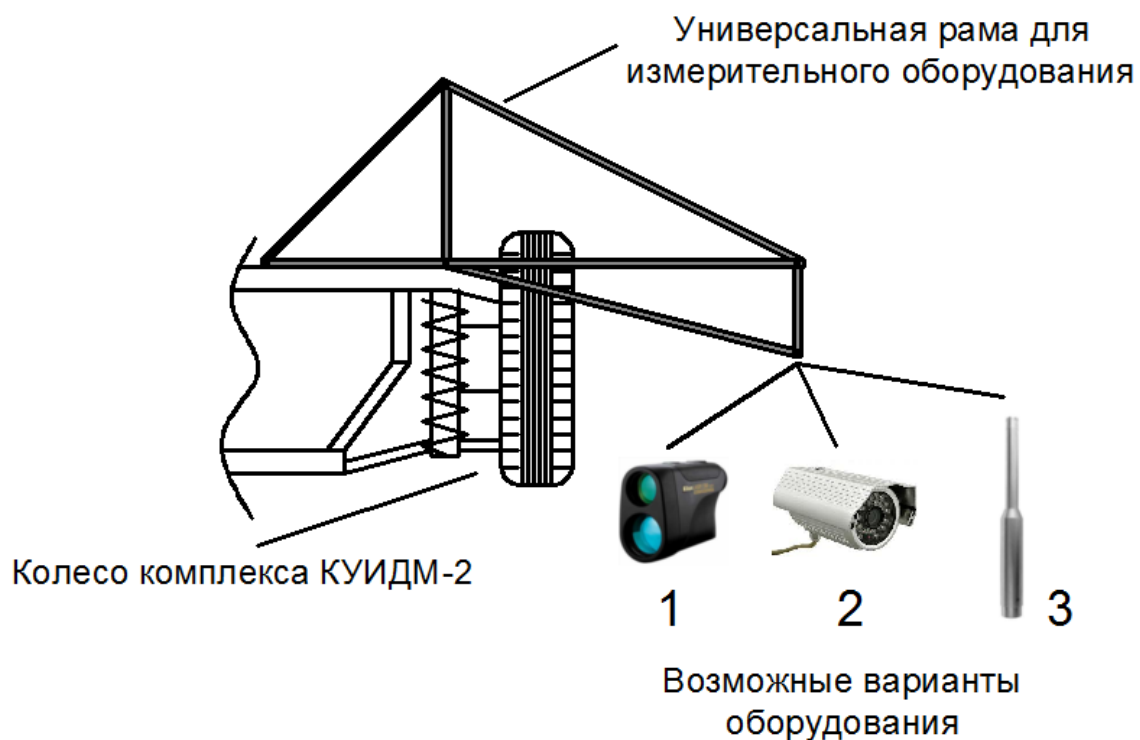
Конструкция подвески станда с обозначением номеров типовых каталожных номеров деталей представлена на рис. 7. Откуда видно, что конструкция подвески колеса позволяет производить регулировку углов установки колес аналогично автомобилю с передним приводом отечественного производства. Также на рисунке приведены основные углы установки колес, которые могут изменяться в процессе регулировки развала-схождения. Это позволит осуществлять описанные выше замеры углов установки колес и, изменяя их, влиять на скорость изнашивания шин и покрытий.

Разработанное авторским коллективом техническое дополнение к универсальному комплексу КУИДМ-2 в виде опорной рамы для расстановки дополнительного измерительного оборудования представлено на рис. 8-10.





**Рис. 8.** Универсальная рама для измерительного оборудования. Размеры универсальной рамы



*Рис. 9. Расположение рамы на комплексе КУИДМ-2  
1 – лазерный дальномер; 2 – камера*



*Рис. 10. Общий вид универсальной рамы в лабораторных условиях*

Основное назначение разработанной рамы для испытательного комплекса – это возможность проведения замеров углов установки колеса на испытательном комплексе в динамичном режиме. Съёмные струбцины позволяют устанавливать раму на каждое колесо по очереди и на основании замеров производить регулировку углов установки. Сложность конфигурации рамы обусловлена необходимостью сохранения жесткости при динамических нагрузках на раму, чтобы не изменялось ее местоположение в процессе проведения испытаний. Фронтальная часть установки позволяет установить стереокамеры или другое оборудование ближе к оси вращения колеса.

Температура воздуха в момент испытания также будет оказывать влияние на давление воздуха в шинах, гистерезисные характеристики шин, пятно контакта, а, следовательно, будут меняться такие важные характеристики как сила сопротивления качению колеса, динамический радиус колеса и др. Измерения необходимо производить на различных режимах вращения колеса под регулируемые динамическими нагрузками, чтобы точно установить диапазон изменений углов установки колес с повышением скорости вращения и прикладываемых нагрузок.

Для получения сопоставимых с зарубежными источниками данных, первая серия экспериментов проводилась на легковом стенде при скорости движения 100 км/ч. Измерения углов установки колес при помощи стереокамер и беспроводного устройства передачи данных по модулю WiFi передаются вместе сигналом от энкодера на переносной портативный компьютер с установленным специализированным программным обеспечением, позволяющим фиксировать мгновенные изменения углов установки колес в зависимости от скорости проведения испытаний. После осуществления замеров на одном колесе переходят к установке опорной рамы с установленным измерительным оборудованием на следующее колесо для регулировки. После определения оптимального угла установки колес по наименьшим потерям на силы трения и качения, осуществляется регулировка всех 4 колес установки для обеспечения единого распределения усилий. Проводятся измерения шума при использовании на стенде дорожной резины, затем при неизменных условиях устанавливаются шины, оборудованные шипами.

Необходимо отметить, что выполненные на данном этапе измерения проводятся лишь при одних заданных дорожно-климатических условиях, влияющих на силу сопротивления качению колеса. Для внедрения предлагаемой методики в практику исследования влияния углов установки колес на процесс изнашивания резины и покрытия необходимо рассмотреть различные варианты сочетания факторов и выявить наиболее значительно оказывающие влияние на процесс изнашивания для более точного определения зависимости его от углов установки колес. Исследовательские работы на измерительном стенде «Кудим-2» продолжаются.

### **Выводы:**

1. Анализ достижений отечественной и зарубежной научной литературы позволил разработать упрощенную методику оценки влияния на процессы изнашивания дорожных покрытий состояния автотранспорта при повышенных скоростях его движения.
2. Установлено решающее влияние на износ шин и дорожных покрытий углов установки колес при повышенных скоростях движения автотранспорта.
3. Разработана упрощенная методика оценки углов установки колес на испытательном стенде «КУИДМ-2», установленном в МАДИ, при различных режимах его вращения, что позволило исследовать влияние ряда факторов на

износ шин и дорожных покрытий при повышенных скоростях движения автотранспорта: параметров устройства дорожного покрытия, наличия шипованной резины, угла установки колес, пятна контакта колеса с покрытием.и др. факторов.

4. Новая методика измерений разработана с использованием универсальной рамы, позволившей установить современные дальнометры, стереокамеры и энкодеры синхронизации сигнала со скоростью движения колеса.
5. Предлагаемая методика позволяет исследовать стойкость шин любого автомобиля в зависимости от угла установки колес и состояния подвески.
6. Разработанный и усовершенствованный в МАДИ испытательный комплекс «КУИДМ-2» способствует исследованию комплекса факторов, влияющих на износ шин и асфальтовых и бетонных покрытий в условиях, максимально приближенных к реальным при повышенных скоростях движения автотранспорта.
7. Комплекс позволяет также выявить влияние шипованной резины на износ шин и покрытий при повышенных скоростях движения автотранспорта на автомагистралях.
8. Эти исследования позволят также оптимизировать составы асфальтовых бетонов и виды исходных материалов для их изготовления, повышающих стойкость покрытий к колееобразованию и их долговечность при повышенных скоростях движения.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Вахламов, В.К. Автомобили. [Текст] /В.К. Вахламов, М.Г. Шатров, А.А. Юрчевский. М.: Academia, 2005. 811 с.
2. Туревский, И.С. Теория автомобиля. М.: «Высшая школа» 2005, 240с.
3. Силачева, И. Шипованная резина оказалась основной причиной разрушения дорог в России [Интернет ресурс] /И. Силачева. // Газета Деловой Петербург. <http://www.dp.ru/100q90/>.
4. Патент на полезную модель 96657, МПК G01M7/00, G01M7/06, E01F11/00. Испытательный комплекс для исследования физико-механических характеристик дорожных покрытий (варианты) / Приходько В.М., Васильев Ю.Э., Юмашев В.М. и др. заявитель и патентообладатель МАДИ; - Заявка: 2010107789/22, 04.03.2010; опубл. 10.08.2010.
5. Патент на изобретение 2400594, МПК E01C23/07, G01B5/28, G01C7/04 Способ измерения и регистрации технико-эксплуатационных показателей поверхности покрытия дорожной одежды и функциональный комплекс для его осуществления / Приходько В.М., Васильев Ю.Э., Юмашев В.М.; заявитель и патентообладатель МАДИ; - Заявка: 2009102175/03, 26.01.2009, опубл. 27.09.2010.
6. Износ дорожного покрытия при взаимодействии его с шипованными шинами. Suvanto Erkki / Nastaisku ja tien kuluminen Trisologia. 1991. 10, N2, с. 4-46, 63. Фин.; рез. Англ.
7. CORRSYS-DATRON New sensor system measures dynamic camber angle [Интернет ресурс] / [www.Corrsys-datron.com](http://www.Corrsys-datron.com) // Tech Focus Vol.1, Issue 1.

**Рецензент:** Ляпин С.А., декан факультета инженеров транспорта, д.т.н., профессор кафедры «Управления автотранспортом» Липецкого государственного технического университета.