

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 625.8-021.4+656.13-027.236

СОЛОДКАЯ
Мария Геннадьевна

**ВЛИЯНИЕ НЕРОВНОСТИ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ
НА 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, 2020

Научная работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете.

Научный руководитель

КОВАЛЕВ Ярослав Никитич,
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Автомобильные дороги» Белорусского национального технического университета, г. Минск

Официальные оппоненты:

БУСЕЛ Алексей Владимирович,
доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник республиканского дочернего унитарного предприятия «Белорусский дорожный научно-исследовательский институт «БелдорНИИ», г. Минск;

НАСКОВЕЦ Михаил Трофимович
кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет», г. Минск

Оппонирующая организация

Учреждения образования «Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель

Защита состоится 10 апреля 2020 г. в 14⁰⁰ на заседании совета по защите диссертаций Д 02.05.05 при Белорусском национальном техническом университете по адресу: 220013, г. Минск, проспект Независимости, 65, главный корпус, ауд. 202; телефон ученого секретаря 8(017) 293-96-73, e-mail: kovshar-36@tut.by

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан «10» марта 2020 г.

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций,
кандидат технических наук

С. Н. Ковшар

© Солодка М. Г., 2020
© Белорусский национальный
технический университет, 2020

ВВЕДЕНИЕ

В Республике Беларусь находится в эксплуатации 102,5 тыс. км автомобильных дорог, в т.ч. 88,9 тыс. км – с твердым покрытием, по которым ежегодно перевозится более 170,9 млн т грузов. Известно, что от скорости грузовых перевозок существенно зависит экономика многих отраслей народного хозяйства.

Скорость движения грузового автомобильного транспорта определяется рядом переменных факторов, одним из важнейших среди них является неровность поверхности дорожных покрытий. Этот дефект значительно влияет на снижение скорости грузовых автомобилей и в конечном итоге – на снижение эффективности автомобильных перевозок.

Вопросами изучения эффективности грузовых автомобильных перевозок занимались многие известные ученые: В. Ф. Бабков, Н. Ф. Билибин, А. К. Бируля, Л. Я. Бронштейн, Б. У. Бусел, М. С. Высоцкий, Е. Н. Гарманов, Н. Я. Говорущенко, С. Н. Жилин, Р. П. Лахно, С. Р. Лейдерман, И. И. Леонovich, В. В. Сильянов, Ю. В. Слободчиков, А. К. Славуцкий, К. С. Теренецкий, Е. В. Углова, Т. С. Хачатуров, Я. В. Хомяк, А. Я. Эрастов и др.

В проведенных исследованиях доминирующим научным направлением был экономический аспект, не затрагивающий техническую составляющую проблемы – механизм вынужденного снижения скорости грузовых автомобилей из-за наличия неровностей на поверхности дорожных покрытий. Данный подход не позволяет принять правильные решения по оперативному и своевременному устранению неровностей и установлению рациональной скорости и эффективности грузовых перевозок.

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 неровности автомобильных дорог на действующие узлы и агрегаты автомобилей с учетом динамических нагрузок при выбранных скоростях движения. Часть настоящего исследования была использована для выполнения НИР Государственного предприятия «Белгипродор» (№ 20181613) по теме «Проведение прикладных исследований, создание базы данных с применением современного программного обеспечения в целях совершенствования транспортной модели Республики Беларусь» в соответствии с Планом проведения научно-исследовательских работ Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь на 2019 год

в части разработки и применения технико-экономической системы управления транспортно-эксплуатационным состоянием автомобильных дорог при обосновании инвестиций в развитие автомобильных дорог с учетом рациональных скоростей движения по ним транспортных средств.

Цель и задачи исследования.

Цель исследования – оценка влияния неровностей дорожных покрытий на эффективность автомобильных перевозок.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ исследований по совершенствованию транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог для повышения эффективности автомобильных перевозок;
- изучить динамическое взаимодействие грузового автомобиля с поверхностью дорожного покрытия для оценки его вертикальных колебаний в зависимости от величины неровностей;
- разработать расчетный метод определения влияния неровностей дорожного покрытия на динамическое воздействие автомобиля на дорогу для вычисления коэффициента динамичности в зависимости от величины неровности;
- разработать методику определения полной стоимости грузовых перевозок на основе учета фактической неровности дорожных покрытий и рациональной скорости движения грузового автомобиля;
- провести и внедрить технико-экономический анализ эффективности ремонтных мероприятий для снижения полной стоимости грузовых перевозок.

Научная новизна результатов диссертационных исследований заключается:

- в разработке компьютерной программы, позволяющей рассчитать максимальные динамические нагрузки и коэффициент динамичности в зависимости от величины неровности дорожного покрытия;
- в использовании регрессионной зависимости коэффициента динамичности как экспресс-оценки динамического взаимодействия грузовых автомобилей с неровной поверхностью дорожных покрытий;
- в обосновании рациональной скорости движения грузового транспорта, что позволяет определять полную стоимость грузовых перевозок;
- в обосновании эффективности ремонтных мероприятий по устранению неровностей дорожных покрытий, позволяющих снизить полную стоимость грузовых перевозок.

Положения, выносимые на защиту:

- результаты расчетно-экспериментальных исследований по разработке виртуальной модели для оценки динамического взаимодействия грузового

автомобиля с неровной поверхностью дороги, что позволяет получать необходимые данные для выбора рациональной скорости движения грузового автомобиля;

– результаты экспериментально-аналитических исследований по обоснованию рациональных скоростей движения грузового автомобиля, обеспечивающих допустимые нагрузки при динамическом воздействии автомобиля на дорогу на основе учета величины неровности дорожного покрытия и коэффициента динамичности;

– результаты расчетно-аналитических исследований взаимосвязи неровности дорожного покрытия и рациональной скорости движения грузового автомобиля, позволяющие снизить полную стоимость грузоперевозок до 8 %;

– результаты расчетно-аналитических исследований по установлению рационального возмещения затрат на устранение неровностей дорожных покрытий в зависимости от эффективности грузовых перевозок.

Личный вклад соискателя ученой степени. Диссертационная работа представляет собой самостоятельный труд соискателя. Автору принадлежит постановка задач исследования, выбор и разработка компьютерной программы и функциональных зависимостей при определении динамических нагрузок автомобиля на дорогу с соответствующим расчетом рациональной скорости автомобиля при проезде по неровной поверхности дороги. Определение целей и задач исследований, обобщение полученных результатов проводилось при консультации с научным руководителем – доктором технических наук, профессором Я.Н. Ковалевым. В проведении экспериментальных исследований принимал участие В.В. Михайлов, что отмечено в библиографическом списке публикаций.

Апробация результатов диссертации. Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались: на международных научно-технических конференциях «МНТК 6» – «МНТК 16» (БНТУ, г. Минск, 2008–2018 гг.); X Международной межвузовской научно-технической конференции студентов, магистрантов и аспирантов (г. Гомель, 29–30 апр. 2010 г.); Республиканской научно-технической конференции «Автомобильные дороги – дороги в будущее» (г. Минск, 10 мар. 2011 г.); Республиканской научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и студентов (г. Минск, 11–12 апр. 2013 г.); Международной научно-технической конференции «Проблемы повышения качества и ресурсосбережения в дорожной отрасли» (г. Минск, 30–31 мая 2013 г.); Международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития автомобильных дорог СНГ» (г. Минск, 18–19 апр. 2019 г.)

Опубликованность результатов диссертации. Основные положения диссертационной работы отражены в 35 публикациях, в том числе в 9 ста-

тнях в изданиях по перечню ВАК Республики Беларусь, в 23 статьях и материалах докладов научно-технических конференций и в 3 нормативных документах. Общий объем публикаций составляет 4,41 авторских листа.

Структура и объём диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, библиографического списка и приложений. Ее полный объем составляет 193 страницы, включая: 19 рисунков на 8 страницах, 42 таблицы на 17 страницах, 7 приложений на 34 страницах и библиографический список из 255 наименований на 22 страницах, из которых 35 – авторские работы.

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 технико-эксплуатационное состояние автомобильной дороги (преимущественно неровность дорожных покрытий) определяет затраты автомобильного транспорта на перевозки и тем самым непосредственно влияет на экономическую эффективность народного хозяйства. В целом качественные автомобильные дороги способствуют развитию всех отраслей промышленности, строительства, сельского хозяйства и др., являясь своего рода их инвестором. Непрерывное функционирование дорог зависит от своевременного и достаточного финансирования их ремонта и содержания. Однако при ограниченных финансовых ресурсах возникает проблема оценки и рационального выбора участков дорог с обоснованием ремонтных затрат в зависимости от потока автомобилей, перевозящих грузы.

В результате анализа исследований по настоящей теме был получен значительный объем 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. Вместе с тем имеющиеся исследования по проблеме снижения стоимости автомобильных перевозок, отражающие взаимосвязь параметров в системе «автомобиль – дорога», выполнены без учета влияния неровности дорожных покрытий, оцениваемой нормируемым показателем. В настоящее время показатель ровности дорожных покрытий (*IRI*) нормирован и принят в практике при строительстве и эксплуатации автомобильных дорог в Республике Беларусь (ТКП 140-2008 (02191) «Автомобильные дороги. Порядок выполнения диагностики»). Анализ влияния показателя ровности на экономичность автомобильных перевозок, осуществляемых предприятиями различных отраслей народного хозяй-

ства, показал, что эта проблема нуждается в комплексном техническом и экономическом исследовании. При этом в качестве единого интегрального оценочного параметра выбрана полная стоимость автомобильных перевозок, зависящая от неровности дорожных покрытий и непосредственно связанных с ней рациональных скоростей движения грузового транспорта.

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

Во второй главе проведены теоретические и экспериментальные исследования, направленные на оценку динамического взаимодействия грузового автомобиля с неровной поверхностью дороги.

Установлено, что взаимодействие автомобиля и дороги в реальных условиях происходит с учетом перемещений и вращений массы автомобиля относительно трех базовых осей ординат, поэтому идеальная модель должна включать достаточно большое количество масс и упругостей отдельных элементов. 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 его массу, 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.

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 в рассмотренной системе эффект «сглаживания» было предложено связать с развиваемыми силами демпфирования.

В качестве объектов экспериментальных исследований были выбраны участки дорог республиканского значения: М-6 Минск – Гродно (км 42 – км 44) и Р-23 Минск – Микашевичи (км 0 – км 28) и использованы автомобили МАЗ-544019, МАЗ-544089 в груженом состоянии. Записи вертикальных ускорений проводились на раме автомобиля над задним мостом на левом лонжероне. Измерения ускорений производились в выбранном скоростном

диапазоне 60...80 км/ч. Скорость движения контролировалась по предварительно тарированному спидометру. Для обеспечения стабильности результатов измерений на каждой скорости движения производилось не менее двух заездов. На рисунке 1 приведены скорректированные среднеквадратичные ускорения на раме автомобиля над задним мостом в полосе частот 0,7...63 Гц.

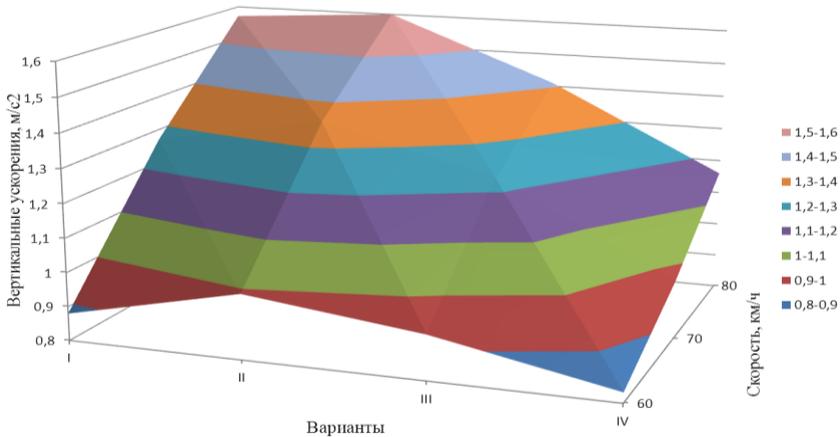


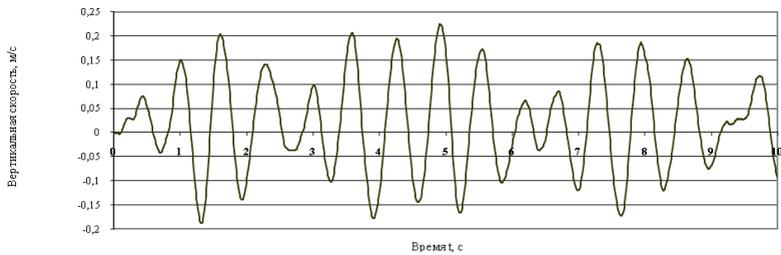
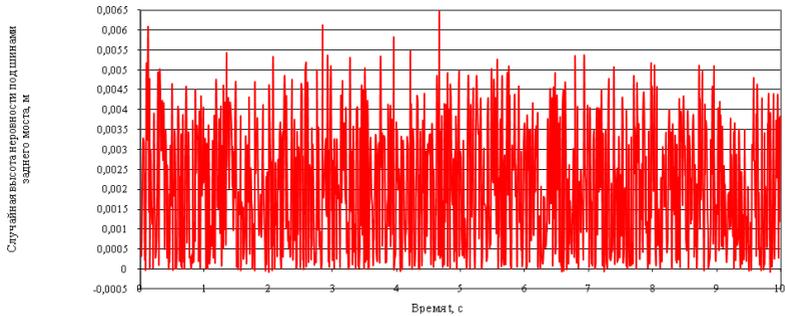
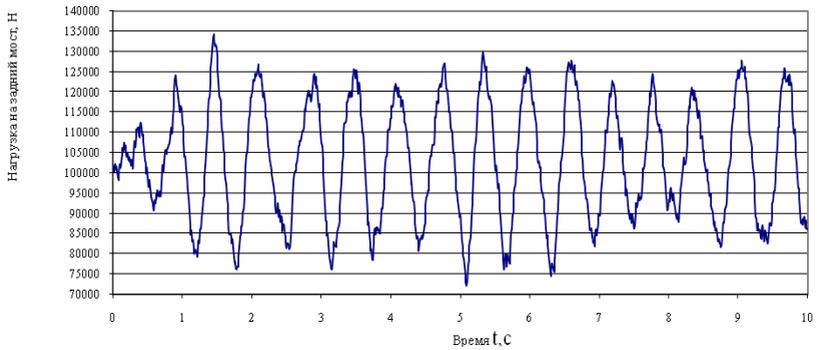
Рисунок 1. – Изменения вертикальных ускорений на раме МАЗ-5440 при движении по автомобильной дороге М-6 в зависимости от скорости движения

Результаты экспериментальных исследований вертикальных ускорений на раме над задним мостом слева при движении по автомобильной дороге в выбранном скоростном диапазоне подтверждают результаты ранее проведенных диссертационных исследований.

На основании результатов исследований проведено сравнение данных, полученных в результате моделирования и экспериментальным путем, в зависимости от скорости движения автомобиля. Максимальная погрешность результатов расчетов и эксперимента не превышает 5 %. Это позволяет использовать предложенную расчетную модель в качестве базовой для обоснования комплексных оценочных показателей взаимодействия грузового автомобиля при его движении по неровной поверхности дороги.

В третьей главе разработана программа для оценки динамического взаимодействия автомобиля с неровной поверхностью дороги, используя статистические данные показателя ровности. Программа прошла расчетно-

экспериментальную верификацию. Пример визуализации исследуемых процессов показан на рисунке 2.



а – динамическая нагрузка на заднюю ось автомобиля, Н;
б – случайная высота неровности под шинами задней оси автомобиля, м;
в – вертикальная скорость колебаний центра масс автомобиля, м/с
Рисунок 2. – Визуализация полученных данных программы в системе
 “автомобиль – дорога” автомобиля МАЗ-5440 при значении IRI 4,0 м/км и скорости
 движения V_n 70 км/ч

Полученные с помощью компьютерного моделирования экспериментальные данные сравнивались с расчетными (функциональные зависимости) для выбранного скоростного диапазона 60...100 км/ч.

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

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

Выходные данные программы «Расчет динамических параметров в системе “автомобиль – дорога”» представлены коэффициентами динамичности ($K_{дин}$) и приведены на рисунке 3.

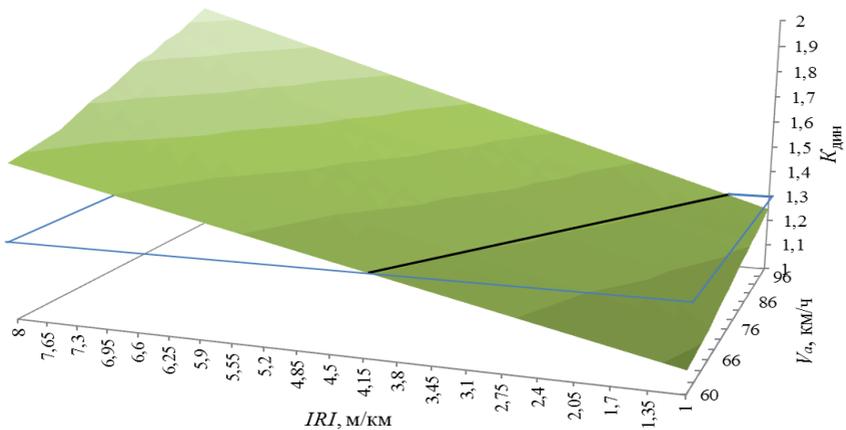


Рисунок 3. – Максимальные значения $K_{дин}$ для различных значений показателя ровности дорожного покрытия IRI и скоростей движения V_a в диапазоне 60...100 км/ч

Для повышения точности определения коэффициента динамичности ($K_{дин}$) грузового автомобиля МАЗ-5440 на дорожное покрытие принята функциональная зависимость от ряда факторов.

$$K_{дин} = f(IRI, V_a), \quad (1)$$

где IRI – среднестатистические значения показателя ровности дорожного покрытия, соответствующие исследуемому участку, м/км;

V_a – установившаяся скорость движения автомобиля, км/ч.

Для реализации зависимости (1) были использованы метод наименьших квадратов и программный пакет *Windows* для расчета коэффициентов регрессии. Они позволили выявить значимость факторов (IRI , V_a), определяющих величину коэффициента динамичности ($K_{дин}$), и установить зависимость его изменения от обозначенных факторов. При этом в уравнениях регрессии в качестве коэффициентов были введены параметры: $IRI(x_1)$, $V_a(x_2)$.

Предложена эмпирическая формула для определения коэффициента динамичности (Y), полученная в зависимости от показателя ровности дорожного покрытия (x_1) и скорости движения автомобиля (x_2), с погрешностью 1,3 %.

$$Y = 0,816 + 0,027 \cdot x_1 + 0,0033 \cdot x_2 + 0,00072 \cdot x_1 \cdot x_2, \quad (2)$$

где $x_1 \in [1; 8]$, $x_2 \in [60; 100]$.

Анализируя полученную зависимость и коэффициенты регрессии, можно сделать вывод, что показатель ровности является наиболее важным фактором.

Расчеты по формуле (2) позволили определить область максимальных коэффициентов динамичности ($K_{дин}$) для различных значений показателя ровности (IRI) и скоростей движения автомобиля (V_a). Пример взаимосвязи $K_{дин}$ с показателем ровности IRI приведен на рисунке 4.

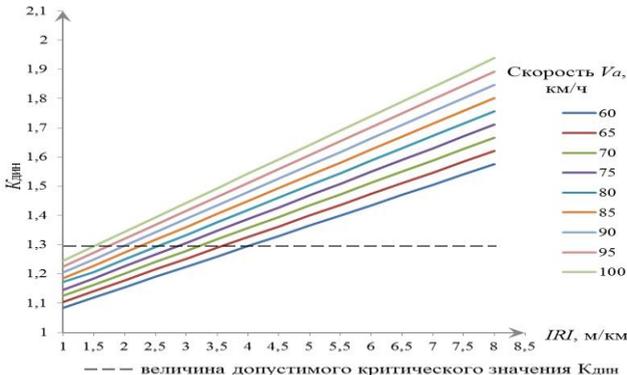


Рисунок 4. – Изменение максимального значения $K_{дин}$ для заднего моста грузового автомобиля в зависимости от фиксированного показателя ровности дорожного покрытия и рациональных скоростей движения в диапазоне 60...100 км/ч по формуле (2)

В соответствии с требованием ТКП 45-3.03-19-2006 (022050) (Автомобильные дороги. Нормы проектирования) и с учетом технических характеристик принятого базового автомобиля МАЗ-5440, коэффициент динамичности не должен превышать 1,3.

Для определения влияния неровности дорожного покрытия на скорость движения автомобиля были проведены расчеты по формуле (2) с учетом указанного ограничения величины коэффициента динамичности. Получены рациональные скорости движения грузового автомобиля МАЗ-5440.

Рациональная скорость движения – скорость движения автомобиля, при которой учитываются эксплуатационные характеристики автомобильной дороги (IRI), и требуемые значения коэффициента динамичности ($K_{дин}$). Несоблюдение данной рекомендации ведет к преждевременному разрушению дороги, повреждению автомобиля, не гарантированной сохранности груза и увеличению эксплуатационных затрат автомобиля и дороги.

В таблице 1 представлены расчетные значения рациональных скоростей движения грузового автомобиля МАЗ-5440Х5 в зависимости от показателя ровности дорожного покрытия.

Таблица 1. – Рациональная скорость движения грузового автомобиля МАЗ в зависимости от показателя ровности дорожного покрытия

Среднее значение IRI , м/км	Рациональная скорость, км/ч
до 1,67 включительно	100
более 1,67 до 1,73 включительно	95
более 1,73 до 2,17 включительно	90
более 2,17 до 2,5 включительно	85
более 2,5 до 2,75 включительно	80
более 2,75 до 3,0 включительно	75
более 3,0 до 3,5 включительно	70
более 3,5 до 4,0 включительно	65
более 4,0 до 4,5 включительно	60

Целесообразно устанавливать скоростной режим движения по конкретной дороге в зависимости от показателя ровности дорожного покрытия, исходя из таблицы 1.

Для дорог с показателем ровности $IRI \leq 2,17$ 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 автомоби-

ля будет сведена к минимуму вследствие значительного увеличения коэффициента динамичности (рисунок 4).

Проведены экспериментально-теоретические исследования влияния неровности дорожного покрытия на расход топлива на примере выбранного базового автомобиля с постоянной скоростью движения 80 км/ч. В качестве объектов экспериментальных исследований тестовых заездов был выбран участок автомобильной дороги Р-149 Жлобин – Светлогорск (км 0 – км 14,0), общей длиной в оба направления 28 км.

Полученные экспериментальные данные позволили перейти к комплексному исследованию функциональной зависимости расхода топлива Q (л/100 км) от выбранного параметра IRI

$$Q = f(IRI). \quad (3)$$

Предложена эмпирическая формула расхода топлива Y'' от показателя ровности x , имеющая вид квадратической зависимости с погрешностью 4,54 %.

$$Y'' = -16,73 + 14,25 \cdot x - 1,042 \cdot x^2, \quad (4)$$

где $x \in [4,17; 6,48]$.

Экспериментальные исследования показали, что коэффициент динамичности в различных дорожных условиях – один из факторов, влияющих на расход топлива и скоростной режим движения автомобиля. Используя регрессионную зависимость (4) определено снижение расхода топлива с 31,86 л/100 км до 24,57 л/100 км при изменении величины неровности дорожного покрытия с 6,48 м/км до 4,17 м/км.

Анализируя результаты исследований можно сделать вывод о том, что при одной и той же скорости движения могут быть различные варианты нагрузок и разные пределы изменения скоростей автомобиля, зависящие от неровности дорожного покрытия. Из множества вариантов следует выбирать оптимальный.

В четвертой главе рассмотрены вопросы влияния показателя ровности дорожных покрытий на полную стоимость грузовых автомобильных перевозок.

Оценка стоимости автомобильных перевозок рассмотрена с учетом затрат, возникающих одновременно из-за снижения скорости перевозки грузов по неровным дорогам и в связи с ухудшением технического состояния автомобильной дороги. Такой подход следует использовать не только дорожным хозяйствам и транспортным организациям при учете и планиро-

вании их работы, но и предприятиям различных отраслей народного хозяйства при определении ими наиболее экономически выгодных схем и направлений перевозки грузов, а также выборе транспортных средств для их выполнения.

Эффективная работа автомобильного транспорта оценивается полной учета транспортных затрат (T_3 , руб./км). 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 , руб./км). Необходимо также учесть такой немаловажный фактор, как экологический ущерб (Z_3 , руб./км), и прочие затраты, возникающие в процессе осуществления перевозок (P_3 , руб./км). Тогда полная стоимость грузовых автомобильных перевозок (C_p , руб./км) составит:

$$C_p = T_3 + D_3 + Z_3 + P_3 \rightarrow \min. \quad (5)$$

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

Как показал анализ, в существующих исследованиях недостаточно рассмотрено влияние неровности дорожных покрытий на скорость грузового автомобиля. Тем не менее хорошо известно влияние скорости движения транспорта на стоимость автомобильных перевозок. В связи с этим возникла необходимость оценить зависимость полной стоимости грузовых перевозок (Y''') от следующих параметров: показателя ровности дорожного покрытия (x_1), рациональной скорости автомобиля (x_2) и интенсивности движения грузового автотранспорта данного вида (x_3). Требуемая оценка может быть выражена в виде функциональной зависимости полной стоимости грузовых автомобильных перевозок на 1 км (C_p , руб./км) от указанных параметров. Расчетами подтверждено, что данная функциональная зависимость (6) наиболее полно отражает реальную ситуацию, с относительной погрешностью, равной 4,49 %. Она позволила ранжировать значимость параметров уравнения в следующий ряд: неровность дорожного покрытия (x_1), рациональная скорость (x_2) и интенсивность движения (x_3).

$$Y''' = 2,35 + 0,16 \cdot x_1 + 0,005 \cdot x_2 - 0,02 \cdot x_3, \quad (6)$$

где $x_1 \in [1,4; 4,5]$, $x_2 \in [60; 100]$, $x_3 \in [0,06; 5,92]$

Установлено, что наибольший рост полной стоимости грузовых автоперевозок наблюдается при снижении рациональной скорости автомобиля в диапазоне от 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 5.

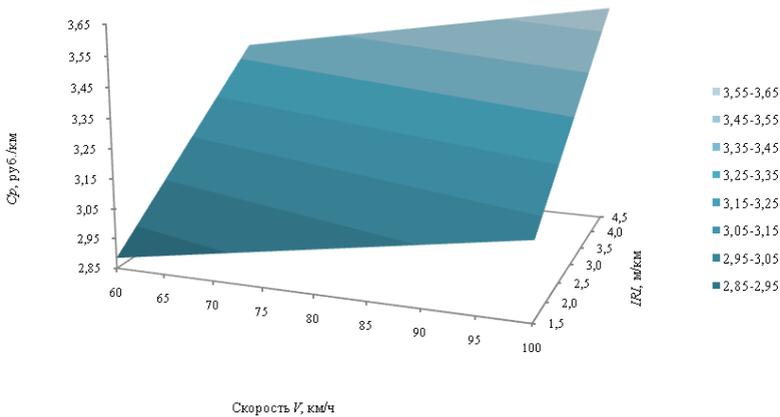


Рисунок 5. – Изменение полной стоимости грузовых автомобильных перевозок (C_p , руб./км) в зависимости от скорости движения автомобиля и показателя ровности автомобильной дороги при интенсивности движения 2,5 тыс. авт./сут

Выявленная зависимость изменения полной стоимости грузовых автомобильных перевозок от ряда факторов, влияющих на перевозочный процесс (6), позволяет сделать вывод, что финансирование ремонта и затраты на содержание автомобильных дорог целесообразно увязывать с полной стоимостью грузовых автомобильных перевозок. Необходимо, чтобы величина разницы между фактической полной стоимостью перевозки грузов на один автомобиль до проведения ремонтных мероприятий и после них (ΔC_p , руб./км) стремилась к максимуму. Исходя из этой предпосылки, цель работ по ремонту и содержанию дорог – повышение транспортно-эксплуатационных качеств дороги (уменьшение неровностей), удобства и безопасности движения и в итоге – снижение стоимости перевозок.

Показатель эффективности работ по ремонту и содержанию дорог (\mathcal{E}_p) определяется по формуле

$$\Xi_p = \frac{\Delta C_p}{D_3} \cdot 100\%, \quad (7)$$

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

Транспортно-эксплуатационное состояние дороги (для определения технико-экономической эффективности) оценивают по степени соответствия нормативным требованиям основных транспортно-эксплуатационных показателей дороги, которые приняты в качестве ее потребительских свойств. При этом необходимое распределение ресурсов на ремонт и содержание дорог для подрядчиков осуществляется на конкурсной основе.

Величину достигаемой технико-экономической эффективности использования выделяемых средств предложено определять в виде отношения улучшения показателя ровности дороги в результате проведения работ по ремонту и содержанию дорог (ΔIRI_i) к величине необходимых затрат на проведение таких работ. Такой подход позволяет целенаправленно распределять материальные средства на ремонт и содержание дорог, обеспечивая их значительную экономию.

Экономический смысл предложенного показателя 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.

Для комплексного решения проблемы требуется оптимизация планирования затрат на ремонт и содержание дорог с учетом разработанной соответствующей модели. Суть предлагаемого метода заключается в минимизации целевой функции (F , руб.), объединяющей в себе необходимые затраты на ремонт и содержание дороги (C_i , руб./км), и потерь пользователей (P_i , руб./км) в связи с ненадлежащим состоянием дороги (наличие недопустимых неровностей).

$$F = \sum_i (C_i + P_i) \cdot n_i \rightarrow \min, \quad (8)$$

где n_i – количество километров, необходимых на проведение ремонта и содержания на i -х участках дороги.

Использование рациональных скоростей движения грузовым автомобилем при расчете полной стоимости перевозки грузов (6) является кор-

ректным при выполнении условия (8). Следует отметить, что затраты перевозчиков будут минимальными, при стабильном финансировании ремонтных мероприятий на автомобильных дорогах.

Минимизация целевой функции (8) должна учитывать ряд особенностей:

– мероприятия, финансируемые из бюджета дорожных работ, обеспечивают ликвидацию неровности автодорог, так как обратная ситуация может привести к возможным возникновениям ДТП;

– средние потери перевозчиков от неудовлетворительного (из-за неровности дорожного покрытия) состояния автодорог соответствуют величине недополученного ими эффекта (вследствие повышения стоимости перевозок). При этом фактические суммарные затраты на содержание и ремонт не должны быть больше запланированных (научно обоснованных) в бюджете дорожного хозяйства.

Разработанный метод и созданные программные средства позволяют обосновать необходимые затраты дорожных служб и просчитать возможную транспортно-экономическую эффективность для перевозчиков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации.

1. Разработан научно-практический метод оценки влияния неровности дорожных покрытий на эффективность автомобильных перевозок, позволяющий снизить стоимость грузовых автомобильных перевозок и затраты на проведение ремонтных работ [1–35].

2. Определены экспериментально вертикальные колебания моделируемого транспортного средства, учитывающие сглаживающую способность разнотипных шин и подвески автомобиля. На основании полученных результатов составлена программа расчета параметров динамического взаимодействия автомобиля с неровным дорожным покрытием. Максимальная погрешность результатов расчетных и экспериментальных данных не превышает 5 % [6, 9, 11].

3. Разработаны сертифицированные компьютерные программы «Расчет динамических параметров в системе “автомобиль – дорога”» и «Программа расчетной оценки взаимодействия автомобиля с единичной искусственной дорожной неровностью», позволяющие характеризовать степень динамического воздействия автомобиля на дорожное покрытие и устанавливать рациональную скорость движения автомобиля [3, 8, 10, 33, 35].

4. Установлено на основе анализа выходных и расчетных данных, полученных с помощью программы «Расчет динамических параметров в системе „автомобиль – дорога”», что: для дорог с показателем ровности $IRI \leq 2,5$ м/км скорость движения базового автомобиля не должна превышать 85 км/ч (рост эксплуатационных затрат), при неровности дорог более 4,5 м/км и ско-

рости движения автомобиля менее 60 км/ч эффективность эксплуатации грузового автомобиля будет сведена к минимуму. На основе натурального эксперимента получена регрессионная зависимость расхода топлива грузового базового автомобиля от величины неровности дорожного покрытия с погрешностью 4,5 %. Установлено, что при снижении показателя ровности дорожного покрытия с 6,48 м/км до 4,17 м/км расход топлива снижается с 31,86 л/100 км до 24,57 л/100 км [6, 8, 14, 19, 20, 25, 30, 33].

5. Разработана методика определения полной стоимости грузовых перевозок на основе учета фактической ровности дорожных покрытий и рациональных скоростей движения автомобиля (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. Установлены пороговые значения показателя ровности дорожного покрытия в диапазоне 3,0...4,5 м/км, которым соответствуют рациональные скорости движения автомобиля с 70 км/ч до 60 км/ч [4, 7, 12, 24, 27, 29, 34].

6. Установлено, что проведение ремонтных мероприятий с получением требуемого уровня показателя ровности дорожного покрытия для данной категории дороги позволяет увеличить рациональную скорость движения автомобиля до 100 км/ч. Установлены предельные значения показателя ровности дорожных покрытий, при котором полная стоимость грузовых перевозок возрастает до 8 %. Повышая рациональную скорость движения грузового автомобиля 60 км/ч до 85 км/ч, полная стоимость автомобильных перевозок снижается на 7,3 %. При этом максимальная экономическая эффективность дорожно-ремонтных работ на каждый вложенный рубль нормативных дорожных затрат (в зависимости от необходимости и значимости проведения ремонтных работ) составляет 2,38 руб. [4, 5, 16, 17, 18, 21, 23, 31, 32].

Рекомендации по практическому использованию результатов.

Теоретические и экспериментальные результаты исследований диссертации рекомендуется использовать:

– разработанные с участием автора компьютерные программы «Расчет динамических параметров в системе “автомобиль – дорога”» и «Программа расчетной оценки взаимодействия автомобиля с единичной искусственной дорожной неровностью» – организациям, занимающимся проектированием автомобильных дорог [33, 35];

– 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 требуемой ровностью за счет проведения дорожно-ремонтных работ – организациям, занимающимся развитием и совершенствованием автомобильных дорог общего пользования, а также организациям, занимающимся планированием автомобильных перевозок [34].

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 учебной дисциплины «Экономика дорожного хозяйства» для студентов специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги».

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых научных изданиях

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.

7. Солодка, М. Г. Особенности повышения эффективности функционирования автодорожного комплекса Республики Беларусь / М. Г. Солодка // Наука и техника. – 2015. – № 6. – С. 74–78.

8. Солодка, М. Г. Определение наиболее значимых факторов при анализе эксплуатационного состояния автомобильных дорог / М. Г. Солодка // Наука и техника. – 2017. – № 6(16). – С. 493–497.

9. Солодка, М. Г. Исследования параметров колебаний в зоне контакта автомобиля с дорогой / М. Г. Солодка, Я. Н. Ковалев // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2019. – № 4. – С. 26–29.

Статьи в других научных изданиях

10. 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.

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

12. Ковалев, Я. Н. Повышение эффективности финансирования автомобильных дорог / Я. Н. Ковалев, М. Г. Солодка // Дороги Содружества Независимых Государств. – 2014. – № 5(40). – С. 63–66.

Материалы конференций

13. 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.-технич. 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.

14. Солодка, М. Г. Влияние транспортно-эксплуатационных параметров автомобильной дороги на стоимость грузоперевозок / М. Г. Солодка // Автомобильные дороги – дороги в будущее : материалы респуб. науч.-технич. конф., Минск, 10 мар. 2011 г. / ГП «БелдорНИИ» ; редкол. : В. К. Шумчик [и др.]. – Минск, 2011. – С. 108–109.

15. Солодка, М. Г. Роль автомобильных дорог в развитии экономики государства / М. Г. Солодка // Инновационные процессы в социально-экономическом развитии : материалы Междунар. науч.-практич. конф., Бобруйск, 15 апр. 2011 г. / Белорус. гос. эконом. ун-т ; редкол. : В. Н. Гавриленко [и др.]. – Минск, 2011. – С. 135–137.

16. 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 респуб.

науч.-технич. конф., посвященной 50-летию республиканского дочернего унитарного предприятия «БелдорНИИ», Минск, 25–26 окт. 2012 г. / ГП «БелдорНИИ»; редкол.: В. К. Шумчик [и др.]. – Минск, 2012. – С. 217–218.

17. 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.-технич. конф., асп., маг. и студ., Минск, 11–12 апр. 2013 г. / Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск, 2013. – С. 100–101.

18. 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 : сборник трудов Междунар. науч.-технич. конф., Минск, 30–31 мая 2013 г. / Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск, 2013. – С. 203–208.

19. Солодка, М. Г. Взаимосвязь ровности дорожных покрытий с остаточным сроком их службы / М. Г. Солодка // Проблемы и перспективы развития автомобильных дорог СНГ : материалы Междунар. науч.-технич. конф., Минск, 18–19 апр. 2019 г. – Режим доступа: <https://rep.bntu.by/handle/data/62755/browse?type=author&value=Солодка, М. Г.>

Тезисы докладов

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

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

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

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

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

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

26. Солодкая, М. Г. О проблеме самодостаточности автомобильных дорог, как отрасли производства / М. Г. Солодкая, Я. Н. Ковалев // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 12-й междунар. науч.-техн. конф., Минск, 2014 г. : в 4 т. / БНТУ ; редкол. : Б. М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2014. – Т. 3. – С. 85.

27. Солодкая, М. Г. Влияние ровности дорожных покрытий на эффективность автомобильных перевозок / М. Г. Солодкая // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 12-й междунар. науч.-техн. конф., Минск, 2014 г. : в 4 т. / БНТУ ; редкол. : Б. М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2014. – Т. 3. – С. 85.

28. Солодкая, М. Г. Обоснование капитальных вложений в развитие и совершенствование автомобильных дорог / М. Г. Солодкая // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 14-й междунар. науч.-техн. конф., Минск, 2016 г. : в 4 т. / БНТУ ; редкол. : Б. М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2016. – Т. 3. – С. 22.

29. Солодкая, М. Г. Совершенствование финансирования ремонта автомобильных дорог / М. Г. Солодкая // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 14-й междунар. науч.-техн. конф., Минск, 2016 г. : в 4 т. / БНТУ ; редкол. : Б. М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2016. – Т. 3. – С. 25.

30. Солодкая, М. Г. Определение наиболее значимых факторов при анализе эксплуатационного состояния автомобильных дорог / М. Г. Солодкая // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 15-й междунар. науч.-техн. конф., Минск, 2017 г. : в 4 т. / БНТУ ; редкол. : Б. М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2017. – Т. 3. – С. 10.

31. Солодкая, М. Г. Техническо-экономические проблемы ремонта и содержания автомобильных дорог / М. Г. Солодкая // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 15-й междунар. науч.-техн. конф., Минск, 2017 г. : в 4 т. / БНТУ ; редкол. : Б. М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2017. – Т. 3. – С. 11.

32. Солодка, М. Г. Влияние качества дорог на стоимость транспортных перевозок / М. Г. Солодка // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 16-й междунар. науч.-техн. конф., Минск, 2018 г. : в 4 т. / БНТУ ; редкол. : С. В. Харитончик [и др.]. – Минск, 2018. – Т. 3. – С. 12.

Нормативная документация

33. Свидетельство о регистрации компьютерной программы «Расчет динамических параметров в системе “автомобиль – дорога”» № 372 от 15.12.2011 г.

34. 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).

35. Свидетельство о регистрации компьютерной программы «Программа расчетной оценки взаимодействия автомобиля с единичной искусственной дорожной неровностью» № 729 от 31.12.2014 г.

РЭЗІЮМЭ

Салодкая Марыя Генадзьеўна

Уплыў няроўнасці дарожных пакрыццяў на эфектыўнасць аўтамабільных перавозак

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

Мэтапрацы – вызначэнне ўплыву няроўнасці дарожных пакрыццяў на хуткасць і эфектыўнасць аўтамабільных перавозак.

Праведзена комплекснае даследаванне ўзаемадзеяння аўтамабіля з няроўнай паверхняй дарогі. Даследавана ўзаемадзеянне базавага грузавага аўтамабіля з няроўнай паверхняй дарогі з складаннем адпаведнай функцыянальнай залежнасці. Распрацаваная мадэль рэалізавана ў выглядзе сертыфікаваных камп’ютарных праграм «Разлік дынамічных параметраў у сістэме “аўтамабіль – дарога”» і «Праграма разліковай ацэнкі ўзаемадзеяння аўтамабіля з адзінкавай штучнай дарожнай няроўнасці». У выніку ўстаноўлены максімальныя значэння каэфіцыента дынамічнасці ($K_{дын}$), што дазваляе вызначаць рацыянальныя хуткасці руху грузавага аўтамабіляў. У выніку тэарэтычных і эксперыментальных даследаванняў распрацавана метадыка ацэнкі ўплыву няроўнасці дарожнага пакрыцця на поўны кошт грузавага перавозак з улікам рацыянальных хуткасцяў руху транспартных сродкаў. Выкананы аналіз уплыву паказчыка роўнасці дарог на эфектыўнасць аўтамабільных перавозак.

Прымяненне вынікаў даследавання забяспечвае зніжэнне поўнага кошту грузавага перавозак да 8 %. Вынікі даследаванняў выкарыстаны пры распрацоўцы ДМД 02191.6.003-2012 «Рэкамендацыі па вызначэнні заплаваных і фактычных выдаткаў на перавозку грузаў з улікам рацыянальнай хуткасці руху транспартных сродкаў».

Вынікі даследаванняў рэкамендуюцца да выкарыстання арганізацыям, якія займаюцца развіццём і ўдасканаленнем аўтамабільных дарог агульнага карыстання, а таксама арганізацыям, якія плануюць аўтамабільныя перавозкі.

РЕЗЮМЕ

Солодкая Мария Геннадьевна

Влияние неровности дорожных покрытий на эффективность автомобильных перевозок

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

Цель работы – определение влияния неровности дорожных покрытий на эффективность автомобильных перевозок.

Проведено комплексное исследование взаимодействия автомобиля с неровной поверхностью дороги. Исследовано взаимодействие базового грузового автомобиля с неровной поверхностью дороги с составлением соответствующей функциональной зависимости. Разработанная модель реализована в виде сертифицированных компьютерных программ «Расчет динамических параметров в системе “автомобиль – дорога”» и «Программа расчетной оценки взаимодействия автомобиля с единичной искусственной дорожной неровностью». В результате установлены максимальные значения коэффициента динамичности ($K_{дин}$), что позволяет определять рациональные скорости движения грузовых автомобилей. В результате теоретических и экспериментальных исследований разработана методика оценки влияния неровности дорожного покрытия на полную стоимость грузовых перевозок с учетом рациональных скоростей движения транспортных средств. Выполнен анализ влияния показателя ровности дорог на эффективность автомобильных перевозок.

Применение результатов исследования обеспечивает снижение полной стоимости грузовых перевозок до 8 %. 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».

Результаты исследований рекомендуются к использованию организациям, занимающимся развитием и совершенствованием автомобильных дорог общего пользования, а также организациям, планирующим автомобильные перевозки.

SUMMARY

Solodkaya Maria Genadyevna

Influence of pavement roughness on 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 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. 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» and «Program of calculated evaluation of the interaction between a vehicle and exceptional imperfections of the artificial road». The critical values of dynamic coefficient (K_{dyn}) were established as result of the research. These values allow to define optimal traffic speeds. 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 the efficiency of transportation also was made.

Practical application of the research results allowed to reduce freight cost by 8 %. The results of researches were used in the developing of the road and methodical document RMD 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».

The results of the studies are approved for use by the organizations involved in the development and improvement of public roads, as well as the organizations planning road transport.

Научное издание

**СОЛОДКАЯ
Мария Геннадьевна**

**ВЛИЯНИЕ НЕРОВНОСТИ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ
НА 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

Подписано в печать 28.02.2020. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 1,57. Уч.-изд. л. 1,23. Тираж 80. Заказ 179.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.

ЛИСТ ИЗМЕНЕНИЙ

в обратную сторону обложки автореферата диссертации
Солодкой Марии Геннадьевны
«Влияние неровности дорожных покрытий
на эффективность автомобильных перевозок»
на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.23.11 – проектирование и строительство дорог, метропо-
литенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей

Напечатано:

Официальные оппоненты: **Насковец Михаил Трофимович**
кандидат технических наук, доцент, профессор
кафедры лесных машин, дорог и технологий
лесопромышленного производства учреждения
образования «Белорусский государственный
технологический университет»

Следует читать:

Официальные оппоненты: **Насковец Михаил Трофимович**
кандидат технических наук, доцент, доцент
кафедры лесных машин, дорог и технологий
лесопромышленного производства учреждения
образования «Белорусский государственный
технологический университет»

Ученый секретарь совета по
защите диссертаций Д 02.05.05
кандидат технических наук



С.Н. Ковшар