

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**ТАШКЕНТСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ ИНСТИТУТ**

На правах рукописи  
УДК 629.114.4

**ХАКИМОВ Шаукат Кудайбергенович**

**ОБОСНОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ АВТОПОЕЗДА  
ДЛЯ ГОРНЫХ УСЛОВИЙ (НА ПРИМЕРЕ ПЕРЕВАЛА КАМЧИК)**

**Специальность 05.05.03-Автомобили и тракторы**

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

ТАШКЕНТ-2011

Работа выполнена на кафедре «Автомобили и специализированные транспортные средства» Ташкентского автомобильно-дорожного института

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент  
**Мухитдинов Акмал Анварович**

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
**Алимухамедов Шавкат Пирмухамедович**  
кандидат технических наук, доцент  
**Хикматов Равшан Саидумарович**

Ведущая организация: Ташкентский государственный технический университет им. Абу Райхана Беруни

Защита состоится «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2011 г. в «\_\_\_» часов на заседании Объединенного Специализированного совета К 067.33.01 при Ташкентском автомобильно-дорожном институте по адресу: 100060, Ташкент, пр. Амира Темура, 20. Тел.: (10-998-71) 233-08-27, факс: (10-99871) 232-14-39, веб-сайт: [www.tayi.uz](http://www.tayi.uz), [info@tayi.uz](mailto:info@tayi.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Ташкентского автомобильно-дорожного института.

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2011 г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах с подписью, заверенной печатью организации, просим направлять в адрес Объединенного Специализированного совета института.

Ученый секретарь Объединенного Специализированного совета,  
доктор технических наук,  
доцент

**Ш.И.Хикматов**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИИ

**Актуальность работы.** В Республике Узбекистан основными средствами перевозки грузов являются автомобильный и железнодорожный транспорт. Перевозка грузов в нашей республике осуществляется по дорогам, которые проходят по равнинным и горным местностям. В горных условиях приоритетным видом транспорта является автомобиль.

На сегодняшний день горная дорога через перевал «Камчик» играет большую роль в социально-экономическом развитии Ферганской долины.

Постановлением Президента Республики Узбекистан от 20 июля 2009 г. с целью обеспечения транспортировки растущего объема груза по Ферганской долине в городе Ангрен создан ЗАО «Центр Логистики Ангрен». На этот Центр возложена задача перевозки грузов крупных предприятий, СП «GM-Uzbekistan», Ферганского нефтеперерабатывающего завода, АО «Уголь» и других химических предприятий, расположенных в регионе, а также основного объема продовольственных товаров и товаров народного потребления.

Специфичность условий эксплуатации горных дорог предъявляет особые требования к технико-экономическим показателям автомобиля.

Эксплуатация автопоездов в горных условиях ведет к увеличению производительности и снижению себестоимости перевозок.

Автопоезда вполне отвечают современным нормативным требованиям. Между тем при эксплуатации автопоездов разного состава в горных условиях они показывают разную эффективность. В связи с тем, что эффективность автопоездов в горных условиях изучена в недостаточной степени, вопрос оценки эффективности автопоезда и выбора эксплуатационных параметров для горных условий на примере перевала «Камчик» является актуальным.

**Степень изученности проблемы.** Большинство исследований зарубежных и отечественных ученых по изучению влияния горных условий на эксплуатационные свойства транспортного средства посвящены одиночным автомобилям. Научная литература располагает исследованиями по повышению эффективности автопоездов в условиях жаркого климата и в магистральных условиях. Теоретические исследования по повышению эффективности автопоездов в эксплуатации базируются на вероятностных изменениях режимов движения.

Необходимость оценки эффективности автопоездов в горных условиях и уточнение эксплуатационных параметров определил тему настоящего исследования.

**Связь диссертационной работы с тематическими планами НИР.** Диссертационная работа выполнена в соответствии с госбюджетной научно-технической программой ГНТП-13., А-13-100 по теме «Выбор рационального типа автомобиля-тягача для перевозки нефтепродуктов в условиях Камчикского перевала».

**Цель исследования** – повышение эффективности автопоезда в горных условиях путем обоснованного выбора их эксплуатационных параметров.

**Задачи исследования:**

- выбрать критерий оценки эффективности автопоезда;

- уточнить математическую модель движения автопоезда по горному маршруту с учетом условий эксплуатации;
- провести экспериментальные исследования автопоезда в горных условиях;
- определить продольный уклон участка дороги перевала «Камчик»;
- разработать рекомендации по повышению эффективности автопоездов в горных условиях.

**Объект и предмет исследования.** Объектом исследования является автопоезд с седельным – тягачом МАЗ-642208-020 и КамАЗ-6460-001 в составе полуприцепом-цистерной «Istanbul-Fruehauf». Предмет исследования – эффективность автопоездов, эксплуатируемых на дорогах горных условий перевала «Камчик».

**Методы исследования.** В разделе теоретических исследований повышения эффективности автопоезда использованы положения теории движения колесных машин, метод силового баланса при различных режимах движения автомобиля, положения изменения распределения массы между опорами при различных режимах движения и уклонах дороги, метод определения решения параметрического уравнения.

В разделе экспериментальных исследований использованы положения теории и методов организации дорожных испытаний, методы оценки и обеспечения идентичности результатов эксперимента и эксплуатационных условий, методы оценки погрешности результатов, стандартизированные методы дорожных испытаний автомобиля.

Достоверность исследований подтверждается проверкой адекватности математических моделей с результатами экспериментальных исследований. Установлено, что разработанные методы расчета режимов движения и расхода топлива на участке горной дороги с суммарной погрешностью не более 4 % адекватны реальным процессам.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

- расчетно-экспериментальный метод определения продольного уклона дороги;
- уточненная математическая модель движения автопоезда по горному маршруту;
- критерий оценки эффективности автопоезда в горных условиях эксплуатации;
- рекомендации по повышению эффективности автопоездов, эксплуатируемых в горных условиях на примере перевала «Камчик».

**Научная новизна работы.** Научную новизну работы представляют разработанные диссертантом:

- расчетно-экспериментальный метод определения продольного уклона дороги;
- уточнённая математическая модель, имитирующая движение автопоезда по горной дороге;
- полученные результаты вычислительных экспериментов, позволившие установить закономерности изменения удельной производительности автопоезда от:

- модели автомобиля тягача с полуприцепом;
- передаточного числа подбираемой для трансмиссии главной передачи;
- скоростного режима движения.

- разработанные расчётные методы и составленные алгоритмы расчёта на ЭВМ, базирующиеся на экспериментальных статистических зависимостях и численных методах определения решений многопараметрических уравнений, позволяющие определить:

- топливно-экономическую характеристику автопоезда на маршруте по горной дороге;

- эксплуатационные параметры автопоезда, позволяющие обеспечить высокую эффективность при эксплуатации в горных условиях.

#### **Научная и практическая значимость результатов исследований.**

Разработанный метод и программы расчетов выбора эксплуатационных параметров автопоезда весьма полезны для технических эксплуатационников в период эксплуатации автопоездов в горных условиях, чтобы обеспечить высокую эффективность автопоезда.

Они также весьма полезны научным сотрудникам, аспирантам и студентам, занимающимся проблемами повышения эффективности автотранспортных средств.

**Реализация результатов.** Результаты исследований внедрены в производство в АТК «Автонеттранс» Ферганского НПЗ Холдинговой Компании «УЗБЕКНЕФТЕГАЗ», в ЗАО «Центр Логистики Ангрэн». Внедрение результатов исследований в производство позволило:

- повысить эффективность автопоезда за счет правильного выбора типа и технических параметров автомобиля-тягача для эксплуатации в условиях перевала Камчик;

- оценить эффективность и степень приспособленности автопоезда по удельной производительности к горным условиям эксплуатации;

- сформулировать методику выбора автопоезда для конкретных условий эксплуатации.

Расчетный экономический эффект по расходу топлива от одного автопоезда в год в среднем составляет 13 400 тыс. сум.

Результаты данной работы включены в отчеты научно-исследовательских работ по ГНТП по теме «Выбор рационального типа автомобиля-тягача для перевозки нефтепродуктов в условиях Камчикского перевала».

Результаты исследований внедрены в учебный процесс при изучении предмета «Устройство и теория транспортных средств» на кафедре «Автомобили и специализированные транспортные средства» ТАДИ.

**Апробация работы.** Основные положения диссертации докладывались на республиканских и международных научно-практических конференциях ТАДИ, ДжизПИ, ТашГТУ, Института механики и сейсмостойкости сооружений (2004-2011).

Диссертация прошла апробацию на семинарах в АТК «Автонеттранс» и ЗАО «Центр Логистики Ангрэн».

Диссертационная работа заслушана и одобрена на расширенном объединенном научном семинаре кафедр «Автомобиль и специализированные

транспортные средства», «Техническая эксплуатация автомобилей», «Ремонт транспортных средств и технологических оборудований», «Теория механизмов и детали машин», «Автотракторные двигатели и транспортная экология», «Дорожно-строительные машины», «Логистика», «Организация безопасности движения» Ташкентского автомобильно-дорожного института (Протокол № 3 от 10.10.2011 г.).

**Опубликованность результатов.** Основное содержание диссертации отражено в 24 работах автора, опубликованных в отечественной и зарубежной печати, 7 из которых – в периодических научных журналах, включенных в перечень, утвержденный Президиумом ВАК РУз, и в отчетах по госбюджетным и хоздоговорным темам, выполненным в ТАДИ.

Защищено одним авторским свидетельством на расчетный программный продукт № DGU 02328 от 27.10.2011.

**Структура и объём диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Работа изложена на 140 страницах компьютерного текста и содержит 50 рисунков и 11 таблиц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

**Во введении** раскрыты актуальность проблемы, необходимость разработки теоретически обоснованных методов выбора типа и технических параметров автомобиля-тягача для эффективной эксплуатации в горных условиях. Обоснованы цель и задачи, предмет и объект исследования, сформулированы основные положения, выносимые на защиту, раскрыты научная новизна, а также научная и практическая значимость полученных результатов.

**Первая глава** посвящается научному обзору и критическому анализу, современного состояния проблемы исследования влияния горных условий на эксплуатационные свойства автомобиля и повышения эффективности автопоездов, эксплуатируемых в данных условиях. Сформулированы научное направление и основные задачи работы.

Повышение долговечности автотракторных дизелей достаточно полно изучено в работах А.У.Салимова и С.М.Кадырова, результаты которых представляют интерес в выборе параметров конструкций двигателя и трансмиссии с учетом последующих изменений их характеристик под влиянием износа. В работах О.В.Лебедева, Ш.П.Алимухамедова, Т.И.Аскарходжаева, Х.Н.Диметова, А.А.Шермухамедова, В.А.Топалиди и др. исследованы различные детали автотракторной техники, двигатель, силовая передача, системы управления, кузов и т.д.

В МАДИ (МГТУ) исследования по повышению эффективности автопоездов в магистральных условиях эксплуатации проводили во главе с Я.Е.Фаробиним А.М.Иванов, А.А.Журавлев, Э.З.Файзуллаев, В.В.Иродов и др.

Вопросам изучения особенностей работы двигателя и автомобиля в условиях жаркого климата и горных районов были посвящены исследования авторов: А.А.Муталибова, Б.А.Ходжаева, О.А.Ганиходжаева, Р.Р.Двали, В.Алиева,

П.Л.Браильчука, Б.Н.Закалюгина, Э.С.Нусупова, А.А.Турсунова, Б.Саттивалдиева, Д.Р.Кульмухамедова, М.М.Файзиева и др.

Исследованиями установлено падение мощности двигателя в зависимости от высоты над уровнем моря. Мощность двигателя при подъеме автомобиля на каждые 1000 м до высоты 3000 м снижается на 10 – 13 % из-за ухудшения наполнения цилиндров воздухом. Авторы рекомендуют способы улучшения показателей двигателя с применением дополнительной подачи воздуха в цилиндр двигателя (дизельного) или применением высотных корректоров в двигателях (карбюраторного).

Проанализированы критерии оценки эффективности автотранспортных средств при эксплуатации: это коэффициент эффективности, коэффициент приспособленности, производительность грузового автомобиля, удельная производительность, удельная себестоимость использования автомобиля, комплексный показатель технико-экономической эффективности грузового автомобиля и т.д.

Большинство этих критериев учитывают такие эксплуатационные факторы, как коэффициент выпуска, время в наряде, затраты времени на проведение погрузочно-разгрузочных работ, технического обслуживания и ремонта, коэффициент гарантированности доставки груза и т.д.

В данной работе рассматривается эффективность автопоезда при движении по конкретному маршруту, которая зависит от массы перевозимого груза, средней скорости движения и параметров топливной экономичности.

Критерий – удельная производительность, предложенная Я.Е.Фаробиним, учитывает вышеуказанные параметры и даёт возможность оценки эффективности автопоезда по технической и экономической частям.

Общий обзор и анализ исследований, проведенных в области изучения влияния горных условий эксплуатации на эксплуатационные свойства автомобиля, и повышения эффективности автомобилей в горных условиях позволили четко обозначить задачи, решение которых будет способствовать повышению эффективности автопоездов в горных условиях.

**Во второй** главе оценены условия эксплуатации перевала «Камчик». Приводятся результаты экспериментально-расчетного метода по определению продольного уклона дороги и наиболее тяжёлого участка перевала «Камчик», уточненная математическая модель движения автопоезда по горному маршруту, установления зависимости удельной производительности автопоезда от эксплуатационных параметров.

Экспериментально-расчетный метод определения продольного уклона дороги основан на определении последнего непосредственно с установкой на раму тягача прибора гировертикали ЦГВ-4, позволяющего измерять тангаж – продольный уклон рамы.

Метод учитывает изменение положения рамы из-за перераспределения нагрузок по осям автомобиля в зависимости от уклона дороги и режима движения автомобиля.

На перераспределение нагрузок по осям автомобиля влияет: продольный уклон дороги, ускорение, замедление и скорость движения автомобиля.

Под воздействием этих факторов рама автомобиля уклоняется на определенный угол в продольной плоскости относительно исходного положения на горизонтальной дороге, что влияет на значения измерений продольного уклона дороги, т. е. измеряемый угол равен,

$$\alpha_{изм} = \beta_{\alpha} + \beta_{j_a} + \beta_V + \alpha, \quad (1)$$

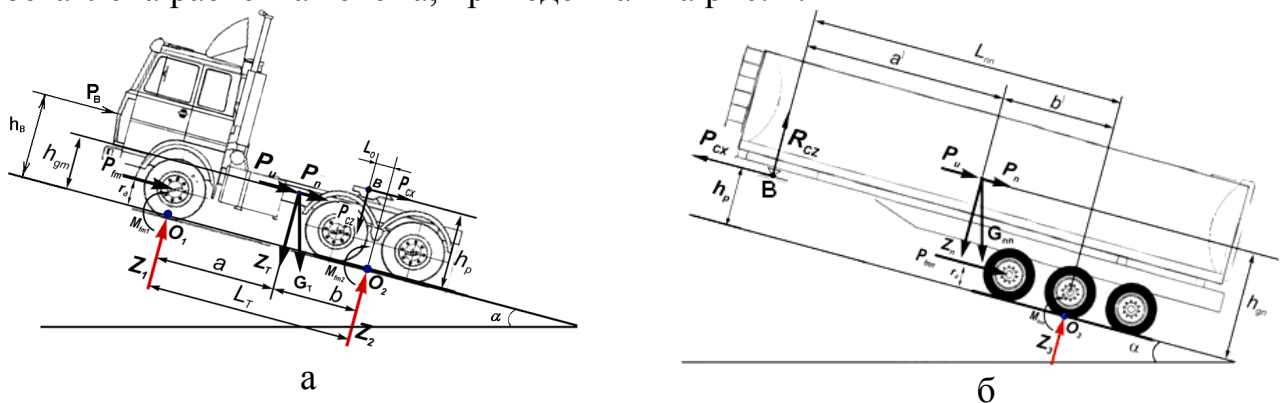
где  $\beta_{\alpha}, \beta_{j_a}, \beta_V$  - соответственно углы продольного уклона рамы в зависимости от уклона дороги, ускорения и скорости автопоезда;  $\alpha$  - продольный уклон дороги.

Углы  $\beta_{\alpha}, \beta_{j_a}, \beta_V$  косвенно можно определить при установленной зависимости  $Z_i = f(\alpha, j_a, V)$  и  $h = (h_1 + h_2)$  - сумме деформации передней ( $h_1$ ) и задней ( $h_2$ ) подвесок относительно исходного положения на горизонтальной дороге  $\beta = \arctg(h/L_T)$ .

Следовательно,

$$\alpha + \beta_{\alpha} = \alpha_{изм} - \beta_{j_a} - \beta_V. \quad (2)$$

Значение  $h$  определяется по упругой характеристике подвески автомобиля-тягача и изменению вертикальных реакций на осях автопоезда. При этом из-за небольшой динамики режима движения в методике не учтены высокочастотные колебания рамы и демпфирующая характеристика подвесок. Для расчета сил и моментов, действующих на автопоезд при движении на подъеме и спуске, составлена расчетная схема, приведенная на рис. 1.



**Рис. 1. Расчетная схема для определения вертикальных реакций:**  
**а – тягача МАЗ-642208-020; б – полуприцепа «Istanbul-Fruehauf»**

Выведены следующие выражения определения перераспределения нагрузок по осям в зависимости от режима движения автопоезда и продольного уклона дороги:

$$Z_1 = \frac{bG_T \cos \alpha - G_T(r_d f \cos \alpha \pm h_{gm} \sin \alpha \pm \delta_{Bp} j / g) - P_B h_B + P_{CZ} L_0 - P_{CX} h_p}{L_T}, \quad (3)$$

$$Z_2 = \frac{G_T \cos \alpha (a + fr_d) \pm G_T h_{gm} (\sin \alpha + \delta_{Bp} j / g) + P_B h_B \pm P_{CX} h_p + P_{CZ} (L_T - l_0)}{L_T}, \quad (4)$$

$$P_{CX} = G_{nm} (\sin \alpha + j / g \pm f \cos \alpha) + P_B, \quad (5)$$

$$R_{CZ} = P_{CZ} = \frac{G_{nn} \cos \alpha (b^l - r_0 f) \pm G_{nn} h_{gn} (\sin \alpha + j/g) - P_B h_B \pm P_{CX} h_p}{L_{nn}}, \quad (6)$$

$$Z_3 = \frac{G_{nn}}{L_{nn}} (a^l \cos \alpha \pm (h_{gn} - h_p) (\sin \alpha + \delta_{Bp} j/g) + r_0 f \cos \alpha) + \frac{P_B h_B}{L_{nn}}. \quad (7)$$

На исследуемом участке максимальный продольный уклон дороги составляет 10 %. С учетом параметров участка дороги и режима движения автопоезда установлены зависимости  $Z_i = f(\alpha, j_a, V_a)$ , которые дают возможность определения вертикальных реакций на осях автопоезда во время движения. Следовательно, с помощью формул  $h_1 = \frac{(Z_{01} - Z_1)}{C_1}$ ,  $h_2 = \frac{(Z_2 - Z_{02})}{C_2}$  и зависимостей

$$\beta_{\alpha, j_a} = \arctg \frac{h_1 + h_2}{L} = \arctg \left[ \frac{\pm (Z_{01} - Z_1) C_2 \pm (Z_2 - Z_{02}) C_1}{L C_1 C_2} \right] \quad (8)$$

$$\beta_V = \arctg \frac{h_1 + h_2}{L} = \arctg \left[ \frac{(Z_{01} - Z_1) C_2 + (Z_2 - Z_{02}) C_1}{L C_1 C_2} \right] \quad (9)$$

можно определить изменение продольного уклона рамы тягача в зависимости от уклона дороги и режима движения автопоезда, где «+» - для подъема, «-» - для спуска и  $C_1, C_2$  - коэффициенты жесткости передней и задней подвесок.

Зависимость  $\beta_\alpha = f(\alpha)$  можно построить по уравнению (8). Для определения  $\alpha$  с помощью выражения (2) установлена промежуточная вспомогательная зависимость  $\alpha = f(\beta_\alpha + \alpha)$  (10), иллюстрированная на рис. 2.

$$\alpha = f(\alpha + \beta_\alpha) = 0,91078x - 0,982 \cdot 10^{-2} x^2 + 0,4166 \cdot 10^{-2} x^3 - 0,8114 \cdot 10^{-3} x^4 + 0,7384 \cdot 10^{-4} x^5 - 0,25389 \cdot 10^{-5} x^6 \quad (10)$$

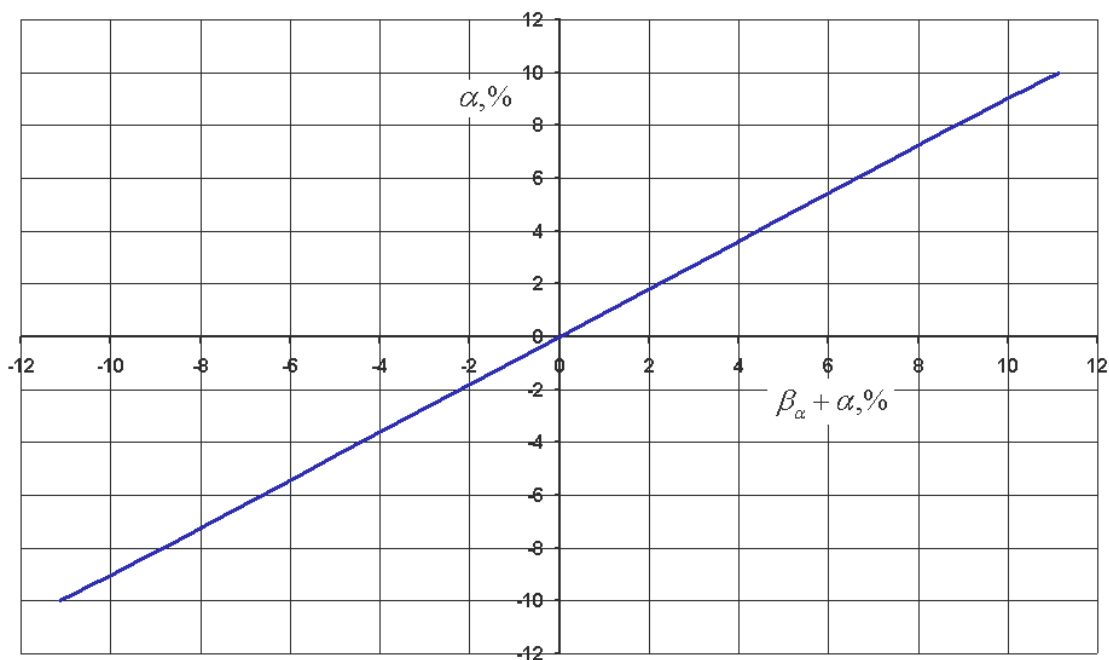


Рис. 2. Степень влияния продольного уклона дороги на  $\beta_\alpha + \alpha$

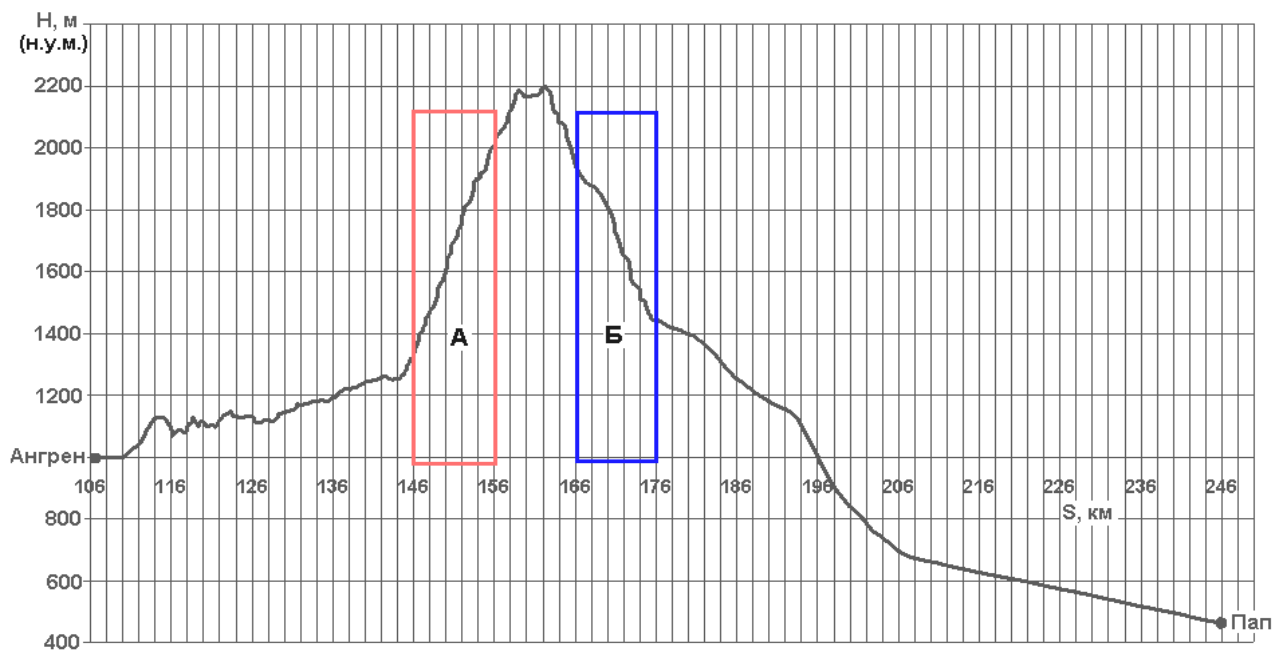
С помощью уравнения (10) и зависимостей  $Z_i = f(\alpha, j_a, V_a)$ ,  $\beta_\alpha = f(\alpha)$ ,  $\beta_{j_a} = f(j_a)$ ,  $\beta_V = f(V)$  определен продольный уклон каждого участка дороги.

При определении  $\alpha$  не учитываются высокочастотные колебания рамы и демпфирующая характеристика подвесок.

После определения продольного уклона каждого участка с соответствующими длинами построен профиль маршрута Ангрэн – Пап – Ангрэн (рис. 3).

При известных значениях продольного уклона участков дороги с помощью формулы  $\psi = f \cdot \cos \alpha + \sin \alpha$  построена зависимость  $\psi = f(S_i)$  по двум направлениям: Ангрэн – Пап и Пап – Ангрэн (рис. 4).

С учетом среднего продольного уклона дорог участков «А» и «Б», а также значений коэффициента сопротивления дороги на участках маршрута выбран участок, соответствующий 145-156 км (участок «А») по дорожному указателю, для проведения расчетно-экспериментальных работ как наиболее характерный участок маршрута для движения автопоезда в горных условиях.



**Рис. 3. Профиль маршрута Ангрэн-Пап-Ангрэн**

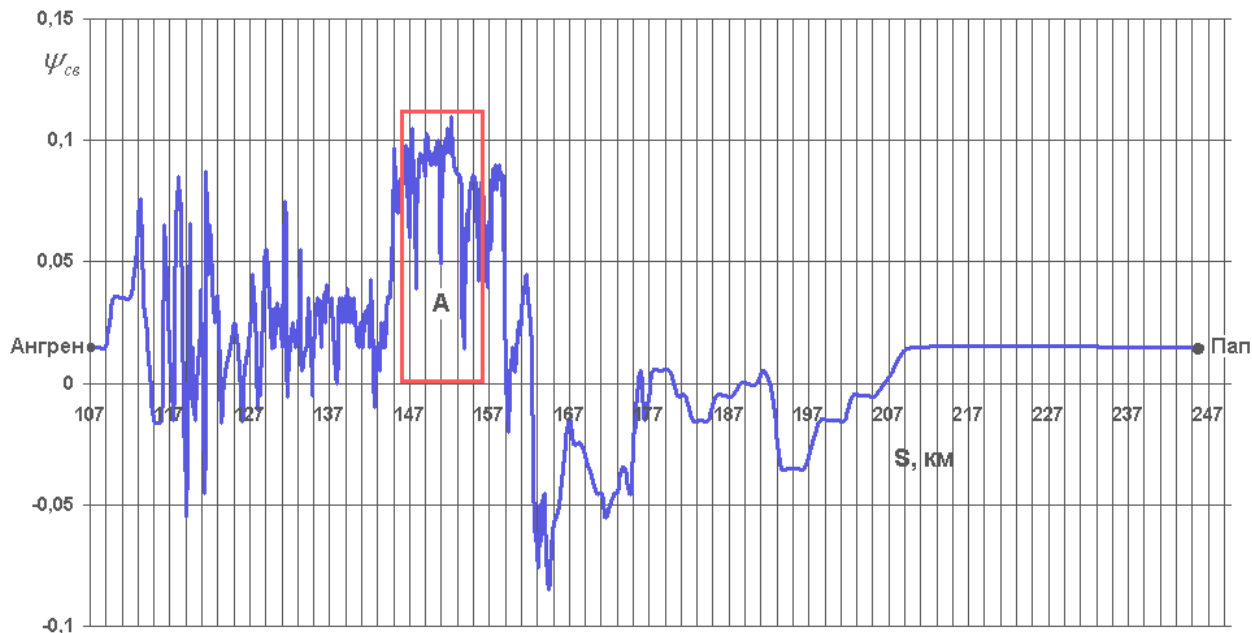
Разработана математическая модель движения автопоезда по горному маршруту на языке программирования «Maple-11».

Выбранный участок «А» маршрута разделен на 72 участка, которые отличаются друг от друга уклонами продольного профиля дороги и соответствующими длинами по направлению движения.

В качестве критерия оценки эффективности автопоезда в горных условиях выбрана удельная производительность, предложенная Я.Е.Фаробиным

$$W_Q = \frac{\gamma \cdot q \cdot V_{cp}}{Q_S} \left( \frac{100 \cdot m \cdot км^2}{л \cdot ч} \right), \quad (11)$$

где  $\gamma$  – коэффициент использования грузоподъемности;  $q$  – грузоподъемность, т.



**Рис. 4. Распределение коэффициента сопротивления дороги по участкам маршрута Ангрен – Пап – Ангрен.**

Для того, чтобы исследовать влияние полной массы и собственной массы на производительность автопоезда, данный критерий использован с некоторым изменением:

$$W_Q = \frac{(G_{an} - G_{0an}) \cdot V_{cp}}{Q_s} \cdot \left( \frac{100 \cdot t \cdot км^2}{л \cdot ч} \right), \quad (12)$$

где  $G_{an}$  – полная масса автопоезда, т;  $G_{0an}$  – собственная масса автопоезда, т;  $V_{cp}$  – средняя скорость движения автопоезда, км/ч;  $Q_s$  – путевой расход топлива, л/100 км. Хотя разница в скобках также определяет массу перевозимого груза, выражение (12) позволяет универсализировать критерий в плане учета изменения полной и собственной масс автопоезда.

Моделирование представлено на примере автопоезда с автомобилем-тягачом МАЗ-642208-020 и полуприцепом-цистерной «Istanbul-Fruehauf». На маршруте динамические изменения режимов движения небольшие. Поэтому в математической модели приняты следующие допущения:

- скорость движения автопоезда на участке дороги рассматривается постоянной;
- переходный режим движения при смене участка не учитывается.

Исходными данными для моделирования являлись:

- по автомобилю: внешняя – скоростная характеристика двигателя, параметры трансмиссии, весовые параметры автопоезда по осям, радиус качения колеса, а также коэффициенты: сопротивления качению колеса и сопротивления воздуха;

- по условиям эксплуатации: коэффициенты учета высоты над уровнем моря и температуры окружающего воздуха, профиль дороги в виде последовательности линейных участков определенной длины  $S_i$  с постоянным уклоном  $\alpha$ , определенный по разработанной методике.

Влияние температуры окружающего воздуха и высоты над уровнем моря на выходные показатели двигателя учитывается выражением

$$K_p = K_t \cdot K_H = \left[ 1 - \frac{t - 20}{530 \cdot \left( \frac{15}{20} + \frac{t}{156} \right)} \right] \cdot (3,333 \cdot 10^{-9} \cdot H^2 - 0,4333 \cdot 10^{-4} \cdot H + 1), \quad (13)$$

где  $K_t$  - коэффициент учета влияния температуры окружающего воздуха,  $K_H$  - коэффициент учета влияния высоты н.у.м. на выходные показатели двигателя,  $t$  - температура окружающего воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $H$  - высота местности над уровнем моря, м.

Программа модели составлена по алгоритму расчета оценочных показателей тягово-скоростных свойств и топливной экономичности.

Расчет движения автомобиля в динамике основан на следующем общеизвестном уравнении силового баланса автомобиля:

$$P_T = m \delta_{ep} \frac{dv}{dt} + P_{\psi} + P_B. \quad (14)$$

Значение крутящего момента двигателя после аппроксимации внешней скоростной характеристики по частоте вращения коленчатого вала с учетом влияния высоты над уровнем моря и температуры окружающего воздуха определяется зависимостью,

$$M = \left[ \frac{611 \cdot 10^{-10} \cdot n^5}{12096} - \frac{11 \cdot 10^{-4} \cdot n^4}{27648} + \frac{1181 \cdot 10^{-4} \cdot n^3}{945} - \frac{169289 \cdot n^2}{864000} + \frac{3857803 \cdot n}{25200} - 45820 \right] \cdot K_p, \quad [\text{Нм}]. \quad (15)$$

Для каждого участка вычисляется сопротивление дороги и воздуха с помощью следующих формул:

сила сопротивления дороги

$$P_{\psi i} = G_{an} (f \cdot \cos \alpha_i + \sin \alpha_i), \quad (16)$$

где  $\alpha_i$  - уклон продольного профиля дороги, соответствующий участку  $i$ ;  
 $f = f_0 + 7 \cdot 10^{-6} \cdot V_i^2$  - коэффициент сопротивления качению колеса;  $f_0$  - коэффициент сопротивления качению колеса на малых скоростях.

Сила сопротивления воздуха

$$P_{Bi} = K_B \cdot F \cdot V_i^2, \quad (17)$$

где  $K_B$  - коэффициент сопротивления воздуха;  $F$  - лобовая площадь автомобиля;  $V_i$  - скорость движения на участке  $i$ .

Разработанная расчетная программа позволяет, при известных значениях сил сопротивления движению, определять скорость движения автопоезда на каждом участке с помощью уравнения (14). Средняя скорость движения автопоезда на маршруте определяется по формуле

$$V_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i. \quad (18)$$

На исследуемом участке маршрута высота местности над уровнем моря меняется от 1300 до 2000 м на протяжении расстояния 10 000 м, т. е. среднее

значение продольного уклона дороги выбранного маршрута составляет 7 %. Это приводит к изменению режима работы двигателя, которое сказывается в режиме движения автопоезда. Поэтому данный маршрут разделен на 72 участка, которые отличаются друг от друга уклонами продольного профиля дороги, соответствующими длинами и высотой местности над уровнем моря.

Секундный расход топлива в модели вычисляется по формуле

$$g_{eci} = \frac{Z1_i \cdot P_{Ti} \cdot V_i}{3,6 \cdot 10^9 \cdot \eta_{Tp} \cdot \rho_T}, \text{ [л/с]} \quad (19)$$

где  $P_{Ti}$  -используемая тяговая сила для движения автопоезда;  $Z1_i$  - зависимость изменения удельного расхода топлива от угловой скорости коленчатого вала по внешней – скоростной характеристике двигателя для участка  $i$ , равная

$$Z1_i = \left[ \frac{31 \cdot 10^{-11} \cdot n^5}{2016} - \frac{47 \cdot 10^{-8} \cdot n^4}{576} + \frac{1537 \cdot 10^{-6} \cdot n^3}{1008} - \frac{1477 \cdot 10^{-4} \cdot n^2}{144} - \frac{2161 \cdot n}{21000} + 476 \right] \cdot K_{II}, \left[ \frac{e}{\text{кВт} \cdot \text{ч}} \right] \quad (20)$$

где  $K_{II}$  - коэффициент, учитывающий изменение удельного расхода топлива от степени использования мощности двигателя при движении на участке.

Длина каждого участка  $l_i$  известна. По формуле  $t_i = l_i/V_i$  определяется время движения автопоезда на каждом участке.

Путевой расход топлива определяется по следующей формуле

$$Q_s = \frac{100}{L} \sum_{i=1}^n g_{eci} \cdot t_i. \quad (21)$$

Когда средняя скорость движения автопоезда на маршруте и путевой расход известны математической моделью по формуле (12) определяется удельная производительность автопоездов с автомобилем тягачом и полуприцепом «Istanbul-Fruehauf» для участка «А».

Удельная производительность автопоездов анализирована на следующих трех режимах движения автопоезда:

- при работе двигателя по внешней скоростной характеристике;
- по характеристике минимального расхода топлива;
- при режиме движения автопоезда, соответствующему режиму экспериментальных исследований.

При режиме работы двигателя по внешней скоростной характеристике скорость движения автопоезда будет наивысшей, и расход топлива будет существенно больше. Значение удельной производительности будет меньше.

При работе двигателя по характеристике минимального расхода топлива производительность автопоезда уменьшается из-за снижения скорости движения, а уменьшение расхода топлива будет больше, следовательно, удельная производительность выше.

Расчет движения автопоезда по режиму экспериментальных исследований проведен для оценки достоверности математической модели и определения возможного улучшения эффективности автопоезда.

**В третьей главе** излагаются программа, структура и этапы проведения экспериментов, дается описание оборудования, средств измерения, методики

обеспечения точности и достоверности регистрации параметров, а также обработки полученных результатов.

Приведены результаты экспериментальных исследований по показателям тягово-скоростных свойств и топливной экономичности для сравнительной оценки степени приспособленности автопоездов к условиям эксплуатации перевала «Камчик».

Экспериментальные исследования проведены в реальных дорожных условиях перевала «Камчик» с автопоездом в составе автомобиля-тягача МАЗ-642208-020 и полуприцепа «Istanbul-Fruehauf».

Параметры тягово-скоростных свойств и расхода топлива автопоезда определены при дорожных испытаниях.

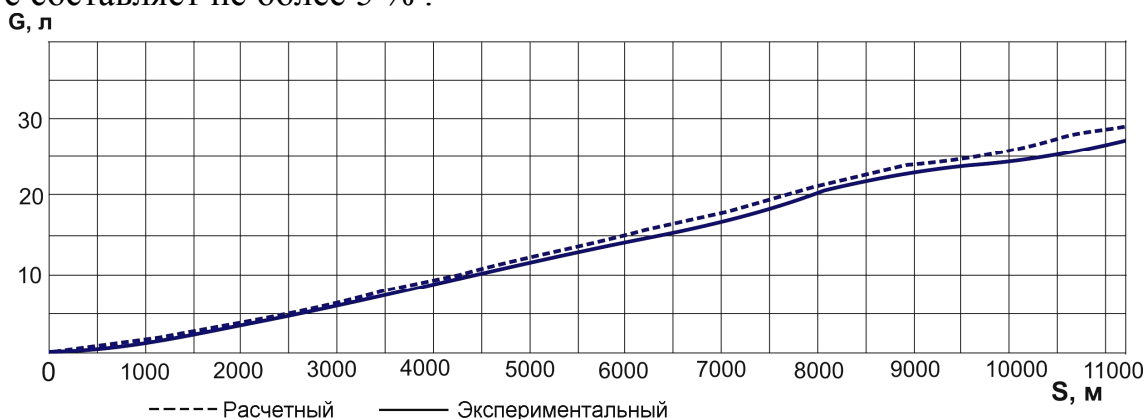
Во время эксперимента были использованы: осциллограф-Н004М1 – для записи скорости, пройденного пути, уклона дороги; «пятое колесо» - для определения скорости и пройденного пути; гиравертикаль ЦГВ-4 – для определения уклона дороги; датчики ускорения и замедления МП-95; расходомер топлива поршневого типа, выдающий сигнал замера расходуемого топлива с масштабом 1 см<sup>3</sup>/импульс.

Расход топлива автопоезда на маршруте был измерен инерционным расходомером поршневого типа и зафиксирован на всех участках маршрута (рис. 5).

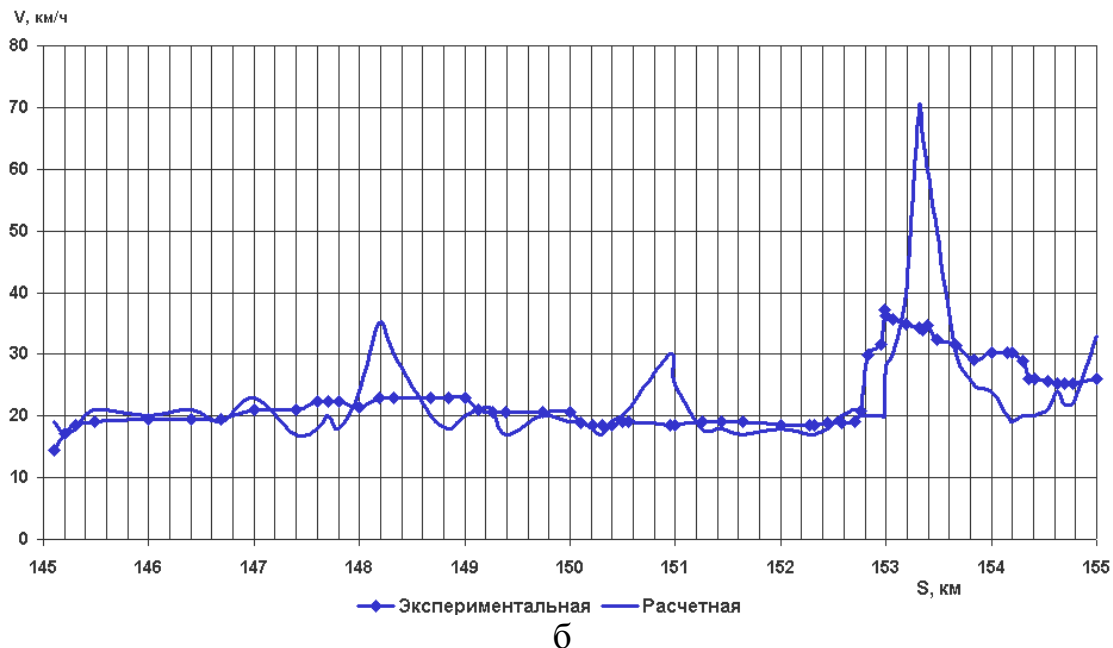
Расход топлива на маршруте: - по эксперименту - 26,64 л; - по расчету - 27,04 л. Средняя скорость движения на маршруте: - по эксперименту - 21,4 км/час; - по расчету - 22,61 км/час.

Разница 1,5 % по расходу топлива и 5 % по средней скорости объясняется принятыми допущениями в математической модели. Участки с большой разницей в скоростях движения, определенных расчетным и экспериментальным методами, объясняется влиянием инерции автопоезда в реальности и не учетом её в расчете скорости движения при смене участка.

На основе анализа скоростей автопоезда, расхода топлива на участке, определенных расчетным и экспериментальным методами, оценена адекватность результатов, полученных математическим моделированием к экспериментальным данным. Установлено, что средняя погрешность разработанных методов расчета режимов движения и расхода топлива на участке маршрута 10 км по горной дороге составляет не более 5 % .



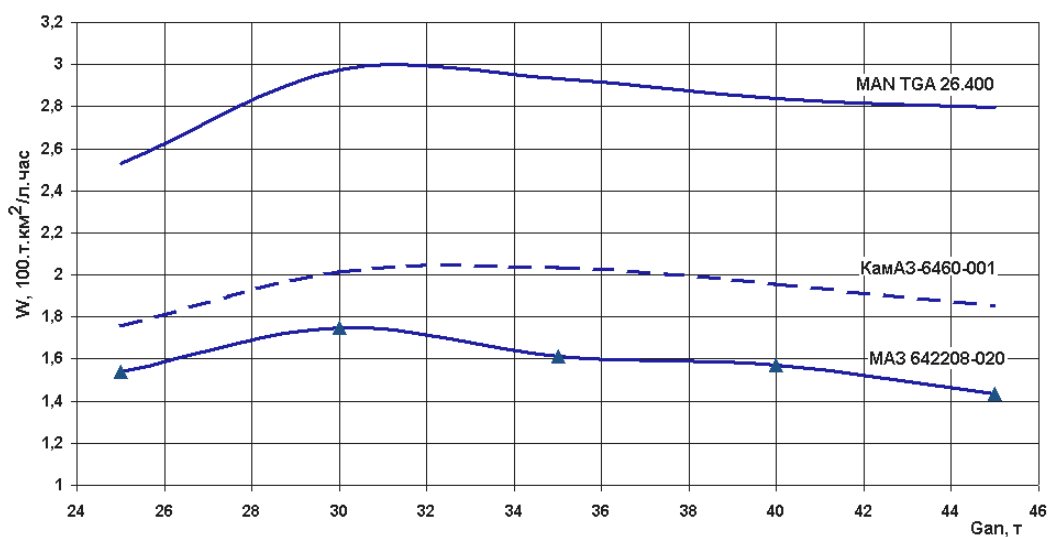
а



**Рис. 5. Расход топлива (а) и скорость движения (б) автопоезда с автомобилем-тягачом МАЗ-64208-020 и полуприцепом «Istanbul-Fruehauf» на выбранном участке, определенные расчетным и экспериментальным методами.**

В четвертой главе произведен расчетный сравнительный анализ автопоездов с автомобилями-тягачами MAN TGA 26.400, МАЗ-642208-020, КамАЗ-6460-001 и полуприцепом «Istanbul-Fruehauf» по удельной производительности на выбранном участке.

После анализа результата определения зависимостей  $W_Q = f(G_{an})$  автопоездов (рис. 6) для трех режимов движения установлены показатели по удельной производительности последних.



**Рис. 6. Зависимость удельной производительности автопоездов от полной массы в режиме работы двигателя по характеристике минимального расхода топлива.**

Разность удельных производительностей автопоездов объясняется различием режимов работы двигателей, зависящих от параметров трансмиссии и скоростей движения.

Расчетные исследования показали влияние значений выбираемых главных передач с разными передаточными числами на удельную производительность автопоезда с автомобилем-тягачом MAN TGA 26.400 и полуприцепом «Istanbul-Fruehauf»:

- в режиме работы двигателя по обеспечению минимального расхода топлива по выбранному критерию преимуществом обладает главная передача с передаточным числом 5,94 при полной массе автопоезда 35 т, средней скорости 21 км/ч с включенной VII-ой передачей в коробке передач с передаточным числом – 1,7;

- в режиме работы двигателя, соответствующим условиям экспериментальных исследований, по выбранному критерию преимуществом обладает главная передача с передаточным числом 5,125 при полной массе автопоезда 37 т, средней скорости при этом 26,04 км/ч с включенной VI-ой передачей в коробке передач с передаточным числом – 2,47.

Данная методика дает возможность:

- оценки степени приспособленности автопоездов к горным условиям эксплуатации по выбранному критерию;

- обоснования эксплуатационных параметров автопоезда для горных условий;

- правильного выбора типа и технических параметров автомобиля-тягача для эксплуатации в условиях перевала «Камчик».

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Выбран участок дороги перевала «Камчик» для расчетно-экспериментальных исследований. Этот участок соответствует 145-156 км по дорожной отметке со средним уклоном 7 %.

2. Разработана расчетно-экспериментальная методика определения продольного уклона дороги перевала «Камчик» и определен продольный уклон выбранного участка дороги.

3. Критерием оценки эффективности автопоезда выбрана удельная производительность, учитывающая производительность и расход топлива.

4. Проведены экспериментальные исследования с автопоездом в составе автомобиля-тягача МАЗ-642208-020 и полуприцепа «Istanbul-Fruehauf». Получены результаты по тяговым и топливно-экономическим свойствам автопоезда, продольному уклону дороги перевала «Камчик», режиму движения автопоезда по горному маршруту.

5. Уточнена математическая модель движения автопоезда по горному маршруту, основанная на конкретных параметрах дорожных условий участка перевала «Камчик». Установлено, что средняя погрешность разработанных методов расчета режимов движения и расхода топлива на участке маршрута 10 км по горной дороге составляет не более 5 % .

6. Разработан метод выбора эксплуатационных параметров автопоезда по удельной производительности. Метод позволяет определить параметры трансмиссии, режим движения и массу полезного груза автопоезда при эксплуатации в горных условиях. Например, для автопоезда с автомобилем-тягачом MAN TGA 26.400 и полуприцепом «Istanbul-Fruehauf»:

- для режима работы двигателя по обеспечению минимального расхода топлива рекомендуется полная масса – 35 т; передаточное число главной передачи – 5,94 с включенной VII-ой передачей в коробке передач с передаточным числом – 1,7 и движением со средней скоростью – 21 км/ч;

- для режима движения, соответствующий условиям экспериментальных исследований, полная масса – 37 т; передаточное число главной передачи – 5,125 с включенной VI-ой передачей в коробке передач с передаточным числом – 2,47 и движением со средней скоростью – 26,04 км/ч.

Расчетный ожидаемый экономический эффект от внедрения рекомендаций в среднем составляет 13 400 тыс. сум. в год на один автопоезд.

**Основное содержание диссертационной работы опубликовано в следующих работах:**

1. Файзуллаев Э.З., Саттивалдиев Б., Хакимов Ш.К., Влияние горных условий эксплуатации на режимы движения автопоездов // Перспективы развития автомобильно-дорожного комплекса в Республике Узбекистан: Сборник научных трудов Республиканской научно – практической конференции. – Ташкент: ТАДИ, 2004. – С. 145-147.
2. Файзуллаев Э.З., Хакимов Ш.К. Экспериментальные испытания режимов движения автопоездов в горных условиях эксплуатации // Проблемы механики и сейсמודинамики сооружений: Материалы международной конференции. – Ташкент: Институт механики и сейсмостойкости сооружений, 2004. – С. 575-578.
3. Файзуллаев Э.З., Хакимов Ш.К., Садуллаев У.С., Рсулов Ф.Ф., Бобокулов Д.А. Соответствие показателей тяговых и тормозных свойств автопоезда КАМАЗ к горным условиям эксплуатации перевала «Камчик» // Современные проблемы и перспективы механики: Материалы международной конференции. – Ташкент: Институт механики и сейсмостойкости сооружений, 2006. – С. 668-670.
4. Файзуллаев Э.З., Саттивалдиев Б., Хакимов Ш.К. Соответствие показателей тяговых и тормозных свойств автопоезда МАЗ к горным условиям эксплуатации перевала «Камчик» // Транспорт ва курилиш иншоотларининг замонавий муаммолари: Материалы республиканской научно-практической конференции. – Джизак: Джизакский политехнический институт, 2006. – С.108-110.
5. Файзуллаев Э.З., Хакимов Ш.К., Ишчанов Ж. Влияние жаркого климата на тяговые свойства автомобиля // Финансы и бизнес: Межвузовский сборник. – Санкт-Петербург: Факультет повышения квалификации преподавателей, 2006.- № 5. – С . 50-53.
6. Файзуллаев Э.З., Хакимов Ш.К. Расчетный метод выбора рационального типа автопоезда // Вестник ТГТУ. – Ташкент, 2006. - № 3. - С. 94-96.
7. Мухитдинов А.А., Файзуллаев Э.З., Хакимов Ш.К. Расчетные исследования маневренности и проходимости автопоезда в условиях эксплуатации перевала «Камчик» // Проблемы механики. – Ташкент, 2006. - № 5. - С. 28-31.
8. Касымов О.К., Саттивалдиев Б., Хакимов Ш.К. Оценка скоростных характеристик автопоездов // Проблемы механики. – Ташкент, 2007. - № 4. - С. 15-17.
9. Файзуллаев Э.З., Саттивалдиев Б., Хакимов Ш.К. Определение необходимой мощности двигателя автопоезда, эксплуатируемого в условиях перевала «Камчик» // Проблемы развития автомобильно-дорожного комплекса Узбекистана: Сборник материалов Республиканской научно-практической конференции. – Ташкент: ТАДИ, 2008. – С. 120-122.
10. Файзуллаев Э.З., Саттивалдиев Б., О.К.Касымов, Хакимов Ш.К. Влияние вращающихся масс автомобиля на его тягово-скоростные свойства // Проблемы механики. – Ташкент, 2008. - № 4-5. - С. 53-55.

11. Файзуллаев Э.З., Саттивалдиев Б., Хакимов Ш.К. Влияние высоты над уровнем моря на мощность двигателя автотранспортного средства // Проблемы внедрения инновационных идей, проектов и технологий в производство: Сборник научных трудов Республиканской научно-технической конференции. – Джизак: ДжизПИ, 2009. - С. 414-416.
12. Файзуллаев Э.З., Саттивалдиев Б., Хакимов Ш.К., Турсунбаев Б.Х. Расчет износа двигателя автотранспортных средств // Современные проблемы механики: Материалы Международной научно-технической конференции. – Ташкент: Институт механики и сейсмостойкости сооружений, 2009. - С. 295-298.
13. Файзуллаев Э.З., Турсунбаев Б.Х., Хакимов Ш.К. Интерполяция внешней характеристики двигателя при моделировании движения автомобиля на языке программирования Maple-11 // Вестник ТАДИ. – Ташкент, 2009. - № 1. – С. 29-34.
14. Файзуллаев Э.З., Хакимов Ш.К., Жураев К.М. Определение экстремальности условий эксплуатации по влиянию температуры на выходные показатели автомобиля // Проблемы внедрения инновационных идей, проектов и технологий в производство: Сборник научных трудов Республиканской научно-технической конференции. – Джизак: ДжизПИ, 2010. – С. 228-230.
15. Хакимов Ш.К., Турсунбаев Б.Х., Садиллаев З.Г. Математическое моделирование движения автомобиля по определенной трассе // Актуальные проблемы автомобильно-дорожного комплекса Узбекистана: Сборник материалов Республиканской научно –практической конференции. – Ташкент: ТАДИ, 2010. – С. 159-161.
16. Мухитдинов А.А., Хакимов Ш.К. Особенности распределения нормальных нагрузок по осям седельного автопоезда // Проблемы внедрения инновационных проектов в производство: Сборник научных трудов 3-й Республиканской научно-технической конференции. – Джизак: ДжизПИ, 2011. – С. 225-228.
17. Мухитдинов А.А., Хакимов Ш.К. Методика определения продольного уклона дороги // Вестник ТАДИ. – Ташкент, 2011. - № 1. – С. 16-21.
18. Мухитдинов А.А., Хакимов Ш.К. Анализ зависимости удельной производительности от эксплуатационных параметров автопоезда // Вестник ТАДИ. – Ташкент, 2011. - № 2. – С.

Техника фанлари номзоди илмий даражасига талабгор Хакимов Шаукат Кудайбергачановичнинг 05.05.03 - «Автомобиллар ва тракторлар» ихтисослиги бўйича «Тоғ шароити учун автопоезднинг эксплуатацион параметрларини асослаш (Қамчик довони мисолида)» мавзусидаги диссертациясининг

## РЕЗЮМЕСИ

**Таянч (энг муҳим) сўзлар:** тоғ йўли, довон, йўлнинг бўйлама қиялиги, тортувчи-автомобиль, ярим тиркама, автопоезд, нормал реакция, самарадорлик, солиштирма унумдорлик.

**Тадқиқот объектлари:** «Қамчик» довони, тоғ шароитида фойдаланилаётган автопоездлар.

**Ишнинг мақсади:** тоғ шароитларида автопоездлардан фойдаланиш самарадорлигини ошириш.

**Тадқиқот усули:** автомобиллар эксплуатацион хусусиятлари назариясининг асосий қоидалари, синов тадқиқот ҳамда математик моделлаштириш ва дастурлаш услубларидан фойдаланилган. Назарий тадқиқотлар натижалари тоғ шароитада синов-тажриба орқали текширилган.

**Олинган натижалар ва уларнинг янгилиги:** йўлнинг бўйлама қиялигини аниқлаш услуги; солиштирма унумдорлик бўйича автопоездларнинг тоғ шароитида фойдаланишга мосланганлик даражасини таққослаш имконини берувчи автопоезднинг тоғ маршрути бўйлаб ҳаракатланиш математик модели; “Қамчик” довони мисолида автопоездлардан тоғ шароитида фойдаланиш самарадорлигини ошириш бўйича тавсиялар.

**Амалий аҳамияти:** тадқиқот натижаларини амалиётга қўллаш эксплуатация шароити учун юқори самара берувчи автомобил ёки унинг конструктив параметрларини танлаш; автопоезд унумдорлигини ошириш ва фойдаланиш сарф-харажатларини камайтириш имконини беради.

**Татбиқ этиш даражаси ва иқтисодий самарадорлиги:** тадқиқот натижалари «УЗБЕКНЕФТЕГАЗ» Холдинг Компанияси Фарғона нефтни қайта ишлаш заводи «Автонепттранс» АТЖсида, «Ангрен Логистика Маркази» ЁАЖида ишлаб чиқаришга татбиқ этишга қабул қилинган. Шунингдек тадқиқот натижаларидан “Транспорт воситаларининг тузилиши ва назарияси” фанлари дастурига киритилган.

Тадқиқот натижаларини ишлаб чиқаришга жорий қилишдан кутилаётган иқтисодий самара бир автопоезд учун бир йилда ўртача 13 400 000 сўмни ташкил этади.

**Қўлланиш (фойдаланиш) соҳаси:** Автомобил транспорти.

## РЕЗЮМЕ

диссертации Хакимова Шауката Кудайбергеновича на тему: «Обоснование эксплуатационных параметров автопоезда для горных условий (на примере перевала Камчик)» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.03 – Автомобили и тракторы.

**Ключевые слова:** горная дорога, перевал, извилистость, продольный уклон дороги, автомобиль-тягач, полуприцеп, автопоезд, нормальные реакции, эффективность, удельная производительность.

**Объекты исследования:** перевал «Камчик», автопоезда, эксплуатируемые в горных условиях перевала «Камчик».

**Цель работы:** повышение эффективности автопоездов при эксплуатации в горных условиях.

**Методы исследования:** использованы основные положения теории эксплуатационных свойств автомобилей, методы экспериментальных исследований, методы математического моделирования и программирования. Результаты расчетных исследований проверены экспериментальными исследованиями в горных условиях.

**Полученные результаты и их новизна:**

разработаны методика определения продольного уклона дороги; математическая модель движения автопоезда по горному маршруту, позволяющая сравнить степень приспособленности автопоездов к горным условиям эксплуатации по удельной производительности без проведения дополнительных экспериментальных исследований; рекомендации по повышению эффективности автопоездов при эксплуатации в горных условиях на примере перевала «Камчик».

**Практическая значимость:** Разработанная методика повышения эффективности автопоездов при эксплуатации в горных условиях позволяет: выбрать рациональный тип АТС для условий эксплуатации; повысить производительность автопоезда и снизить эксплуатационные расходы; выбрать конструктивные параметры автомобиля на стадии проектирования или из существующих; способствует специализацию производства автомобиля для конкретных условий эксплуатации.

**Степень внедрения и экономическая эффективность:** Результаты исследований приняты к внедрению в АТК «Автонепттранс» Ферганского НПЗ Холдинговой Компании «УЗБЕКНЕФТЕГАЗ», в ЗАО «Центр Логистики Ангрэн» а также использованы в учебном процессе при изучении предмета «Устройство и теория транспортных средств». Расчетный ожидаемый экономический эффект от внедрения рекомендаций в среднем составляет 13 400 000 сум. в год на один автопоезд.

**Область применения:** Автомобильный транспорт.

## RESUME

**Thesis of Shaukat Khudayberganovich Khakimov on the scientific degree competition of the doctor of sciences in engineering science specialty 05.05.03 “Automobiles and tractors” subject “Base of using parameters of the long vehicle for mountain conditions (in example of “Kamchik” pass)”.**

**Key words:** mountain road, pass, twist, road longitudinal slope, truck, semitrailer, long vehicle, normal reaction force, efficiency, specific productivity.

**Subjects of the inquiry:** “Kamchik” pass, the long vehicles with truck and semitrailers, which used in mountain conditions of “Kamchik” pass.

**Aim of the inquiry:** Enhancing of the long vehicle efficiency with truck and semitrailer in using of mountain conditions

**Methods of inquiry:** used basic regulations of the theory of automobiles, experimental research methods; also math modeling and programming methods are used. Experimental checking of basic regulations of the theory is done in natural mountain conditions.

**The results achieved and their novelty:** Defining method of road longitudinal slope;

The mathematic model of moving of the long vehicle on mountain road, which allows the compare of degree of long vehicles’ accommodation to mountain conditions with specific productivity without additional experimental researches, individually for each model of the truck in natural conditions;

Recommendations for enhancing of the long vehicle efficiency with truck and semitrailer in using of mountain conditions of “Kamchik” pass.

**Practical value:** Elaborated enhancing method of the long vehicle efficiency with truck and semitrailer in using of mountain conditions allows: choosing the productive model of the truck for using conditions; enhancing of the truck productivity and to decrease of using expenses; to choose the construction parameters of the truck in step of designing or from constructions, which are produced; helps for specialization of the vehicles production to specific using conditions.

**Degree of embed and economic affectivity:** Results of scientific research established to production in “Avtonefttrans” ATE of Fergana oil process factory of “UZBEKNEFTEGAZ” Holding Company, in CSC “Angren Logistic Centre” also used in studying of “Construction and theory of automobile” subjects.

Approximately economical efficiency of established research results to production for each of the trucks is about 13 400 000 sum per year.

**Sphere of usage:** Auto transportation

**Соискатель:**

**Хакимов Ш.К.**