

УДК 625.033.34

**Осиновская Вероника Александровна**

ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет»  
Россия, г. Москва<sup>1</sup>  
Доцент, кандидат технических наук  
[Onika44@mail.ru](mailto:Onika44@mail.ru)

## **Влияние вибрации нежестких дорожных одежд на их прочность**

**Аннотация.** Проблема разрушения дорожных конструкций раньше предусмотренного проектом срока с каждым годом становится все более и более актуальной. Ни применение новых материалов и современных технологий строительства кардинально не решают проблему их преждевременного разрушения. При этом необходимо отметить, что существующая расчетная база, созданная на основе многолетнего научного труда поколений ученых-дорожников, позволяет достаточно точно описывать поведение дорожной конструкции в эксплуатации. Однако существующие расчетные модели не позволяют учесть влияние динамических процессов, формируемые в дорожной одежде нежесткого типа после проезда каждого автомобиля, на прочность всей конструкции.

Нами была выдвинута гипотеза о том, что преждевременное разрушение нежестких дорожных одежд напрямую связано с их вибрационным нагружением, при котором происходит дополнительное деформирование дорожных слоев и грунта земляного полотна. В результате вибрация становится дополнительным разрушительным фактором и вносит существенный вклад в образование остаточных деформаций, в процесс истирания несвязных материалов слоев, процесс усталостного разрушения.

Колебательный процесс, возникающий в нежесткой дорожной одежде как результат взаимодействия автомобиля и дорожного покрытия, формирует динамические прогибы дорожной конструкции. Количество и амплитуды прогибов зависят от характеристик слоев дорожной конструкции. Проведенные исследования позволили понять механизм функционирования колебательного процесса в дорожной конструкции и создать виброзащищенную конструкцию с низким уровнем динамических сил. Эффект снижения уровней динамических в дорожной конструкции достигается за счет соответствующего подбора соотношений толщин и физических свойств смежных слоев.

**Ключевые слова:** автомобильная дорога; нежесткая дорожная одежда; транспортный поток; прочность; вибрация; динамические нагрузки; вибронагруженность; виброзащищенная дорожная конструкция.

---

<sup>1</sup> 125319, Москва, Ленинградский проспект, 64 кафедра "Строительная механика" МАДИ

**Вступление.** Дорожная наука, накопив обширный теоретический и экспериментальный материал [1, 2, 3], позволила выявить комплекс причин разрушения дорожных одежд нежесткого типа (Рис. 1):

- статическое и динамическое воздействие на дорожное покрытие транспортных средств, движущихся с высокими скоростями. Количество этих воздействий зависит от интенсивности движения, а уровень воздействий тем выше, чем больше доля тяжёлых многоосных грузовых автомобилей в составе транспортного потока;
- воздействие погодно-климатических факторов. Это воздействие выражается в снижении прочности асфальтобетонных покрытий при уменьшении вязкости битума в летний период; образовании в покрытии температурных трещин при попеременной смене положительных и отрицательных температур; деформировании несвязных слоев дорожной одежды в зимний период из-за многократных периодов замерзания и оттаивания; ослаблении несущей способности грунтов земляного полотна в осенне-весенний период из-за их преувлажнения и т.д. Погодно-климатические факторы способствуют потере необходимых качеств материалов слоев дорожной одежды (сдвигоустойчивость, морозоустойчивость и трещиностойкость);



*Рис. 1. Факторы, влияющие на процесс разрушения нежестких дорожных одежд*

- циклический характер нагружения дорожных конструкций (периодическое воздействие транспортных нагрузок) формирует процесс усталостного трещинообразования за счет многократности приложения этих нагрузок;
- процесс накопления остаточных деформаций;
- использование при строительстве автомобильных дорог слабых грунтов в земляном полотне, а также недостаточное их уплотнения;
- старение и износ асфальтобетонного покрытия в процессе эксплуатации;
- несовершенство методов расчета, проектирования и конструирования нежестких дорожных одежд;
- применение при строительстве автомобильных дорог некачественных дорожно-строительных материалов, а также нарушения в технологии их строительства и др.

Многочисленные научные исследования и данные обследований эксплуатируемых дорог выявили прямую связь между интенсивностью движения и темпами разрушения дорожных конструкций [4, 5, 6]. Рост интенсивности движения приводит к ускоренному снижению прочности дорожных одежд и к последующему росту темпов разрушения. В соответствии с данными представленными в статье [7], средний срок службы покрытий при интенсивности движения до 200 авт/сут составляет 8 лет, при интенсивности 200...2500 авт/сут – 6 лет, при 2500...4500 авт/сут – 4 года, при 4500...6500 авт/сут – 3 года и при более 6500 авт/сут всего 2 года. В основополагающих трудах проф. Н.Н. Иванова указывалось на необходимость учитывать функциональную связь требуемых модулей упругости и проектной интенсивности движения, оцениваемой по количеству расчетных автомобилей [1]. В США экспериментально было установлено, что общий модуль упругости дорожной конструкции начинает снижаться уже после прохода 1000 расчетных автомобилей. К моменту появления трещин в асфальтобетонном покрытии общий прогиб увеличивался в 1,8 раза [8].

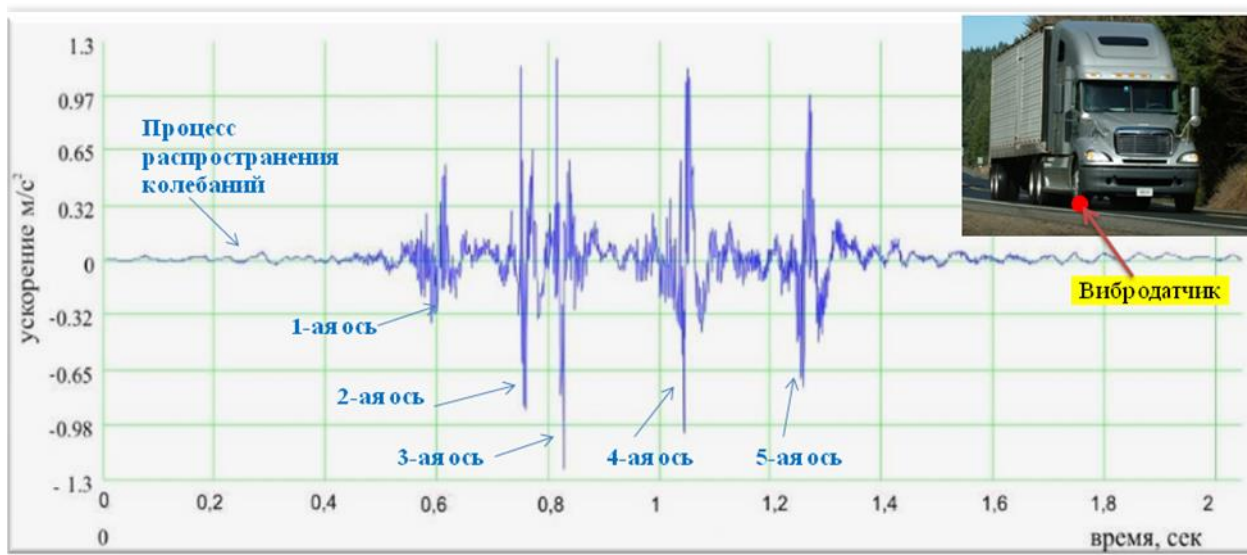
Мониторинг автомобильных дорог показывает, что фактические сроки службы дорожных одежд в РФ существенно не совпадают с нормативными. Это напрямую связано с постоянно возрастающей интенсивностью движения и выражается в увеличении суммарного количества приложений нагрузки за срок службы. Анализируя различные методы и модели для определения расчетного количества приложений расчетной нагрузки за срок службы мы пришли к выводу, что ни одна из этих моделей как в РФ, так и за рубежом не учитывает как фактор воздействия на дорожные конструкции их вибрационное нагружение.

Сравнительно давно было установлено, что движение автомобилей вызывает колебания дорожных конструкций. Многочисленные натурные исследования ученых крупнейших научных школ России, занимающихся вопросами динамики дорожных конструкций, МАДИ под руководством М.В. Немчинова [9, 10, 11], СибАДИ под руководством А.В. Смирнова [12, 13] и РГСУ под руководством С.К. Илиополова и Е.В. Угловой [14, 15, 16, 17, 18] позволили установить, что колебания дорожных конструкций сопровождаются деформациями всех слоев дорожной одежды и грунта земляного полотна. Они распространяются через элементы дорожной конструкции на прилегающие к автомобильной дороге территории [19, 20].

При движении автомобильного транспорта в нежестких дорожных одеждах возбуждаются вертикальные колебания. Эти колебания из-за их малости не воспринимаются органами чувств человека, но фиксируются современной виброизмерительной аппаратурой [21, 22, 23, 24]. При колебаниях формируются многочисленные малые деформационные или динамические прогибы дорожных одежд. В тоже время их малость достаточно относительна, так как динамические прогибы по величине вполне сопоставимы с прогибами под колесами

движущихся автомобилей. Экспериментальные и расчетные исследования позволили установить, что при возбуждении колебаний в этот процесс вовлекается определенная площадь или объем дорожной конструкции.

Большой объем натурных исследований дорожной вибрации выполнен на базе РГСУ. На рис.2 представлена одна из экспериментальных записей, полученных непосредственно на опытном участке [25]. Это амплитудно-временная характеристика отклика дорожной конструкции на проезд многоосного грузового автомобиля. Вибродатчик устанавливался на поверхности асфальтобетонного покрытия, а показателем уровня вибрации была выбрана амплитуда вертикального ускорения.



**Рис. 2.** Экспериментальная запись вибрации дорожной конструкции [25]

Из амплитудно-временной характеристики (рис.2) следует, что общий колебательный процесс включает в себя несколько стадий:

- при подходе автомобиля к месту установки вибродатчика или к исследуемому поперечному сечению дорожной конструкции, датчик фиксирует малые колебательные ускорения, вызванные процессом распространения колебаний вдоль автомобильной дороги;
- по мере приближения автомобиля, колеблющаяся площадь дорожного покрытия захватывает зону расположения датчика и амплитуды ускорений возрастают, достигая максимума в момент прохождения исследуемого сечения колесами автомобиля;
- во временном промежутке между воздействиями колес и после прохода последнего колеса датчик фиксирует процесс свободных затухающих колебаний дорожной конструкции, который полностью завершается через 3...4 сек.

На основании этой характеристики можно сделать вывод, что при движении автомобиля на дорожную конструкцию воздействуют силовые нагружения от колес автомобиля и вибрационные нагружения. Каждое из этих нагружений вызывает деформации и прогибы в слоях дорожной конструкции.

При проектировании и расчетах на прочность нежестких дорожных одежд прогибы от колесных нагружений учитываются, а от вибрации, возникающей в самой дорожной конструкции, во внимание не принимаются. В этом и является, по нашему мнению, одной из

основных причин преждевременного разрушения дорожных одежд с асфальтобетонными покрытиями и их крайне низкая долговечность в эксплуатации.

**Характерные особенности вибрационных процессов в нежестких дорожных одеждах.** Возбуждение колебаний дорожных конструкций происходит из-за того, что каждый дорожный слой представляет собой колебательную систему. Любая механическая система может быть отнесена к колебательной, если она обладает элементом инерционности, элементом жесткости или упругости и элементом диссипации энергии [26]. Всеми этими признаками колебательной системы обладает каждый слой дорожной одежды.

Слой дорожной одежды имеет массу, величина которой зависит от объема, вовлеченного в процесс колебаний, и от плотности материала этого слоя. Жесткость дорожного слоя по вертикали характеризуется модулем упругости. Внутреннее трение или сопротивление в материале обеспечивает диссипацию энергии.

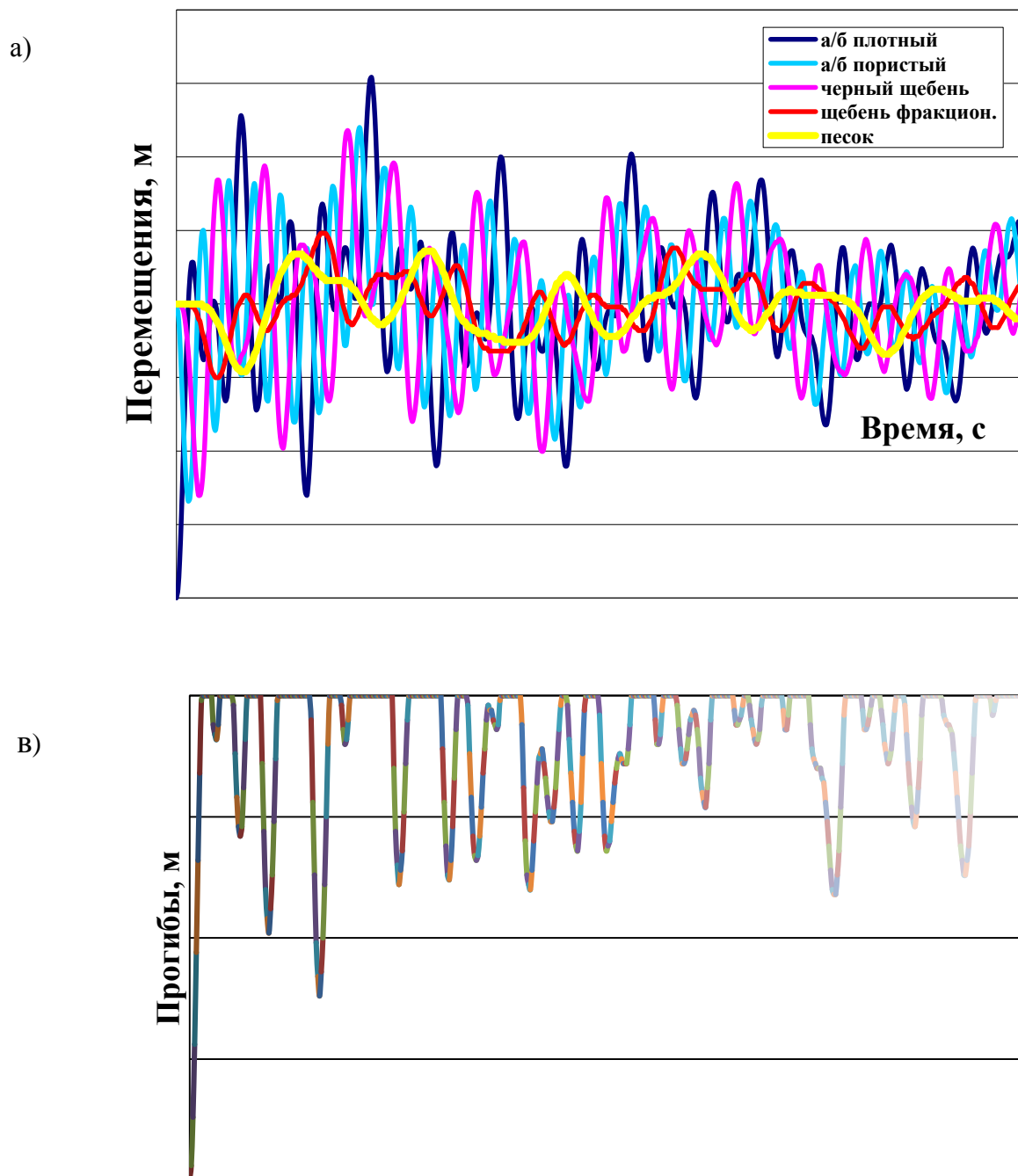
Для возникновения колебаний в механической колебательной системе достаточно, за счет кратковременно действующей внешней силы, произвести начальную деформацию (прогиб упругого элемента системы) или придать инерционному элементу начальную скорость.

Движущееся колесо автомобиля выполняет именно такую функцию. При прохождении расчетного сечения или места установки на поверхности асфальтобетонного покрытия вибродатчика движущееся колесо осуществляет прогиб дорожной одежды. Величина этого прогиба зависит от времени нахождения колеса в некотором расчетном сечении, являющегося функцией скорости движения. При наличии на поверхности покрытия коротких или динамических неровностей происходит также ударное взаимодействие между неровностью и колесом и масса покрытия получает начальную ударную скорость. После проезда автомобиля и снятия колесной нагрузки дорожные слои, обладая начальной потенциальной энергией деформации или кинетической энергией движения масс, или той и другой энергией одновременно, начинают совершать упругие колебательные движения.

Дорожные слои, как колебательные системы, отличаются между собой величинами масс, жесткостей и уровней диссипации. Это приводит к тому, что они совершают упругие свободные колебания с различными парциальными частотами в общей колебательной системе дорожной конструкции. Частоты свободных колебаний всей дорожной конструкции, фиксируемые на поверхности покрытия при натуральных экспериментах, незначительно отличаются от парциальных частот отдельных слоев. Основная энергия колебаний распределяется в частотном спектре дорожной конструкции по частотам близким к парциальным и число этих частот совпадает с числом дорожных слоев.

Различие парциальных частот слоев формирует совместный колебательный процесс, в котором упругие колебательные перемещения дорожных слоев могут совпадать по фазе, находиться в противофазе или занимать промежуточное положение. При совпадении по фазе слои будут "раскачивать" друг друга, усиливая колебания и повышая энергию разрушения. При противофазном упругом перемещении смежные слои будут гасить совместные колебания.

Пример вибрационного процесса в пятислойной дорожной одежде показан на рис.3. Здесь для возбуждения колебаний был задан условный начальный прогиб от колесной нагрузки, составляющий 0,0002 м.



**Рис. 3.** Амплитудно-временная и прогибно-временная характеристики  
(разгрузочные прогибы не показаны)

По упругим перемещениям дорожных слоев была построена прогибно-временная характеристика дорожной одежды (рис.3в). Из характеристики следует, что после проезда колеса в исследуемой дорожной конструкции в течении 0,5 сек. формируется достаточно много дополнительных динамических прогибов, как результат вибрационного нагружения. Хотя эти прогибы по величине меньше прогиба от колеса, но после преобразования их в силовое нагружение и приведения этих нагружений к нагружению от колеса, общее число нагружений на дорожную конструкцию после проезда одного транспортного средства возрастает и это необходимо учитывать в расчетах на прочность. Наличие этих дополнительных динамических прогибов требует, как минимум, введения при проектировании дополнительных запасов прочности. Так как при проектировании это не предусматривается, то напрашивается вывод,

что строящиеся дорожные конструкции изначально не обладают необходимой прочностью и должны в эксплуатации преждевременно разрушаться. Этот вывод подтверждают многочисленные материалы обследования автомобильных дорог.

Многолетний мониторинг автомобильных дорог и проведенные динамические расчеты показали, что дорожные конструкции, характеризующиеся повышенным темпом разрушений в эксплуатации и частыми ремонтами, имеют большое число амплитуд колебательных упругих перемещений в смежных слоях совпадающих по фазе, т.е. раскачивающих друг друга и усиливающих вибрацию.

Каждый дорожный слой совершает колебания относительно своего положения статического равновесия. За счет этого колебательные динамические деформации характеризуются знакопеременностью и этим отличаются от деформаций типа "загруз-разгруз", формируемых под колесами движущихся автомобилей. Знакопеременные деформации или знакопеременные нагрузки осуществляют усталостные разрушения, выражающиеся в появлении и развитии внутренних микротрещин в асфальтобетонных монолитных слоях, в истирании и разрыхлении дорожных слоев из несвязных материалов (щебень, песок). Прочность дорожных слоев постепенно понижается, что ускоряет в свою очередь темпы разрушения дорожных конструкций и сокращает их долговечность.

При расчете прочности нежестких дорожных одежд на сопротивление асфальтобетонных слоев усталостному разрушению от растяжения при изгибе основным критерием прочности является величина допустимого напряжения. Наибольшие растягивающие напряжения в монолитных слоях не должны превысить эту величину в течение всего срока эксплуатации. Величина допустимого напряжения определяется с учетом предельного сопротивления растяжению при изгибе монолитного слоя, снижения прочности при многократности приложения нагрузок, снижения прочности за счет воздействия погодноклиматических факторов и др. Учет снижения допустимых напряжений при оценке усталостной прочности за счет знакопеременности нагрузок вызовет необходимость значительного снижения величины допустимого напряжения. К сожалению, для асфальтобетонных слоев покрытий коэффициент снижения допустимых напряжений при знакопеременных нагрузках не известен. Его можно определить только опытным путем и эту задачу еще предстоит решать.

Темпы разрушения в результате действия вибрации различны для разных дорожных слоев. Общим показателем наличия разрушений является понижение модуля упругости слоя. Темпы снижения модулей упругости в отдельных слоях отличаются из-за того, что характеристики материалов, уровни и характер нагружений слоев не одинаковы.

При понижении модуля упругости любого слоя снижается общий модуль упругости дорожной конструкции, который является объективной характеристикой ее прочности. Величина уменьшения этого показателя прочности зависит от величины понижения модулей упругости отдельных дорожных слоев. На рис.4 представлена такая функциональная зависимость. Для наглядности анализируются не численные показатели снижения модулей, а процент их снижения по отношению к начальному значению модуля упругости.

Это позволяет более объективно оценить степень влияния разрушения того или иного слоя на прочность всей дорожной конструкции.

### Понижение общего модуля упругости дорожной одежды, %

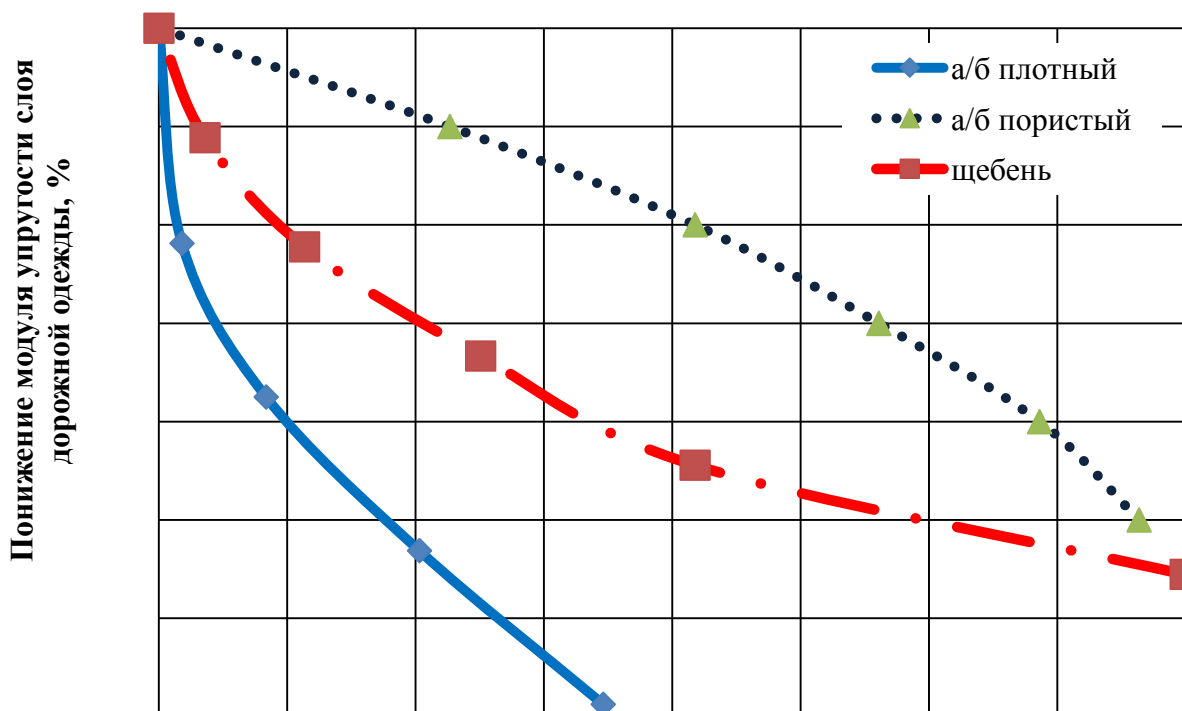


Рис. 4. Зависимость снижения общего модуля упругости дорожной одежды от величины снижения модуля упругости отдельного слоя.

В соответствии с графиками (рис. 4) можно констатировать, что прочность дорожной одежды практически не нарушается при значительных снижениях модулей упругости слоев из плотного асфальтобетона и слоя из щебня. Например, при понижении модуля упругости слоя щебня на 22% или модуля упругости плотного асфальтобетона на 40%, модуль упругости дорожной одежды уменьшается всего на 2%. Учитывая запас прочности дорожных одежд, предусматриваемый при проектировании дорожных конструкций, такое уменьшение общего модуля можно признать допустимым.

Модуль упругости дорожной одежды наиболее чувствителен к разрушению слоя из пористого асфальтобетона. При понижении модуля упругости этого слоя на 20% общий модуль упругости уменьшается на 8,2%. Как известно, при изгибе именно в этом слое зарождаются усталостные трещины, которые затем выходят на поверхность асфальтобетонного покрытия. Расчеты показали, что в слое пористого асфальтобетона при колебаниях формируются также и наибольшие (разрушительные) динамические силы.

**Виброзащищенные дорожные конструкции.** Попытки решить проблему преждевременного разрушения нежестких дорожных одежд путем повышения их прочности, за счет увеличения толщины отдельных дорожных слоев (чаще всего слоев покрытия), в эксплуатации не приводят к желаемому результату. Это связано с тем, что в результате увеличения толщины отдельного слоя увеличивается и его масса. Увеличение массы дорожного слоя вызывает рост динамических сил при колебаниях и следовательно приводит к более интенсивному процессу разрушения. В тоже время, как упоминалось выше, смежные дорожные слои способны "гасить" совместные упругие колебания противофазным взаимодействием. Такой процесс можно сформировать, подбирая соотношение парциальных частот смежных дорожных слоев. При этом подборе необходимо учитывать последовательность возбуждения



колебаний от слоя к слою и соответствующее запаздывание колебательного процесса по времени. Колебательный процесс начинается в верхнем слое покрытия и передается через упругие связи в нижележащие слои.

Теоретические исследования позволили нам разработать специальный математический алгоритм проектирования нежестких дорожных одежд с противофазным силовым взаимодействием смежных слоев. Такие конструкции получили название "виброзащищенные". Отметим также, что эти конструкции обладают необходимой прочностью.

Для использования математической модели виброзащищенной дорожной конструкции при проектировании нежестких дорожных одежд функциональная связь в соотношениях парциальных частот смежных дорожных слоев была преобразована в многофакторную зависимость соотношения толщин этих слоев от их физико-механических характеристик (плотность, модуль упругости и др). Учтена также последовательность расположения слоев сверху вниз.

Особую важность приобретает необходимость внедрения в эксплуатацию виброзащищенных дорожных конструкций в связи с увеличением в транспортных потоках числа многоосных грузовых автомобилей. Замечено, что многоосные грузовые автомобили обладают повышенной разрушительной способностью. Для объяснения причин этого явления выдвигаются различные версии, но большинство из них мало обоснованы.

Выполненные динамические расчеты выявили, что при движении многоосных грузовых автомобилей, поступающая в дорожную конструкцию внешняя энергия, затрачиваемая на возбуждение и поддержание колебаний дорожных слоев, значительно превосходит энергию, генерируемую двухосными автомобилями. В результате вибрационные прогибы дорожных конструкций при движении многоосных грузовых автомобилей резко возрастают и могут даже достигать недопустимых, по условиям прочности, значений.

В качестве иллюстрации, на рис.5 представлены расчетные прогибно-временные характеристики пятислойной дорожной одежды, сформированные при движении автомобилей ЗИЛ (двухосный) и Mercedes с полуприцепом (шестиосный) со скоростью 90 км/час.

Из прогибно-временных характеристик хорошо видно, что, после прохождения первой колесной оси (до  $t=0,1$  сек и  $s=2,5$  м), вибрационные прогибы дорожной конструкции одинаковы для обоих типов автомобилей.

Прохождение второй оси двухосного автомобиля ( $t=0,134$  сек.) в основном сохраняет достигнутый уровень прогибов, который затем уменьшается, так как процесс колебаний затухает.

Вторая ось автомобиля Mercedes достигает расчетного сечения дорожной конструкции через 0,1 сек, а третья через 0,049 сек после второй оси. Так как уровень колебаний дорожных слоев за такое короткое время между второй и третьей осями не успевает существенно снизиться и в колебательную систему поступает дополнительная энергия взаимодействия колеса и дорожного покрытия, то вибрационные прогибы начинают возрастать. Эти прогибы по величине превышают прогибы, реализованные при движении двухосного автомобиля, но незначительно.

Четвертая, пятая и шестая оси достаточно близки друг к другу и удалены от передних трех осей. Четвертая ось проходит расчетное сечение через 0,226 сек после третьей оси. За это время вибрационные прогибы существенно снижаются и в основном уходят в зону разгрузки. После этого следующие друг за другом три оси (пятая через 0,072 сек. после четвертой и шестая через 0,052 сек после пятой) резко увеличивают уровень колебаний и соответствующие

величины прогибов. Отметим, что максимальный прогиб достигает предельно допустимое значение для данной дорожной конструкции.

Строительство виброзащищенных дорожных конструкций позволит резко снизить амплитуды динамических прогибов при движении многоосных грузовых автомобилей, в среднем они не превысят 0,0002 м на всем временном диапазоне.

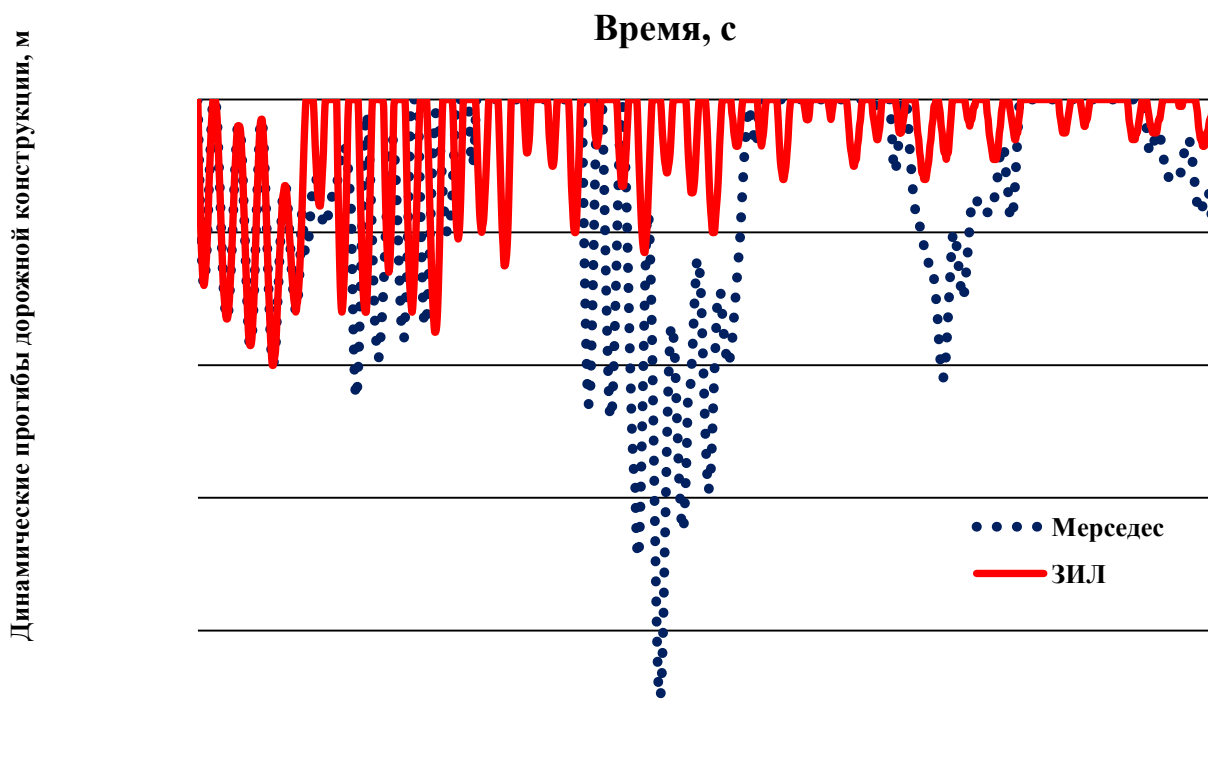
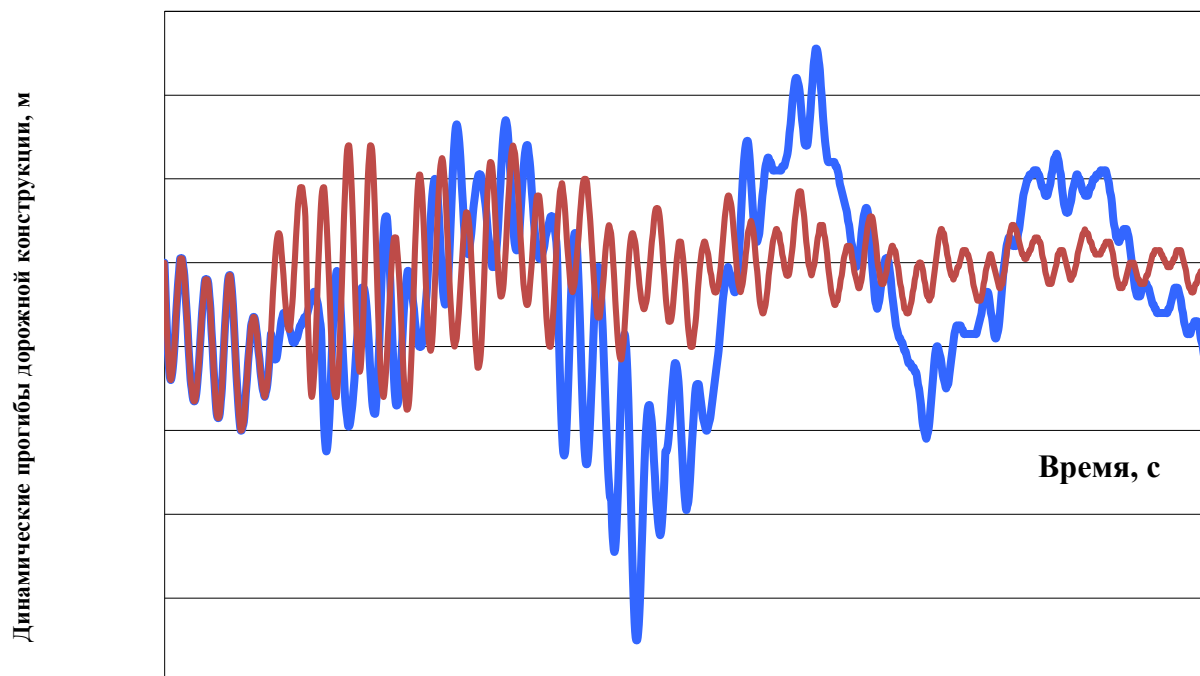


Рис. 5. Расчетные прогибно-временные характеристики дорожной одежды

**Выводы.** Опираясь на материалы расчетных и статистических исследований, можно ожидать, что виброзащищенные конструкции позволят при эксплуатации многоосных грузовых автомобилей значительно снизить уровень динамических сил в дорожных слоях в 5...7 раз. Это должно позволить существенно понизить уровни вибрационного нагружения, повысить работоспособность и долговечность нежестких дорожных одежд, предотвратить преждевременные разрушения нежестких дорожных одежд и обеспечить их конкурентоспособность по отношению к жестким дорожным конструкциям на грузонапряженных участках автомобильных дорог.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов Н.Н. Конструирование и расчет нежестких дорожных одежд. – М., Транспорт, 1973. – 328 с.
2. Проектирование автомобильных дорог: В 2 ч. / В.Ф. Бабков, О. В. Андреев. М.: Транспорт, 1987. 367 с.
3. Справочная энциклопедия дорожника (СЭД). Ремонт и содержание автомобильных дорог: В 6 т. Т 2 / под ред. А. П. Васильева. М.: Росавтодор, 2004. 505 с.
4. Расчет снижения модулей упругости нежестких дорожных одежд в процессе эксплуатации автомобильных дорог / В.К. Апестин, А.М. Шак, Ю.М. Яковлев // Сб.науч.тр Гипродорнии. Вып. 8. М.: 1974. С.120-135.
5. Радовский Б.С. Теоретические основы конструирования и расчета нежестких дорожных одежд на воздействие подвижных нагрузок: специальность: дис. ... докт. техн. наук / КАДИ. Киев., 1982. 436с.
6. Красиков О.А. Обоснование стратегии ремонта нежестких дорожных одежд: специальность: дис. ... докт. техн. наук / МАДИ. М., 2000. 438 с.
7. Носов В.П. Увеличение сроков службы дорожных одежд – стратегическая задача дорожной науки /Автомобильные дороги. 2006. № 12. С.81 – 85.
8. Brien, D.F., Kohn, S.D., Schaun, M.Y. Prediction of Pavement Performance by Using Nondestructive Test Results / Transp. Record. 1983. № 943. p.13-17.
9. Немчинов, М.В. Физика и динамика работы дорожной одежды автомобильных дорог. М.: Техполиграфцентр, 2012. 102 с.
10. Осиновская В.А. Методика проектирования нежестких дорожных одежд при учете вибрационного нагружения //Интернет-журнал «Науковедение» 2012. №4 (13) <http://naukovedenie.ru/PDF/4vn412.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. Рус.
11. Osinovskaya V.A. Vibrating destruction of flexible pavement and a ways of increase of their durability. //Structure and Environment. Kielce University of Technology. Faculty of Civil and Environmental Engineering. 2012. №.4. vol.4. pp.5-10.
12. Смирнов, А.В. Колебания и волны в дорожных конструкциях: Монография. Омск.: СибАДИ, 2006. 108 с.
13. Смирнов А.В., Александров А.С. Механика дорожных конструкций. Омск.: СибАДИ, 2009. 211 с.
14. Илиополов С.К., Селезнев М.Г. Разработка математических моделей и исследование на их основе энергетических характеристик воздействия

- автотранспорта на дорожную конструкцию и распределения колебаний в элементах системы «дорожная конструкция - грунт» //Дороги России. 2004. № 8. С.49–51.
15. Долговечность асфальтобетонных покрытий в условиях роста динамических воздействий транспортных средств / Илиополов С.К., Углова Е.В. // Автомоб. дороги и мосты:Обзорн. Информ. Вып.4. М.: Информавтодор, 2007. 84с.
  16. Диагностика поведения дорожной одежды на пролетном строении мостового сооружения с использованием виброизмерительного комплекса / Овчинников И.Г., Зинченко Е.В., Углова Е.В., Бессчетнов Б.В. // Сборник ДОРОГИ и МОСТЫ. Вып. 26/2. М.: 2011. С. 231-240.
  17. Николенко М. А., Конорев А. С. Выбор стратегии ремонта участков автомобильных дорог на основе оценки состояния дорожных конструкций методом спектрального анализа волновых полей //Интернет-журнал «Науковедение» 2012. №4 (13) <http://naukovedenie.ru/PDF/42trgsu412.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. Рус.
  18. Ляпин А. А., Мещеряков И. А. Об алгоритмах корректировки математической модели слоистой конструкции на основе экспериментальных данных //Интернет-журнал «Науковедение» 2012. №4 (13) <http://naukovedenie.ru/PDF/33trgsu412.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. Рус.
  19. Немчинов М.В., Меньшов А.С. Влияние вибрации от автомобильного транспорта на местную устойчивость откосов земляного полотна //Наука и техника в дорожной отрасли. 2005. № 4. С.48-51.
  20. Осиновская В.А. Определение прочностных показателей асфальтобетонного покрытия автомобильных дорог по скорости распространения ударной волны //Транспортное строительство. 2006. № 9. С.29 – 30.
  21. Илиополов С.К., Углова Е.В. Исследование динамического воздействия транспортных средств на стационарных пунктах наблюдения //Дороги и мосты. 2006. Вып.15/1. С. 86-96.
  22. Смирнов А.В., Малофеев А.Г. Экспериментальное исследование волн колебаний дорожных покрытий при движении автомобилей // Прикладная механика. 1973. т. IX, Вып. 1.
  23. Осиновская, В.А. Экспериментальная оценка динамических параметров слоев дорожных одежд. // Сборник науч. трудов Первого Всерос. Дорожного Конгресса. М.: МАДИ(ГТУ), 2009.С.213-214.
  24. Осиновская В.А. Вибрационное нагружение нежестких дорожных одежд / Науч. вестник Воронежского гос. арх.-строит. ун-та. Строительство и архитектура. 2014. Вып. 1 (33). С.34–44.
  25. Углова Е.В. Теоретические и методологические основы оценки остаточного усталостного ресурса асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог: дис. ... докт. техн. наук / Ростов н/Д., 2009. 367с.
  26. Тимошенко С.П., Янг Д.Х., Уивер У. Колебания в инженерном деле: пер. с англ. М.: Машиностроение, 1985. 472 с.

**Рецензент:** Заместитель Председателя Поволжского отделения Российской академии транспорта, академик РАТ, д.т.н., профессор Овчинников Игорь Георгиевич.

**Veronika Osinovskaya**

Moscow Automobile And Road Construction State Technical University  
Russia, Moscow  
[Onika44@mail.ru](mailto:Onika44@mail.ru)

## **Effect of vibration of flexible pavement on their strength**

**Abstract:** The problem of destruction of pavement before the service life end becomes more and more actual every year. Use of new materials and modern technologies of construction cardinally don't solve a problem of their premature destruction. It should be noted that the present settlement base, based on many years of scientific work of scientists, allow to estimate the work of the pavement in operation. However the existing settlement models don't allow to consider influence of dynamic processes, formed in flexible pavements after traveling of each car, on durability of pavement.

We made a hypothesis that premature destruction of flexible pavements is directly connected with their vibration loading at which there is an additional deformation of road layers and subgrade. As a result vibration becomes an additional destructive factor and makes a residual deformations, a abrasion of bound macadam, a fatigue deformations.

One of the most important problems of road branch is premature destruction of pavements. This problem is especially actual for pavement with bituminous surfacing. One of the significant reasons of premature destruction of bituminous surfacing is dynamics of pavements. The oscillatory process existing in flexible pavement as result of interaction of the vehicle and a road surface, generates dynamic deflections of a flexible pavement. Quantity and amplitudes of deflections depend on characteristics of layers of a pavement. Researches allowed to understand principles of functioning of oscillatory process in a pavement and to create the vibroprotected pavement with low level of dynamic forces. The effect of decrease in levels dynamic in a pavement is reached due to the corresponding selection of layers.

**Keywords:** highway; flexible pavement, traffic; design, deflections, vibrations, dynamic loadings; vibroloading; vibration resistance.

## REFERENCES

1. Ivanov N.N. Konstruirovaniye i raschet nezhestkih dorozhnyh odezhd. – M., Transport, 1973. – 328 s.
2. Proektirovaniye avtomobil'nyh dorog: V 2 ch. / V.F. Babkov, O. V. Andreev. M.: Transport, 1987. 367 s.
3. Spravochnaya jenciklopediya dorozhnika (SJeD). Remont i sodержanie avtomobil'nyh dorog: V 6 t. T 2 / pod red. A. P. Vasil'eva. M.: Rosavtodor, 2004. 505 s.
4. Raschet snizheniya modulej uprugosti nezhestkih dorozhnyh odezhd v processe jeksplua-tacii avtomobil'nyh dorog / V.K. Apestin, A.M. Shak, Ju.M. Jakovlev // Sb.nauch.tr Giprodornii. Vyp. 8. M.: 1974. S.120-135.
5. Radovskij B.S. Teoreticheskie osnovy konstruirovaniya i rascheta nezhestkih dorozhnyh odezhd na vozdejstvie podvizhnyh nagruzok: special'nost': dis. ... dokt. tehn. nauk / KADI. Kiev., 1982. 436s.
6. Krasikov O.A. Obosnovaniye strategii remonta nezhestkih dorozhnyh odezhd: special'nost': dis. ... dokt. tehn. nauk / MADI. M., 2000. 438 s.
7. Nosov V.P. Uvelicheniye srokov sluzhby dorozhnyh odezhd – strategicheskaya zadacha do-rozhnoj nauki /Avtomobil'nye dorogi. 2006. № 12. S.81 – 85.
8. Brien, D.F., Kohn, S.D., Schaun, M.Y. Prediction of Pavement Performance by Using Nondestructive Test Results / Transp. Record. 1983. № 943. p.13-17.
9. Nemchinov, M.V. Fizika i dinamika raboty dorozhnoj odezhdyy avtomobil'nyh dorog. M.: Tehpoligrafcentr, 2012. 102 s.
10. Osinovskaja V.A. Metodika proektirovaniya nezhestkih dorozhnyh odezhd pri uchete vibracionnogo nagruzheniya //Internet-zhurnal «Naukovedenie» 2012. №4 (13) <http://naukovedenie.ru/PDF/4vn412.pdf> (dostup svobodnyj). Zagl. s jekrana. Jaz. Rus.
11. Osinovskaya V.A. Vibrating destruction of flexible pavement and a ways of increase of their durability. //Structure and Environment. Kielce University of Technology. Faculty of Civil and Environmental Engineering. 2012. №.4. vol.4. pp.5-10.
12. Smirnov, A.V. Kolebanija i volny v dorozhnyh konstrukcijah: Monografija. Omsk.: SibADI, 2006. 108 s.
13. Smirnov A.V., Aleksandrov A.S. Mehanika dorozhnyh konstrukcij. Omsk.: SibA-DI, 2009. 211 s.
14. Iliopolov S.K., Seleznev M.G. Razrabotka matematicheskikh modelej i issledovanie na ih osnove jenergeticheskikh harakteristik vozdejstvija avtotransporta na dorozhnuju konstrukciju i raspredelenija kolebanij v jelementah sistemy «dorozhnaja konstrukcija - grunt» //Dorogi Rossii. 2004. № 8. S.49–51.
15. Dolgovechnost' asfal'tobetonnyh pokrytij v uslovijah rosta dinamicheskikh vozdej-stvij transportnyh sredstv / Iliopolov S.K., Uglova E.V. // Avtomob. dorogi i mos-ty:Obzorn. Inform. Vyp.4. M.: Informavtodor, 2007. 84s.
16. Diagnostika povedeniya dorozhnoj odezhdyy na proletnom stroenii mostovogo sooru-zheniya s ispol'zovaniem vibroizmeritel'nogo kompleksa / Ovchinnikov I.G., Zinchenko E.V., Uglova E.V., Besschetnov B.V. // Sbornik DOROGI i MOSTY. Vyp. 26/2. M.: 2011. S. 231-240.

17. Nikolenko M. A., Konorev A. S. Vybor strategii remonta uchastkov avtomobil'nyh dorog na osnove ocenki sostojanija dorozhnyh konstrukcij metodom spektral'nogo analiza volnovykh polej //Internet-zhurnal «Naukovedenie» 2012. №4 (13) <http://naukovedenie.ru/PDF/42trgsu412.pdf> (dostup svobodnyj). Zagl. s jekrana. Jaz. Rus.
18. Ljapin A. A., Meshherjakov I. A. Ob algoritmah korrekcirovki matematicheskoj modeli sloistoj konstrukcii na osnove jeksperimental'nyh dannyh //Internet-zhurnal «Naukovedenie» 2012. №4 (13) <http://naukovedenie.ru/PDF/33trgsu412.pdf> (dostup svo-bodnyj). Zagl. s jekrana. Jaz. Rus.
19. Nemchinov M.V., Men'shov A.S. Vlijanie vibracii ot avtomobil'nogo transporta na mestnuju ustojchivost' otkosov zemljanogo polotna //Nauka i tehnika v dorozhnoj ot-rasli. 2005. № 4. S.48-51.
20. Osinovskaja V.A. Opredelenie prochnostnyh pokazatelej asfal'tobetonnoego pokry-tija avtomobil'nyh dorog po skorosti rasprostraneniya udarnoj volny //Transportnoe stroitel'stvo. 2006. № 9. S.29 – 30.
21. Iliopolov S.K., Uglova E.V. Issledovanie dinamicheskogo vozdejstvija transport-nyh sredstv na stacionarnyh punktah nabljudeniya //Dorogi i mosty. 2006. Vyp.15/1. S. 86-96.
22. Smirnov A.V., Malofeev A.G. Jeksperimental'noe issledovanie voln kolebanij do-rozhnyh pokrytij pri dvizhenii avtomobilej // Prikladnaja mehanika. 1973. t. IX, Vyp. 1.
23. Osinovskaja, V.A. Jeksperimental'naja ocenka dinamicheskikh parametrov sloev dorozh-nyh odezhd. // Sbornik nauch. trudov Pervogo Vseros. Dorozhnogo Kongressa. M.: MA-DI(GTU), 2009.S.213-214.
24. Osinovskaja V.A. Vibracionnoe nagruzhenie nezhestkih dorozhnyh odezhd / Nauch. vest-nik Voronezhskogo gos. arh.-stroit. un-ta. Stroitel'stvo i arhitektura. 2014. Vyp. 1 (33). S.34–44.
25. Uglova E.V. Teoreticheskie i metodologicheskie osnovy ocenki ostatochnogo ustalost-nogo resursa asfal'tobetonnyh pokrytij avtomobil'nyh dorog: dis. ... dokt. tehn. nauk / Rostov n/D., 2009. 367s.
26. Timoshenko S.P., Jang D.H., Uiver U. Kolebanija v inzhenerenom dele: per. s angl. M.: Mashinostroenie, 1985. 472 s.