

# ПРОМЫШЛЕННО • СТРОИТЕЛЬНОЕ ОБОЗРЕНИЕ

Э К С П Е Р Т И З А • О Ц Е Н К А • А Н А Л И З

ЗАВОД  
МОЛОДОЙ УДАРНИК  
1945–2015



НА РЫНКЕ БЕТОННОЙ ИНДУСТРИИ



№ 1 (163) МАРТ 2015



## ЗАДАЧА ГЕРЦА для дорожников

Петербургские ученые постарались разобраться в проблеме образования колеи на городских дорогах и скоростных магистралях. Сочетая решения задач классической механики и современные представления о поведении материалов при экстремальных ударно-волновых воздействиях, они смоделировали процесс разрушения верхнего слоя асфальтобетона автомобильными шипами антискольжения и сформулировали требования к материалу дорожного покрытия.



Качество в строительстве – это строгое соответствие стандартам и безукоризненное соблюдение нормативов при производстве, укладке или монтаже и эксплуатации материалов и конструкций. Именно так считают специалисты стройиндустрии.

Но, как оказалось, следование нормативным требованиям не всегда может гарантировать результат – при эксплуатации объекта выявляются проблемы, лежащие за пределами действующих ГОСТов, которые зачастую являются устаревшими.

### Правительственный грант как средство улучшить дороги

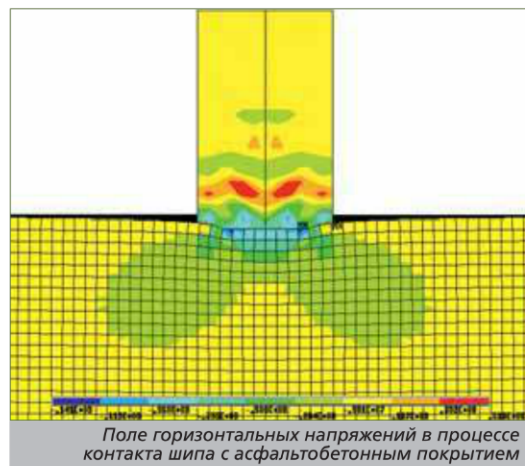
Научно-исследовательский центр «Динамика» Санкт-Петербургского государственного университета ведет исследования в области механики и физики быстрых переходных процессов, позволяющие теоретически моделировать и прогнозировать поведение материалов и конструкций в экстремальных условиях.

За этим стоит современная экспериментальная база, комплекс высокотехнологичного оборудования и специалисты высокой квалификации в различных областях теоретической и экспериментальной физики – все это дает возможность центру решать уникальные задачи. Как отмечают в НИЦ, спрос на прикладные исследования материалов, объектов и элементов конструкций, работающих с интенсивными нагрузками, растет с каждым годом.

«Проблема в том, что в экстремальных динамических режимах материалы и конструкции ведут себя иначе, чем при обычных, статических и медленных взаимодействиях, причем иногда этот процесс происходит с точностью до наоборот по сравнению с рассчитанным по принятым стандартам, – рассказывает

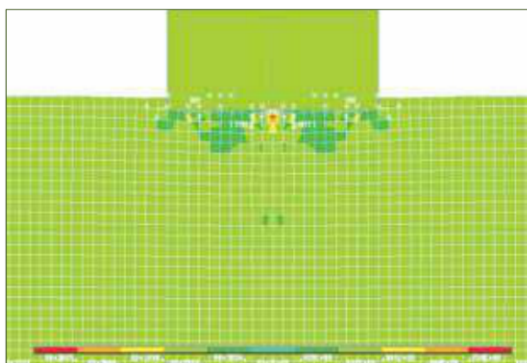
руководитель НИЦ «Динамика», член-корреспондент РАН, профессор матмеха СПбГУ, зав. отделом «Экстремальные состояния материалов и конструкций» Института проблем машиноведения РАН Юрий Петров. – Другими словами, выбранный из многих других идеальный, казалось бы, материал может оказаться худшим в условиях высокоскоростных воздействий только потому, что проектировщик руководствовался нормативным документом, в котором гостированы результаты испытания образца под медленной квазистатической нагрузкой.

По мнению ученого, современные высокие скорости, высокие динамические нагрузки и высокие плотности энергии ударного взаимодействия предъявляют особые требования к свойствам и выбору материалов.



Поле горизонтальных напряжений в процессе контакта шипа с асфальтобетонным покрытием





Состояние образца в процессе моделирования удара достаточно большой скорости, точками отмечены узлы, в которых произошло разрушение

Поэтому интерес к теоретическим и лабораторным исследованиям НИЦ сегодня проявляют многие крупные транспортные и добывающие компании – им на практике приходится сталкиваться с этой проблематикой.

Так, в рамках совместной работы с нефтедобывающей компанией RoyalDutchSHELL специалистами НИЦ «Динамика» был проведен цикл исследований различных электрофизических способов удаления глубинных пробок и «раскачки» нефтяных скважин, выполнены экспериментальные и теоретические исследования динамической прочности и трещиностойкости горных пород.

Для ОАО «РЖД» с применением современных программных пакетов расчета методом конечных элементов в НИЦ исследовали поведение балластной призмы железнодорожной насыпи при движении скоростного поезда «Сапсан». Экспериментальные и численные исследования трещиностойкости легли в основу испытаний специальных сталей листового проката, предполагаемого к применению в газопроводе «Северный поток» (работа проведена совместно с ЦНИИ «Прометей» и ОАО «Газпром»).

Аналогичные решения развиваются применительно к проблемам прочности и безопасности корабельных конструкций. Проект по оптимизации энергоемкости подводного разрушения горных пород выполнен по заказу голландской компании MTP Holland BV, которая занимается глубоководной добычей полезных минералов.

Вопрос образования колеи на российских дорогах ни в чем не уступает этим проблемам концернов с мировым именем. Ежегодно в мире проходят крупные конгрессы, на которых специалисты из разных стран в области физики и механики совместно с инженерами дорожных отраслей обсуждают академические и практические вопросы создания новых композитных материалов и конструкций, обеспечивающих прочность и износостойкость дорог в самых разных природных и географических условиях.

Хотя сама идея разобраться с причинами появления колеи начиналась в 2006 году как пробная расчетная задача для молодых ученых НИЦ «Динамика», недавних выпускников университета, и выполнялась в рамках гранта Санкт-Петербурга в сфере научной и научно-технической деятельности по наиболее актуальным и значимым для города направлениям.

## Теория и практика разрушения

«Первый грант был сугубо теоретический, мы просчитали условия для возникновения разрушений в верхнем слое асфальта на КАД с образованием колеи на левой полосе движения. Причем уже тогда мы связали образование колеи не с пластической деформацией под весом большегрузных автомобилей, которые движутся как раз по правой полосе, а с воздействием ударного напряжения, которая в простейшем случае описывается задачей Герца, – поясняет один из исполнителей работы кандидат физико-математических наук Владимир Братов. – Решение этой и других задач классической задачи механики контактного взаимодействия позволило протестировать построенную затем численную модель процесса динамического разрушения при ударе автомобильного шипа об асфальтовое покрытие, а также оценить, как свойства асфальтобетона влияют на пороговые характеристики разрушения».

В качестве наиболее близкой к реальным условиям исследователи рассматривали осесимметричную задачу нормального удара стального цилиндра (стандартного для шин легкового автомобиля шипа массой 2,1 г, высотой 16 мм и радиусом 2,4 мм) о полупространство (асфальтобетонное покрытие).

Дальнейшие численные эксперименты сводились к тому, чтобы рассчитать поля напряжения в процессе контакта дорожного покрытия с шипом и определить, при каких условиях в материале начнется разрушение под воздействием этих полей. Для этого было изучено поведение ряда стандартных и асфальтобетонных смесей с различными

## Современные высокие скорости, высокие динамические нагрузки и высокие плотности энергии ударного взаимодействия предъявляют особые требования к свойствам и выбору материалов

свойствами. Для каждого из них была выполнена серия численных экспериментов по определению критической скорости движения, при которой начинается образование трещин в асфальтобетонном покрытии, и выведена зависимость между ее величиной и механическими характеристиками асфальтобетона.

Судя по графику зависимости, как только скорость автомобиля начинает превышать 75 км/час, склонность стандартного асфальтобетона к хрупкому разрушению резко увеличивается. Следовательно, на скоростных магистралях каждое колесо с шипами антискольжения действует как абразивный инструмент, снимая слой за слоем дорожное покрытие.

Физики называют это эффектом температурно-скоростного соответствия: многие материалы при высоких скоростях ведут себя так же, как при низких температурах. Согласно



этому принципу, даже очень короткое, но скоростное энергетическое воздействие на пластичный материал делает его хрупким. Именно поэтому колея образуется на более скоростной полосе движения.

В ходе исследования сотрудники НИЦ обратились за образцами асфальтобетонных смесей к изготовителям в ОАО «АБЗ-1».

Оказалось, что дорожники, со своей стороны, также стараются решить проблему абразивного износа дорожного покрытия, экспериментируя с подбором состава асфальтобетона, исходя из параметров дороги, требуемого срока службы покрытия, интенсивности движения и условий эксплуатации.

Уже тогда, в 2007–2008 годах, были построены опытные участки набережных Невы с основаниями и асфальтовым покрытием различного типа, с применением различных минеральных связующих и битумов, модифицированных добавками нескольких видов и типов. Работа по мониторингу этих и новых опытных участков продолжается по сей день.

«По мере знакомства со специалистами АБЗ-1, которые на основании своих наблюдений пришли к представлениям о процессе образования колеи, отчасти подтвердившим наши выводы, мы перешли от математического моделирования к идее совместных испытаний конкретных материалов. Для того чтобы постараться теоретически и экспериментально вывести параметры асфальтобетонных смесей с оптимальной комбинацией жесткости, прочности и вязкости, – говорит Юрий Петров. – Как и в большинстве материалов, в асфальтобетоне увеличение жесткости зачастую происходит за счет потери вязкости, а рост вязких характеристик, способствующий сопротивляемости к ударной эрозии на высоких скоростях, приводит к снижению статической прочности.

Чтобы преодолеть эти противоречия, разработаны технологии изготовления композитных материалов, специальные технологии упрочнения и другие методики, которые так или иначе можно применять в практике дорожного строительства. Но чтобы понять, как разрушается материал, нужно знать, как он деформируется, какие при этом в нем возникают импульсы, волны, поля напряжения.

Помимо этого, нужны специальные динамические критерии оценки критических характеристик этих полей с параметрами, определяемыми из высокотехнологичных лабораторных экспериментов. Решаемая затем математическими методами задача, комбинирующая волновые поля с критериями, дает зависимость, отражающую сложное конкурентное влияние прочностных, упругих и вязких свойств асфальта. Все эти процессы были смоделированы, и наши расчетные модели удара шипа об асфальтобетон позволили оперировать еще одним понятием – инкубационным периодом разрушения, в течение которого происходит подготовка структуры к разрыву.

Эта иницирующая стадия характерна для каждого конкретного материала и, несмотря на длительность всего в несколько микросекунд, играет важнейшую роль в процессе динамического разрушения. Инкубационное время разрушения можно легко определить экспериментально, но научиться управлять этим ресурсом не так просто. По сути, это

Судя по графику зависимости, как только скорость автомобиля начинает превышать

**75 км/час,**  
склонность стандартного асфальтобетона к хрупкому разрушению резко увеличивается

и означает уметь оперировать свойствами жесткости, прочности и вязкости конкретной асфальтобетонной смеси – задача, решаемая пока на теоретическом уровне и требующая дальнейших серьезных экспериментальных исследований».

### Всем миром

Справедливости ради надо признать, что в изучении влияния скоростного режима автомобилей и шипованных покрышек на качество дорожного полотна ученые НИЦ «Динамика» не являются первопроходцами. За рубежом давно обратили внимание на действие зимних шин. В Финляндии воздействие шипов на состояние дороги изучали несколько лет и в результате ввели ограничение на предельную массу шипа – не более 1,2 г. Исследования этой проблемы в США подтвердили, что при массе шипа не более 1,1 г потенциальный срок службы покрытий уменьшается на 36% по сравнению с использованием обычного шипа.

С 2004 года в странах Северной Европы действует стандарт EN 12697-16, регламентирующий испытания лабораторных образцов асфальтобетона на устойчивость к износу шипованными шинами. С введением новых нормативов ведущие производители покрышек меняют форму и материал шипов: используют для изготовления корпуса шипов алюминий, делают вставки из пластика, снижают массу до 0,8 г, уменьшают высоту, форму и диаметр шипов, ограничивают их количество на единицу поверхности шины.

В России в 2004 году Росавтодором введены «Рекомендации по выявлению и устранению колеи на нежестких дорожных одеждах», где впервые были определены факторы, способствующие образованию «пластичной колеи», «скрытой колеи» и «колеи износа».

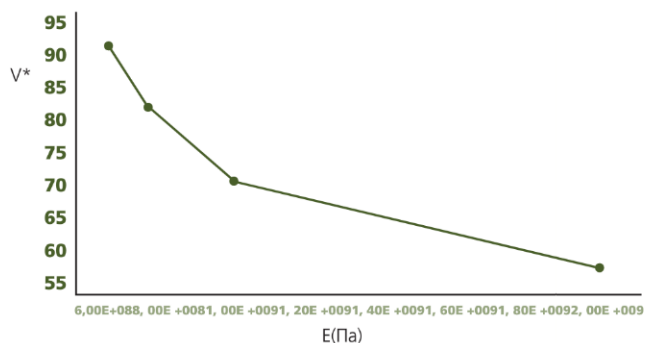
Специалисты ЗАО «ВАД», которые также занимались изучением причин износа асфальтобетонных покрытий, называют в качестве основных причин интенсивность и высокую скорость движения автомобилей на автомагистралях, разгоны и торможения в пробках, применение антигололедных реагентов, частые циклы замораживания-оттаивания, а также применение шин с шипами антиобледенения.



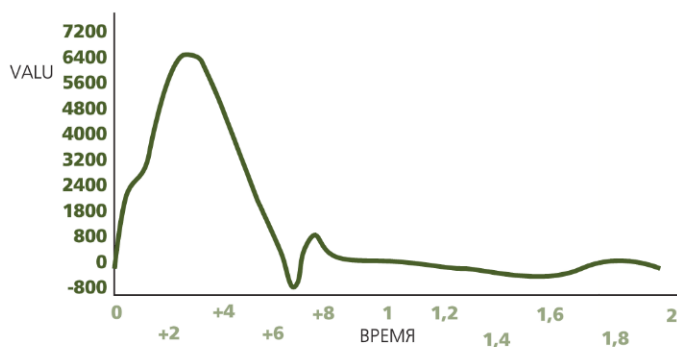




### ЗАВИСИМОСТЬ КРИТИЧЕСКОЙ СКОРОСТИ АВТОМОБИЛЯ, при достижении которой следует ожидать начала микрорастрескивания асфальтобетонного покрытия, от модуля упругости асфальтобетона



### ВРЕМЕННАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ на поверхности асфальтобетонного покрытия вблизи контакта с автомобильным шипом



Чтобы уменьшить влияние этих во многом объективных факторов на разрушение дорожного полотна, нужны устойчивые к абразивному износу асфальтобетоны. Многие из них – многощелебные, щебеночно-мастичные, с использованием модифицированного битума, литые – уже опробованы в практике дорожного строительства.

Но говорить о полной победе над колеиностью даже при условии внедрения новых асфальтобетонных смесей пока не приходится. Получается, что теперь, с появлением математической модели и внедрением методов испытания образцов импульсными нагрузками, появилась возможность скорректировать рецептуры и технологии изготовления асфальтобетонных смесей.

Сегодня в Петербурге сложилась ситуация, когда ученые, дорожные строители, проектные и эксплуатирующие организации вплотную подошли к вопросу совместного решения этой задачи. Одни экспериментально, другие эмпирически, третьи – исходя из экономики содержания дорог.

Так, по данным ФКУ «Дирекция по строительству транспортного обхода», в рамках работ по повышению качества асфальтобетонных покрытий каждый год испытывается 10–15 новых рецептов смесей, на базе КАД запланировано создание полигона и технической базы, которая позволит не только отрабатывать новые материалы и технологии, но и оценивать качество работы подрядчиков. Вопросы образования колеи на кольцевой автодороге, интенсивность движения по которой с каждым годом растет на 5–7%, также находятся в центре внимания ФКУ.

«Наши сотрудники постоянно участвуют в технических совещаниях, которые проводит Дирекция по строительству транспортного обхода, – отмечает руководитель НИЦ «Динамика». – В этой организации есть понимание проблемы возникновения и устранения колеиности с учетом наших пока еще лабораторных разработок.

Например, наше предположение о необходимости использовать разный по составу асфальтобетон для разных полос движения было встречено с готовностью и, как оказалось, технологически осуществимо. К сожалению, в стране сложилась практика, когда промышленность и строительство обращаются к большой науке, если случается что-то серьезное. И наука, разумеется, помогает. Но при этом каждый раз выясняется, что беспокоиться лучше было раньше.

Когда речь идет о новых технологиях XXI века, о новых режимах, о новых скоростях – наука должна быть постоянной составляющей расходов бюджета. Так же, как нельзя экономить на здоровье, то есть заниматься спортом и профилактикой, затрачивая на это и время, и деньги, точно так же в высокотехнологичных областях нужно постоянно вкладываться в науку, даже если это не сулит сиюминутной выгоды. Подобно тому, как здоровье является вашим личным активом, наука является существенной частью развития и стратегической безопасности любой высокотехнологичной отрасли.

Современная дорожная индустрия, которая призвана создавать скоростные дороги, достойные XXI века, также является такой отраслью. Постоянные исследования скоростных режимов движения и взаимодействия, изучение новых материалов, разработка новых конструкций дорог должны осуществляться не эпизодически, а на постоянной основе, в том числе на базе долгосрочных контрактов с университетами и академическими институтами.

Опыт работы НИЦ «Динамика» над совместными проектами с зарубежными коллегами, а это университеты Великобритании и Швеции, Академия наук Китая, также свидетельствует: все, что связано с современными высокоскоростными взаимодействиями, требует постоянной научно-исследовательской работы.

В связи с внедрением скоростных железных дорог к практике такого общения и привлечению научных коллективов университетов и РАН уже пришли в ОАО «РЖД», где в научно-техническом совете мы с коллегами-железнодорожниками разрабатываем программу долгосрочного сотрудничества. Автодорожная отрасль тоже относится к сфере высоких технологий, где связь с фундаментальной наукой, похоже, становится необходимостью. ●

Татьяна Рейтер