

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 625.8-021.4+656.13-027.236

СОЛОДКАЯ
Мария Геннадьевна

**ВЛИЯНИЕ РОВНОСТИ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ НА СКОРОСТЬ
И ЭФФЕКТИВНОСТЬ АВТОМОБИЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

по специальности 05.23.11 – Проектирование и строительство дорог,
метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей

Минск, 2014

Работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете.

Научный руководитель

Ковалев Ярослав Никитич,

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Строительство и эксплуатация дорог» Белорусского национального технического университета

Официальные оппоненты:

Негрей Виктор Яковлевич,

доктор технических наук, профессор, Первый проректор Белорусского государственного университета транспорта;

Косовский Андрей Аркадьевич,

кандидат экономических наук, доцент, заместитель генерального директора Белорусского научно-исследовательского института транспорта «Транстехника»

Оппонирующая организация

Республиканское дочернее унитарное предприятие «Белорусский дорожный научно-исследовательский институт «БелдорНИИ»»

Защита состоится 7 марта 2014 г. в 12⁰⁰ на заседании совета по защите диссертаций Д 02.05.05 при Белорусском национальном техническом университете по адресу: 220013, г. Минск, пр-т Независимости, 65, к.1, ауд. 202. Телефон ученого секретаря 8(017) 265-95-87. E-mail: sawa1950@mail.ru.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах с подписью, заверенной печатью учреждения, следует направлять на имя ученого секретаря по адресу: 220013, г. Минск, пр-т Независимости, 65, Белорусский национальный технический университет.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан «_____» _____ 2014 г.

Ученый секретарь

совета по защите диссертаций,

кандидат химических наук, доцент

П.И. Юхневский

© Солодкая М.Г., 2014

© Белорусский национальный
технический университет, 2014

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что эффективность экономики государства зависит от качества автомобильных дорог. Одним из важных показателей качества дорог является их ровность, определяющая возможно допустимую скорость движения транспортных средств, а также связанную с ней безопасность движения и стоимость перевозок. В комплексном решении проблемы снижения стоимости перевозок по автомобильным дорогам играют большую роль не только затраты на ремонт и содержание самих автомобильных дорог, но и затраты на организацию безопасности движения, ремонт и содержание самих транспортных средств, то есть непосредственно потребителей коммуникационных услуг. Анализ литературных источников показывает, что для создания качественных автомобильных дорог и снижения затрат на их ремонт и содержание применения известных методов уже недостаточно. Сегодня востребован новый комплексный подход к решению этой сложной технико-экономической проблемы, требующей разработки и применения новых научных принципов, включая, в частности, виртуальное моделирование взаимодействия грузовых автомобилей с исследуемым неровным участком дороги. Недостаточное развитие такой методологии не позволяет определить рациональные скорости движения грузовых автомобилей в зависимости от конкретных показателей ровности участка дороги и параметров движущихся транспортных средств.

В настоящей работе предложен новый подход к оценке качества участка автомобильной дороги, включающий метод динамического моделирования транспортных нагрузок на основе вероятностно-статистической оценки влияния таких факторов, как ровность дороги, параметры движущихся машин и установившаяся скорость движения транспортных средств. Доказано, что именно эти факторы являются наиболее значимыми для повышения экономичности грузовых перевозок. Таким образом, тема исследований является актуальной, требует научно обоснованных и апробированных методов исследований указанных факторов, которые методологически последовательно устанавливают связь качественных характеристик (ровности) автомобильных дорог с техническими и экономическими показателями грузоперевозок.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами

Работа выполнялась в соответствии с ГКПНИ «Механика» на 2006 – 2010 гг. (№ 20065565, задание 2.03), которая включала раздел по оценке влияния ровности автомобильных дорог на действующие узлы и агрегаты автомобилей с уче-

том динамических нагрузок при выбранных скоростях движения. Часть настоящего исследования была использована для обоснования и постановки основных задач в дальнейшей реализации Государственной программы «Дороги Беларуси» в части эффективности грузоперевозок по автомобильным дорогам с учетом рациональной скорости движения по ним транспортных средств.

Цель и задачи исследования

Цель исследования – определение влияния ровности дорожных покрытий на скорость и эффективность автомобильных перевозок.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- разработан метод оценки динамического взаимодействия грузового автомобиля с дорогой на основе системы уравнений, учитывающих сглаживающую способность разнотипных шин и подвески, а также случайную неровность поверхности дороги;

- установлены на основе полного факторного эксперимента наиболее значимые факторы предложенной математической зависимости в виде уравнений регрессии, что позволяет оценить динамическое взаимодействие грузового автомобиля с ровностью дороги;

- предложен комплексный подход к выбору скорости движения грузовых автомобилей, позволяющий минимизировать стоимость грузовых перевозок;

- определено влияние показателя ровности автомобильной дороги на эффективность перевозочного процесса, включая полную стоимость грузовых автомобильных перевозок и проведение дорожно-ремонтных работ;

- сформулированы рекомендации по определению планируемых и фактических затрат на перевозку грузов с учетом установленной по предложенной методике, рациональной скорости движения грузовых автомобилей.

Объект исследования – система «автомобиль – дорога».

Предмет исследования – оценка взаимодействия автомобиля и дороги, влияющего на скорость и стоимость автомобильных перевозок.

Положения, выносимые на защиту

На защиту выносятся следующие положения:

1. Результаты исследований в виде полученных экспериментально-расчетных данных о взаимодействии автомобиля с неровной поверхностью дороги, что позволяет определять:

- вертикальную скорость колебаний под опорным звеном оси автомобиля;
- величину коэффициента демпфирования оси автомобиля с учетом критической скорости колебаний при обратном ходе демпфера, необходимых для разработки компьютерной программы и определения рациональной скорости движения автомобиля.

2. Оценка воздействия динамической нагрузки задней оси базового автомобиля на поверхность неровной дороги с учетом скорости движения и массы автомобиля, осуществляемая с помощью соответствующей программы для ЭВМ, что позволяет определять:

- вертикальные скорости центра масс автомобиля в зависимости от случайной высоты неровности дорожного покрытия;

- максимальные и средние динамические нагрузки автомобиля на дорогу и коэффициента динамичности, необходимые для определения рациональной скорости движения автомобиля.

3. Математические зависимости, полученные на основе проведения полного факторного эксперимента, выраженные уравнениями регрессии, позволяющие установить значимость факторов, влияющих на динамические нагрузки автомобиля и оценить соответствие расчетных и экспериментальных динамических нагрузок в системе «автомобиль – дорога».

4. Методика определения планируемых и фактических затрат на перевозку грузов по неровным дорогам с учетом установленных рациональных скоростей движения транспортных средств.

5. Результаты статистической обработки данных о проведении дорожно-ремонтных мероприятий, снижающих неровность дорожных покрытий, что позволяет уменьшать полную стоимость грузовых автомобильных перевозок.

Личный вклад соискателя

Основные положения, выносимые на защиту, результаты теоретических и расчетно-экспериментальных исследований получены лично автором при консультации научного руководителя Я.Н. Ковалева. В проведении экспериментальных исследований приняли участие В.В. Михайлов, А.В. Вербицкий. В публикациях с соавторами вклад соискателя определяется излагаемыми в диссертации результатами.

Апробация результатов исследования

Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались: на Международных научно-технических конференциях «МНТК 6 – МНТК 11» (БНТУ, г. Минск, 2008 – 2013 гг.); X Международной межвузовской научно-технической конференции студентов, магистрантов и аспирантов (г. Гомель, 2010 г.); Международной научно-практической конференции «Инновационные процессы в социально-экономическом развитии» (г. Минск, 2011 г.); Республиканской научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и студентов (г. Минск, 2013 г.); Международной научно-технической конференции «Проблемы повышения качества и ресурсосбережения в дорожной отрасли» (г. Минск, 2013 г.).

Опубликованность результатов диссертации

По теме диссертации опубликовано 20 научных работ, в том числе 6 статей в рецензируемых журналах которые включены в перечень ВАК, объем публикаций составляет 2,35 авторских листа, 12 материалов конференций и тезисов докладов, два нормативных документа.

Структура и объём диссертации

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, основной части, включающей три главы, заключения, библиографического списка из 126 наименований использованных источников и 20 наименований публикаций соискателя, 9 приложений на 28 страницах. Полный объём диссертации составляет 145 страниц, в т. ч. 14 рисунков, 19 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе рассмотрена роль дорожной сети как элемента производственной инфраструктуры народного хозяйства и ее влияние на структуру и формирование ВВП некоторых отраслей. Показано, что уровень развития и технико-эксплуатационное состояние автомобильной дороги (преимущественно ее ровность) определяют затраты автомобильного транспорта на перевозки и тем самым непосредственно влияют на экономическую эффективность секторов народного хозяйства. При этом качественные автомобильные дороги способствуют развитию всех отраслей промышленности, строительства, сельского хозяйства и др., являясь своего рода инвестором. Непрерывное функционирование дорог зависит от своевременного и достаточного финансирования ремонта и содержания. Однако при ограниченных финансовых ресурсах возникает проблема оценки, рационального и правильного выбора участков ремонтируемых дорог с обоснованием необходимых ремонтных затрат в зависимости от потока автомобилей перевозящих грузы.

В результате анализа работ и исследований по настоящей теме, был получен значительный объём научной информации о закономерностях формирования требуемых дорожных затрат для получения потребителями наибольшего экономического эффекта при грузовых перевозках. Теоретической основой диссертационной работы послужили труды ведущих зарубежных и отечественных ученых: А.К. Бирюля, Н.Ф. Билибина, В.Ф. Бабкова, Л.Я. Бронштейна, Е.Н. Гарманова, Н.Я. Говорущенко, Р.П. Лахно, С.Р. Лейдермана, А.К. Славуцкого, К.С. Теренецкого и др. Вместе с тем, имеющиеся исследования по проблеме снижения стоимости автомобильных перевозок, отражающие взаимосвязь параметров в системе «автомо-

биль – дорога», выполнены не в полной мере. Отсутствует комплексное исследование влияния условий эксплуатации дороги на техническую скорость грузовых автомобилей разных марок при решении задач оперативного планирования перевозок, а также при оценке влияния показателя ровности дороги (*IRI*) на стоимость автомобильных перевозок. Показатель ровности дорожных покрытий (Международный индекс ровности *IRI*) представляет собой отношение суммарного движения подвески (амплитуд колебания) моделируемого транспортного средства к расстоянию, преодолённому за время измерений (м/км). Этот показатель нормирован и принят в практике при строительстве и эксплуатации автомобильных дорог Беларуси (ТКП 140-2008(02191) «Автомобильные дороги. Порядок выполнения диагностики»). Анализ влияния показателя ровности на экономичность автомобильных перевозок предприятиями различных отраслей народного хозяйства показал, что эти перевозки нуждаются в комплексном исследовании технических и экономических вопросов. При этом в качестве единого интегрального параметра должна быть выбрана полная стоимость автомобильных перевозок, зависящая от ровности дорожных покрытий и непосредственно связанных с ней рациональных скоростей движения грузового транспорта.

На основе анализа изученных литературных источников и принятых предпосылок определены направления и задачи исследования.

Во второй главе дается описание виртуальной модели для оценки динамического взаимодействия грузового автомобиля с дорогой учитывающую сглаживающую способность разнотипных шин и подвески, а также случайную неровность поверхности дороги, выбор которых проведен исходя из имеющихся вероятностно-статистических оценок показателя ровности для наиболее характерных участков дорог. Выполнена оценка динамического взаимодействия базового автомобиля с ровностью дороги и получены математические зависимости, учитывающие наиболее значимые факторы. Определено влияние ровности дороги на скорость движения автомобиля.

Установлено, что взаимодействие автомобиля и дороги в реальных условиях происходит с учетом перемещений и вращений массы автомобиля относительно трех базовых осей ординат, то идеальная модель должна включать достаточно большое количество масс и упругостей. Очевидную громоздкость, труднодостижимую точность и сложность решения такой системы дифференциальных уравнений можно исключить, применив упрощенную модель, адекватную задачам исследований при приемлемой погрешности результата. Поэтому в качестве объекта моделирования выбрана «велосипедная» модель автомобиля, включающая массу машины, соответствующие упругие и демпфирующие элементы шин и подвески.

Таким образом, при равномерном движении одиночного автомобиля его условная масса распределяется в определенной пропорции на переднюю и заднюю ось. Пренебрегая массами ведущих мостов, что имеет место при использовании

независимой подвески, получаем в левом и правом силовом контуре по одному опорному звену. Каждое звено включает два последовательно соединенных упругих элемента, имитирующих переднюю подвеску с шиной переднего моста и заднюю подвеску соединенную с шиной заднего моста. Опорные звенья имеют демпфирующие свойства, представленные в модели через коэффициенты демпфирования K_j .

В процессе экспериментов была отмечена разница в величинах сил демпфирования амортизаторов при сжатии и обратном ходе (то есть отбое) колеса. При этом силы демпфирования в эксперименте при сжатии были ниже примерно в четыре раза, чем при отбое. Поэтому было предложено в рассмотренной модели эффект «сглаживания» связать с развиваемыми силами демпфирования.

В предложенной системе неровность дороги (показатель ровности) определяется как сумма значений амплитуд неровностей на 1 км поверхности дороги, которые представлены последовательностью случайных синусоид с фиксированной на каждом шаге счета амплитудой A и длиной неровности D . Отбой, то есть обратный ход, опорного звена представлен двумя зонами. Первая зона обозначена как зона восстановления нормальных свойств демпфера после сжатия до нулевого хода с возвратом энергии сжатия в демпфер; при запаздывании неровность воздействует на систему уже с некоторой отрицательной скоростью, называемой критической. Вторая зона соответствует четырехкратному увеличению сил демпфирования с ограничением вертикальной скорости возмущения на уровне «критической». Таким образом, «критическая» скорость автомобиля, при которой наблюдается эффект «сглаживания» неровностей опорным элементом, в составе которого находятся шина и элементы подвески, зависит от случайной высоты неровности A , ее длины D , а также скорости движения автомобиля V_a . «Сглаживающую» способность опорных звеньев, включающих амортизаторы передней и задней оси, вводят через ограничения скорости вертикального кинематического возмущения.

Для оценки динамического взаимодействия автомобиля с дорогой составлена программа «Расчет динамических параметров в системе “автомобиль – дорога”», прошедшая сертификацию и регистрацию в установленном порядке. Процесс моделирования включает генерацию, выбор и замену случайных амплитуд и длин неровностей в процессе одного расчета. Программа содержит удобные модули подготовки и введения исходных данных. Пример визуализации исследуемых процессов показан на рисунке 1.

На основании результатов исследований проведено сравнение данных, полученных моделированием и экспериментальным путем, по собственным частотам колебаний передней и задней оси автомобиля, а также по средним значениям скорости вертикальных колебаний центра масс автомобиля, в зависимости от скорости его движения, полученных расчетами и экспериментально. Результаты экс-

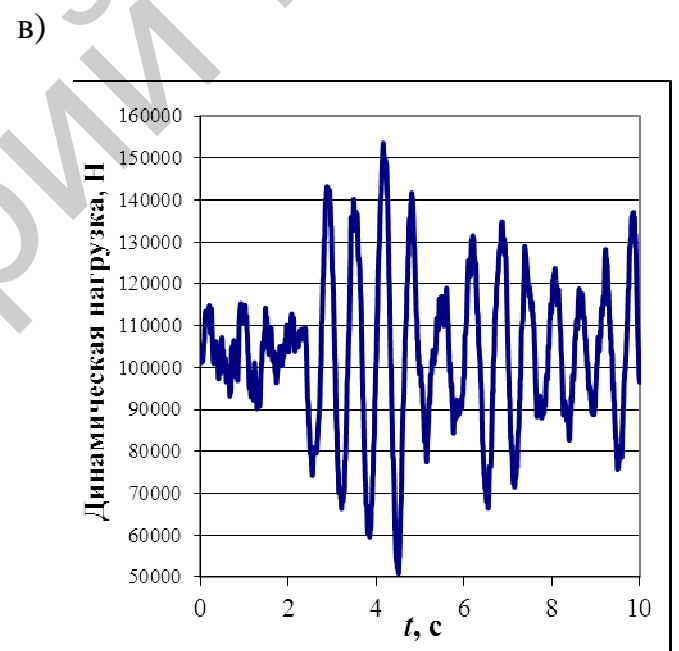
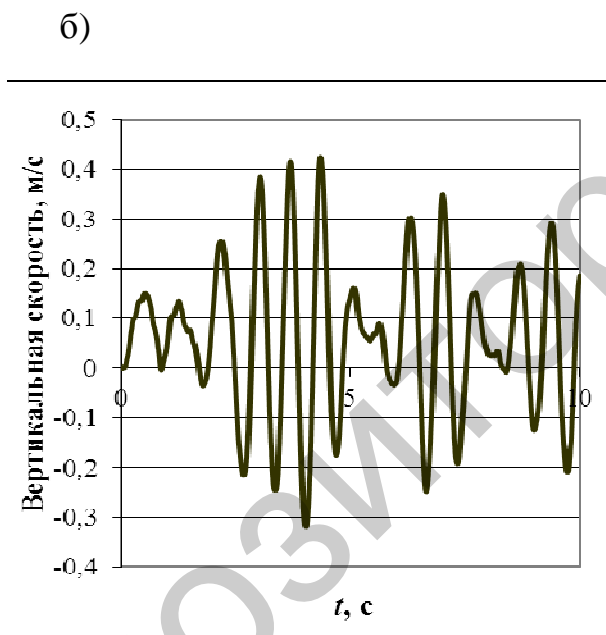
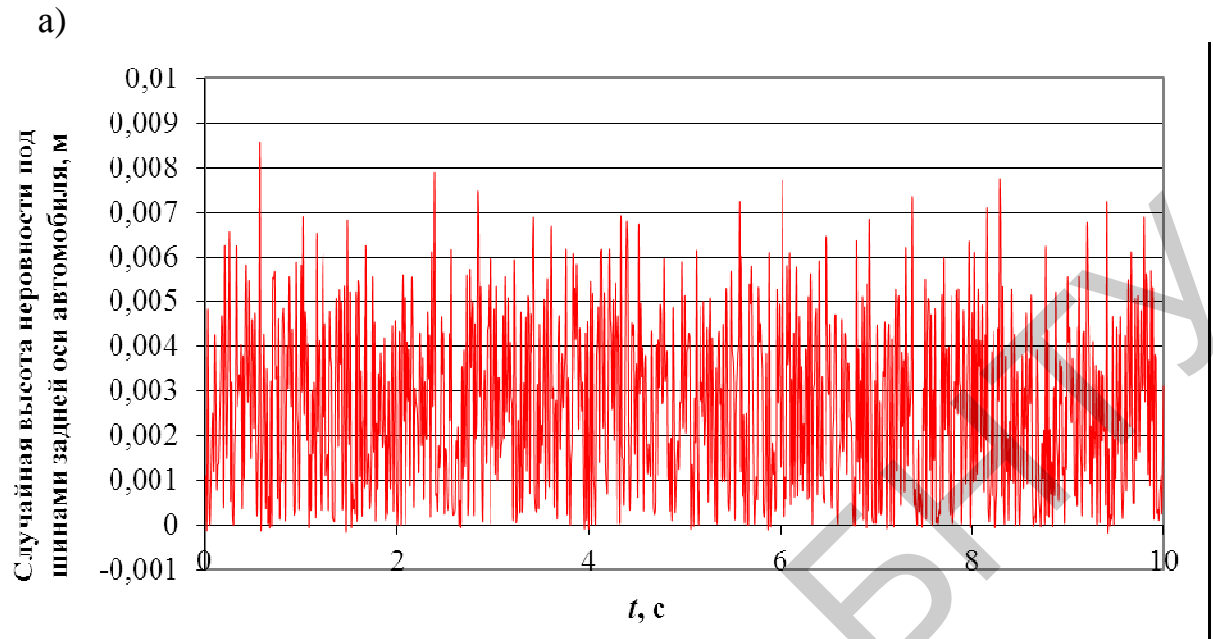


Рисунок 1 – Визуализация данных программы «Расчет динамических параметров в системе «автомобиль – дорога»» при значении IRI 5,0 м/км:

- а) случайная высота неровности под шинами задней оси автомобиля, м,
 б) вертикальная скорость колебаний центра масс автомобиля, м/с,
 в) динамическая нагрузка на заднюю ось автомобиля, Н**

периментальных исследований представлены на рисунке 2. Величины погрешности модели с коррекцией для скоростного диапазона 60...100 км/ч представлены в таблице 1.

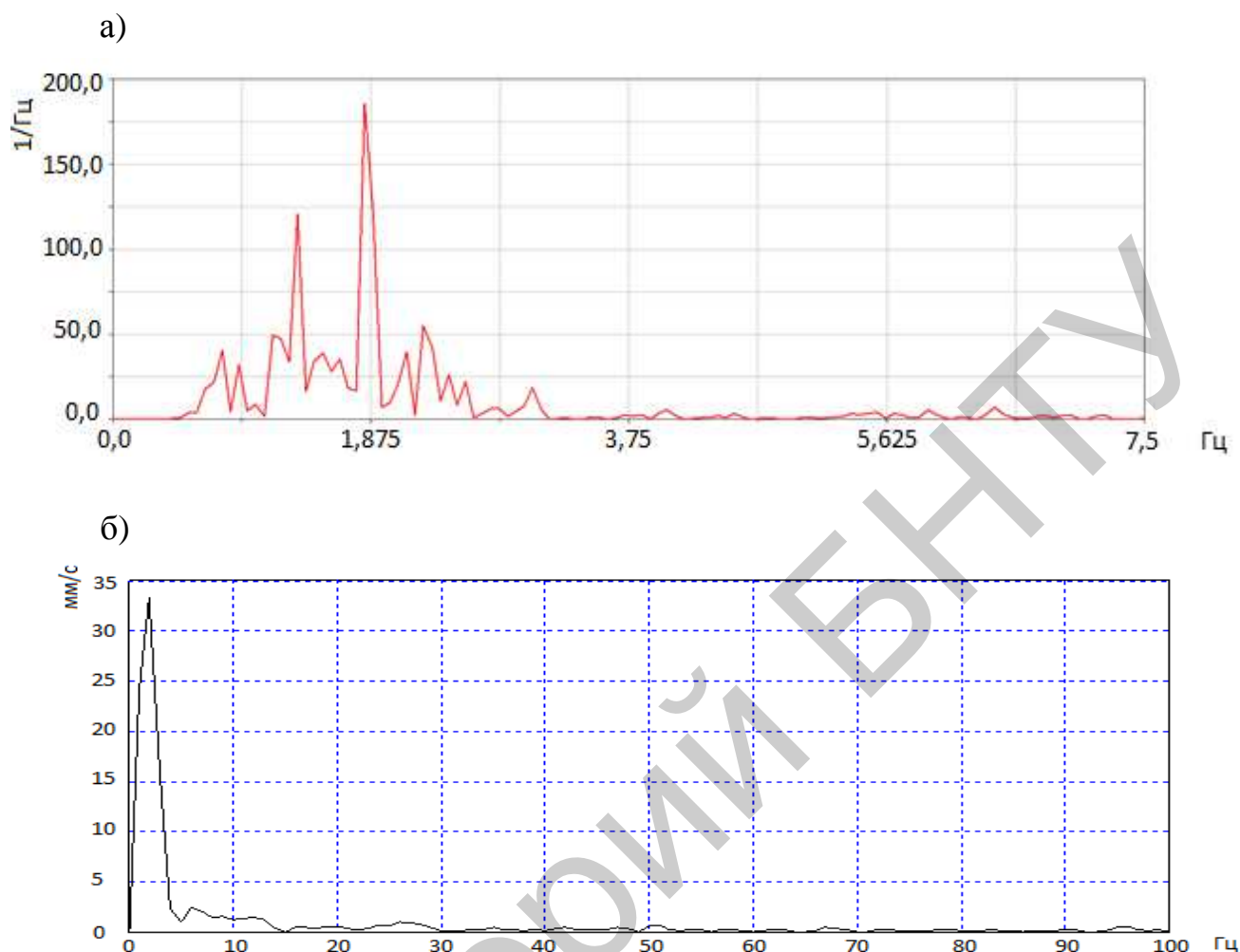


Рисунок 2 – Результаты экспериментальных исследований
а) амплитудно-частотная характеристика; б) экспериментальный спектр частот в полосе 0...100 Гц при движении автомобиля 100 км/ч

Таблица 1 – Сравнение результатов расчета и экспериментальных данных – средних значений скорости вертикальных колебаний центра масс автомобиля в зависимости от скорости движения автомобиля

Скорость	Ограничение по минимальной скорости воздействия («сглаживающая способность шины»)	Точность сопоставления экспериментальных данных и расчетных значений средней скорости колебаний центра масс
км/ч	м/с	%
60	0,16	1,34
70	0,17	1,51
80	0,18	0,47
90	0,19	4,48
100	0,20	2,71

По результатам исследований в таблице 1 приведено сравнение средних значений скоростей вертикальных колебаний центра масс автомобиля, полученных моделированием и экспериментальным путем, в зависимости от скорости движения автомобиля. Максимальная погрешность результатов расчетов и эксперимента не превышала 5 %.

Полученная адекватная математическая модель позволила перейти к комплексному исследованию функциональной зависимости максимальных динамических нагрузок (P_{max}) от ряда параметров

$$P_{max} = f(IRI, U_{IRI}, V_a, m_a), \quad (1)$$

где в закодированном виде $P_{max} (Y)$ – максимальная динамическая нагрузка, Н;

$IRI (x_1)$ – среднестатистические значения индекса ровности дорожного покрытия, соответствующие исследуемому участку, м/км;

$U_{IRI} (x_2)$ – коэффициент вариации индекса ровности дорожного покрытия;

$V_a (x_3)$ – установившаяся скорость движения автомобиля, км/ч;

$m_a (x_4)$ – полная масса автомобиля, кг.

Оценку влияния ровности дорожных покрытий на скорость моделируемых условно реальных объектов движения производили по максимальным динамическим воздействиям выбранного для этого грузового автомобиля МАЗ-5440Х5, как имеющего наименьшую колесную базу (наибольшие динамические воздействия) при осевой нагрузке, близкой к разрешенной критической. Оценка проводилась применительно к магистральным автомобильным дорогам.

Для реализации зависимости (1) были использованы метод планирования полного факторного эксперимента и программа расчета коэффициентов регрессии которые позволили выявить значимость факторов (IRI, U_{IRI}, V_a, m), определяющих величину максимальной (P_{max}) динамической нагрузки, и установить зависимость ее изменения от обозначенных факторов. Были составлены уравнения регрессий для максимальных и средних динамических нагрузок автомобиля для передней и задней его оси с помощью компьютерной программы.

Анализируя полученные зависимости и коэффициенты регрессии, можно сделать вывод, что показатель ровности является одним из важных факторов, следующим по значимости за массой автомобиля. При расстановке их по значимости можно выделить следующую последовательность: масса автомобиля, ровность покрытия и скорость автомобиля.

Таким образом, при помощи полученных зависимостей становится весьма удобно и относительно просто определять величину динамической нагрузки грузового автомобиля при любом сочетании выбранных факторов с требуемой погрешностью в вычислениях. Поскольку наибольшую нагрузку на дорожное

покрытие оказывает задняя ось автомобиля, то в дальнейших исследованиях использовано критическое уравнение регрессии с кодированными компонентами ($x_1...x_4$) для максимальных динамических нагрузок (Y) на заднюю ось с погрешностью 5,7 %. С учетом значимости коэффициентов зависимость (1) принимает вид математической модели (2). Адекватность уравнения (2) подтверждена критерием Фишера.

$$Y=78400+16160\cdot x_1+6720\cdot x_3+68230\cdot x_4+4900\cdot x_1\cdot x_3+13720\cdot x_1\cdot x_4+6405\cdot x_3\cdot x_4. \quad (2)$$

Показателем взаимодействия движущегося автомобиля по неровной дороге является коэффициент динамичности ($K_{дин}$), определяемый отношением динамической нагрузки на заднюю ось автомобиля к его статической.

Установлена величина критического значения коэффициента динамичности ($K_{дин}$) с учетом показателя ровности (IRI) и скорости движения автомобиля (V_a). Расчеты позволили определить область максимальных (допускаемых) коэффициентов динамичности для различных значений IRI и скоростей (V_a) движения автомобилей. Пример определения $K_{дин}$ приведен на рисунке 3.

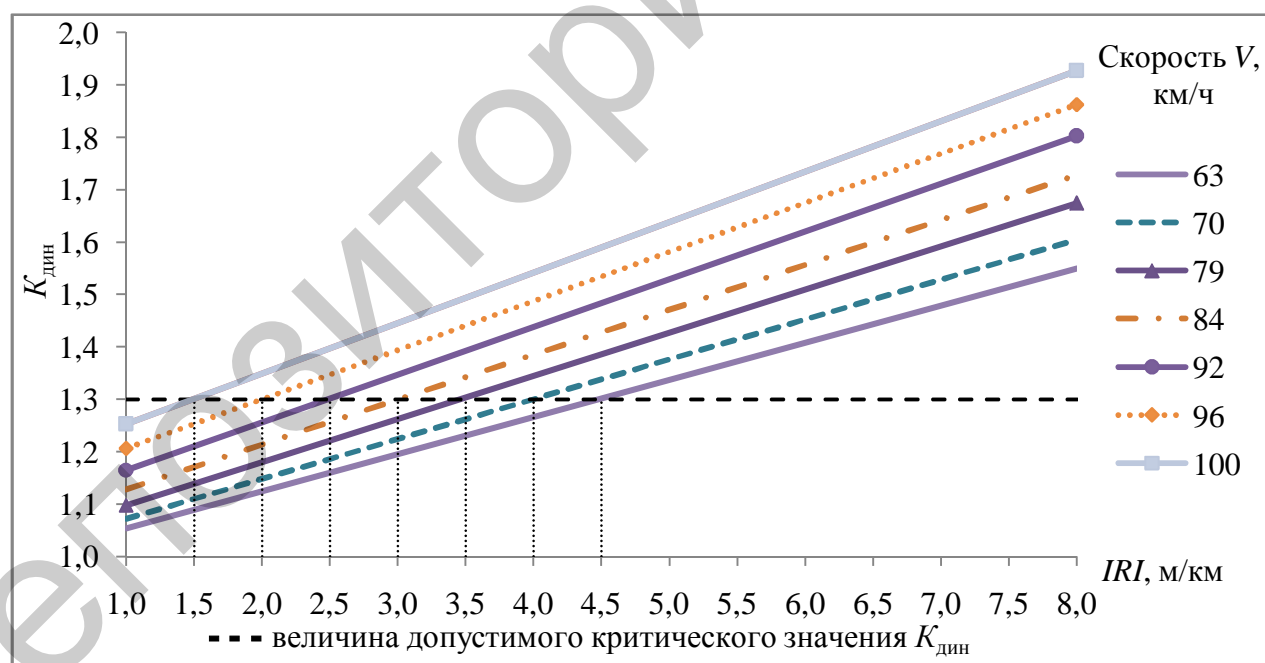


Рисунок 3 – Пример изменения максимального значения $K_{дин}$ для заднего моста грузового автомобиля с осевой нагрузкой на задний мост 10,5 т, фиксированного показателя ровности (IRI), м/км, и разных скоростей движения V_a в диапазоне 60...100 км/ч, полученные моделированием по программе «Расчет динамических параметров в системе «автомобиль – дорога»»

На основании результатов исследований можно сделать вывод о том, что несоответствие эксплуатационных характеристик, и в первую очередь показателя ровности, требуемым $K_{\text{дин}}$ заведомо ведет к преждевременному разрушению дороги, повреждению автомобиля, низкой безопасности движения и сохранности груза. Чтобы это не происходило, должна строго соблюдаться рекомендация: дорога не должна эксплуатироваться при превышении максимального показателя $K_{\text{дин}}$ для данного участка дороги. Для выполнения этого условия необходимо проводить специальные мероприятия (обследование дороги, устранение неровности и т. п.).

При движении автомобиля по дорогам с неровным покрытием от скорости движения зависят динамические нагрузки автомобиля, превышение которых является экономически не выгодным. Установив влияние ровности дороги и скорости движения на изменение динамических нагрузок грузового автомобиля максимальной массы, при помощи полученной математической зависимости, выявлен характер изменения коэффициента динамичности для различных скоростей движения в диапазоне 60...100 км/ч (рисунок 3), что использовано в программе «Расчет динамических параметров в системе “автомобиль – дорога”».

Для определения влияния ровности дороги на скорость движения автомобилей были проведены экспериментальные исследования и расчеты на различных дорогах с использованием приёмов математической статистики. При этом были обработаны выходные данные программы «Расчет динамических параметров в системе “автомобиль - дорога”» для определения рациональных скоростей, зависящих от показателя ровности дорожного покрытия

В таблице 2 представлены рациональные скорости движения грузового автомобиля МАЗ–5440Х5 в зависимости от показателя ровности дорожного покрытия.

Таблица 2 – Рациональные скорости движения грузового автомобиля МАЗ в зависимости от показателя ровности дорожного покрытия

Показатель ровности IRI , м/км	V , км/ч
до 1,5 включительно	100
более 1,5 до 2,0 включительно	96
более 2,0 до 2,5 включительно	92
более 2,5 до 3,0 включительно	84
более 3,0 до 3,5 включительно	79
более 3,5 до 4,0 включительно	70
более 4,0 до 4,5 включительно	63

Исходя из данных таблицы 2, рекомендуется устанавливать скоростной режим движения по конкретной дороге в зависимости от показателя ровности.

Так, для дорог с показателем ровности $IRI \leq 2,5$ м/км скорость движения большегрузных автомобилей не должна превышать 90 км/ч. При диагностированных показателях IRI свыше 4,5 м/км и скорости движения автомобиля меньше 60 км/ч эффективность эксплуатации грузового автомобиля будет сведена к минимуму вследствие значительного увеличения коэффициента динамичности (рисунок 3).

В третьей главе рассмотрены вопросы влияния степени ровности покрытий на полную стоимость грузовых автомобильных перевозок.

Известно, что затраты дорожного хозяйства в значительной мере зависят от уровня загруженности дорог автомобильными перевозками, при этом одной из основных проблем повышения производительности автомобилей является увеличение средних технических скоростей движения. В третьей главе также рассмотрен вопрос обоснования мероприятий по снижению стоимости автомобильных перевозок. Оценка стоимости автомобильных перевозок по дорогам рассмотрена с учетом затрат, возникающих при перевозке грузов по неровным дорогам из-за снижения скорости движения, и затрат, возникающих одновременно в связи с ухудшением технического состояния грузовых автомобилей. Такой подход необходим не только для дорожных хозяйств и транспортных организаций при учете и планировании их работы, но также и для предприятий различных отраслей народного хозяйства при определении ими наиболее экономически выгодных схем и направлений перевозки грузов, а также подбора транспортных средств для их выполнения.

Поскольку автомобильные дороги общего пользования по своим эксплуатационным качествам должны полностью соответствовать требованиям автомобильного транспорта, то необходимо своевременно диагностировать и поддерживать индекс ровности дорожных покрытий в заданном диапазоне.

Эффективная работа автомобильного транспорта оценивается полнотой учета транспортных затрат – тариф на 1 км, (T_3). Эффективная работа автомобильной дороги определяется необходимым уровнем ее технико-эксплуатационного состояния, обеспечивающим надежную и безопасную работу автомобильного транспорта и полную реализацию его технических возможностей при оптимальных (нормируемых) дорожных затратах (D_3). Необходимо также учесть такой немаловажный фактор, как экологический ущерб (Z_3), и прочие затраты, возникающие в процессе осуществления перевозок (P_3). Полная стоимость грузовых автомобильных перевозок на 1 км определяется следующей структурой:

$$C_p = T_3 + D_3 + Z_3 + P_3 \rightarrow \min. \quad (3)$$

Установление границ рационального применения того или иного ремонтного мероприятия рекомендуется производить на основе функциональной зависимости полной стоимости перевозки грузов (C_p) (3).

Как показал анализ, в существующих исследованиях недостаточное внимание уделено учету степени влияния ровности дорожных покрытий, как основного показателя транспортно-эксплуатационного состояния автомобильной дороги, влияющего на скорость грузового автомобиля, хотя хорошо известно влияние скорости движения транспорта, на стоимость автомобильных перевозок. В связи с этим возникла необходимость оценить зависимость полной стоимости грузовых перевозок (C_p , Y) от следующих параметров: показателя ровности дорожного покрытия (IRI , x_1), рациональной скорости автомобиля (V , x_2) и интенсивности движения грузового автотранспорта данного вида ($N_{г.а}$, x_3). Требуемая оценка может быть выражена в виде функциональной зависимости полной стоимости грузовых автомобильных перевозок на 1 км (C_p , тыс. руб./км) от указанных параметров. Расчетами подтверждено, что данная функциональная зависимость, наилучшим образом отражает реальную ситуацию в виде математической зависимости (4). В частности, для принятых числовых данных уравнение линейной регрессии с точки зрения практики нецелесообразно использовать, так как максимальная относительная погрешность равна 10,9 %. Однако она позволила ранжировать значимость параметров уравнения в следующий ряд: ровность (x_1), интенсивность движения (x_3) и рациональная скорость (x_2).

$$C_p = 4,436877 - 0,05483 \cdot x_1 - 0,01204 \cdot x_2 - 0,02472 \cdot x_3. \quad (4)$$

Для получения результатов с меньшей погрешностью формула (4) была усложнена, осуществив переход к степенной зависимости. Оценив результаты расчетов, относительная погрешность при этом составила 6 %.

Анализируя полученные данные, можно отметить, что наибольший рост стоимости грузовых автоперевозок наблюдается при снижении скорости транспортных средств в диапазоне с 70 до 60 км/ч. Таким образом, необходимо в каждом конкретном случае выявлять ожидаемые технико-экономические показатели данного транспортного процесса и проводить его всесторонний анализ. Графический пример такого анализа показан на рисунке 3.

Выявленная зависимость изменения полной стоимости грузовых автомобильных перевозок от ряда факторов, влияющих на перевозочный процесс (4), позволяет сделать вывод, что финансирование ремонта и затраты на содержание автомобильных дорог целесообразно увязывать с полной стоимостью грузовых автомобильных перевозок. Необходимо, чтобы величина фактической полной стоимости перевозки грузов на один автомобиль до проведения ремонт-

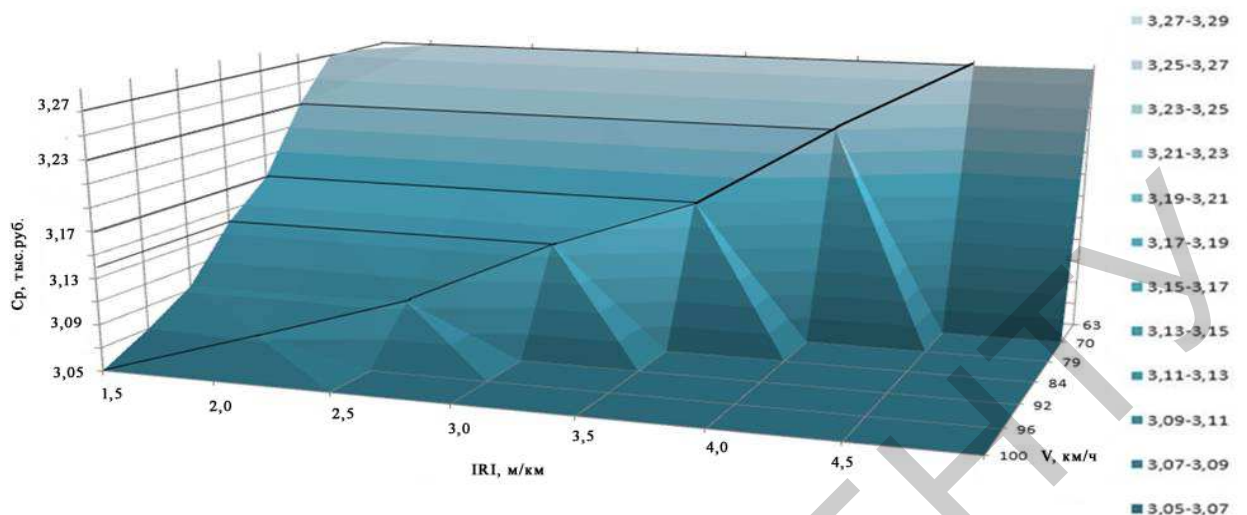


Рисунок 3 – Изменение полной стоимости грузовых автомобильных перевозок (C_p , тыс. руб./км) в зависимости от скорости движения автомобиля и показателя ровности автомобильной дороги при интенсивности движения 2500 авт./сут

ных мероприятий и после них (ΔC_p , тыс. руб./км) стремилась к максимуму.

Исходя из этой предпосылки, целью дорожно-ремонтных работ должно являться повышение транспортно-эксплуатационных качеств дороги (ровности), удобств и безопасности движения и, в итоге, снижения стоимости перевозок. При этом показатель эффективности дорожно-ремонтных работ (\mathcal{E}_p) определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_p = \frac{\Delta C_p}{D_3} \cdot 100 \%, \quad (5)$$

где D_3 – дорожные затраты определяемые на основании нормативов денежных средств на содержание и текущий ремонт автомобильных дорог на один грузовой автомобиль, тыс. руб./км.

Транспортно-эксплуатационного состояние дороги (для определения технико-экономического эффекта) оценивают по степени соответствия нормативным требованиям основных транспортно-эксплуатационных показателей дороги, которые приняты за ее потребительские свойства. Далее определяются критерии распределения ресурсов на ремонт и содержание дорог для подрядчиков на конкурсной основе.

Функцию достигаемой технико-экономической эффективности использования выделяемых средств \mathcal{E}_i . Предложено определять в виде отношения показателя улучшения ровности дороги, в результате проведения дорожно-ремонтных работ (ΔIRI_i), к величине необходимых затрат на проведение таких работ ($Z_{ни}$) для достижения заданного значения показателя ΔIRI_i .

Такой подход позволяет целенаправленно распределять материальные средства на ремонт и содержание дорог, обеспечивая значительную экономию средств.

Экономический смысл предложенного показателя (Δ_i) заключается в следующем: эффективность выделяемых средств (затрат) на проведение дорожно-ремонтных работ определяется долей ожидаемого улучшения ровности дороги, достигаемой за счет вложенных затрат для этой цели. Таким образом, четко обозначена целевая установка: материальные и денежные средства выделяются в первую очередь для участков дорог, которые нуждаются в улучшении ровности по заданным для них значениям ΔIRI_i .

Для комплексного решения проблемы требуется оптимизация планирования затрат на ремонт и содержание дорог с учетом разработанной соответствующей модели. Суть предлагаемой модели заключается в минимизации целевой функции (F), объединяющей в себе необходимые средства на требуемый ремонт и содержание дороги (C_i) и потерь пользователей (P_i) в связи с нахождением дороги в ненадлежащем состоянии (наличие недопустимой неровности).

$$F = \sum (C_i + P_i) \cdot n_i \rightarrow \min. \quad (6)$$

Минимизация целевой функции (6) должна учитывать ряд ограничений:

- мероприятия, финансируемые из бюджета на дорожные работы, должны обеспечить ликвидацию дефектности автодорог, так как обратная ситуация может привести к возможному возникновению ДТП;

- средние потери перевозчиков от неудовлетворительного (по ровности) состояния автодорог должны соответствовать величине недополученного эффекта (снижения стоимости перевозок) от повышения ровности.

При этом фактические суммарные затраты на содержание и ремонт не должны быть больше запланированных (научно обоснованных) в бюджете дорожного хозяйства.

Разработанная методика и созданные программные средства позволяют обосновать необходимые затраты дорожных служб и просчитать возможный транспортно-экономический эффект для потребителей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ литературы выявил необходимость проведения комплексного исследования динамического взаимодействия автомобиля с неровной поверхностью дороги для снижения стоимости грузовых перевозок [1, 2, 7, 9].

Основные научные результаты

1. Разработана система уравнений, учитывающая сглаживающую способность разнотипных шин и подвески автомобилей, на основании которой составлена программа расчета параметров динамического взаимодействия автомобиля с дорогой. Максимальная погрешность результатов расчетных и экспериментальных данных не превышает 5 % [19, 20].

2. Разработана сертифицированная компьютерная программа «Расчет динамических параметров в системе „автомобиль – дорога”» позволяющая рассчитывать коэффициенты динамичности ($K_{дин}$), характеризующие степень динамического воздействия автомобиля на дорогу [6, 10].

3. Установлена степень значимости факторов в системе «автомобиль – дорога» на основе полного факторного эксперимента и анализа математических зависимостей выраженных уравнениями регрессий. Обоснована градация факторов по степени влияния на динамические нагрузки: в первую очередь – масса автомобиля, затем – ровность покрытия и скорость автомобиля. Это позволяет определять величину динамической нагрузки автомобиля на дорожное покрытие с достаточной точностью вычислений при любом сочетании выбранных факторов [3, 6].

4. Анализ расчетных данных полученных с помощью программы «Расчет динамических параметров в системе „автомобиль – дорога”» позволили установить, что:

- для дорог с показателем ровности $IRI \leq 2,5$ м/км скорость движения базового автомобиля не должна превышать 90 км/ч;
- при неровности дорог более 4,5 м/км и скорости движения автомобиля менее 60 км/ч эффективность эксплуатации грузового автомобиля будет сведена к минимуму [4, 6, 14, 15, 18].

5. Разработана методика определения полной стоимости грузовых перевозок на основе учета фактической ровности дорожных покрытий и рациональных скоростей движения (ДМД 02191.6.003–2012), что позволяет определять: рациональную скорость движения транспортных средств, фактические затраты на перевозку грузов по автомобильным дорогам общего пользования, оценивать эффективность дорожно-ремонтных мероприятий. В результате проведения экспериментальных исследований получена зависимость изменения коэффициента динамичности грузового автомобиля, влияющего на скорость его

движения при различном показателе ровности дороги. Получили развитие представления о взаимодействии автомобиля с неровной поверхностью дороги, адекватно отражающие взаимосвязь между динамическим воздействием автомобиля и показателем ровности, что позволило установить пороговые значения *IRI* для базового автомобиля в диапазоне 3,5...4,5 м/км, которым соответствуют рациональные скорости движения автомобиля 70...63 км/ч [4, 5, 6, 8, 11, 12, 13, 16, 22].

б. Обработкой статистических данных установлено, что после проведения ремонтных мероприятий значение *IRI* уменьшается с 4,41 м до 1,3 м/км. Согласно разработанной методике это позволяет увеличивать рациональную скорость движения автомобиля в диапазоне с 63 км/ч до 100 км/ч. Величина снижения фактической полной стоимости грузовых перевозок составляет 2...7 %; при этом максимальная экономическая эффективность на каждый вложенный рубль нормативных дорожных затрат (D_3) (в зависимости от необходимости и значимости проведения ремонтных работ) достигает 2,4 руб. [4, 17].

Рекомендации по практическому использованию результатов

Теоретические и экспериментальные результаты исследований диссертации рекомендуется использовать:

- разработанную с участием автора компьютерную программу «Расчет динамических параметров в системе “автомобиль – дорога”» – организациям, занимающимся проектированием автомобилей и автомобильных дорог [21];

- ДМД 02191.6.003–2012 «Рекомендации по определению планируемых и фактических затрат на перевозку грузов с учетом рациональной скорости движения транспортных средств» (утвержден Департаментом «Белавтодор» Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь, приказ от 22 декабря 2012 г. № 292), а также разработанную методику расчета экономической эффективности при перевозке грузов на данном участке дороги в соответствии с ее требуемой ровностью за счет проведения дорожно-ремонтных работ – организациям, занимающимся развитием и совершенствованием автомобильных дорог общего пользования, а также организациям, занимающимся планированием автомобильных перевозок [22].

Результаты диссертационного исследования (методические указания по определению фактических затрат на перевозку грузов по автомобильным дорогам общего пользования) внедрены в учебный процесс и используются при преподавании учебных дисциплин «Экономика предприятия» для студентов специальности «Экономика дорожного хозяйства», а также для студентов специальности «Автомобильные дороги».

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Статьи в научных журналах

1. Ковалев, Я.Н. Повышение эффективности работы автомобильных дорог как составной части автомобильного транспорта / Я.Н. Ковалев, А.Н. Тур, М.Г. Солодка // Автомобильные дороги и мосты. – 2008. – № 2. – С. 31–34.
2. Ковалев, Я.Н. К вопросу о повышении эффективности финансирования автомобильных дорог / Я.Н. Ковалев, А.Н. Тур, М.Г. Солодка // Автомобильные дороги и мосты. – 2009. – № 1(3). – С. 103–106.
3. Солодка, М.Г. Определение влияния эксплуатационного состояния автомобильных дорог на динамические нагрузки автомобиля / М.Г. Солодка, Я.Н. Ковалев // Автомобильные дороги и мосты. – 2010. – № 2(6). – С. 110–115.
4. Солодка, М.Г. Определение влияния ровности автомобильных дорог на полную стоимость грузовых автомобильных перевозок / М.Г. Солодка, Я.Н. Ковалев // Автомобильные дороги и мосты. – 2012. – № 1(9). – С. 118–122.
5. Солодка, М.Г. Повышение эффективности затрат на ремонт и содержание автомобильных дорог / М.Г. Солодка // Автомобильные дороги и мосты. – 2012. – № 2(10). – С. 91–95.
6. Солодка, М.Г. Исследование некоторых закономерностей в системе «автомобиль-дорога» / М.Г. Солодка // Наука и Техника. – 2013. – № 2. – С. 40–43.

Материалы конференций

7. Солодка, М.Г. Методология повышения транспортно – эксплуатационных качеств автомобильных дорог / М.Г. Солодка, Д.В. Бриштель // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы X Междунар. межвузовской науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов, Гомель, 29–30 апр. 2010 г. / Гомел. гос. техн. ун-т им. П.О. Сухого. – Гомель, 2010. – С. 231–234.
8. Солодка, М.Г. Влияние транспортно-эксплуатационных параметров автомобильной дороги на стоимость грузоперевозок / М.Г. Солодка // Автомобильные дороги-дороги в будущее : материалы респуб. науч.-техн. конф., Минск 10 мар. 2011 г. / ГП "БелдорНИИ" ; редкол.: В.К. Шумчик [и др.] – Минск, 2011. – С. 108–109.
9. Солодка, М.Г. Роль автомобильных дорог в развитии экономики государства / М.Г. Солодка // Инновационные процессы в социально-экономическом развитии : материалы междунар. науч.-практ. конф., Бобруйск, 15 апр.

2011 г. / Белорус. гос. эконом. ун-т ; редкол.: В.Н. Гавриленко [и др.]. – Минск, 2011. – С. 135–137.

10. Солодка, М.Г. Обоснование требуемой ровности асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог / М.Г. Солодка, Я.Н. Ковалев // Современные тенденции и направления строительства, ремонта и содержания автомобильных дорог и искусственных сооружений : материалы науч.-техн. конф., посвященной 50-летию респ. доч. унит. предпр. «Белорус. дор. науч.-исслед. ин-т» БелдорНИИ ; редкол.: В.К. Шумчик [и др.] – Минск, 2012. – С. 217–218.

11. Солодка, М.Г. Обоснование полной стоимости автомобильных перевозок на основе показателя требуемой ровности дороги / М.Г. Солодка // Инновации в технике и технологии дорожно-транспортного комплекса : материалы респ. науч.-техн. конф., асп., маг. и студ., Минск, 11-12 апр. 2013 г. / БНТУ ; редкол.: А.В. Бусел [и др.]. – Минск, 2013. – С. 100–101.

12. Солодка, М.Г. Методика расчета экономической эффективности при перевозке грузов на участке дороги в соответствии с требуемой ровностью / М.Г. Солодка // Проблемы повышения качества и ресурсосбережения в дорожной отрасли : сб.тр. межд. конф., Минск, 30-31 мая 2013 г. / Департамент "Белавтодор", БНТУ. – Минск, 2013. – С. 203–208.

Тезисы докладов

13. Ковалев, Я.Н. Влияние дорожных условий на себестоимость автомобильных перевозок / Я.Н. Ковалев, М.Г. Солодка // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 6-ой междунар. науч.-техн. конф., Минск, 2010 г. : в 3 т. / БНТУ ; редкол.: Б.М. Хрусталева [и др.]. – Минск, 2008. – Т. 3. – С. 177.

14. Ковалев, Я.Н. Пути повышения эффективности работы автомобильных дорог / Я.Н. Ковалев, М.Г. Солодка // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 7-ой междунар. науч.-техн. конф., Минск, 2010 г. : в 3 т. / БНТУ ; редкол.: Б.М. Хрусталева [и др.]. – Минск, 2009. – Т. 3. – С. 123.

15. Солодка, М.Г. Сбережения народного хозяйства от улучшения дорожных условий / М.Г. Солодка // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 8-ой междунар. науч.-техн. конф., Минск, 2010 г. : в 3 т. / БНТУ ; редкол.: Б.М. Хрусталева [и др.]. – Минск, 2010. – Т. 3. – С. 20.

16. Солодка, М.Г. Влияние дорожных неровностей на разрушение автомобилей и дороги / М.Г. Солодка, Я.Н. Ковалев // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 10-ой междунар. науч.-техн. конф., Минск, 2012 г. : в 4 т. / БНТУ ; редкол.: Б.М. Хрусталева [и др.]. – Минск, 2012. – Т. 3. – С. 76.

17. Солодка, М.Г. Определение планируемых и фактических затрат на перевозку грузов с учетом рациональной скорости движения транспортных средств/ М.Г. Солодка // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 11-ой междунар. науч.-техн. конф., Минск, 2013 г. : в 4 т. / БНТУ ; редкол.: Б.М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2013. – Т. 3. – С. 84.

18. Солодка, М.Г. Влияние транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог на скорость движения транспортных средств/ М.Г. Солодка // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 11-ой междунар. науч.-техн. конф., Минск, 2013 г. : в 4 т. / БНТУ ; редкол.: Б.М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2013. – Т. 3. – С. 85.

19. Михайлов, В.В. Формирование колебательных воздействий и расчет нагрузок в контакте колес автомобиля с неровной поверхностью дороги // В.В. Михайлов, М.Г. Солодка // Механика машин, механизмов и материалов. – 2010. – № 4(13). – С. 18–23.

20. Верификация математической модели для расчета нагрузок в контакте колес автомобиля с неровной поверхностью дороги / М.Г. Солодка [и др.] // Механика машин, механизмов и материалов. – 2011. – № 2(15). – С. 18–23.

Нормативная документация

21. Свидетельство о регистрации компьютерной программы «Расчет динамических параметров в системе Автомобиль – Дорога» № 372 от 15.12.2011 г.

22. ДМД 02191.6.003-2012 «Рекомендации по определению планируемых и фактических затрат на перевозку грузов с учетом рациональной скорости движения транспортных средств» (утвержден Департаментом «Белавтодор» Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь, приказ от 22 декабря 2012 г. № 292).

РЭЗІЮМЭ

Салодкая Марыя Генадзьеўна

Уплыў роўнасці дарожных пакрыццяў на хуткасць і эфектыўнасць аўтамабільных перавозак

Ключавыя словы: роўнасць аўтамабільных дарог; рацыянальныя хуткасці руху грузавога транспарту; дынаміка ўзаемадзеяння грузавога аўтамабіля з паверхняй няроўнай дарогі; поўны кошт перавозкі грузаў.

Аб'ект даследавання – сістэма «аўтамабіль - дарога».

Прадмет даследавання – ацэнка ўзаемадзеяння аўтамабіля і дарогі, які ўплывае на хуткасць і кошт аўтамабільных перавозак.

Мэта працы – вызначэнне ўплыву роўнасці дарожных пакрыццяў на хуткасць і эфектыўнасць аўтамабільных перавозак.

Праведзена комплекснае даследаванне ўзаемадзеяння аўтамабіля з няроўнай паверхняй дарогі. У выніку тэарэтычных і эксперыментальных даследаванняў распрацавана метадыка ацэнкі ўплыву роўнасці дарогі на поўны кошт грузавых перавозак з улікам рацыянальных хуткасцяў руху транспартных сродкаў. Выканан аналіз значнасці ўплыву паказчыка роўнасці дарогі на хуткасць і кошт аўтамабільных перавозак.

Даследавана ўзаемадзеянне базавага грузавога аўтамабіля з няроўнай паверхнасцю дарогі ў выглядзе адпаведнай матэматычнай залежнасці. Распрацаваная мадэль рэалізавана ў выглядзе сертыфікаванай камп'ютарнай праграмы «Разлік дынамічных параметраў у сістэме аўтамабіль - дарога».

У выніку ўстаноўлены крытычныя значэнні каэфіцыента дынамічнасці ($K_{дін}$), што дазваляе вызначаць рацыянальныя хуткасці руху грузавых аўтамабіляў.

Прымяненне вынікаў даследавання забяспечвае зніжэнне поўнага кошту грузавых перавозак на 7%.

Вынікі даследаванняў выкарыстаны пры распрацоўцы ДМД 02191.6.003-2012 «Рэкамендацыі па вызначэнні планаваных і фактычных выдаткаў на перавозку грузаў з улікам рацыянальнай хуткасці руху транспартных сродкаў».

РЕЗЮМЕ

Солодкая Мария Геннадьевна

Влияние ровности дорожных покрытий на скорость и эффективность автомобильных перевозок

Ключевые слова: ровность автомобильных дорог; рациональные скорости движения грузового транспорта; динамика взаимодействия грузового автомобиля с поверхностью неровной дороги; полная стоимость перевозки грузов.

Объект исследования – система «автомобиль – дорога».

Предмет исследования – оценка взаимодействия автомобиля и дороги, влияющего на скорость и стоимость автомобильных перевозок.

Цель работы – определение влияния ровности дорожных покрытий на скорость и эффективность автомобильных перевозок.

Проведено комплексное исследование взаимодействия автомобиля с неровной поверхностью дороги. В результате теоретических и экспериментальных исследований разработана методика оценки влияния ровности дороги на полную стоимость грузовых перевозок с учетом рациональных скоростей движения транспортных средств. Выполнен анализ значимости влияния показателя ровности дорог на скорость и стоимость автомобильных перевозок.

Исследовано взаимодействие базового грузового автомобиля с неровной поверхностью дороги в виде соответствующей математической зависимости. Разработанная модель реализована в виде сертифицированной компьютерной программы «Расчет динамических параметров в системе автомобиль – дорога». В результате установлены критические значения коэффициента динамичности ($K_{дин}$), что позволяет определять рациональные скорости движения грузовых автомобилей.

Применение результатов исследования обеспечивает снижение полной стоимости грузовых перевозок на 7 %.

Результаты исследований использованы при разработке ДМД 02191.6.003–2012 «Рекомендации по определению планируемых и фактических затрат на перевозку грузов с учетом рациональной скорости движения транспортных средств».

SUMMARY

Solodkaya Maria Gennadyevna

Influence of pavement roughness on the speed and efficiency of transportation

Keywords: flatness of highways; rational speeds of movement of cargo transport; dynamics of interaction of the truck with a surface of the rough road; overall cost of the transportation of goods.

The object of research – system «vehicle-road».

The subject of research – evaluation of the vehicle interaction with the road, which effects on the traffic speed and transportation cost.

The work purpose – definition the pavement roughness influence on the speed and efficiency of road transportation.

A comprehensive study of the vehicle interaction with the rough road pavement was performed. The method of estimating the of road roughness index impact on the full cost of freight, considering optimal vehicle speed was developed as the result of theoretical and experimental researches . The analysis of the roughness index value impact on speed and cost of transportation also was made.

Interaction of the basic truck with a rough surface of the road in the form of the corresponding mathematical dependence was investigated. This model was implemented in the form of a certified computer application «Calculation of the dynamic parameters in the "vehicle - road" system». The critical values of dynamic coefficient (K_{dyn}) were established as result of the research. These values allow to define optimal traffic speeds.

Practical application of the research results allowed to reduce freight cost by 7%.

The results of researches were used in the developing of the road and methodical document DMD 02191.6.003–2012 «Recommendations about definition of planned and actual expenses for transportation of goods taking into account the rational speed of movement of vehicles».