

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(национальный исследовательский университет)»

На правах рукописи



Сайдуллозода Сайвали Сайдулло

**ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАТРАТ АВТОМОБИЛЕЙ-САМОСВАЛОВ
НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ ИХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ В ГОРНЫХ
УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН**

05.05.03 – Колесные и гусеничные машины

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:

доктор технических наук, доцент

Гаврилов Константин Владимирович

Челябинск – 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ | 5 |
| 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ | 12 |
| 1.1 Обзор и анализ исследований снижения энергетических затрат автомобилей-самосвалов при функционировании системы ВАДС в горных условиях..... | 12 |
| 1.2 Общая характеристика элементов системы ВАДС | 15 |
| 1.2.1 Природно-климатические условия (Окружающая среда) | 17 |
| 1.2.2 Характеристика дорожных условий | 27 |
| 1.2.3 Характеристика автомобильного парка | 35 |
| 1.2.4 Характеристика водительского состава | 42 |
| 1.3 Цели и задачи исследования | 45 |
| 1.4 Основные выводы по разделу | 46 |
| 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ВАДС В ГОРНЫХ УСЛОВИЯХ | 48 |
| 2.1 Расчет тягово-скоростных характеристик автомобилей, используемых на строительстве Рогунской ГЭС | 48 |
| 2.2 Модель оценки эффективности функционирования системы ВАДС в горных условиях..... | 50 |
| 2.3 Влияние горных дорог на тягово-скоростные свойства автомобилей | 57 |
| 2.3.1 Обобщённый динамический коэффициент | 62 |
| 2.4 Исследование факторов, воздействующих на водителей транспортных средств в горных условиях..... | 65 |
| 2.5 Энергетические затраты и эффективность функционирования системы ВАДС | 71 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 2.6 | Влияние конструктивных параметров автомобильных шин на эксплуатационные свойства автомобилей-самосвалов | 75 |
| 2.6.1 | Самоочищаемость пневматических шин автомобилей-самосвалов | 77 |
| 2.6.2 | Влияние конструктивных параметров шины на энергетические затраты ... | 84 |
| 2.7 | Основные выводы по разделу | 91 |
| 3 | МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ | 93 |
| 3.1 | Задачи экспериментальных исследований..... | 93 |
| 3.2 | Условия проведения экспериментальных исследований | 97 |
| 3.3 | Методика дорожных испытаний оценки влияния элементов системы ВАДС на ее эффективность | 102 |
| 3.4 | Оборудование и измерительная аппаратура для испытаний влияния элементов системы ВАДС | 104 |
| 3.5 | Порядок работы при определении топливной характеристики автомобиля . | 109 |
| 3.6 | Оценка погрешностей измерений..... | 109 |
| 3.7 | Основные выводы по разделу | 111 |
| 4 | РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ | 112 |
| 4.1 | Расход топлива автомобилей с механической и гидромеханической трансмиссиями | 112 |
| 4.2 | Планирование и обработка результатов многофакторного эксперимента | 115 |
| 4.3 | Сравнение теоретических и экспериментальных исследований | 127 |
| 4.4 | Результаты хронометражных исследований..... | 128 |
| 4.5 | Основные выводы по разделу | 132 |
| | ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЙ..... | 133 |
| | ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 134 |
| | СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ | 136 |

| | |
|---------------------------------------|-----|
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ..... | 137 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ А | 152 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Б..... | 153 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ В | 157 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Г | 159 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Д | 173 |

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Автомобильный транспорт в условиях эксплуатации на гидротехнических сооружениях (ГТС) Республики Таджикистан (РТ) занимает доминирующее положение и имеет жизненно важное значение для развития экономики страны. По объему перевозок и по грузообороту в республике нет равных автомобильному транспорту и его доля в общем объеме грузоперевозок составляет 90–95%.

Республика Таджикистан – горная страна. В ней множество рек, протекающих на значительных высотах над уровнем моря (н. у. м.) с большими перепадами высот. Поэтому в республике развита водная энергетика. В связи с растущими потребностями промышленности в электроэнергии, она продолжает развиваться. В республике строятся ГТС, где свыше 70% объемов перевозимых грузов приходится на автомобильные перевозки с повышенными энергетическими затратами, превышающими норматив более чем на 30 %.

Автомобильный транспорт является одним из основных элементов системы водитель-автомобиль-дорога-среда (ВАДС), функционирование которой в горных условиях довольно жесткое и требует дополнительного исследования при повышении эффективности её работы, снижающий энергетические затраты.

До сих пор для решения вопросов снижения энергетических затрат автомобилями-самосвалами при функционировании системы ВАДС в горных условиях применялись методы, основанные на оценке эффективности отдельных элементов системы. По нашему мнению, при исследовании снижения энергетических затрат автомобилей-самосвалов в процессе функционирования системы ВАДС, более эффективным направлением является комплексная оценка всех элементов системы. В данной работе исследование снижения затрат автомобилей-самосвалов при функционировании системы ВАДС в горных условиях проводилось в следующей последовательности:

- изучение особенностей функционирования элементов системы ВАДС;
- комплексный и системный анализ эффективности системы ВАДС;

– определение рациональных нагрузочных и скоростных режимов работы карьерных автомобилей-самосвалов;

– применение энергетического подхода к оценке эффективности функционирования системы ВАДС.

Решение этой научно-практической задачи является необходимым условием снижения энергетических затрат автомобилями-самосвалами и повышения эффективности их эксплуатации.

Степень разработанности темы. Значительный вклад в вопросы, связанные с эффективностью эксплуатации подвижного состава в различных дорожно-климатических условиях, внесли ученые: Аверьянов Ю.И., Вахламов В.К., Великанов Д.П., Горшков Ю.Г., Говорущенко Н.Я., Гришкевич А.И., Зимелев Г.В., Трусов С.М., Фалькевич Б.С., Фаробин Я.Е., Чудаков Е.А., Шейнин А.М., Яценко Н.Н. и др., в том числе вопросам комплексной оценки эффективности системы ВАДС посвящены работы Девятова М.М., Скрыпникова А.В., Скворцовой Т.В., Лазарева С.Н., Козлова В.Г.

Исследования в области оценки эффективности подвижного состава в горных условиях изложены в трудах ученых: Абдуллоева М.А., Алиева В.А., Давлатшоева Р.А., Двали Р.Е., Кадырова С.М., Махалдиани В.В., Парцхаладзе Р.М., Саттивалдиева Б.С., Топалиди В.А., Турсунова А.А., Умирзокова А.М., Эмана О.Я. и др.

Различные аспекты проблемы повышения эффективности отдельных элементов системы ВАДС в конкретных условиях эксплуатации представлены в трудах зарубежных ученых: W.H. Janssen, T. Oron-Gilad, B. Farahmand, J. Flemmer, R. Likaj, H.J. Walnum, T. Bellet, F. Jimenez, K.K. Abishev, Z. Votruba D. Buss, R. Herman, M. Zhou, M. Novak и др.

Обзор исследований показал, что вопросы комплексной оценки энергетических затрат и пути их снижения при функционировании системы ВАДС в горных условиях остаются малоизученными.

Целью исследования является разработка концептуальной модели функционирования автомобилей-самосвалов в горных условиях РТ и формирование на ее основе рекомендаций по снижению энергетических затрат.

Задачи исследования. В соответствии с поставленной целью в диссертационной работе решаются следующие задачи:

1. Анализ условий функционирования элементов системы ВАДС в горных условиях РТ.

2. Разработка концептуальной модели системы ВАДС с учетом специфики использования автомобилей-самосвалов при строительстве ГТС.

3. Адаптация методики оценки свойств самоочищаемости шин для автомобилей-самосвалов, эксплуатируемых при строительстве ГТС.

4. Проведение экспериментальных исследований по определению эксплуатационных свойств автомобилей-самосвалов с различными видами трансмиссий в горных условиях эксплуатации.

5. Обобщение результатов теоретических и экспериментальных исследований и разработка рекомендаций по снижению энергетических затрат автомобилей-самосвалов и по конструктивному исполнению элементов ходовой части.

Объект исследования. Процессы, связанные с функционированием системы ВАДС при решении вопросов эффективности транспортного процесса в горных условиях РТ.

Предмет исследования. Закономерности влияния отдельных элементов системы ВАДС на эффективность ее функционирования в горных условиях.

Область исследований соответствует паспорту специальности 05.05.03 – Колесные и гусеничные машины. Полученные в работе научные результаты соответствуют п. 2 «Математическое моделирование и исследование кинематики, статики и динамики, а также физико-химических процессов в транспортных средствах, их узлах и механизмах» и п. 4 «Повышение качества, экономичности, долговечности и надежности, безопасности конструкции, экологических

характеристик и других потребительских и эксплуатационных параметров транспортных средств» паспорта специальности.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

1. Разработана концептуальная модель оценки эффективности функционирования системы ВАДС, отличающаяся от известных оценкой энергетических затрат на выполнение полезной работы в общей доле энергии, полученной от энергоносителя с учетом затрат на преодоление сопротивления качению колес, обусловленных конструктивным исполнением шин, а также горных условий эксплуатации.

2. На основе результатов многофакторного эксперимента получена математическая модель прогнозирования путевого расхода топлива применительно к карьерным автомобилям-самосвалам во время эксплуатации их в горных условиях путём введения в эту модель таких факторов как обобщенный динамический коэффициент, отражающий комплексный показатель условий эксплуатации. Это позволило скорректировать нормативные значения путевого расхода топлива автомобилей-самосвалов при их эксплуатации на гидротехнических сооружениях.

Теоретическая значимость исследования: Разработана концептуальная модель функционирования системы ВАДС для горных условий эксплуатации, базирующаяся на энергетических принципах оценки эффективности системы.

Практическая значимость исследования: Разработанная модель позволяет оценить эффективность функционирования системы ВАДС в горных условиях, а именно:

– проводить расчеты по оценке и обоснованию эффективности эксплуатации автомобилей-самосвалов на строительстве ГТС;

– управлять парком автомобилей с учетом их эксплуатационных характеристик;

– уточнять существующие нормы путевого расхода топлива и оценивать показатели технико-экономической эффективности грузоперевозок.

Методы исследования включают расчетно-аналитические (теоретические) методы оценки эффективности энергетических затрат системы ВАДС и экспериментальные методы исследования по определению путевого расходов топлива, в частности использовался метод планирования многофакторного эксперимента с применением компьютерного моделирования в среде Matlab/Simulink.

На защиту выносятся результаты исследования:

1. Концептуальная модель функционирования системы ВАДС, базирующаяся на энергетических принципах оценки эффективности системы, включающая в себя предложенный обобщенный динамический коэффициент, учитывающий условия эксплуатации при строительстве Рогунской ГЭС.

2. Методика оценки свойств самоочищаемости шин и базирующиеся на ней рекомендации по выбору конструкции шин для автомобилей-самосвалов, эксплуатируемых в горных условиях на строительстве ГТС.

3. Результаты экспериментальных исследований по определению технико-экономических показателей автомобилей с механической и гидромеханической трансмиссией.

4. Адаптация модели взаимодействия шины с грунтом для условий эксплуатации автомобилей-самосвалов на строительстве ГТС.

5. Математическая модель в натуральном масштабе для прогнозирования путевого расхода топлива автомобилей-самосвалов и разработанные рекомендации по корректированию нормативов расхода топлива.

Достоверность результатов исследования подтверждена: использованием основных методов теории автомобиля, фундаментальных законов механики, методов построения физических и математических моделей, методов статистической обработки эмпирических данных, использованием программного комплекса CorelDRAW, Compass, AutoCAD и Matlab/Simulink, а также хорошей сходимостью теоретических и экспериментальных данных, расхождение которых не превышает 3%.

Реализация результатов работы. Результаты исследований приняты к внедрению в ДАО «Основное строительство» ОАО Рогунская ГЭС (Таджикистан), Министерстве транспорта Республики Таджикистан, в Южно-Уральском государственном университете (НИУ. г. Челябинск, Россия), в Таджикском техническом университете им. академика М.С. Осими (г. Душанбе, Таджикистан), в рамках дисциплин «Конструкция, эксплуатационные свойства и элементы расчета автомобиля», «Специализированный подвижной состав автотранспортных средств» по направлениям подготовки «Наземные транспортно-технологические средства», «Автомобили и автомобильное хозяйство» и «Техническая эксплуатация автомобилей (автотранспорт общего и частного пользования)».

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационного исследования были представлены в научных докладах и выступлениях:

- X и XI научные конференции аспирантов и докторантов «Научный поиск». – г. Челябинск, 2018 – 2019 гг;
- Международная научно-практическая конференция студентов, магистрантов, аспирантов и ученых «Мухандис-2019». – г. Душанбе, 2019 г;
- Всероссийская научно-практическая конференция «Актуальные вопросы транспорта в лесном комплексе». – г. Санкт-Петербург, 2019 г;
- Международная научно-техническая конференция «Пром-Инжиниринг». – г. Сочи, 2020 г;
- Всероссийский научно-технический семинар «Подвижность транспортно-технологических машин». – г. Н. Новгород, 2020 г;
- Научно-технический совет ИТР Рогунской ГЭС. – г. Душанбе, 2020 г;
- II Международная научно-техническая конференция «Интеллектуальные энергетические системы 2021» (Smart Energy Systems 2021). – г. Казань, 2021 г;
- IV Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы топливно-энергетического комплекса: добыча, производство, передача, переработка и охрана окружающей среды» (APES-IV-2021). – г. Москва, 2021 г;
- Заседания кафедры «Колесные и гусеничные машины» ЮУрГУ. – г. Челябинск, 2019-2021 гг.

Публикации. По результатам, полученным при выполнении диссертационной работы, опубликована 21 научная статья, в том числе 9 статей в изданиях перечня ВАК РФ, 4 статьи в библиографической базе данных Scopus и Web of Science, 7 статей в научных изданиях, рекомендованных РИНЦ РФ и изданиях стран СНГ и 1 патент РФ на полезную модель.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав основного текста, заключения, списка использованных источников и приложений. Работа изложена на 174 страницах машинописного текста и включает 52 рисунков, 25 таблицы. Список литературы, включает 153 наименований, в том числе 32 на иностранном языке и приложения на 23 страницах.

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность д.т.н. профессору Мамбеталину К.Т., к.т.н. доценту Умирзокову А.М. и к.т.н. доценту Уланову А.Г. за научные консультации, методическую помощь, ценные советы, большое внимание и огромную помощь в проведении исследований при подготовке диссертационной работы.

1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Обзор и анализ исследований снижения энергетических затрат автомобилей-самосвалов при функционировании системы ВАДС в горных условиях

Повышение эффективности функционирования системы ВАДС в горных условиях является важнейшей проблемой развития народного хозяйства РТ. Это обусловлено устойчивым ростом производства во всех отраслях народного хозяйства. В РТ имеются большие резервы повышения эффективности функционирования системы ВАДС, связанные как с повышением эффективности функционирования отдельных ее элементов, так и в целом всей системы, предусматривающей применение научно-обоснованных теоретических предпосылок её оценки.

Успешная реализация имеющихся резервов повышения эффективности функционирования системы ВАДС в рамках единой эффективной транспортной системы страны, снижение совокупных народнохозяйственных затрат на перевозки грузов автомобильным транспортом и удовлетворение растущего спроса на его услуги во многом зависят от научной обоснованности системы показателей эффективности автотранспортного производства, методик их анализа и оценки текущих резервов на уровне автомобильной транспортной системы и ее структурных подразделений.

В этой связи важное значение приобретает вопрос создания комплексной оценки эффективности функционирования системы ВАДС и резервов ее роста, позволяющий повысить обоснованность принимаемых решений в процессе эффективного управления её деятельностью, а также при прогнозировании деятельности транспортной отрасли.

Проблемам оценки и анализа эффективности функционирования системы ВАДС в горных условиях посвящено большое количество научных исследований,

в которых исследована эффективность автотранспортного производства, методические вопросы её измерения, а также обоснованы факторы её роста.

Вопросы, связанные с эффективностью эксплуатации подвижного состава в различных дорожно-климатических условиях, освещены в трудах ученых: Аверьянова Ю.И., Вахламова В.К., Великанова Д.П., Горшкова Ю.Г., Говорущенко Н.Я., Гришкевича А.И., Зимелева Г.В., Трусова С.М., Фалькевича Б.С., Фаробина Я.Е., Чудакова Е.А., Шейнина А.М., Яценко Н.Н. и др., в том числе вопросам комплексной оценки эффективности системы ВАДС посвящены работы Девятова М.М., Скрыпникова А.В., Скворцовой Т.В., Лазарева С.Н., Козлова В.Г.

Исследования в области оценки эффективности подвижного состава в горных условиях изложены в трудах ученых: Абдуллоева М.А., Алиева В.А., Давлатшоева Р.А., Двали Р.Е., Кадырова С.М., Махалдиани В.В., Парцхаладзе Р.М., Саттивалдиева Б.С., Топалиди В.А., Турсунова А.А., Умирзокова А.М., Эмана О.Я. и др.

Различные аспекты проблемы повышения эффективности отдельных элементов системы ВАДС в конкретных эксплуатационных условиях были освещены в трудах зарубежных ученых: W.H. Janssen, T. Oron-Gilad, V. Farahmand, J. Flemmer, R. Likaj, H.J. Walnum, T. Bellet, F. Jimenez, K.K. Abishev, Z. Votruba D. Buss, R. Herman, M. Zhou, M. Novak и др.

Имеется достаточно исследований, связанных с оценкой и повышением надежности системы ВАДС [3, 81, 87, 95-99, 102, 104, 105, 108, 110, 111, 122, 124]. Однако, не всегда систему ВАДС можно комплексно характеризовать её надежностью. Следовательно, более важным показателем, характеризующим систему ВАДС можно считать её эффективность, а надежность системы ВАДС при этом остается основополагающим фактором оценки её эффективности.

Состояние системы ВАДС зависит от многих факторов, управлять которыми одновременно невозможно и небезопасно [103]. Это вызывает необходимость частичного исследования отдельных подсистем системы ВАДС, с последующим обобщением результатов поведения всей системы [57, 60, 123, 127, 134, 135, 137, 138, 142, 144]. В этом большая заслуга таких ученых, как: Великанов Д.П., Зимелев Г.В.,

Иларионов В.А., Литвинов А.С., Фалькевич Б.С., Фаробин Я.Е., Чудаков Е.А. и др., которые посвятили свои исследования подсистеме «автомобиль-дорога» [14-16, 44, 47-49, 63, 64, 112-114, 119, 140, 153].

В работах ученых Иванова В.Н., Мурахиной Н.А. и Ротенберга Р.В. приведен анализ и разработана методология для исследования подсистемы «водитель-автомобиль», [45, 46, 68, 79].

Глубокий анализ работы подсистемы «водитель-дорога» приведен в работах ученых Афанасьева Л.Л., Афанасьева М.Б., Бабкова В.Ф., Калужской Я.А., Клинковштейна Г.И., Лобанова Э.М., Силянова В.В. и др. [8, 52, 55, 65, 86, 143].

В работах ученых Сергеева А.Г., Самойлова П.Ф. и др. [37, 84, 86, 88] изложены методологические предпосылки для исследования системы ВАДС в целом.

В различных странах имеются различные подходы к решению проблемы повышения эффективности функционирования системы ВАДС.

В США уделяют повышенный интерес, к так называемым, психологическим аспектам проблемы повышения эффективности функционирования системы ВАДС, в Англии большое внимания уделяется методологическим исследованиям в данной области, французские ученые в основном занимаются эмпирическими поисками приемлемых систем, в Германии ведутся серьезные исследования в области кибернетических принципов обучения водителей, в Японии применяют теорию автоматического управления для описания поведения системы ВАДС [68].

Научная теория оценки эффективности функционирования системы ВАДС в горных условиях продолжает разрабатываться, в тоже время, большая часть её проблем остается дискуссионной. Так, различным образом определяется сущность эффективности функционирования системы ВАДС, предлагаются различные подходы для её оценки. Наличие различных точек зрения по столь важному вопросу обуславливает необходимость и актуальность исследования и решения вопросов, связанных с оценкой эффективности функционирования системы ВАДС и резервов роста в сфере автотранспортных услуг.

Обзор исследований показал, что вопросы комплексной оценки энергетических затрат и пути её снижения при функционировании системы ВАДС в горных условиях остаются малоизученными.

1.2 Общая характеристика элементов системы ВАДС

Любой объект исследования или объект любой природы можно рассматривать как совокупность элементов или отношений, закономерно связанных друг с другом в единое целое, которое обладает свойствами, отсутствующими у отдельных элементов или отношений их образующих.

Система ВАДС – это большая и сложная система, состоящая из совокупности взаимодействующих живых и неживых, естественных и искусственных объектов различной природы, образующих определенную целостность и единство.

Корректная и рациональная классификация системы является необходимой предпосылкой для оценки ее эффективности. Нет ничего, что не подлежало бы систематизации и не принадлежало бы той или иной системе. Существует великое многообразие систем, при изучении которых существенную помощь оказывает классификация.

Классификация – это разделение совокупности объектов на классы по наиболее существенным признакам. При этом важно знать, что классификация – это всего лишь модель реальности, поэтому к ней надо так и относиться, не требуя от нее абсолютной полноты. Не было, и нет совершенной и исчерпывающей классификации системы, более того, на сегодня, окончательно не выработаны её принципы.

Система ВАДС не является исключением, не смотря, на то, что она имеет исключительно важное государственное, народнохозяйственное, экономическое, экологическое и др. значения. Предлагаемая классификация нацелена на более простое решение столь важных и сложных задач, связанных с оценкой эффективности и надежности системы ВАДС.

В процессе уточнения свойств и признаков системы ВАДС выделены наиболее существенные и важные из них, способствующие упрощению создания адекватных и достоверных математических моделей, а также упрощению задач, связанных с повышением эффективности и надежности системы ВАДС [102, 148] (рис. 1.1).

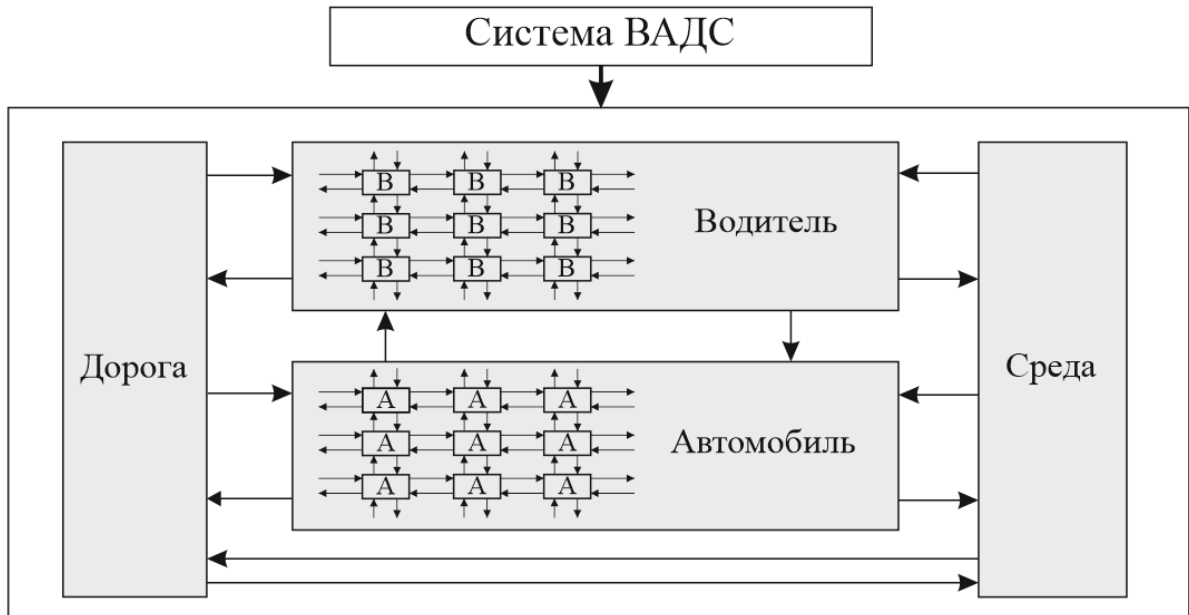


Рисунок 1.1 – Схема взаимосвязи элементов системы ВАДС

Любой объект исследования, чтобы его можно было считать системой, должен обладать четырьмя основными свойствами или признаками: целостностью и делимостью; наличием устойчивых связей; организацией; эмерджентностью, то есть наличием свойств не характерных системе.

Система ВАДС не является исключением из этого правила, ей в полной мере свойственны все эти четыре признака. Особо нужно отметить свойство организации в системе ВАДС, которое характеризуется наличием определенной координации, что проявляется в изменении энтропии (степени неопределенности или хаоса) системы.

Водитель, автомобиль, дорога, среда – это элементы системы ВАДС. Рассмотрим эти факторы в последовательности: окружающая среда-дорога-автомобиль-водитель.

1.2.1 Природно-климатические условия (Окружающая среда)

Республика Таджикистан – государство в Центральной Азии, по характеру поверхности – типично горная страна с абсолютными высотами от 300 до 7495 метров н. у. м. [98]. Рельеф республики разнообразный и сложный. Речные долины перемежаются с высокогорными хребтами, которые, соединяясь в горные системы, ограничивают крупные ровные участки – котловины. В связи с этим, рельеф РТ условно можно разделить на две большие группы: равнинный и горный (табл.1.1).

Таблица 1.1 – Структура рельефа РТ

| Рельеф | | Высота н. у. м. |
|-----------|-------------------------------------|-----------------|
| Равнинный | возвышенные равнины (возвышенности) | 200 ...500 м |
| | плоскогорье | свыше 500 м |
| Горный | низкие горы (низкогорье) | 500 ... 1000 м |
| | средневысотные горы (среднегорье) | 1000 ... 2000 м |
| | высокие горы (высокогорье) | свыше 2000 м |

Равнинный рельеф состоит из возвышенностей (или возвышенных равнин) с высотой н. у. м. 300 – 500 м и плоскогорья с высотой н. у. м. свыше 500 м. Крутизна скатов возвышенностей (уклон) составляет 2 – 3°, а для плоскогорья характерны крутизна уклоны, равные 3 – 5°. Таким образом, равнины или местности, расположенные на высотах 300 – 500 м н. у. м., по всем параметрам способствуют эффективному функционированию системы ВАДС за исключением лета, когда температура воздуха днем на этих высотах часто достигает и даже превышает 40 градусной отметки по шкале Цельсия. В равнинной части плотность сети автомобильных дорог высокая с хорошо развитой транспортной, дорожной и прочей инфраструктурой.

Низкогорье. Территория РТ с низкогорным рельефом (с условной высотой н. у. м. 500 – 1000 м) характеризуется относительными превышениями от 200 до 500 м, а крутизна скатов варьирует преимущественно в пределах от 5 до 10°. Она отличается слабым расчленением. На этих высотах развита сеть автомобильных

дорог и транспортная инфраструктура. Низкогорье по многим параметрам подходит для наиболее эффективного функционирования системы ВАДС.

Среднегорье. Территория РТ со среднегорным рельефом (с условной высотой н. у. м. 1000 – 2000 м) характеризуется относительными превышениями от 1000 до 2000 м, а крутизна скатов распределяется в диапазоне от 10 до 15°. Она отличается расчленением на отчетливо очерченные горные массивы, гряды и цепи, с преобладающими вершинами и гребнями со сглаженной формой. Местности с подобным рельефом, как правило, обладают широкими горными проходами, подходящими для прокладывания автомобильных дорог, которые, в свою очередь, пересекают горные хребты по наиболее низким и удобным перевалам. Среднегорье уже вызывает определенные трудности для обеспечения надлежащих условий функционирования системы ВАДС [85].

Высокогорье. Проведенные нами топографические исследования рельефа территории РТ показали, что около 70% территории страны относится к высокогорной местности с высотами н. у. м., превышающем 2000 м. Для этого исследования использовались цифровая модель рельефа Таджикистана, полученная из геофизической службы Национального управления океанических и атмосферных исследований США [133]. Для расчетов территория республики определялась границами, приведенными в базе данных ESRI [125]. Расчеты проводились в геоинформационной системе QGIS с помощью языка программирования Python [131]. Согласно этому же исследованию, для высокогорного рельефа местности большинство скатов имеет крутизну более 25°. Высокогорная местность характеризуется тем, что между горными хребтами расположены глубокие долины и котлованы, а автомобильные дороги проложены по узким горным ущельям, нередко вдоль горных рек и часто проходят через высокогорные перевалы. Высокогорным автомобильным дорогам характерны крутые и продолжительные подъёмы и спуски, сложна геометрия, плохое качество дорожного полотна и ограниченная видимость. Высокогорные перевалы проходят выше снеговой линии, вследствие чего не могут эксплуатироваться круглый год. В условиях высокогорья сложно, точнее почти невозможно, обеспечить надлежащую

эффективность функционирования системы ВАДС.

Территория РТ расположена в пределах Памиро-Тянь-Шанской горной системы и занимает почти всю территорию Памира и южную часть Западного Тянь-Шаня. Рельеф РТ характеризуется множеством горных хребтов, более 20-ти из которых относятся к хребтам с абсолютной высотой более 4000 м н. у. м. К наиболее существенным из них, затрудняющим транспортные коммуникации и препятствующие нормальному функционированию системы ВАДС, относятся такие горные хребты как: Туркестанский, Зеравшанский, Гиссарский, Каратегинский, Дарвазский, Хазратишох, Ванчский, Язгулемский, Шугнанский, Ишкашимский, Северо-Аличурский, Музкол и ряд др. с межгорными впадинами и долинами (Ферганская, Гиссарская, Вахшская, Кулябская, Зерафшанская, Каратегинская, Бадахшанская и т.п.) (рис. 1.2) [66].

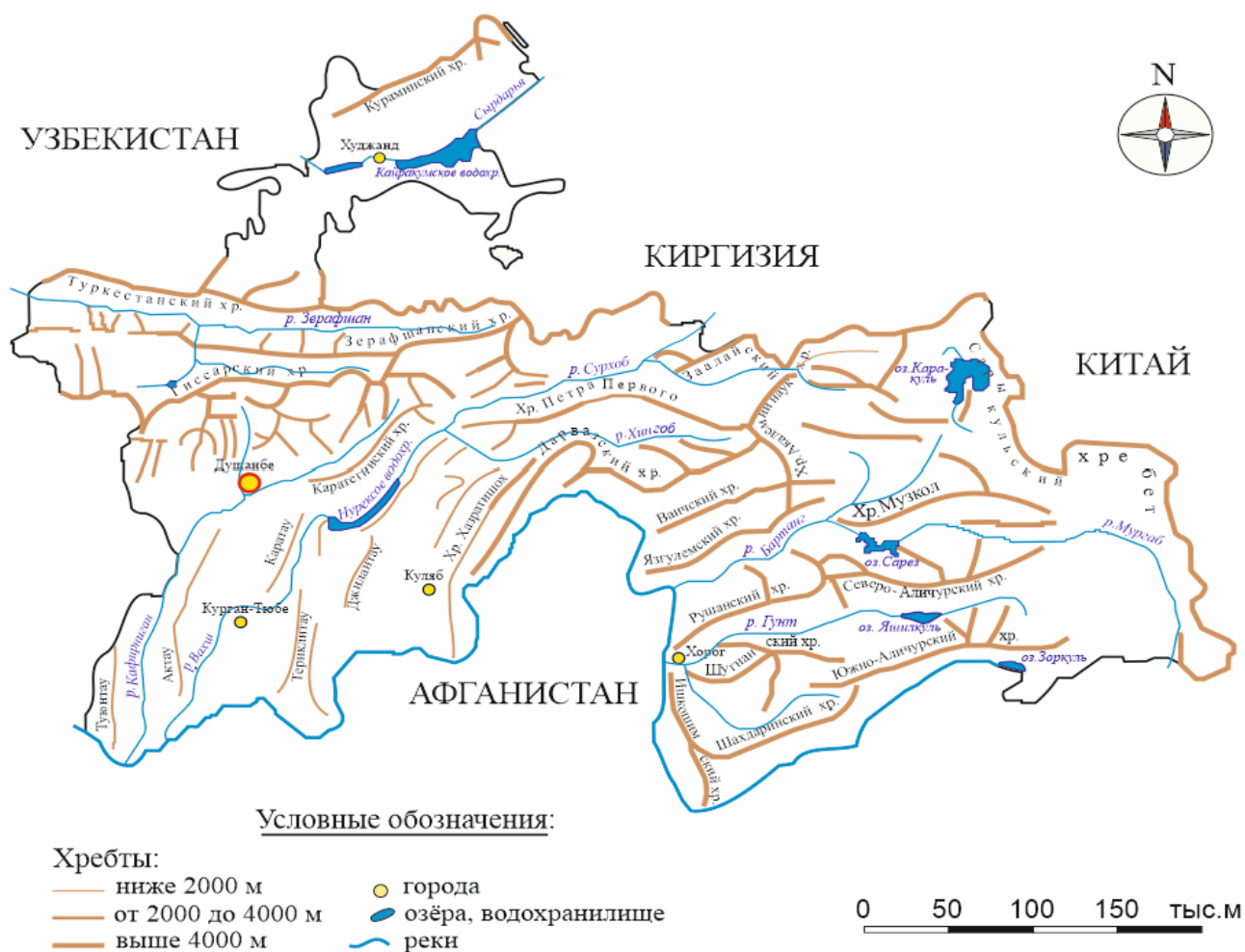


Рисунок 1.2 – Орографическая карта-схема РТ

Северная часть РТ менее гористая и представлена Кураминским хребтом, высота которого достигает до 3769 м и горой Моголтау с высотой до 1624 м, входящими в горную систему Западного Тянь - Шаня. Южнее расположены суженная западная часть Ферганской долины и юго-восточный участок равнины Голодная степь [93].

Центральная часть занята субшироко вытянутыми горными цепями Гиссаро-Алая, что составляет крайнюю западную часть Алайского хребта (высота до 5539 м, пик Тандыкуль) и представлена Туркестанским (до 5509 м, пик Пирамидальный), Зеравшанским (до 5489 м, гора Чимтарга) и Гиссарским (до 4764 м) хребтами [6, 130].

От Гиссарского хребта ответвляется Каратегинский хребет, высота которого достигает до 4276 м. Для гребней хребтов характерны альпийские формы рельефа.

Восточная часть отличается обилием высокогорных хребтов и находится в пределах Горно-Бадахшанской автономной области (ГБАО) (высотой до 7495 м, пик Коммунизма, с 1999 называется пик им. Исмаила Самани, в хребте «Академия Наук» – высшая точка). ГБАО принято делить на западную и восточную части.

Западная часть ГБАО представлена узкими хребтами альпийского типа, между которыми расположены глубокие ущелья.

Восточная часть ГБАО отличается обилием высоких плоскогорий (на высоте 3700 – 4200 м). На крайнем востоке ГБАО по Таджикско-Китайской границе возвышается Сарыкольский хребет с высотой до 5909 м.

Для юго-западной части РТ характерны невысокие хребты Актау, Каратау, Джилантау, Тереклитау и др., разделённые широкими долинами (Гиссарская, Вахшская, Нижнекафирниганская и др.).

Бытует мнение о том, что около 93% территории РТ занимают горы [51]. Точнее будет сказано, что около 93% территории РТ относятся к горному рельефу. Это проверенный и перепроверенный факт, но при этом нужно иметь в виду, что под этим процентом речь идет о территории республики, расположенной выше 500 м н. у. м.

По результатам, проведенных нами исследований по изучению рельефа страны, установлено, что 6,92% территории страны составляют возвышенные равнины, остальное относится к низкогорному, среднегорному и высокогорному рельефам (рис. 1.3).

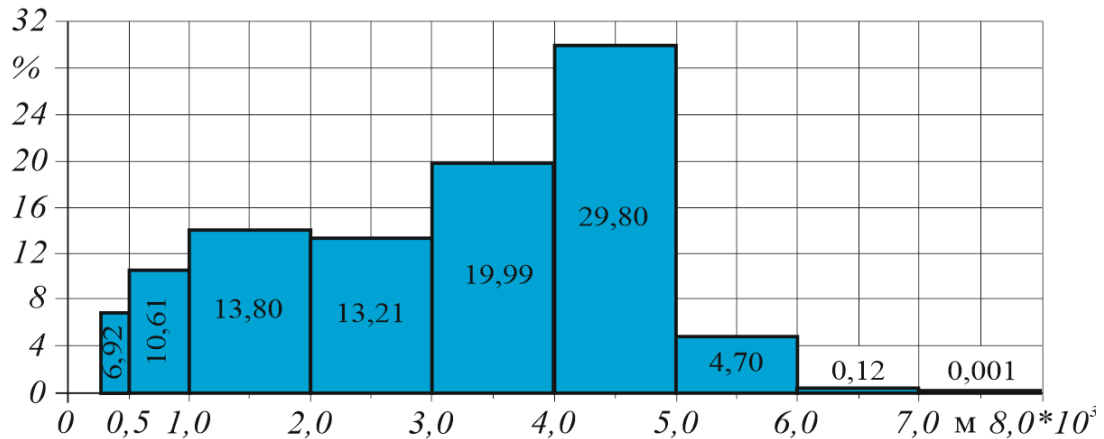


Рисунок 1.3 – Распределение рельефа территории РТ по высотам н. у. м.

Как видно из графика территория республики, высотой н. у. м. до 1000 метров составляют около 18%, и эта территория очень хорошо приспособлена к жизни и ведению различного вида хозяйственной деятельности. Территория с высотой от 1000 до 1500 м достаточно приспособлена к жизни и её можно считать незаменимой для ведения отдельных видов хозяйственной деятельности.

Отдельные территории республики, расположенные на высотах от 2000 до 4000 м н. у. м. тоже так или иначе приспособлены к жизни и ведению хозяйственной деятельности. Самое высокогорное селение в стране – это киргизское село Аличур, расположенное на одноименной долине на высоте 4000 м н. у. м.

Климат в республике – субтропический со значительными суточными и сезонными колебаниями температуры воздуха, малым количеством осадков в отдельных регионах, сухостью воздуха и малой облачностью. Контрастность климата проявляется в резкой разнице температур летом и зимой (рис. 1.4) [71, 99], в небольшом количестве облаков в летний период, в обилии солнечного света и в небольшом количестве осадков, которые выпадают в основном зимой и весной.

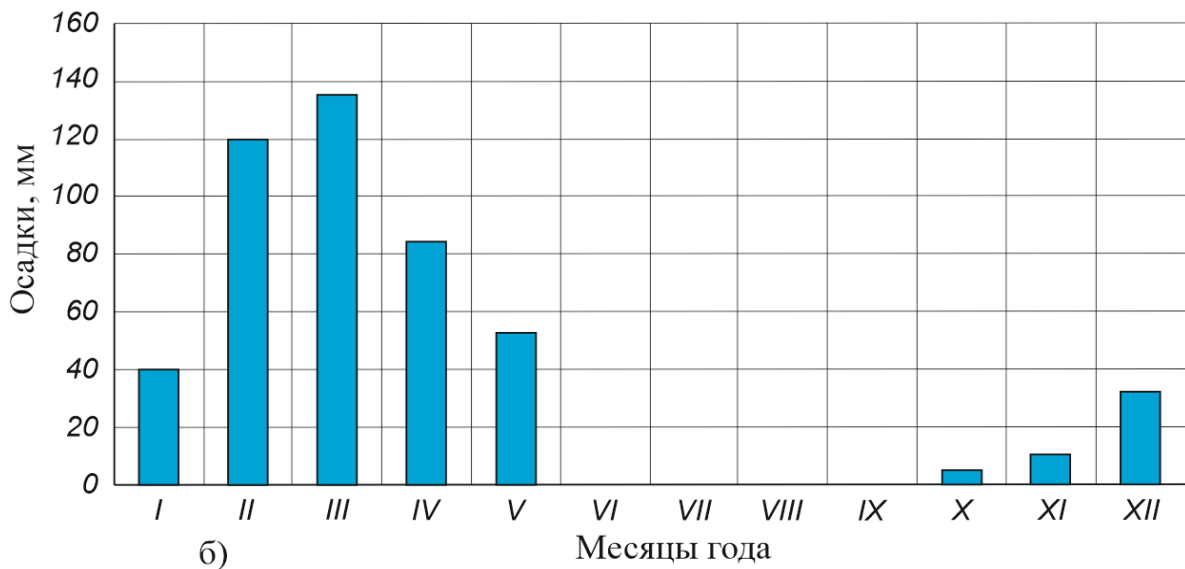
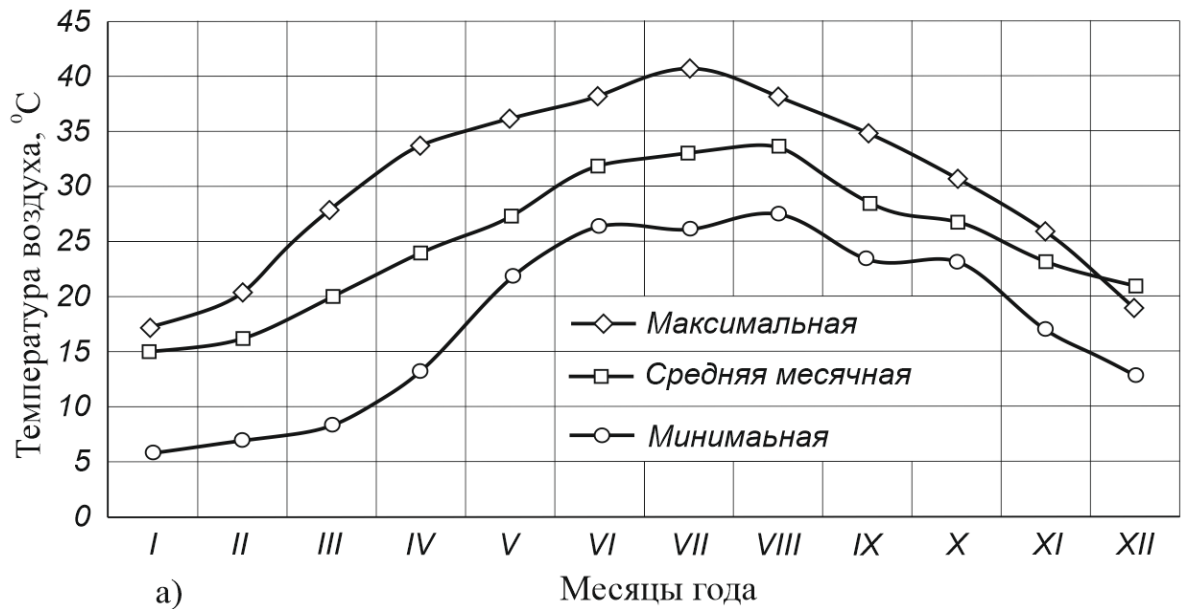


Рисунок 1.4 – Изменение параметров среды:

а) температура воздуха, б) количество осадок (режим влажности)

Самый холодный месяц – январь, а самая высокая температура наблюдается в июле. Температурные колебания в течение дня в разные месяцы различны: наибольшая амплитуда наблюдается в летние месяцы и самая маленькая – зимой (рис. 1.5).

Температура воздуха снижается в среднем на $0,5^{\circ}\text{C}$ на каждые 100 м высоты н. у. м. Подъем в горы на 1000 м с точки зрения изменения температуры эквивалентен перемещению на 1000 км к северу [99].

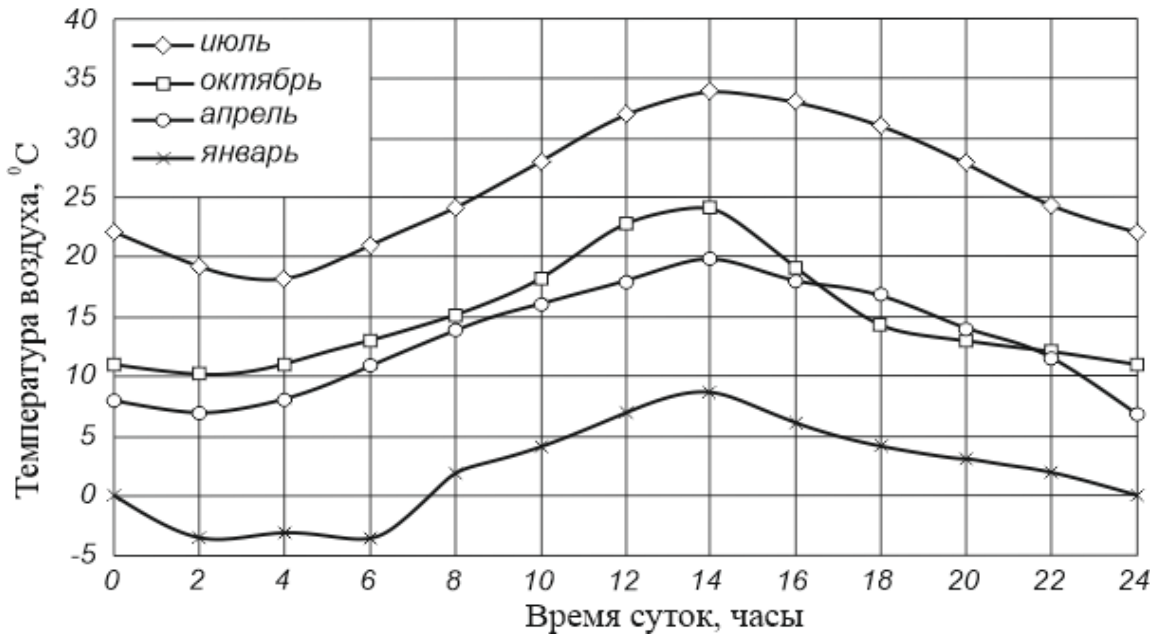


Рисунок 1.5 – Суточное изменение температуры воздуха

Режим влаги сильно меняется в теплый и холодный сезоны. Для теплого периода характерна высокая сухость воздуха (рис. 1.6).

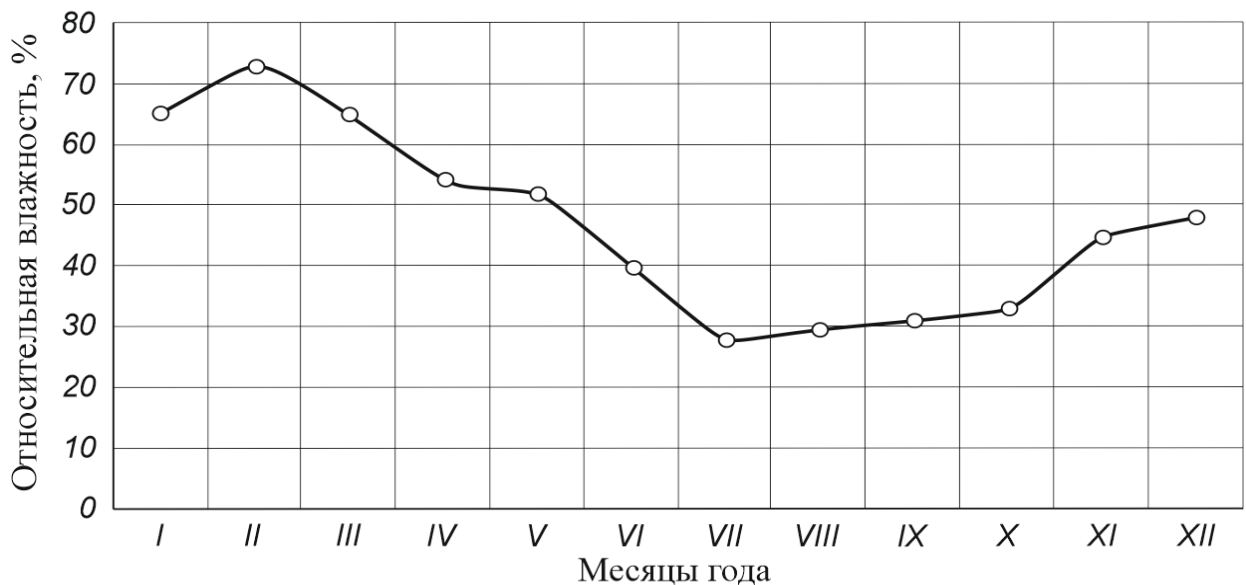


Рисунок 1.6 – Средняя относительная влажность

Отсутствие осадков в летний период влечет за собой более низкую влажность воздуха (рис. 1.4 и 1.5), что сопровождается увеличением концентрации пыли в воздухе (рис 1.7).

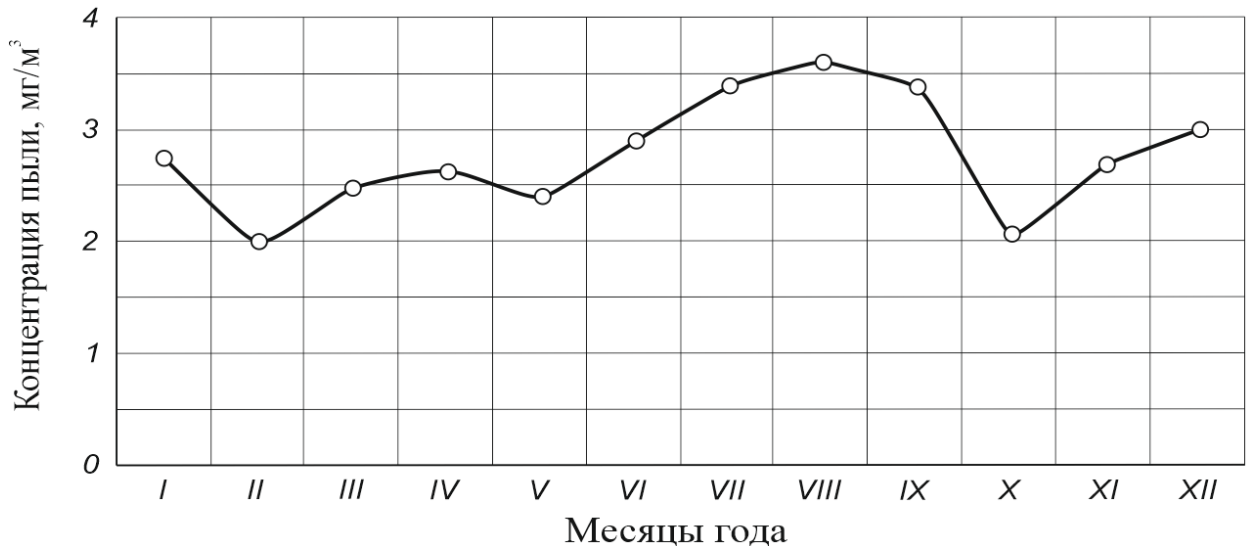


Рисунок 1.7 – Концентрация пыли

Сухость воздуха способствует образованию летом, а иногда и зимой пыльных бурь. В Ферганской долине пыльный, жаркий ветер, вторгающийся обычно из Каракумов, называется «гармсилем». В южной части республики дует «афганец». Эти ветра сопровождаются сухой мглой, которая иногда проникает высоко в горы.

Окружающая среда – обобщенное понятие, характеризующее природные условия в конкретно избранном месте и экологическое состояние данной местности [98, 110]. С другой стороны, окружающая среда является сложной подсистемой (системой) в иерархической лестнице системы ВАДС с достаточно большим количеством элементов и с неоднозначными отношениями и связями между ними (рис.1.8).

Своеобразие окружающей среды в горных и высокогорных условиях обусловлена географической шириной и высотой н. у. м. Все факторы, указанные на рисунке так или иначе зависят от географической широты и высоты н. у. м.

Характерным и важным структурным компонентом окружающей среды для условий РТ является запыленность воздуха. По данным гидрометеорологической службы РТ, в период пыльных бурь-«афганцев» концентрация пыли в воздухе достигает до $1,98 \text{ г/м}^3$. Основным компонентом пыли является кварц, твердость которого от 3 – 10 раз превосходит твердость деталей ЦПГ ДВС.

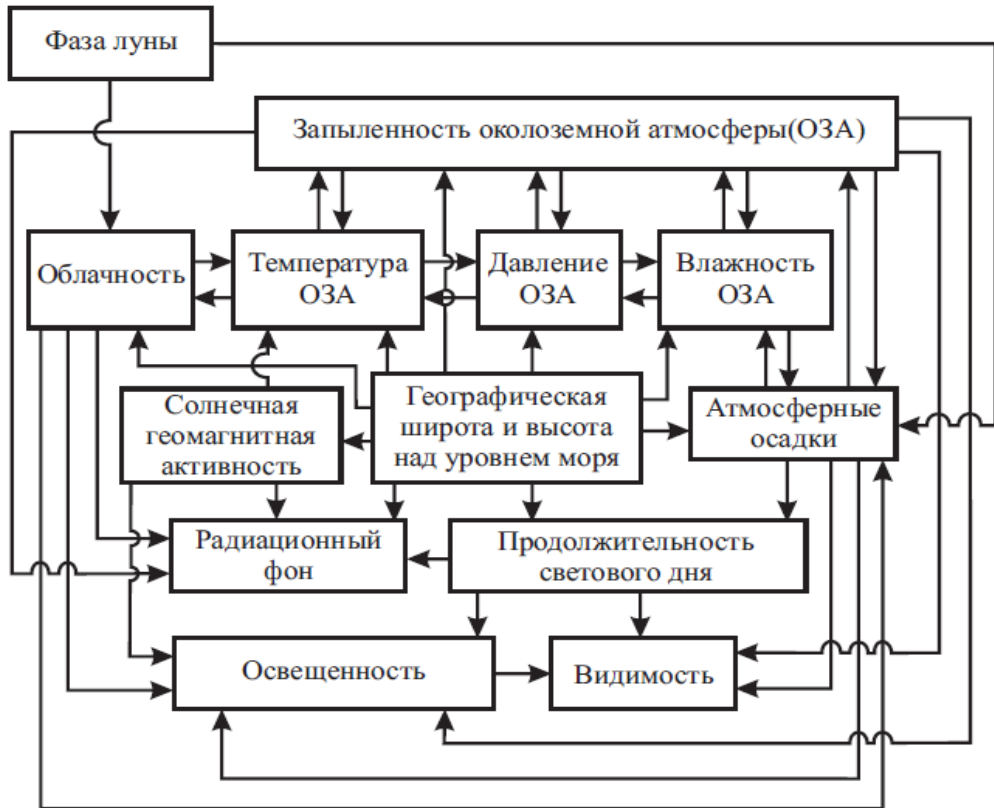


Рисунок 1.8 – Структура окружающей среды: (ОЗА – околоземная атмосфера)

Дисперсный состав пыли в горных регионах РТ распределяется неравномерно, и основная их масса, примерно 95%, составляют частицы пыли размером до 50 мкм (рис. 1.9, а и б) [110].

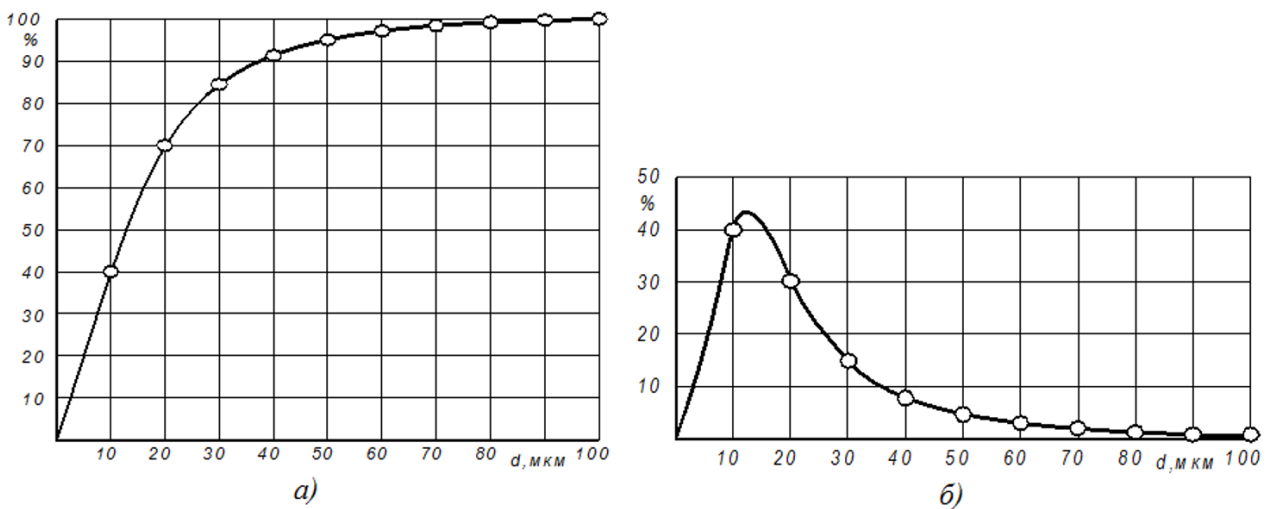


Рисунок 1.9 – Дисперсный состав пыли на строительстве ГТС в горных регионах РТ: а) – накопленный опытный дисперсный состав пыли; б) – опытная кривая распределения дисперсного состава пыли

Частицы пыли, размером до 20 мкм составляют 70% всего дисперсного состава, которые имеют относительно малую массу и значительно дольше удерживаются во взвешенном состоянии в околоземной атмосфере. Они трудно поддаются очистке и способствуют более интенсивному износу трущихся деталей ДВС и трансмиссии автомобиля.

Одним из малоизученных факторов в подсистеме «среда» является солнечная геомагнитная активность [110], которая существенным образом влияет на общую циркуляцию воздушных масс. Следовательно, она отражается на погоде и климате в целом. Установлено, что повышенная солнечная активность приводит к ухудшению или даже полному прекращению радиосвязи на освещённой стороне Земли и служит причиной отказов радиоэлектронных приборов управления автомобилем и дорожной инфраструктурой. Статистически установлена связь между уровнями солнечной и геомагнитной возмущённости и здоровьем человека, в частности, с увеличением количества сердечно-сосудистых кризисов. Все это, так или иначе, влияет на уровень надёжности системы ВАДС.

В результате кумулятивного влияния этих факторов почти на всей территории республики наблюдаются очень высокие летние температуры.

Разнообразие рельефа республики определяет характер ветрового режима. В горных районах средняя годовая скорость ветра достигает 5 – 6 м/с; на открытых равнинах и широких долинах, 3 – 4 м/с (Худжанд); в предгорьях до 3 м/с; в закрытых впадинах (Душанбе) и низинных районах не превышает 1 – 2 м/с. Характеристика ветра, вызванного циркуляцией воздушных масс, в горных долинах: ночью дует холодный ветер с гор, а днем – тёплый ветер имеет противоположное направление.

Крайности годовых колебаний температуры можно увидеть на примере Гиссарской, Вахшской долин и низовьях Кафирнигана.

Значительную роль в формировании климата Таджикистана играет его вертикальное зонирование. Из-за очень сильного вскрытия рельефа в климатических условиях соседних регионов наблюдаются большие различия. Сравнительно на небольшой территории, занимаемой республикой, существуют климаты,

характерные как для самых жарких стран, так и для крайне северных регионов СНГ (на озере Кара-Куль средняя годовая температура составляет $4,7^{\circ}\text{C}$).

Атмосферное давление имеет первостепенное значение, потому что именно оно влияет на все другие факторы, которые проявляются с изменением высоты н. у. м. Схема взаимосвязи между различными климатическими факторами в горах показана на рисунке 1.10.

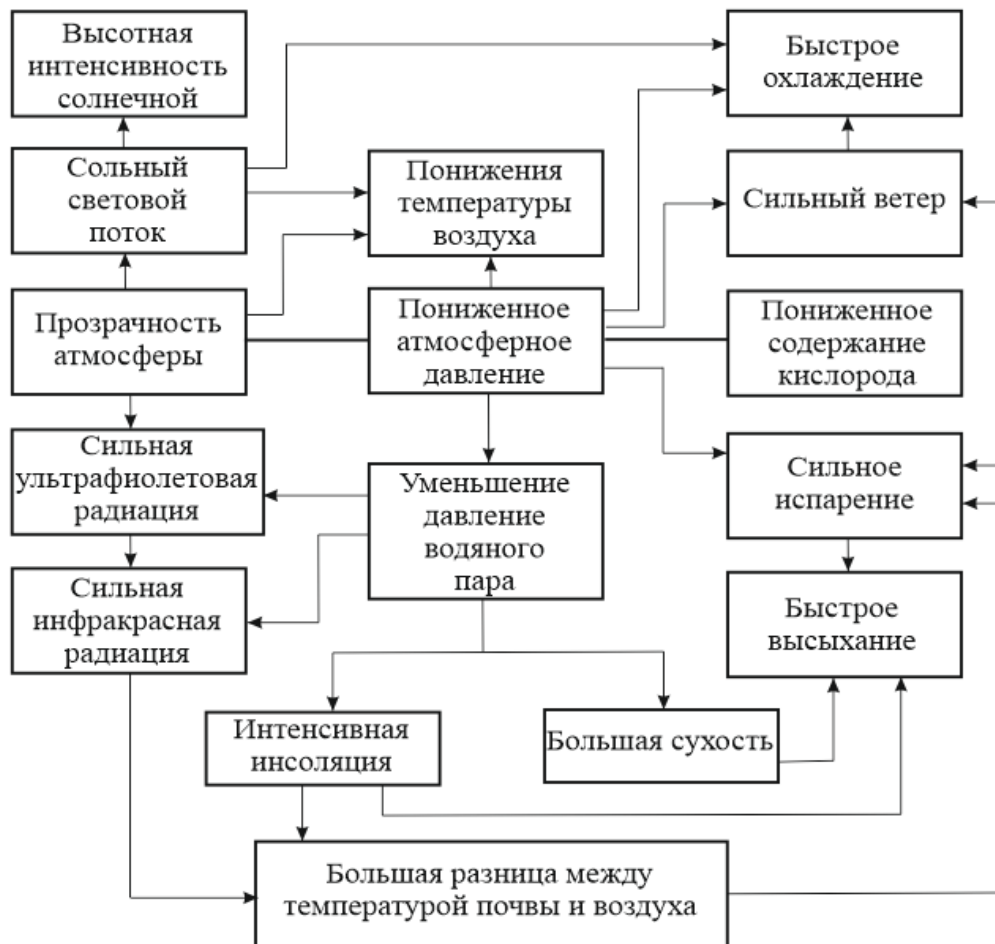


Рисунок 1.10 – Схема взаимосвязи между различными климатическими факторами в горных условиях

1.2.2 Характеристика дорожных условий

В начале 2018 года по данным Министерства транспорта РТ общая протяженность автомобильных дорог в РТ составляла 26559 км, из которых 14198 км – это дороги общего пользования, в том числе 5478,92 км национального

значения, 8719,08 км местные дороги (табл. 1.2). Число автомобильных туннелей составляет 5 единиц, общая длина которых составляет 17696 м., а количество галерей на автомобильных дорогах составляет 29 единиц, общая длина которых составляет 4627 метров.

Таблица 1.2 – Автомобильные дороги общего пользования РТ на 01.01.2018*

| № п/п | Регион | Протяжённость дорог общего пользования | | | | | | Всего | |
|---------------------|------------------|--|------|---------------------------|------|-------------------|------|--------|-------|
| | | международного значения | | республиканского значения | | местного значения | | | |
| | | км | % | км | % | км | % | км | % |
| 1 | г. Душанбе и РРП | 588,7 | 20,7 | 565,33 | 19,9 | 1686,1 | 59,4 | 2840,1 | 100,0 |
| 2 | Хатлонская обл. | 753,3 | 14,6 | 766,02 | 14,8 | 3641,5 | 70,6 | 5160,8 | 100,0 |
| 3 | Согдийская обл. | 732 | 21,0 | 413,8 | 11,9 | 2338 | 67,1 | 3483,8 | 100,0 |
| 4 | ГБАО | 1276,3 | 47,0 | 383,5 | 14,1 | 1053,5 | 38,8 | 2713,3 | 100,0 |
| Итого по Республике | | 3350,3 | 23,6 | 2128,7 | 15,0 | 8719,1 | 61,4 | 14198 | 100,0 |

* – составлена автором по материалам Министерства транспорта РТ.

Автомобильные дороги на территории РТ проложены на высотах от 300 (район Айвадж Хатлонской обл.) до 4655 м (перевал Ак-Байтал, ГБАО) н. у. м. [98]. Административно РТ подразделена на 3 области и на районы республиканского подчинения. Все эти административные единицы соединены между собой автомобильными дорогами через горные перевалы (рис.1.11) [83].



а)



б)

Рисунок 1.11 – Перевал «Ак-Байтал» зимой (а) и летом (б)

Таджикистан расположен на нескольких долинах, окруженных горными хребтами и соединенных между собой высокими перевалами (табл. 1.3). Эти долины отличаются между собой особенностью климата, высотой расположения н. у. м., дорожными условиями, уровнем запылённости воздуха и т.д. Если сравнивать, например, условия Вахшской и Аличурской долин, можно убедиться в том, что находясь на сравнительно небольшом расстоянии между собой, разница по высоте н. у. м. составляет свыше 3000 м, разница температур воздуха иногда достигать 70°C и выше, в разы отличается разреженность воздуха и т.д.

Таблица 1.3 – Характеристика горных перевалов автомобильных дорог на территории РТ

| Перевал | Горный хребет | Абсолютная высота н. у. м., м |
|-----------|-----------------|-------------------------------|
| Акбайтал | Музкол | 4655 |
| Кызыларт | Заалайский | 4280 |
| Койтезак | Южно-Аличурский | 4271 |
| Анзоб | Гиссарский | 3272 |
| Шахристан | Туркестанский | 3378 |
| Хобурабад | Дарвазский | 3270 |

Для выхода из транспортного тупика и установления круглогодичного автомобильного сообщения между административными образованиями в РТ за 25 лет независимости были построены четыре тоннеля через горные перевалы Анзоб, Шахристан, Шар-шар и Чормагзак, общей протяженностью около 17 км, что позволило значительно снизить уровень перепадов высот (табл. 1.4).

Таблица 1.4 – Тоннели через горные перевалы на территории РТ

| Перевал | Тоннель | Высота н. у. м., м | | Перепад внутри тоннеля, м | Длина тоннеля, м |
|-----------|-----------|--------------------|----------|---------------------------|------------------|
| | | с юга | с севера | | |
| Анзоб | Истиклол | 2664 | 2700 | 36 | 4996 |
| Шахристан | Шахристан | 2756 | 2629 | 127 | 5253 |
| Чормагзак | Хатлон | 1118 | 1199 | 81 | 4450 |
| Шар-шар | Озоди | 1181 | 1120 | 61 | 2223 |

Все построенные тоннели значительно повысили эффективность эксплуатации автомобилей, а также сократили протяженность автомобильных дорог, проложенных через горные перевалы. Например, тоннели Истиклол и Шахристан сократили протяженность автомобильной дороги Душанбе – Чанак на 70 км (с 450 км до 380 км).

Республиканские автомобильные дороги являются главными артериями, формирующими основную автомобильно-дорожную сеть. Несмотря на то, что на республиканские автомобильные дороги приходится 53% дорог общего пользования, на них приходится более 80% автомобильных перевозок. Эти дороги проиндексированы и включают 17 международных и 86 республиканских дорог [11]. Соответственно, именно эти автомобильные дороги обуславливают эффективность функционирования подвижного состава в РТ.

Плотность сети автомобильных дорог по РТ (около 100 км/тыс.км²) находится на уровне Киргизии (95 км/тыс.км²) и Узбекистана (чуть выше 100 км/тыс.км²). Это один из лучших показателей в Среднеазиатском регионе [106] (табл. 1.5).

Таблица 1.5 – Плотность сети автомобильных дорог

| № п/п | Страна | Площадь, кв. км | Население млн. чел. | Плотность автомобильных дорог | | | |
|-------|--------------|--------------------|------------------------|--------------------------------|--------------|---------------------------|--------------|
| | | | | Дороги международного значения | | Дороги общего пользования | |
| | | | | км/тыс.км ² | км/тыс. чел. | км/тыс.км ² | км/тыс. чел. |
| 1 | Таджикистан | 143 100 | 8 873 669 | 23,41 | 0,38 | 99,2 | 1,6 |
| 2 | Казахстан | 2 717 300 | 19 091 949 | 4,5 | 0,64 | 32,5 | 4,6 |
| 3 | Кыргызстан | 198 500 | 5 964 897 | 21 | 0,70 | 94,8 | 3,2 |
| 4 | Туркменистан | 488 100 | 5 528 627 | 4,5 | 0,4 | 49,2 | 4,3 |
| 5 | Узбекистан | 447 400 | 30 565 411 | 13,2 | 0,19 | 100,2 | 1,5 |
| 6 | Россия | 17 098 242 | 141 722 205 | - | - | 53,1 | 6,4 |
| 7 | Франция | 640 294 | 67 848 156 | 31,9 | 0,30 | 1 606,20 | 15,2 |
| 8 | Бельгия | 30 528 | 11 720 716 | 480,3 | 1,25 | 5 044,90 | 13,1 |
| 9 | США | 9 371 175 | 332 639 102 | 10,6 | 0,30 | 698,5 | 19,7 |
| 10 | Китай | 9 596 961 | 1 394 015 997 | 14,4 | 0,10 | 417,7 | 2,9 |

В республике большая часть автомобильных дорог (расположенные на высотах до 1000 м н. у. м.) эксплуатируются весьма интенсивно, обеспечивая при этом достаточно высокую эффективность функционирования системы ВАДС в условиях равнинного рельефа местности и низкогорья.

Сеть автомобильных дорог общего пользования, находящаяся под юрисдикцией Министерства транспорта РТ (14198 км), имеет различные типы покрытий: 4513 км с асфальтобетонным покрытием, 5799 км с гравийным и щебеночным обработанным покрытием, 2682 км с гравийным и щебеночным покрытием без обработки, а также 1204 км грунтовых дорог (табл. 1.6).

Таблица 1.6 – Дорожные покрытия (на 01.01.2018 г.)

| № п/п | Тип дорожного покрытия | Протяжённость дорог общего пользования | | | Всего |
|----------------------|--------------------------------------|--|---------------------------|-------------------|--------|
| | | международного значения | республиканского значения | местного значения | |
| 1 | Асфальтобетонные | 1754,0 | 909,9 | 1850,0 | 4513,0 |
| 2 | Гравийные, щебеночные обработанные | 1241,0 | 146,0 | 3812,0 | 5799,0 |
| 3 | Гравийные и щебеночные без обработки | 353,0 | 438,0 | 1891,0 | 2682,0 |
| 4 | Грунтовые | 2,0 | 36,0 | 1166,0 | 1204,0 |
| Итого, по республике | | 3350,0 | 2129,0 | 8719,0 | 14198 |

Процентное соотношение автомобильных дорог общего пользования РТ с различным материалом и типом покрытия приведены на рисунке 1.12.

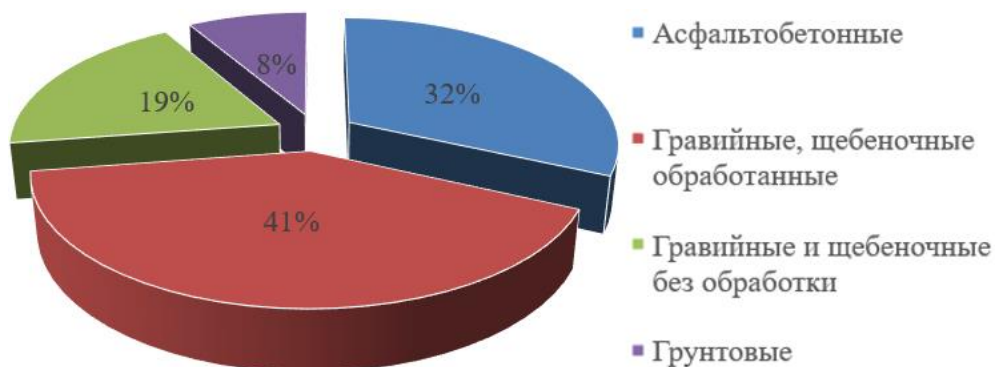


Рисунок 1.12 – Тип дорожного покрытия автомобильных дорог общего пользования по РТ

Несмотря на то, что показатели плотности сети автомобильных дорог в целом по РТ не очень высокие, по плотности автомобильных дорог, функционирующих в суровых горных и высокогорных условиях, республика занимает один из ведущих позиций не только в регионе, но и в мире (табл. 1.7).

Таблица 1.7 – Распределение протяженности автомобильных дорог общего пользования по высотам н. у. м.

| Значения дорог | Ед. изм. | Протяженность автомобильных дорог на высоте н. у. м. м | | | | | | Всего |
|--|----------|--|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------|
| | | от 300 до 500 | от 500 до 1000 | от 1000 до 2000 | от 2000 до 3000 | от 3000 до 4000 | от 4000 до 5000 | |
| Международные | км | 582 | 400 | 1394 | 197 | 496 | 237 | 3306 |
| | % | 4,1 | 2,8 | 9,8 | 1,4 | 3,5 | 1,7 | 23,3 |
| Республиканские | км | 506 | 484 | 500 | 487 | 118 | - | 2095 |
| | % | 3,6 | 3,4 | 3,5 | 3,4 | 0,8 | - | 14,7 |
| Местные | км | 1098 | 1970 | 2125 | 1560 | 952 | 1092 | 8797 |
| | % | 7,7 | 13,9 | 15,0 | 11,0 | 6,7 | 7,7 | 62,0 |
| Всего автомобильных дорог, общественного пользования | км | 2186 | 2854 | 4019 | 2244 | 1566 | 1329 | 14198 |
| | % | 15,4 | 20,1 | 28,3 | 15,8 | 11,0 | 9,4 | 100 |

Общее число перевалов на территории РТ насчитывает свыше 200, высота которых н. у. м. варьируют в очень широких пределах. Самый низкий перевал на территории РТ – это Дандан-Шикан высотой 384 м, а самый высокий – перевал Ямг, высота которого достигает 5376 м. Из общего количества перевалов около 20% относятся к горным, а остальное 80% – это высокогорные перевалы, в числе которых 8 высокогорных перевалов, высота которых превышает 5000 м (рис. 1.13) [83, 106].

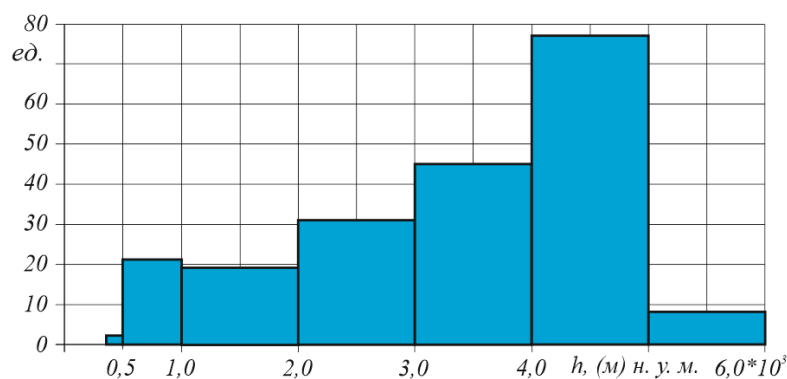


Рисунок 1.13 – Распределение горных перевалов на территории РТ по высотам н. у. м.

Немаловажной особенностью условий функционирования системы ВАДС в РТ, ограничивающей её высокую эффективность, является высокая плотность горных и высокогорных перевалов (рис. 1.14) [83, 106].

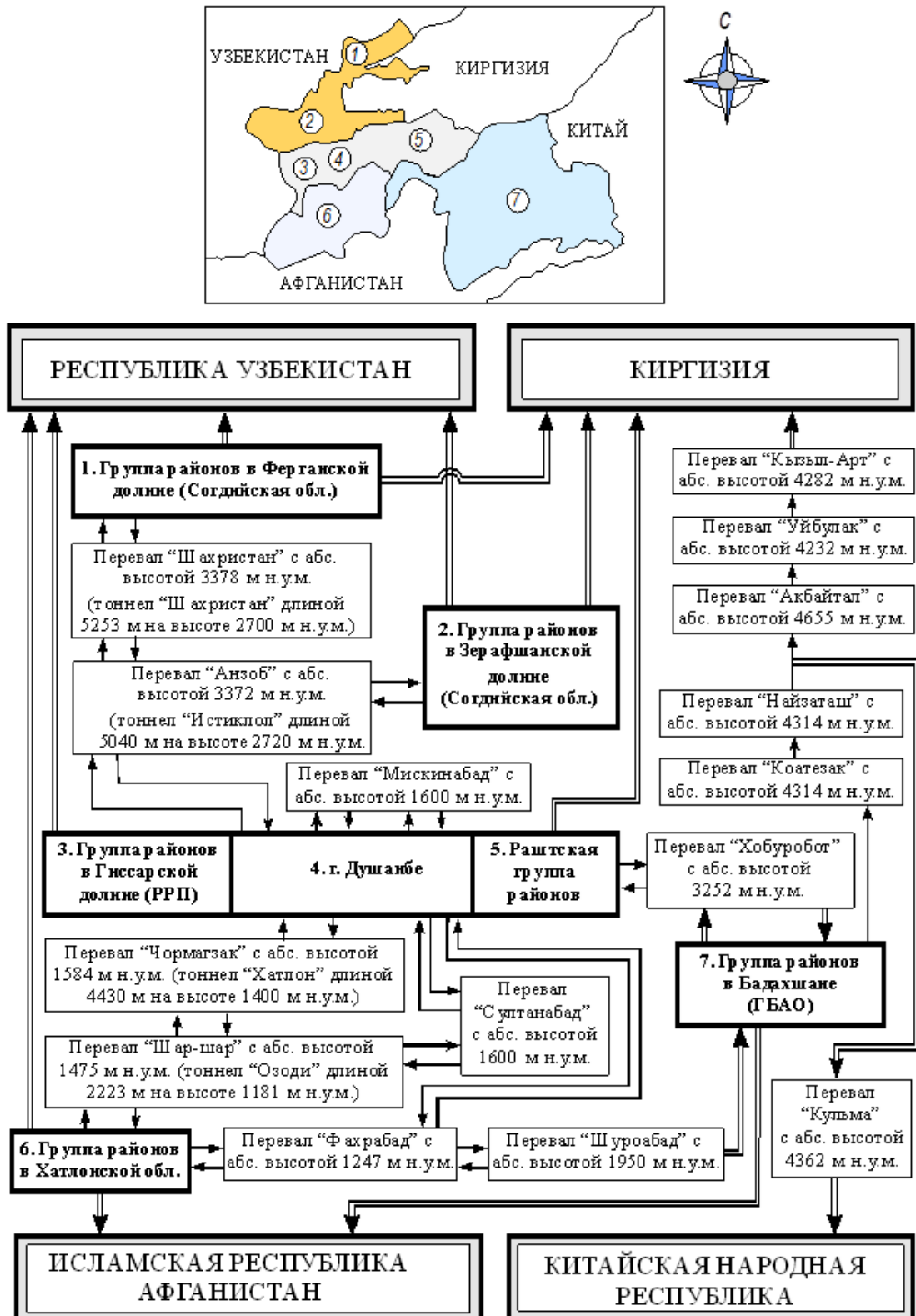


Рисунок 1.14 – Схема сети автомобильной коммуникации в РТ

Как следует из представленной схемы, все регионы республики имеют автомобильные сообщения, как между собой, так и с соседними государствами, проходящие через горные и высокогорные перевалы. Каждый из этих перевалов своеобразный, с различной сложностью геометрии и качеством дорожного покрытия, которое усугубляется с ухудшением погодных условий.

Специфические особенности горных автомобильных дорог оказывают значительное влияние на работоспособность автомобильного транспорта и на безопасность дорожного движения. Эксплуатация автомобилей на этих дорогах проходит в особо сложных условиях, характеризующихся повышенной опасностью, а дорожно-транспортные происшествия (ДТП) на горных дорогах имеют гораздо более серьезные последствия. Исследования показали, что смертность при ДТП на горных дорогах в среднем в 1,5 раза выше, чем смертность в низинных условиях [8, 36, 99].

Автомобильные дороги имеют сложную геометрию. Опасность езды по горным дорогам усугубляется частыми туманами, дождями, снегопадами, оползнями, следствием чего является резкое снижение видимости, заметное ухудшение управляемости автомобилем (рис. 1.15).

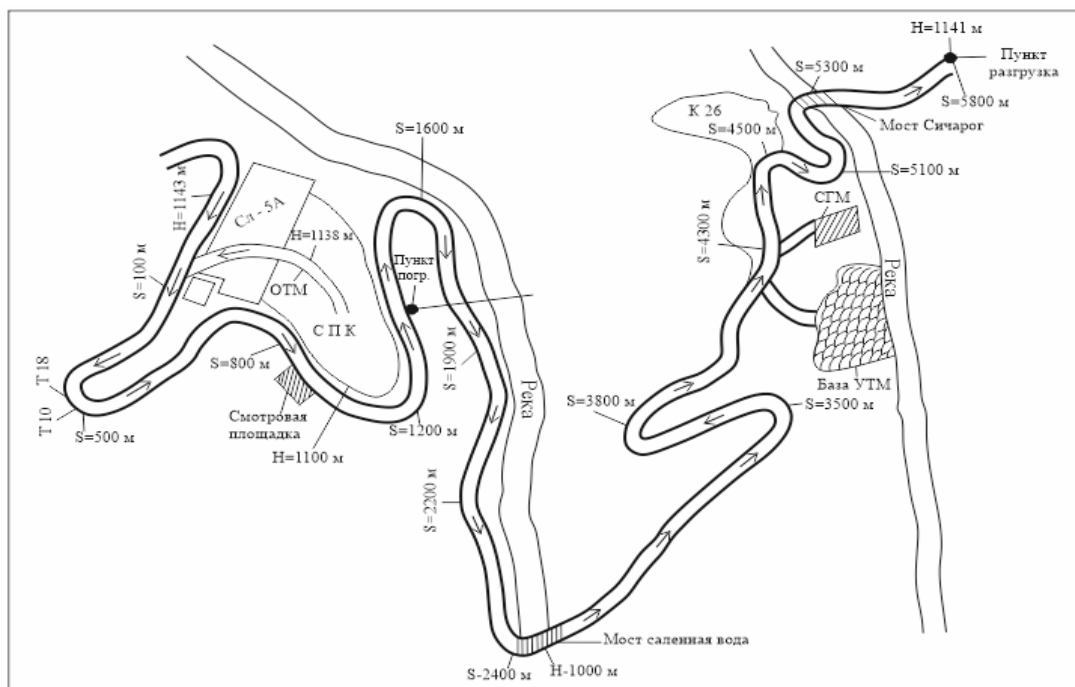


Рисунок 1.15 – Автомобильная дорога в горных условиях
(на примере маршрута Черкей-Сичарог)

Горные дороги РТ по уровню сложности приближаются к экстремальным и характеризуются достаточно большими продольными уклонами (местами до 10 – 12%) протяженностью до 30 км и более, частыми поворотами (иногда более 10 на 1 км пути), со сложной геометрией и закруглениями малых радиусов (до 8 – 10 м на уклонах), недостаточной шириной проезжей части и земляного полотна, плохой видимостью и недостаточной обзорностью (50 – 100 м) на отдельных участках.

Дальнейшее развитие дорожно-транспортного комплекса, как одного из важнейших секторов производственной инфраструктуры, является приоритетной задачей государственной политики на долгосрочную перспективу.

Основной целью развития дорожного сектора является создание благоприятных условий для ускорения социально-экономического развития РТ путем увеличения грузооборота, обеспечения потребностей секторов экономики и населения в транспортных услугах, повышения их качества, сокращения транспортных расходов и в конечном счете, обеспечение экономической безопасности страны [67, 120].

1.2.3 Характеристика автомобильного парка

В начале 2018 года (по данным Министерства транспорта РТ) парк подвижного состава состоял из 460209 автомобилей.

В РТ парк транспортных средств, работающих на высотах до 1000 м н. у. м., составляет приблизительно 85%, остальные 15% эксплуатируются на высотах выше 1000 м н. у. м.

Автомобильный транспорт в РТ, среди других видов транспорта отличается объемом перевозок, доля которого составляет 96,5% от общего их объема. Другими словами, объем автомобильных перевозок в 27,5 раза больше, чем у всех видов транспорта вместе взятых.

В общем количестве автомобильного парка РТ грузовые автомобили составляют 40201 единиц или 8,8%; автобусы и микроавтобусы – 14901 единиц или 3,2%;

легковые автомобили – 395764 или 86,0%; специальные и другие автомобили – 9343 единиц или 2%.

Информация о наличии и техническом состоянии подвижного состава по данным Министерства транспорта РТ по состоянию на 2018 г. приводится в табл. 1.8.

Таблица 1.8 – Техническое состояние подвижного состава по данным Министерства транспорта РТ на 2018 г.

| Техническое состояние | Подвижной состав | | | | |
|-----------------------|------------------|----------|----------|----------------------|--------|
| | грузовые | легковые | автобусы | специальные и другие | итого |
| Работоспособные | 29199 | 331794 | 12395 | 1805 | 375193 |
| Простаивают | 11002 | 245374 | 9447 | 2134 | 279069 |
| Общее количество | 40201 | 395764 | 14901 | 9343 | 460209 |

С ростом населения и спроса на автотранспортные услуги в Республике Таджикистан динамика роста транспортных средств остаётся достаточно высокой (рис. 1.16).

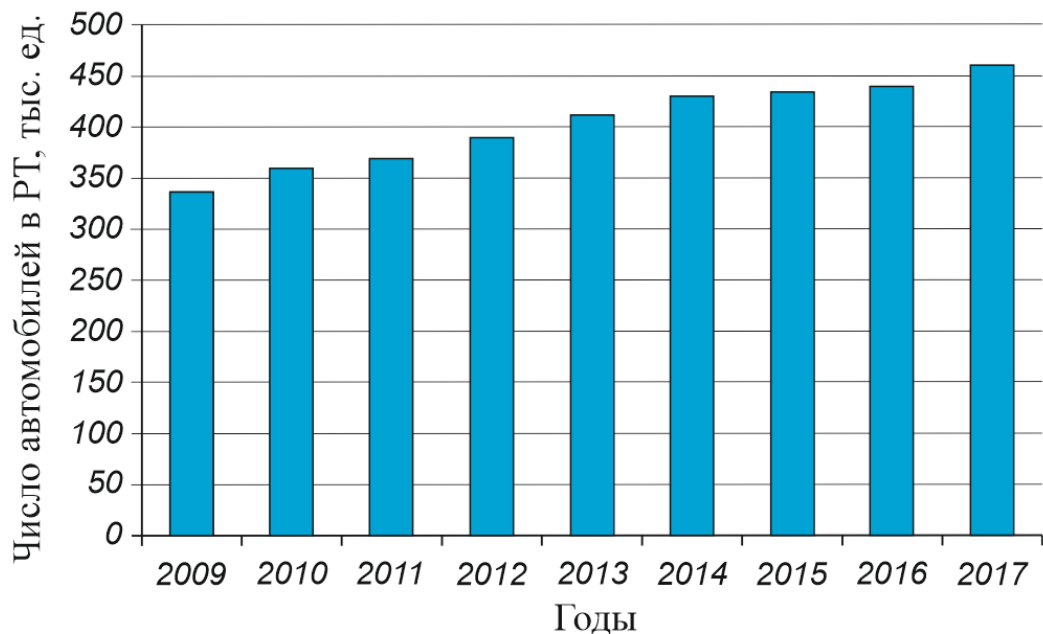


Рисунок 1.16 – Динамика роста транспортных средств по РТ

Отрицательной тенденцией в автотранспортной отрасли являются сокращение общего количества автомобилей-самосвалов и их тоннажа, активное старение парка подвижного состава, сокращение объемов работ, прежде всего в сфере перевозок товаров внешней торговли, несоответствие специализации и пропускной способности подвижного состава автомобильного транспорта по структуре и объемам внутренних и внешних грузовых перевозок.

При выполнении грузовых перевозок в горных карьерных условиях одним из главных элементов автомобиля, определяющих его надежность и технико-экономические показатели являются автомобильные шины. При этом автомобильная шина является наиболее уязвимым элементом, контактирующим с дорогой. Для автомобильных шин в горных карьерных условиях характерный интенсивное изнашивание рисунка протектора и механические повреждения.

Для грузовых автомобилей, в том числе для большегрузных автомобилей-самосвалов, эксплуатируемых в горных условиях РТ, к основным критериям, характеризующим интенсивность износа шин и их срока службы относятся: природно-климатические условия (температура окружающей среды, осадки и др.); дорожные условия; нагрузочный и скоростной режимы движения; мастерство (манера) вождения автомобиля (частота и характер маневров, ускорений и торможений); техническое состояние автомобиля, связанного с своевременностью и качеством проведения ТО и ремонта; качество используемой шины и др.

На основе анализа эксплуатации шин автомобилей-самосвалов в горных условиях выявлено снижение их нормативного пробега на 25%, что обусловлено влиянием сложных дорожно-климатических условий (рис. 1.17).

Аналогичные исследования по определению температуры шин большегрузных автомобилей-самосвалов БелАЗ-7540В были проведены в условиях карьерных дорог строительства Рогунской ГЭС.

Средние значения результатов измерений температуры поверхности шины (18.00-25) большегрузного карьерного автомобиля БелАЗ-7540В и параметров окружающей среды в условиях строительства Рогунской ГЭС приведены в табл. 1.9.

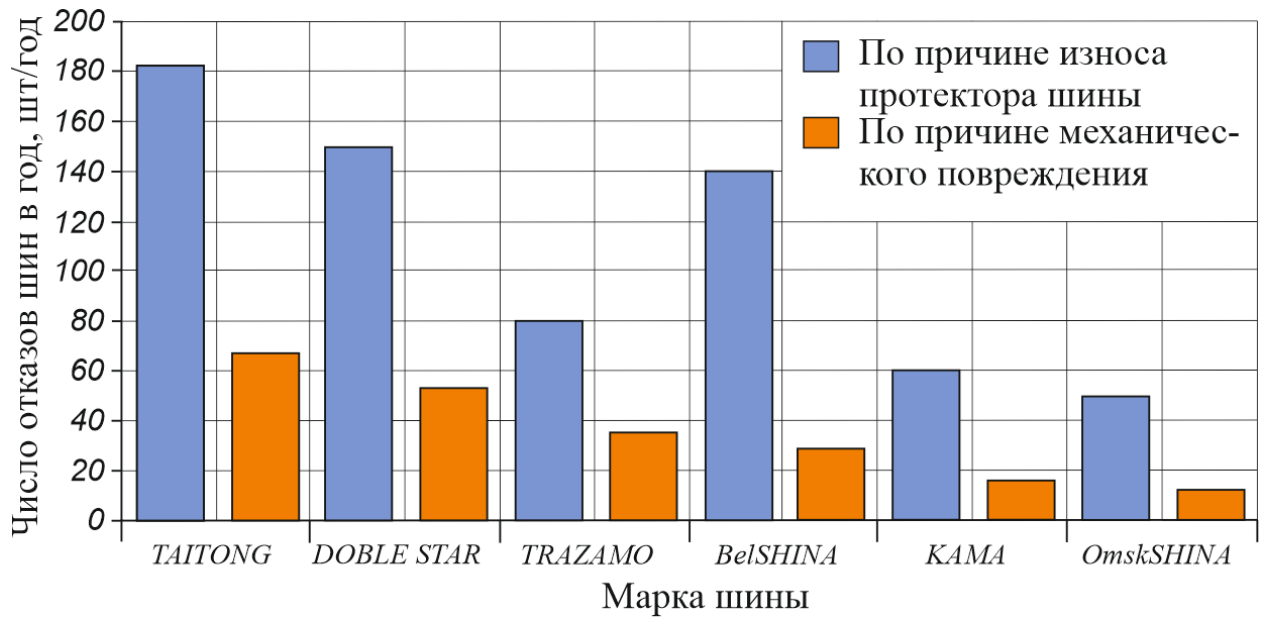


Рисунок 1.17 – Интенсивность отказов шин в условиях строительства Рогунской ГЭС

Таблица 1.9 – Результаты измерений среднего значения температур поверхности шин (18.00-25) большегрузных автомобилей-самосвалов БелАЗ-7540В и параметров окружающей среды в условиях строительства Рогунской ГЭС

| Показатель | Среднее значение |
|--|------------------|
| Температура поверхности автомобильной шины, °С | 78,6 |
| Температура воздуха, °С | 22,0 |
| Разница между температурами воздуха и автомобильной шины, °С | 56,6 |
| Относительная влажность воздуха, % | 40 |
| Атмосферное давление, мм. рт. ст. | 660 |

Другой характерной особенностью автотранспортной отрасли РТ является сравнительно низкая надежность грузовых автомобилей, эксплуатируемых в горных условиях.

В результате анализа данных о замене запасных частей построены графики распределения отказов в процентном отношении по соответствующим агрегатам, сборочным единицам и деталям автомобилей марки БелАЗ-7540В (рис. 1.18).

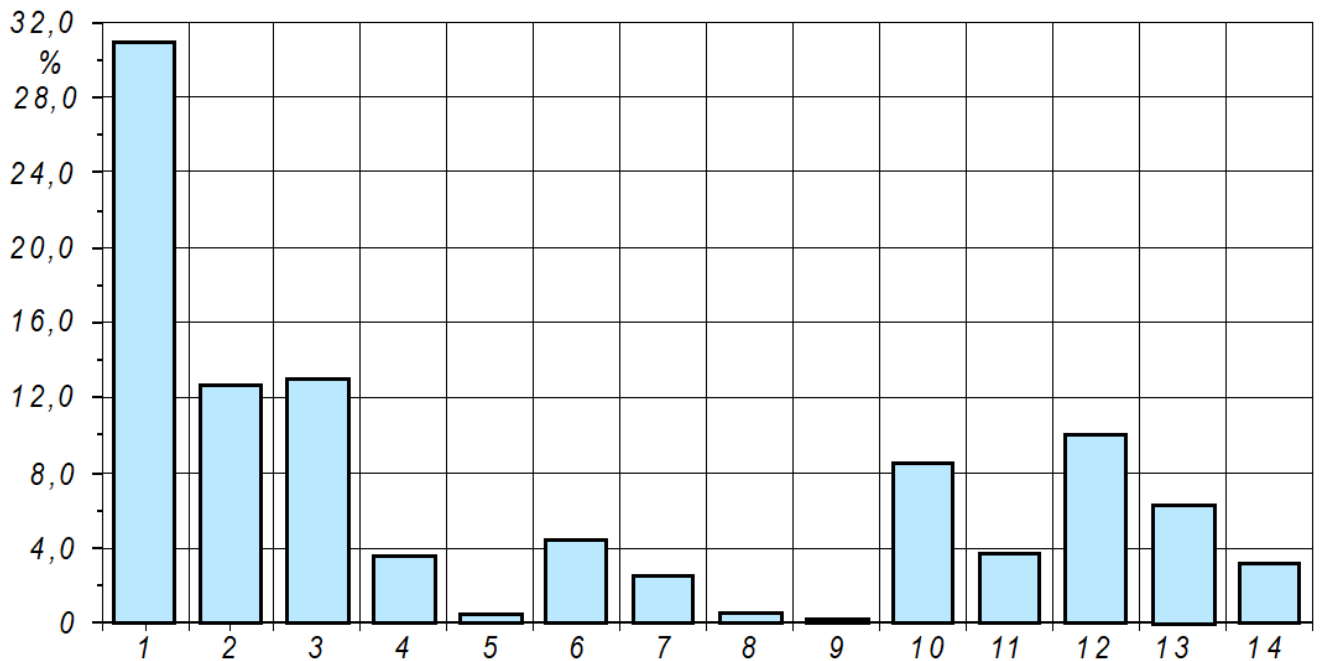


Рисунок 1.18 – Распределение потребности в запасных частях для автомобилей

марки БелАЗ-7540В, % (потребность в запасных частях для:

- 1– ДВС; 2 – система подачи топлива; 3 – электрооборудование автомобиля
 4 – гидромеханическая передача; 5 – передний мост; 6 – задний мост;
 7 – карданная передача; 8 – рулевое управление; 9 – система охлаждения;
 10 – тормозная система; 11 – подвеска; 12 – подшипники; 13 – автомобильные
 шины типоразмера 18.00-25; 14 – другие запасные части).

Как видно из графиков, приведенных на рисунке 1.18 наибольшее число замен запасных частей приходится на ДВС. Исследованиями установлено, что замена отказавшихся агрегатов, сборочных единиц и деталей ДВС у автомобилей марки БелАЗ-7540В составляет 30,9 %. Общий процент замены отказавших агрегатов, сборочных единиц и деталей ДВС и системы питания составляет 65,8%.

Другим важным фактором, влияющим на расход запасных частей в условиях эксплуатации автомобилей на строительстве ГТС в горных и высокогорных регионах РТ, можно считать отказы, связанные с системой питания. К факторам, влияющим на интенсивность отказов в системе питания ДВС можно отнести также высокий уровень запыленности воздуха, суровость климатических условий, а

иногда и низкое качество запасных частей и т. д. Согласно рис. 1.18 наибольшее потребление запасных частей приходится на двигатель, то есть он чаще других агрегатов находится в неисправном состоянии из-за перегрузок.

Надежность грузовых автомобилей, как важный показатель, формирующий эффективность функционирования системы ВАДС, можно оценивать по расходу запасных частей и материалов. Расход запасных частей и материалов зависят от большого количества факторов, которые можно разделить на четыре группы: структура подвижного состава, условия эксплуатации, организация ТО и ремонта, технология ТО и ремонта (рис. 1.19) [111].

Классификация существенно влияющих факторов на расход запасных частей и материалов, составлена преимущественно для грузовых автомобилей, эксплуатируемых в условиях высокогорья.

В сложных условиях движения по горным дорогам при частом торможении автомобиля происходит интенсивный нагрев деталей тормозного механизма, что ведет к ухудшению их фрикционных свойств и снижению эффективности всей тормозной системы.

Результаты исследований [94] показали, что при эксплуатации грузовых автомобилей в горных условиях эффективная мощность двигателя снижается на 20 – 25%, крутящий момент снижается в 1,2 – 1,3 раза. Время и путь разгона до заданной скорости увеличиваются в 2,0 – 2,5 раза, а путевой расход топлива возрастает на 28 – 32%.

В горных условиях в 5 – 6 раз возрастает нагрузка на низшие ступени трансмиссии, а максимальная скорость на высшей ступени уменьшается в два раза и средняя скорость движения грузовых автомобилей примерно на 35 – 40% ниже.

В структуре затрат автотранспортного предприятия (АТП) расходы на топливо составляет около 16%. Республика Таджикистан свои потребности в горюче-смазочных материалах в основном обеспечивает через экспорт нефтепродуктов из Российской Федерации, что требует строжайшей экономии топлива. Также необходимо отметить, что и снабжение АТП запасными частями и материалами идет из других стран. В этой связи установлено несоответствие

расхода запасных частей в горных условиях эксплуатации автомобилей существующим нормативам.

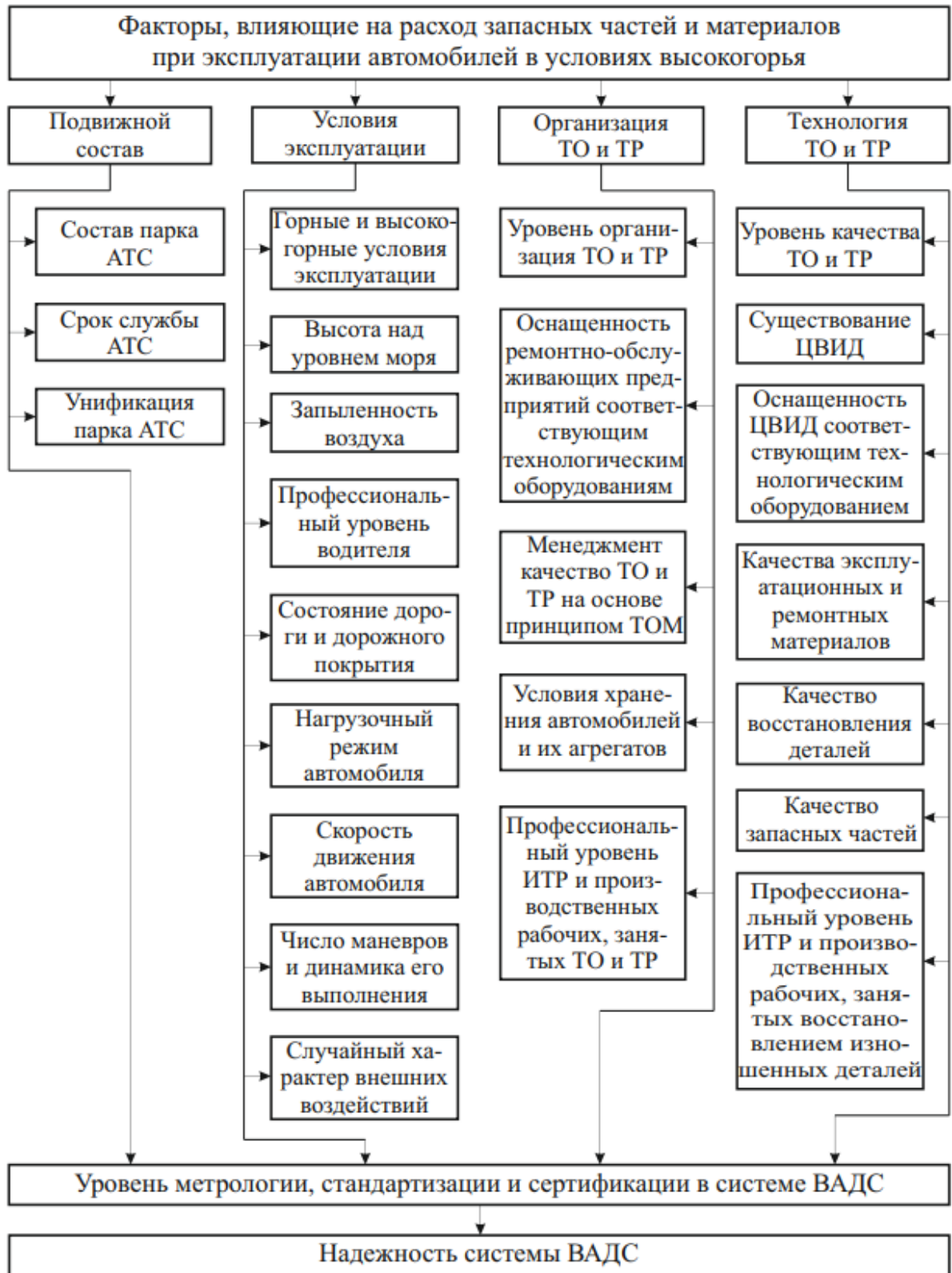


Рисунок 1.19 – Классификация факторов, влияющих на расход запасных частей материалов

Рассмотренные показатели элементов системы ВАДС отражаются на работе подсистемы «автомобиль» и формируют эффективность функционирования системы ВАДС (рис.1.20).



Рисунок 1.20 – Схема взаимосвязи между элементами системы ВАДС

1.2.4 Характеристика водительского состава

Особенностью системы ВАДС в РТ является то, что ее деятельность осуществляется в условиях, редко встречающихся в мировой практике, в горной и высокогорной местности в сочетании сухим жарким климатом.

В этих условиях водители подвергаются воздействию таких неблагоприятных факторов, как высокие внешние температуры летом и низкие зимой, интенсивное солнечное излучение, шум, вибрация, значительное загрязнение воздуха пылью и низкая влажность. Наиболее вредным для водителя считается их одновременное сочетание.

По мере увеличения высоты положения н. у. м. возрастают сила ветра, увеличивается интенсивность ультрафиолетового излучения, отмечается сильная ионизация атмосферного воздуха, температура воздуха снижается и уменьшается его влажность, что в целом отражается на физиологическом состоянии водителя.

Горные территории РТ, в зависимости от влияния внешней среды на человека, подразделяются на три зоны [77, 97]: удобная рекреационная зона (от 1000 до 2000 м н. у. м.); зона компенсированного дискомфорта (2000 – 4000 м. н. у. м.) и зона некомпенсированного дискомфорта (более 4000 м. н. у. м.).

По мере увеличения высоты рельефа наблюдается заметное уменьшение парциального давления воздуха, что влечет за собой кислородное голодание и, как следствие, возрастание усталости и раздражительности водителей, а также снижение работоспособности.

Исследования показывают, что средняя комфортная температура в кабине или пассажирском теле, обычно измеренная на уровне головы значительно зависит от температуры окружающего воздуха [2, 81].

В теплый и жаркий сезон в температура воздуха кабине (табл. 1.10) превышает 45 – 55°C. Передняя стенка кабины нагревается от двигателя до 60 – 85°C, а пол до 50 – 60°C. [97, 98].

Таблица 1.10 – Температурные режимы в кабинах машин при их эксплуатации в горных районах РТ.

| Район эксплуатации машин | Машины | Температура, °С | |
|------------------------------|--|-----------------------------|--------------------------|
| | | воздуха в кабине автомобиля | стенок кабины автомобиля |
| Рогунский ГЭС | Автосамосвалы | 45-50 | 60-70 |
| Нурекская ГЭС | Автосамосвалы | 51-52 | 65-75 |
| Конимансурское месторождение | Автосамосвалы | 45-48 | 70-75 |
| Вахшский канал | Автосамосвалы, экскаваторы, башенные краны, бульдозеры | 50-55 | 70-85 |

Согласно результатам исследования, влияние различных факторов внутри кабины на состояние водителей, является отрицательным [77]: температура в кабине (жарко – летом, холодно – зимой) 49% обследованных водителей; наличие токсичных газов (загрязнение воздуха выхлопными газами) – 60%; вибрация – 45%; шум – 56%.

По данным компании «Фароз» в РТ, существует 274 учреждения по подготовке водителей (табл. 1.11). В 2018 г. 65040 чел. получали водительские права.

Таблица 1.11 – Поквартальная подготовка водителей в 2018 г. (чел.) *

| Категория | Наименование региона | | | | | | | | | | | | | | | | Итого |
|--------------|----------------------|------|------|------|-----------------|------|------|------|-----------------|------|------|------|------|----|---|---|-------|
| | г. Душанбе | | | | Хатлонская обл. | | | | Согдийская обл. | | | | ГБАО | | | | |
| | В | С | Д | Е | В | С | Д | Е | В | С | Д | Е | В | С | Д | Е | |
| Первый | 2613 | 1252 | 632 | 265 | 2360 | 1170 | 534 | 205 | 3010 | 1274 | 874 | 529 | 60 | 0 | 0 | 0 | 14778 |
| Второй | 1811 | 938 | 569 | 375 | 2079 | 904 | 384 | 304 | 2599 | 1111 | 766 | 530 | 60 | 0 | 0 | 0 | 12430 |
| Третий | 3851 | 1544 | 629 | 326 | 3152 | 1435 | 611 | 357 | 3245 | 1643 | 809 | 390 | 60 | 0 | 0 | 0 | 18052 |
| Четвертый | 3643 | 1840 | 683 | 343 | 3656 | 1428 | 540 | 212 | 3663 | 2270 | 930 | 492 | 30 | 30 | 0 | 0 | 19760 |
| Всего за год | 11918 | 5574 | 2513 | 1309 | 11247 | 4937 | 2069 | 1078 | 12517 | 6298 | 3379 | 1941 | 210 | 30 | 0 | 0 | 65020 |

* составлена автором по материалам компании «Фароз» в РТ

Опыт, который появляется у водителя со временем, является важным, а иногда и решающим фактором, характеризующим его квалификацию, как элемента системы ВАДС [90]. Количество водителей большегрузных автомобилей БелАЗ-7540В по классности и стажу работы, занятых на ДАО «Основное строительство Рогунской ГЭС» представлено на рисунке 1.21.

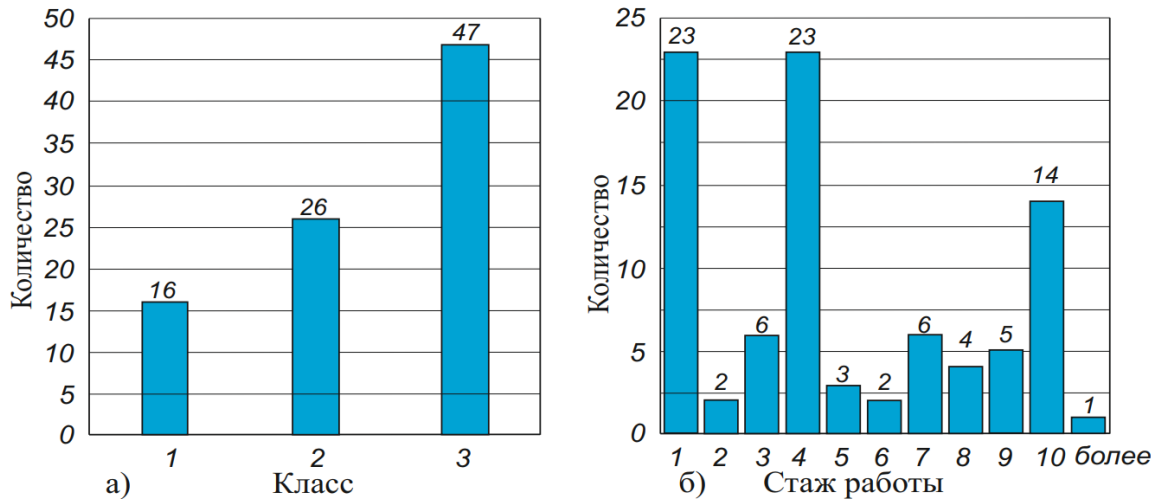


Рисунок 1.21 – Число водителей большегрузных автомобилей БелАЗ-7540В, занятых на «Основное строительство Рогунской ГЭС» по классности (а) и стажу работы (б)

Гистограммы (рис 1.21) свидетельствуют о том, что водители, работающие на строительстве ГЭС преимущественно невысокой квалификации и с малым стажем работы. Лишь 16 водителей из 89 имеют 1 класс и 26 – 2 класс. 54 водителя имеют стаж работы 1 – 4 года, и только 14 водителей с 10-летним стажем. Такие низкие показатели качественного состава водителей обуславливают и низкие показатели использования автомобилей.

1.3 Цели и задачи исследования

Целью диссертационной работы является разработка концептуальной модели функционирования автомобилей-самосвалов в горных условиях РТ и формирование на ее основе рекомендаций по снижению энергетических затрат.

В соответствии с поставленной целью в диссертационной работе решаются следующие задачи:

1. Анализ условий функционирования элементов системы ВАДС в горных условиях РТ.

2. Разработка концептуальной модели системы ВАДС с учетом специфики использования автомобилей-самосвалов при строительстве ГЭС.

3. Адаптация методики оценки свойств самоочищаемости шин для автомобилей-самосвалов, эксплуатируемых при строительстве ГТС.

4. Проведение экспериментальных исследований по определению эксплуатационных свойств автомобилей-самосвалов с различными видами трансмиссий в горных условиях эксплуатации.

5. Обобщение результатов теоретических и экспериментальных исследований и разработка рекомендаций по снижению энергетических затрат автомобилей-самосвалов и по конструктивному исполнению элементов ходовой части.

1.4 Основные выводы по разделу

На основе исследований снижения энергетических затрат автомобилей-самосвалов при функционировании системы ВАДС в горных условиях сделаны следующие выводы:

1. Показатели окружающей среды горных условий Таджикистана относятся к жестким и суровым категориям. Эта особенность накладывает на остальные элементы системы ВАДС дополнительные нагрузки.

2. Автомобильные дороги геометрически сложные: с подъемами, уклонами, насыщены перевалами. Радиусы кривых закруглений дорог, в основном малые, в пределах 35 – 50 м. Дороги в основном грунтовые с щебеночно-гравийным покрытием. Около 72% поверхности дорог находятся в плохом или очень плохом состоянии (ямы, выбоины, бугорки, большие перепады высот неровностей и т.д.).

3. В условиях эксплуатации автомобилей-самосвалов на строительстве ГТС в горных и высокогорных регионах РТ количество отказов существенно отличаются от среднего количества отказов конкретных моделей автосамосвалов. Большое количество отказов приходится на ДВС, на тормозную систему, и на осветительные лампы, что определяется суровостью и чрезмерным динамизмом условий эксплуатации. Результаты анализа данных по расходу запасных частей могут быть

использованы при оценке эффективности автомобилей в конкретных условиях эксплуатации.

4. На строительстве Рогунской ГЭС водители часто находятся в дискомфортных условиях, так как в летные месяцы температура внутри кабины доходит 45 – 55°C. Доля водителей *I* класса составляет всего 17,9% от общего их количества. Основную долю составляют водители *III* класса, то есть водители с первоначальным и средним уровнем подготовки и со стажем работы от 1 до 4 лет. Лишь 15,7% водителей имеют стаж работы более 10 лет.

5. Суровый характер природно-климатических условий горных регионов РТ не благоприятствует снижению энергетических затрат автомобилей-самосвалов, а также повышению эффективности функционирования системы ВАДС.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ВАДС В ГОРНЫХ УСЛОВИЯХ

2.1 Расчет тягово-скоростных характеристик автомобилей, используемых на строительстве Рогунской ГЭС

При проведении расчета тягово-скоростных характеристик и мощностного баланса автомобиля имеем дело с тремя видами параметров: заданными, выбираемыми и расчетными [69, 117].

Параметры, определяемые техническим заданием: тип автомобиля, грузоподъемность m_{gp} , максимальная скорость V_{max} автомобиля и соответствующее значение коэффициента сопротивления дороги ψ , тип двигателя (дизель), колесная формула.

Используемые параметры: снаряженная масса автомобиля m_o , лобовая площадь F , распределение массы по осям груженого автомобиля, угловая скорость коленчатого вала ω_N двигателя при максимальной мощности N_{max} , механический коэффициент полезного действия (КПД) трансмиссии η_{mp} , коэффициент аэродинамического сопротивления C_x , передаточные числа главной передачи U_o , коробки передач U_{kn} и раздаточной коробки U_{pk} , а также зависимости: внешняя скоростная характеристика двигателя; тяговая характеристика автомобиля и силовой баланс; динамическая характеристика автомобиля; зависимости ускорения, времени и пути разгона от скорости автомобиля; мощностной баланс; топливно-экономические характеристики автомобилей. Величины этих параметров выбираются на основании экспериментов и статистических данных по типам автомобилей, в соответствии с их техническими характеристиками.

Исходные данные для тягового расчета. Для выполнения расчета тягово-скоростных характеристик и мощностного баланса автомобиля необходимо определить снаряженную массу грузового автомобиля m_o . На первом этапе ее находят ориентировочно, задуманной конструктором компоновки грузовых автомобилей на основе накопленного статистического материала, то есть опираясь

на среднюю величину отношения грузоподъемности m_{gp} к снаряженной массе m_c (табл. 2.1).

Таблица 2.1 – Общие технические характеристики автомобилей

| Параметры (ед. изм.) | Марка автомобиля | | | |
|--|------------------|----------|-------------|---------------------|
| | КамАЗ-5511 | МАЗ-5549 | БелАЗ-7540В | SHACMAN-SX3258DR384 |
| Грузоподъемность, т | 10 | 8 | 30 | 25 |
| Собственная масса, т | 9 | 72,35 | 22,6 | 14,135 |
| Полная масса, т | 19,15 | 15,35 | 52,6 | 39,135 |
| Объем кузова, м ³ | 6,6 | 5,7 | 15,1 | 19,3 |
| Габаритные размеры, м: | | | | |
| длина | 7,12 | 7,25 | 7,11 | 8,33 |
| ширина | 2,5 | 2,5 | 3,86 | 2,49 |
| высота | 2,7 | 2,72 | 3,93 | 3,45 |
| Минимальный радиус поворота, м, | 9 | 7,5 | 8,7 | 9 |
| Двигатель: модель | КамАЗ-740 | ЯМЗ-236 | ЯМЗ-240М2-1 | WEICHAИ WP10 |
| Максимальная мощность двигателя, кВт | 146 | 132 | 265 | 247 |
| Максимальный крутящий момент двигателя, Нм | 667 | 667 | 1275 | 1200 |
| Частота вращения коленчатого вала, соответствующая максимальному крутящему моменту, об/мин | 2600 | 2200 | 2300 | 2300 |
| Максимальная скорость, км/ч | 80 | 75 | 50 | 77 |
| Трансмиссия: тип | МТ | МТ | ГМТ | МТ |
| Передаточные числа главной передачи | 5,80 | 5,26 | 3,16 | 5,73 |
| Коробка передач | I-V | I-V | I-III | I-IX |
| Передаточные числа ступеней: | | | | |
| - I | 7,82 | 5,26 | 2,46 | 12,11 |
| - II | 4,03 | 2,90 | 1,43 | 8,08 |
| - III | 2,50 | 1,52 | 0,70 | 5,93 |
| - IV | 1,53 | 1,00 | | 4,42 |
| - V | 1,00 | 0,66 | | 3,36 |
| - VI | | | | 2,41 |
| - VII | | | | 1,76 |
| - VIII | | | | 1,32 |
| - IX | | | | 1,00 |
| Размер шины | 260R508 | 300R508 | 18.00-25 | 12.00R20 |
| КПД трансмиссии | 0,92 | 0,92 | 0,84 | 0,90 |

Анализ общих конструктивных особенностей позволяет установить их влияние на эксплуатационные свойства и эффективность использования автомобилей в различных дорожно-климатических условиях. На данный момент не в полной мере исследованы вопросы, относящиеся к сравнительной оценке эффективности большегрузных карьерных автомобилей, оснащенных механической и гидромеханической трансмиссиями, эксплуатируемыми в горных карьерных условиях [2, 35].

Эффективность функционирования грузовых автомобилей в горных условиях определяется, в основном, их производительностью, расходом топлива на единицу перевозимого груза, надежностью, а также экономическими и экологическими показателями. Все перечисленные факторы, определяющие эффективность функционирования автомобиля, зависят от их конструктивных особенностей, в частности от конструкции трансмиссии, которая в различной степени проявляет себя в зависимости от дорожных и климатических условий эксплуатации, а также от мастерства управления автомобилем.

На строительстве Рогунской ГЭС используются автомобили с механической и гидромеханической трансмиссиями. Автомобили с гидромеханической трансмиссией (ГМТ) наряду со многими достоинствами обладает существенным недостатком: низким КПД. И, как показывает таблица 2.1, они уступают по динамическому фактору автомобилю с механической трансмиссией. Для автомобилей с механической трансмиссией (МТ), эксплуатируемых в горных условиях, характерно чрезмерное буксование сцепления с как следствие – сгорание фрикционных накладок.

2.2 Модель оценки эффективности функционирования системы ВАДС в горных условиях

Вопрос оценки эффективности системы ВАДС будем рассматривать на основе методологии системного подхода, которая является объективной необходимостью познания функционирования больших и сложных систем.

Системный подход означает системный анализ объекта, то есть всестороннее рассмотрение объекта как системы с учетом всех факторов, определяющих его функционирование [92]. Основным принципом системного подхода являются представление объекта исследования как системы и всеобъемлющее рассмотрение данного объекта с учетом основных факторов, определяющих его функционирование.

Системный подход предполагает последовательный переход от общего к частному, выделению объекта исследования из системы для достижения цели исследования. При этом выделяют внутренние и внешние связи, образующие основные признаки системы [38, 39, 104].

Существуют множество формулировок понятия «система» [118], в соответствии с которыми система ВАДС обладает всеми свойствами системы: целостность, делимость, коммуникативность, динамичность, устойчивость. Поэтому в нашем определении система ВАДС – это совокупность подсистем, находящихся во взаимодействии и образующих целостность, способствующую выполнению работы для удовлетворения потребностей человека.

Схема функционирования системы ВАДС представлена на рисунке 2.1 [104].

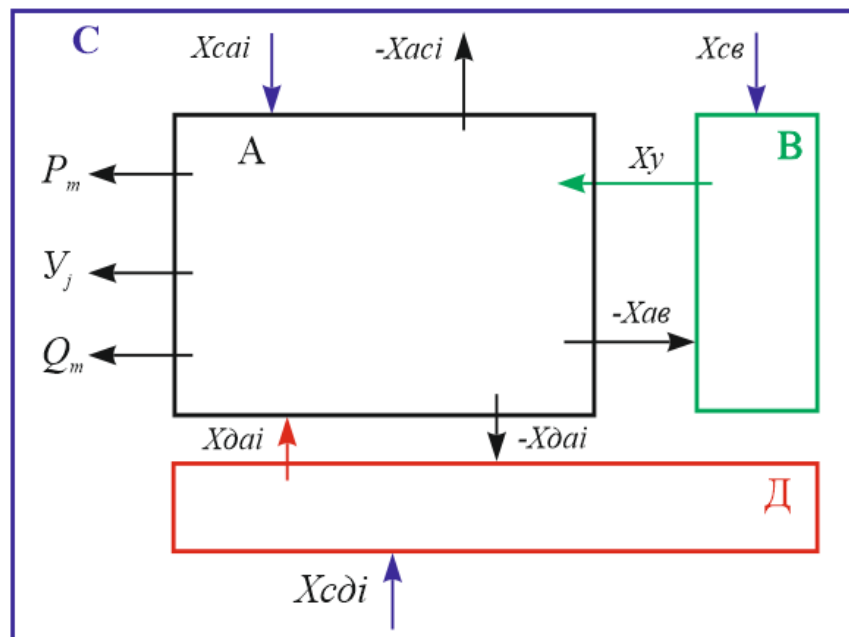


Рисунок 2.1 – Схема функционирования системы ВАДС

Активным элементом является автомобиль (А), который представляет собой техническую систему. Управляет этой технической системой водитель (В) как биологическая система. Эта совокупность строго называется «человеко-машинная» (либо, «био-техническая») система. Другим элементом системы является дорога или опорная поверхность (Д). И все это охватывает окружающая среда (С), являющаяся экологической системой. Все перечисленное будут подсистемами в открытой системе ВАДС. Таким образом, система ВАДС является смешанной системой.

Воздействующие на автомобиль факторы: X_{cai} – факторы окружающей среды (метеорологические, солнечная активность, высота н. у. м., плотность воздуха, запылённость воздуха и т.д.); X_y – управляющие автомобилем действия водителя; X_{dai} – дорожные факторы; X_{cdi} – факторы окружающей среды, воздействующие на состояние дороги; X_{ce} – факторы окружающей среды, воздействующие на состояние водителя; $-X_{aci}$ – загрязнение окружающей среды; $-X_{ae}$ – воздействие автомобиля на водителя; $-X_{dai}$ – воздействие автомобиля на дорогу.

Выходные показатели автомобиля: Y_j – эксплуатационные параметры (тяговое усилие, расход топлива, т.д.).

Функционирование системы можно выразить в операторной форме

$$Y_j = A(X_{ki}), \quad (2.1)$$

где A – оператор (автомобиль); X_{ki} – входящие в оператор факторы; Y_j – выходящие из оператора факторы (тягово-скоростные свойства автомобиля, расход топлива и т.д.).

Математическая модель динамики подсистемы автомобиль

$$Y_j(t) = f(X_{ki}(t)) \quad (2.2)$$

Целевая функция – это количественная мера эффективности автомобиля (эксплуатационная, энергетическая и т.д.). В данном случае целевая функция выражается уравнением

$$U = f(Y_1, Y_2 \dots Y_j). \quad (2.3)$$

Целевыми показателями эффективности автомобиля, кроме производительности, грузоподъемности, приведенных затрат и т.д. выбраны показатели топливной экономичности и тягово-скоростных свойств, которые зависят от элементов системы ВАДС.

Существуют множество показателей эффективности автомобилей: себестоимость перевозок в конкретных условиях эксплуатации; приведенные затраты на перевозки; производительность; энергоемкость перевозки; трудоемкость [15, 16, 19].

Из приведенных показателей интегральным является показатель энергоемкости перевозки, так как он характеризует количество затраченной энергии на совершение грузоперевозки автомобилем. Энергоемкость определяется из отношения

$$\mathcal{E} = Q \cdot \rho \cdot \lambda, \quad (2.4)$$

где Q – количество топлива, израсходованного на грузоперевозку, л/ткм; ρ – плотность топлива, кг/л; λ – теплотворная способность топлива, Дж/кг.

В зависимости от единиц измерения величин, входящих в уравнения, энергоемкость грузоперевозок выражается в Дж/ткм.

Этот показатель можно применить для сравнительной оценки эффективности различных грузовых автомобилей.

Предложенная схема функционирования системы ВАДС (рис. 2.1) показывает, что окружающая среда охватывает все другие элементы системы, воздействуя на них в виде природно-климатических условий.

Затраты энергии автомобилем на перевозку грузов можно выразить в виде:

$$\mathcal{E}_a = P_T \cdot S = A_{II}, \quad (2.5)$$

где P_T – тяговое усилие автомобиля, Н; S – проходимый путь, м; A_{II} – количество полезно преобразованной тепловой энергии в системе ВАДС, Дж.

Согласно уравнению силового баланса, [58, 104, 128, 148] тяговая сила на ведущих колесах автомобиля определяется из выражения

$$P_T = P_k + P_n + P_u + P_e, \quad (2.6)$$

где P_k – сила сопротивления качению автомобиля, Н; P_n – сила сопротивления при подъеме, Н; P_u – сила инерции поступательно движущихся и вращающихся масс автомобиля, Н; P_v – сила сопротивления воздуха, Н.

Сила сопротивления качению автомобиля определяется из выражения

$$P_k = f_k \cdot \cos \alpha \cdot G_a, \quad (2.7)$$

где G_a – полный вес автомобиля, Н; f_k – коэффициент сопротивления качению колес, который зависит от типа и состояния дорожного покрытия, от типа и конструкции шины, расположения слоев корда, рисунка протектора, жесткости материала шины и давления воздуха в шине.

Сила сопротивления качению автомобиля является величиной непостоянной, она зависит от множества факторов (конструктивных, функциональных и эксплуатационных), а также от условий движения автомобиля и может меняться в достаточно широком диапазоне. В частности, она зависит от применяемых на автомобилях шин. Так, например, уменьшение числа слоёв корда, высота рисунка протектора и применение в шине синтетических материалов с малыми гистерезисными потерями способствует снижению сопротивления качению, а снижение давления в шине или увеличение скорости движения автомобиля – его увеличению.

Анализ эмпирических методов [4, 10, 18, 75] определения коэффициента сопротивления качению показал, что они основаны на аппроксимации экспериментальных данных, полученных при взаимодействии шин с опорной поверхностью. В общем случае уравнение аппроксимации имеет вид

$$f_k = f_o (1 + A \cdot V^2), \quad (2.8)$$

где f_o – коэффициент сопротивления качению при малой скорости и зависящий от конструктивных и нагрузочных характеристик шины (для гравийных дорог $f_o = 0,020 - 0,025$); A – коэффициент влияния скорости (для грузового автомобиля принимается из диапазона $2 \dots 3 \cdot 10^{-5}$) [75]; V – скорость движения автомобиля, км/ч.

Сила сопротивления подъему определяется из выражения

$$P_n = G_a \cdot \sin \alpha, \quad (2.10)$$

где α – угол преодолеваемого подъема дороги, град.

Обычно, при небольших углах подъема, не превышающих 6° принимают

$$\sin \alpha = \operatorname{tg} \alpha = i, \quad (2.11)$$

где i – уклон дороги.

Для удобства расчетов, пользуются суммарным коэффициентом сопротивления дороги ψ , который учитывает суммарные потери энергии.

Суммарный коэффициент сопротивления дороги для условий эксплуатации большегрузных автомобилей-самосвалов в горных и высокогорных карьерах равняется.

$$\psi = f_k \cdot \cos \alpha \pm \sin \alpha. \quad (2.12)$$

Тогда, силу сопротивления дороги можно определить следующим образом

$$P_o = \psi \cdot G_a = (f_k \cdot \cos \alpha \pm \sin \alpha) \cdot G_a \quad (2.13)$$

Сила инерции поступательно движущихся и вращающихся масс автомобиля определяется из выражения

$$P_u = \pm m_a \cdot \delta_{ep} \cdot \frac{dv}{dt} \cdot \cos \alpha, \quad (2.14)$$

где m_a – полная масса автомобиля, кг; δ_{ep} – коэффициент учета вращающихся масс автомобиля; dv/dt – ускорения автомобиля, м/с².

Коэффициент учета вращающихся масс автомобиля определяется из выражения

$$\delta_{np} = 1,04 + 0,05 \cdot U_{kn}^2. \quad (2.15)$$

Следует отметить, что при скоростях движения автомобиля $V \leq 20$ км/ч в расчетах допускается силой сопротивления воздуха пренебречь. Средняя скорость движения большегрузных самосвалов в условиях карьеров, как правило, не превышает указанной величины.

С учетом вышеизложенного, а также выражений (2.13) и (2.14) уравнение тягового баланса (2.6) большегрузного автомобиля, эксплуатируемого в условиях

высокогорного карьера, можно выразить в следующем виде

$$P_T = P_\delta + P_u = G_a \cdot (f \cos \alpha \pm \sin \alpha) \pm m_a \cdot \delta_{ep} \cdot \frac{dv}{dt} \cdot \cos \alpha. \quad (2.16)$$

Подставляя значение тягового усилия автомобиля из выражения (2.16), выражение (2.5) можно переписывать в следующем виде [104]:

$$\mathcal{E}_{H_a} = (G_a \cdot \psi \pm m_a \cdot \delta_{ep} \cdot \frac{dv}{dt} \cdot \cos \alpha) \cdot S, \quad (2.17)$$

где S – проходимый путь, км;

2.3 Влияние горных дорог на тягово-скоростные свойства автомобилей

В системе ВАДС, при прочих равных условиях, автомобильная дорога выступает доминирующим элементом (фактором), формирующим эффективность ее функционирования. Это в двойне значимо при эксплуатации большегрузных автомобилей в горных карьерных дорогах.

Известно, что затраты на сооружение и содержание технологических автодорог карьеров варьируются в пределах 5 – 8% от затрат на транспортирование горной массы автотранспортом, или 1,5 – 4,0 % от полной стоимости открытой добычи. Причем, не менее двух третей из них идет на содержание и ремонт автомобильных дорог [61].

Однако, из-за сложных условий эксплуатации, транспортно-эксплуатационные качества технологических автодорог на строительстве горных ГТС, постоянно поддерживать на уровне, отвечающим требованиям нормативно-технических документов не представляется возможным. Поверхность автомобильных дорог на карьерах строительства ГТС в горных условиях обычно засыпана гравийными частицами, сформировавшимися из мелко дробленных вскрышных пород и галечников.

Отмеченные характерные особенности карьерных автомобильных дорог на строительстве ГТС в горных условиях приводят в целом к снижению эффективности функционирования системы ВАДС.

Поверхности горных карьерных автодорог, в основном, засоряются гравийными (размером 2 – 50 мм) и галечниковыми (размером 10 – 200 мм) частицами различной породы и форм, получаемыми в результате разрушения горной породы при вскрышных работах и загрузке грунта в транспортную машину. Основу горного гравия составляют шероховатые частицы неправильной формы, перемешанные с очень неоднородным составом и множеством загрязнений, таких как глина, пыль.

Гранулометрический анализ дресвяных и щебенистых обломков горных пород, выпавших из кузова самосвала на поверхность дороги произведен методом просеивания на ситах [23, 30, 53], результат которого представлен на рисунке 2.2.

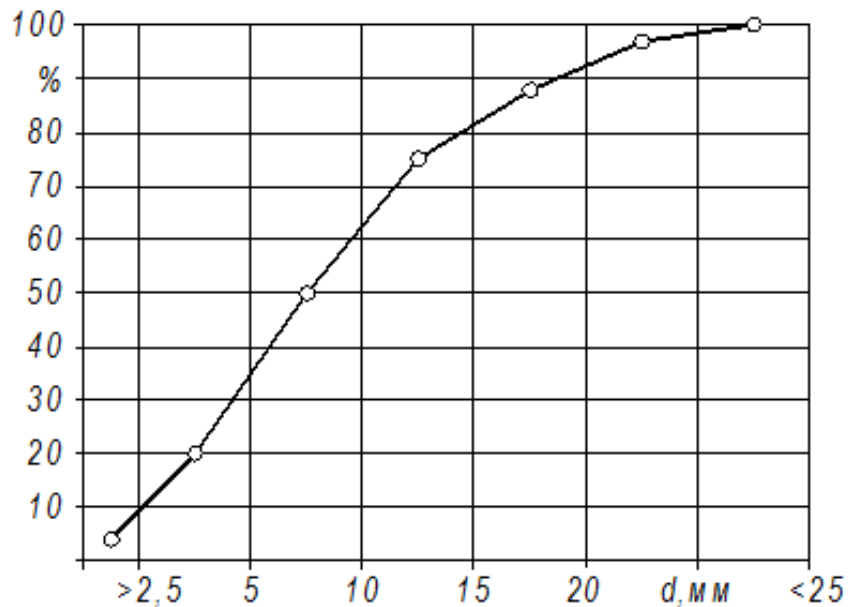


Рисунок 2.2 – Результаты анализа гранулометрического состава породы (щебня)

Характерной особенностью горной карьерной автомобильной дороги является скопление камней и гравия на обочине дороги, которые способствуют боковому порезу шин автомобиля и как следствие снижению надежности автомобиля, а выпавшие из кузова самосвала и разбросанные по твердой поверхности дорожного полотна дресвяные и щебенистые обломки горных пород вдавливаются в «тело» протектора и тем самым служит причиной ускоренного износа и механического повреждения шины автомобиля (рис. 2.3) [100, 109].



Рисунок 2.3 – Механические повреждения автомобильной шины на горной карьерной дороге, засоренной дресвяными и щебенистыми обломками горных пород

На отдельных участках карьерных дорог строительства ГТС в горных условиях РТ количество гравийных и галечниковых частиц, выпавших из кузова самосвала на квадратный метр, превышает 120 шт, а общий их объем достигает $0,0005 \text{ м}^3$, общая масса которых составляет $1,0 - 1,2 \text{ кг}$.

Удельное количество гравийных и галечниковых частиц на поверхности дороги, отнесенное на 1 км пути N_n средней шириной проезжей части, равной 12 м, рассчитывается по выражению

$$N_n = S_\delta \cdot \rho_\epsilon, \quad (2.18)$$

где S_δ – площадь одного километра дороги, м^2 ; ρ_ϵ – удельная плотность распределения гравийных и галечниковых частиц на поверхности дороги, отнесенная к 1 м^2 площади, $\text{шт}/\text{м}^2$.

При средней ширине проезжей части карьерной дороги, равной 12 м [32, 90], получим $S_0=1000 \cdot 12=12000 \text{ м}^2$.

Удельная плотность распределения гравийных и галечниковых частиц на поверхности дороги ρ_z , меняется в широких пределах ($\rho_z = 10 - 122 \text{ шт/м}^2$).

При этом среднее значение названного показателя равняется $\rho_{z, \text{ср}} = 64,4 \text{ шт/м}^2$ (рис. 2.4) [109].

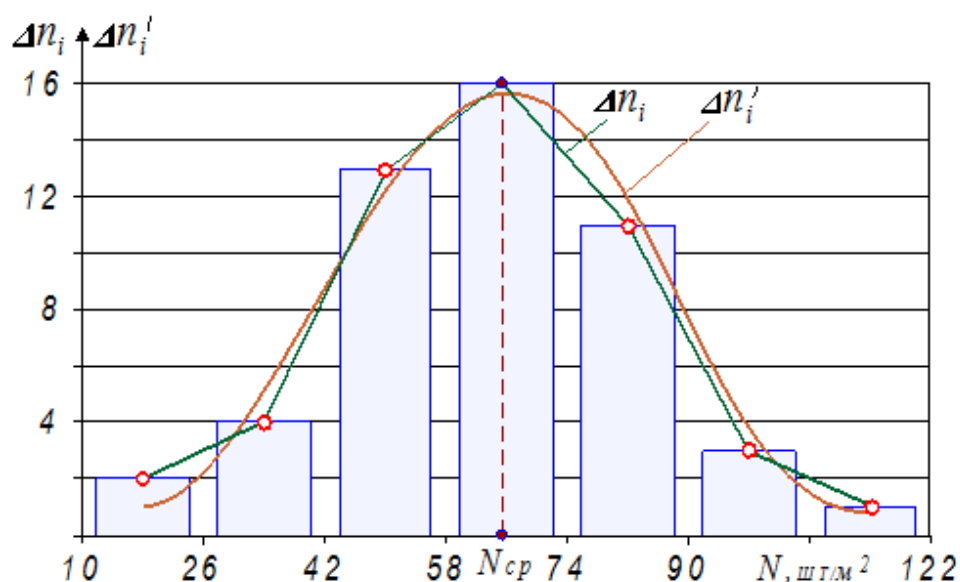


Рисунок 2.4 – Результаты статистической обработки удельной плотности распределения гравийных и галечниковых частиц на поверхности дорожного полотна: $N_{\text{ср}} = 64,4 \text{ шт/м}^2$; $\sigma = 20,36 \text{ шт/м}^2$; $\nu = 31,6\%$.

Удельное количество гравийных и галечниковых частиц на поверхности карьерной дороги N_k длиной в 1 км, контактируемых при движении автомобиля-самосвала БелАЗ-7540В с протектором шины типоразмера 18.00-25 определяется из выражения

$$N_k = S_k \cdot \rho_z = B_{ш} \cdot L \cdot \rho_z, \quad (2.19)$$

где S_k – площадь контакта протектора шины на пути в 1 км, м^2 ; $B_{ш}$ – ширина протектора шины, м; $B_{ш} = 0,5 \text{ м}$ (для шины типоразмера 18.00-25) [26, 89]; L – длина пути, км.

Удельное количество гравийных и галечниковых частиц на поверхности карьерной дороги N_k длиной в 1 км, контактируемых с протектором шины типоразмера 18.00-25 при движении автомобиля-самосвала БелАЗ-7540В, эксплуатируемого в условиях строительства ГТС в горных условиях варьирует в пределах от 5000 до 64400 шт/км, а среднее значение показателя равняется 32200 шт/км.

При длине плеча перевозки, равного 5 км и средней ширины дороги, достигающей 12 м общая площадь проезжей части дороги составляет 50 тыс. м².

При среднем значении плотности распределения щебня на поверхности дорожного полотна, равного 64,4 шт/м², можно предположить, что количество гравийных и галечниковых частиц на поверхности дороги, контактируемых с протектором шины автомобиля БелАЗ-7540В (марки 18.00-25 шириной 0,5 м) превышает 32000 шт/км.

В процессе взаимодействия автомобильной шины с дорожным полотном, засыпанным дресвяными и щебенистыми обломками горных пород, отличающимся большой твердостью и нередко острыми гранями наблюдаются последствия, обуславливающие снижение ресурса шины: повышение интенсивности изнашивания шины из-за абразивного крошения протектора; увеличение отказов шин из-за механических повреждений; нарушение дисбаланса колеса автомобиля приводит к повышению интенсивности износа шины и к снижению надежности ходовой части автомобиля; снижение экологических показателей из-за повышения шума.

Основными факторами, которые должны быть приняты во внимание при оценке эффективности карьерных автомобильных дорог в горных условиях, являются: засоренность и неровность поверхности дороги, скопление камней, гравия и галечниковых частиц на обочине дороги и др.

Получение результаты показали (рис. 2.4), что из-за разнообразия многочисленных факторов, формирующих эффективность использования карьерной автомобильной дороги, не представляется возможным учитывать значимость каждого отдельного фактора.

2.3.1 Обобщенный динамический коэффициент

Для оценки эффективности карьерной автомобильной дороги предлагается применять обобщенный динамический коэффициент, учитывающий совместное (комплексное) влияние многочисленных факторов. Эти факторы подробно рассмотрены в [17, 40, 105, 109].

Обобщенный динамический коэффициент k_{di} для конкретного маршрута движения автомобиля определяется из отношения

$$k_{di} = \Pi_{\partial i} / \Pi_{\partial n}, \quad (2.20)$$

где $\Pi_{\partial i}$ – обобщенный показатель качества i -го маршрута дороги; $\Pi_{\partial n}$ – нормативное значение обобщенного показателя качества дороги.

Обобщенный показатель качества маршрута дороги $\Pi_{\partial i}$, включающий в себя комплексный показатель транспортно-эксплуатационного качества дороги $K\Pi_{\partial i}$, показатель инженерного оборудования и обустройства $K_{об}$ и показатель уровня эксплуатационного содержания $K_{э}$ [17], определяется из выражения

$$\Pi_{\partial i} = K\Pi_{\partial i} \cdot K_{об i} \cdot K_{э i}. \quad (2.21)$$

Показатели $K\Pi_{\partial i}$, $K_{об i}$, $K_{э i}$ являются критериями оценки качества i -го маршрута дороги.

Нормативные значения обобщенного показателя качества дороги принимают равными соответствующим значениям комплексного показателя [17] из выражения

$$\Pi_{\partial n} = K\Pi_{\partial n} \cdot K_{об n} \cdot K_{э n}, \quad (2.22)$$

где $K\Pi_{\partial n}$ – значение комплексного показателя транспортно-эксплуатационного качества дороги V категории для горных условий [17]; $K_{об n}$ – нормативная величина инженерного оборудования и обустройства дороги ($K_{об n} = 1$); $K_{э n}$ – нормативная величина показателя уровня эксплуатационного содержания дороги ($K_{э n} = 1$).

Для оценки влияния отдельных параметров и характеристик дорог на комплексный показатель их качества $K\Pi_{\partial i}$ определяют частные коэффициенты обеспеченности расчётной скорости на каждом характерном участке.

Комплексный показатель транспортно-эксплуатационного качества дороги $KП_{\partial i}$ определяется по выражению

$$KП_{\partial i} = \sum_{i=1}^n K_{pci}^{umog} \cdot l_i / L, \quad (2.23)$$

где K_{pci}^{umog} – коэффициент, учитывающий сложность условий эксплуатации и зависит от ширины и состояния обочин, интенсивности движения, обзорности, радиусов кривизны, продольных и поперечных уклонов, состояния и прочности дорожной одежды, профиля дорожного полотна; l_i – длина участка дороги, где определялось значение коэффициента обеспеченности расчётной скорости, км; L – длина маршрута, км.

Для оценки эффективности функционирования карьерной автомобильной дороги в горных условиях, обобщенный динамический коэффициент k_D определяется из выражения

$$k_D = 1 - k_{di}. \quad (2.24)$$

Числовые значения показателя качества и обобщенного динамического коэффициента для горных условий эксплуатации карьерных автомобилей на строительстве Рогунской ГЭС представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Показатели качества дороги и значения обобщенного динамического коэффициента

| Номер участка эксперимента | Показатель | | | |
|----------------------------|------------------|------------------|----------|-------|
| | $П_{\partial n}$ | $П_{\partial i}$ | k_{di} | k_D |
| 1 | 0,25 | 0,219 | 0,876 | 0,124 |
| 2 | 0,25 | 0,218 | 0,872 | 0,128 |
| 3 | 0,25 | 0,220 | 0,880 | 0,120 |
| 4 | 0,25 | 0,219 | 0,876 | 0,124 |

Обобщенный динамический коэффициент учитывает сложность условий эксплуатации и зависит от ширины и состояния обочин, интенсивности движения,

обзорности, радиусов кривизны, продольных и поперечных уклонов, состояния и прочности дорожной одежды, профиля дорожного полотна, скоростного режима, частоты и характера манёвра, высоты н. у. м. (рис. 2.5).

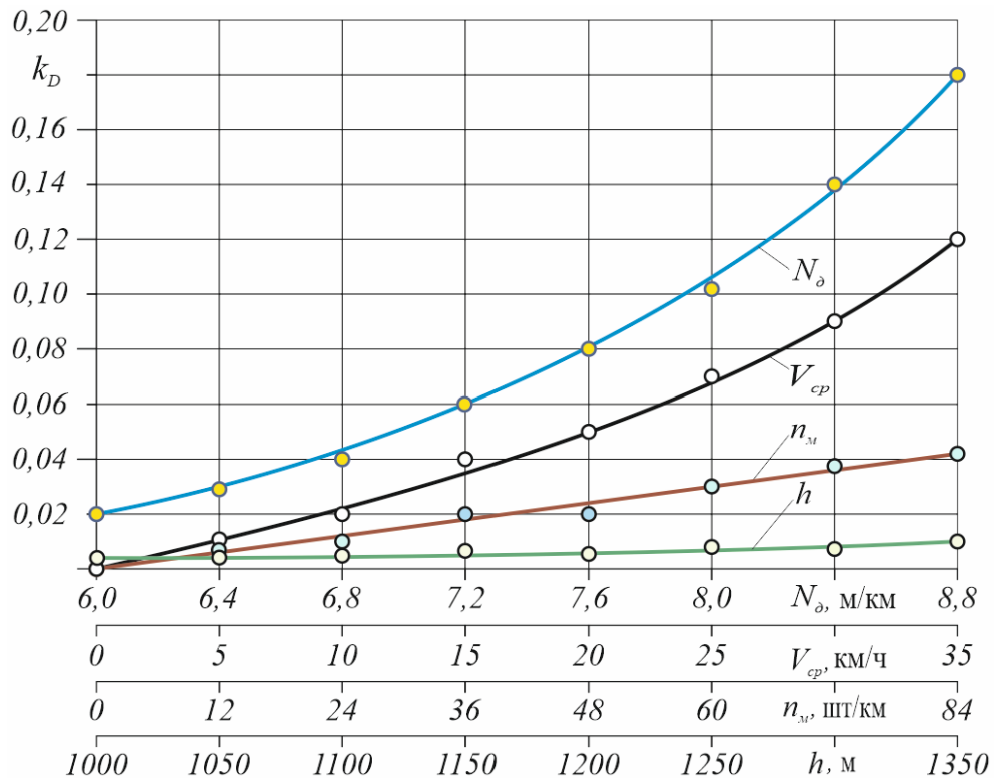


Рисунок 2.5 – Зависимость обобщенного динамического коэффициента k_D от условий эксплуатации: средней скорости движения автомобиля-самосвала за езду $V_{ср}$, неровности дорожного полотна N_δ , числа маневров n_m и высоты над уровнем моря h .

По результатам экспериментально-теоретических исследований установлено, что для условий строительства Рогунской ГЭС значение обобщенного динамического коэффициента k_D варьирует (изменяется) в пределах 0,12 – 0,13 [109].

Следовательно, подставляя значения обобщенного динамического коэффициента из уравнения (2.24) в выражение (2.17), можно данное выражение записать в следующем виде

$$\mathcal{E}_{H_a} = (G_a \cdot \psi \cdot (1 - k_D) + m_a \cdot \delta_{ep} \cdot \frac{dv}{dt} \cdot \cos \alpha) \cdot S, \quad (2.25)$$

Многолетними исследованиями, проведенными сотрудниками технологического парка Таджикского технического университета им. М.С. Осими, подтверждается хорошая согласованность полученных результатов экспериментальных исследований с расчетными данными по предложенной математической модели.

2.4 Исследование факторов, воздействующих на водителей транспортных средств в горных условиях

Эффективность работы водителя грузового автомобиля можно определить, как отношение достигнутого результата в процессе преобразования машиной тепловой энергии в механическую работу, которая используется при транспортировании пассажиров и груза при его участии к израсходованным ресурсам.

Смысл понятия «эффективность водителя» гораздо шире, чем понятие «надежность водителя». Если надежность водителя – это способность безошибочного управления транспортным средством в различных дорожных и климатических условиях в течение рабочей смены, то эффективность – это надежность водителя, достигнутая с наименьшими энергетическими, экономическими и материальными затратами, а также с наименьшими экологическими ущербами.

Для комплексной оценки эффективности управления автомобилем \mathcal{E}_B на строительстве ГТС в горных условиях используется выражение [93]

$$\mathcal{E}_B = \mathcal{E}_{эн} \cdot \mathcal{E}_{эк} \cdot \mathcal{E}_н \cdot \mathcal{E}_м, \quad (2.26)$$

где $\mathcal{E}_{эн}$, $\mathcal{E}_{эк}$, $\mathcal{E}_н$, $\mathcal{E}_м$ – соответственно, составляющие эффективности управления автомобилем по энергетическим, экономическим, надежности показателям, а также по показателю материальных затрат.

Для горных и высокогорных условий эксплуатации грузовых автомобилей не все факторы являются существенными [12, 13, 108]. Экологический результат

эффективности водителя в условиях строительства ГТС является не существенным [50, 51, 80], т.к. горные условия характеризуются хорошей проветриваемостью. Карьерным дорогам свойственны незначительная плотность и интенсивность движения автомобилей, а парк грузовых автомобилей оснащён дизельными двигателями [96, 141]. В связи с незначительностью влияния результатов экологической эффективности, а также эффективности безопасности дорожного движения в горных условиях, ими можно не пренебречь в расчетах оценки эффективности управления автомобилем [33, 80].

Для горных и высокогорных условий эксплуатации грузовых автомобилей характерна относительно низкая энергетическая эффективность водителя, поскольку она зависит от большого числа факторов. Особое значение из которых имеют приобретенные водителем мастерство, знания, умения и навыки управления автомобилем в сложных горных условиях [101, 146, 147].

Эффективность управления большегрузным автомобилем-самосвалом по экономическому показателю $\mathcal{E}_{\text{эк}}$ можно косвенно оценить по сменной производительности, которая в зависимости от стиля вождения варьирует в широких пределах (рис. 2.6).

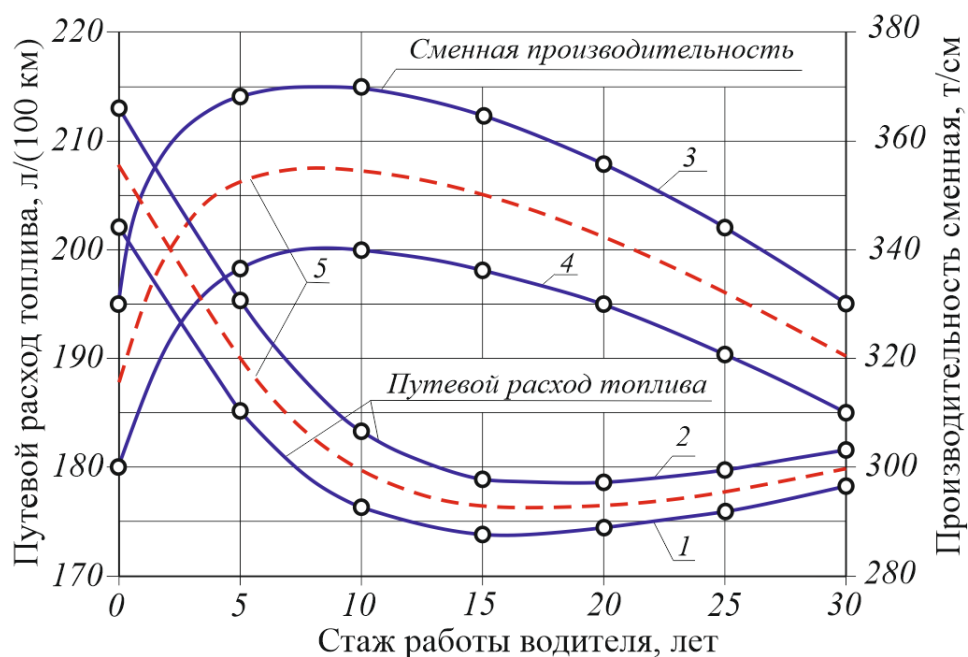


Рисунок 2.6 – Зависимость путевого расхода топлива и сменной

производительности от стажа работы водителя: 1, 3 – бережливый стиль вождения; 2, 4 – агрессивный стиль вождения; 5 – средние значения показателей

В условиях строительства Рогунской ГЭС наилучшие показатели сменной производительности наблюдаются, начиная с трехлетнего по шестнадцатилетний стаж работы водителя, достигая максимума к восьмому году трудового стажа водителя.

Эффективность управления большегрузным автомобилем-самосвалом по показателю материальных затрат \mathcal{E}_m можно оценить по расходу запасных частей и ремонтно-эксплуатационных материалов (рис. 2.7).

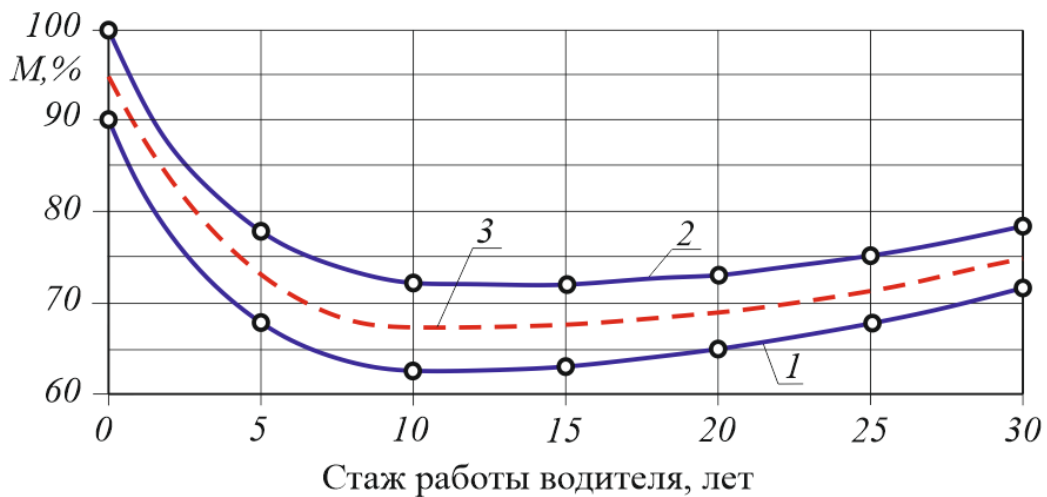


Рисунок 2.7 – Зависимость расхода запасных частей и материалов от стажа работы водителя: 1 – бережливый стиль вождения; 2 – агрессивный стиль вождения; 3 – среднее значение показателя

В качестве оценочного параметра эффективности управления большегрузным автомобилем-самосвалом по показателю надежности \mathcal{E}_n принимаются экономические критерии безотказности и долговечности автомобиля, в частности удельные затраты времени, труда и денежных средств на устранение эксплуатационных и ресурсных отказов (рис. 2.8).

Энергетическую эффективность управления автомобилем можно определить из выражения

$$\mathcal{E}_n = Q_{\min} / Q_i, \quad (2.27)$$

где Q_{\min} и Q_i – соответственно, минимальное и текущее значения путевого расхода топлива, л/100 км.

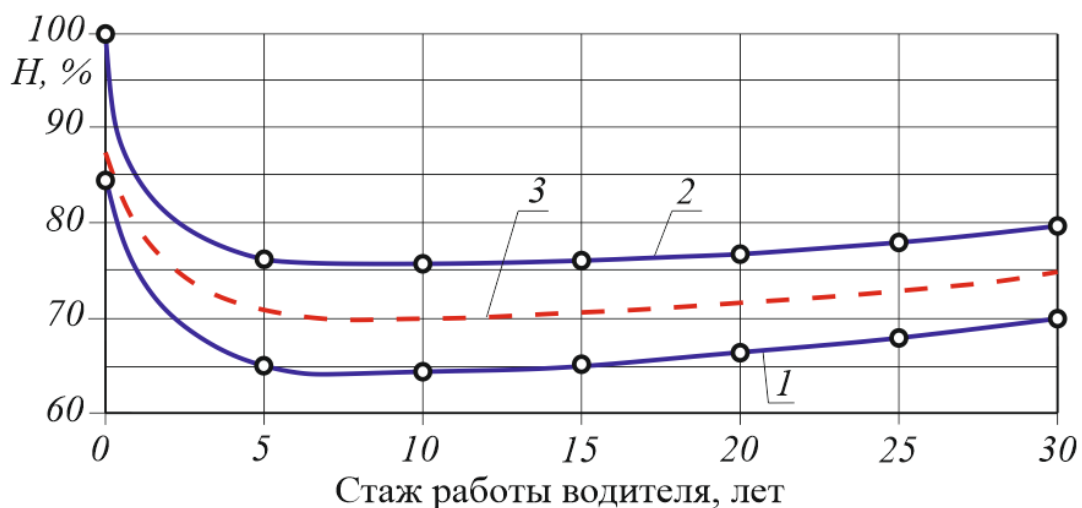


Рисунок 2.8 – Зависимость показателей надежности автомобиля от стажа работы водителя: 1 – березливый стиль вождения; 2 – агрессивный стиль вождения; 3 – среднее значение показателя

Экономическую эффективность управления автомобилем можно определить из отношения

$$\mathcal{E}_{\text{эк}} = P_{\text{max}} / P_i, \quad (2.28)$$

где P_{max} и P_i – соответственно, максимальное и текущее значения сменной производительности автомобиля, т/смен.

Эффективность управления автомобилем по показателям надежности определяется выражением

$$\mathcal{E}_n = H_{\text{max}} / H_i, \quad (2.29)$$

где H_{max} и H_i – соответственно, максимальное и текущее значения оценочных показателей надежности автомобиля, %.

Эффективность управления автомобилем по материальным затратам можно определить из отношения

$$\mathcal{E}_m = M_{\text{min}} / M_i, \quad (2.30)$$

где M_{min} и M_i – соответственно, минимальное и текущее значения материальных затрат, %.

С учетом выражений (2.27 – 2.30) выражение (2.26) можно переписать в виде

$$\mathcal{E}_B = \frac{Q_{\min}}{Q_i} \cdot \frac{P_{\max}}{P_i} \cdot \frac{H_{\max}}{H_i} \cdot \frac{M_{\min}}{M_i}. \quad (2.31)$$

По результатам многолетних наблюдений для автомобилей-самосвалов БелАЗ-7540В в условиях строительства Рогунской ГЭС по выражению (2.31) были выполнены расчеты эффективности управления автомобилем, результаты которых приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Результаты расчета эффективности управления автомобилем

| Показатель эффективности | Стаж работы, лет | | | | | | | |
|---|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0 | 5 | 8 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
| Путевой расход топлива Q_i , л/(100 км) | 208 | 190 | 182 | 179,5 | 176,5 | 176,5 | 178 | 180 |
| Q_{\min} / Q_i | 0,848 | 0,928 | 0,968 | 0,983 | 1,0 | 1,0 | 0,991 | 0,980 |
| Сменная производительность P_i , т/смен | 315 | 353 | 355 | 354 | 350 | 343 | 333 | 320 |
| P_{\max} / P_i | 0,887 | 0,999 | 1,0 | 0,997 | 0,985 | 0,966 | 0,938 | 0,901 |
| Материальные затраты, M_i | 95,0 | 80,0 | 68,0 | 67,0 | 68,0 | 39,0 | 71,0 | 75,0 |
| M_{\min} / M_i | 0,705 | 0,837 | 0,985 | 1,0 | 0,985 | 0,971 | 0,943 | 0,893 |
| Показатели надежности автомобиля, H_i | 90,0 | 71,0 | 70,0 | 70,0 | 71,0 | 72,0 | 73,0 | 75,0 |
| H_{\max} / H_i | 0,777 | 0,985 | 1,0 | 1,0 | 0,985 | 0,972 | 0,958 | 0,933 |
| Эффективность управления автомобилем, \mathcal{E}_B | 0,413 | 0,762 | 0,955 | 0,980 | 0,957 | 0,912 | 0,841 | 0,736 |

Результаты расчёта эффективности управления автомобилем-самосвалом БелАЗ-7540В от стажа работы водителя в графическом виде приведены на рисунке 2.9.

Эффективность управления автомобилем-самосвалом представляет собой относительную характеристику качества грузоперевозки, основанную на сравнении значений показателей качества достигнутых эффективностей при различных стилях езды. При установлении уровня эффективности управления автомобилем следует сопоставлять отдельные показатели эффективности и их совокупность, достигнутые водителем при бережливом стиле вождения с аналогичными отдельными показателями и их совокупностью, достигнутыми при агрессивном вождении.

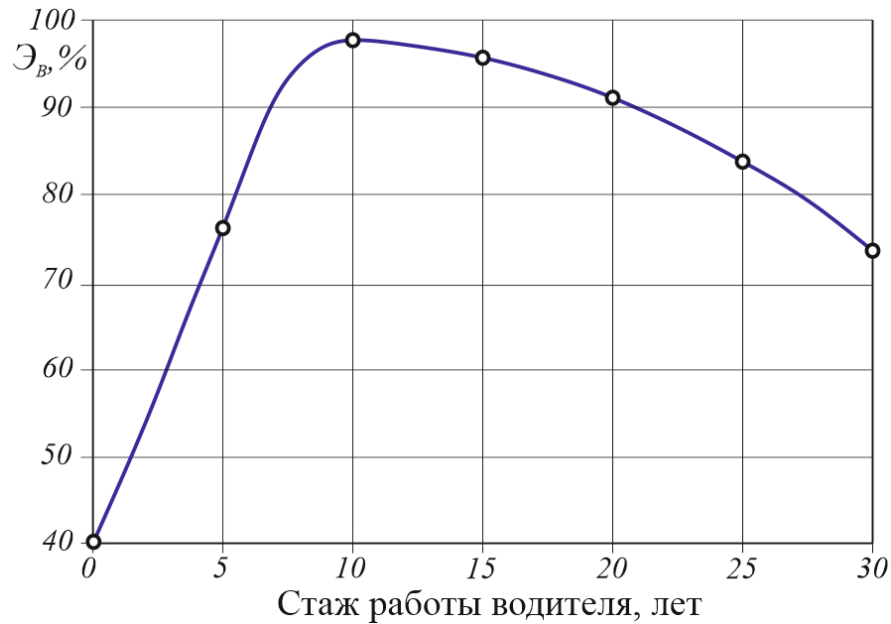


Рисунок 2.9 – Зависимость эффективности управления автомобилем-самосвалом БелАЗ-7540В от стажа работы водителя в горных условиях

Уровень эффективности управления автомобилем с учетом бережливого и агрессивного стилей вождения в общем виде можно выразить отношением

$$\mathcal{E}_B = R_B / R_A, \quad (2.32)$$

где R_B – результат, достигнутый водителем при бережливом стиле вождения; R_A – результат, достигнутый водителем при агрессивном стиле вождения.

Относительные расхождения между эффективностями при бережливом и агрессивном стилях вождения для i -того стажа работы водителя и n -ного показателя эффективности $P_{\mathcal{E}_{in}}$ определялись из выражения

$$P_{\mathcal{E}_{in}} = \frac{R_{B_{in}} - R_{A_{in}}}{R_{B_{in}}} \cdot 100\%, \quad (2.33)$$

где $R_{B_{in}}$ – результат, достигнутый водителем при бережливом стиле вождения для i -того стажа работы водителя и n -ного показателя эффективности; $R_{A_{in}}$ – результат, достигнутый водителем при агрессивном стиле вождения для i -того стажа работы водителя и n -ного показателя эффективности.

Результаты расчетов, выполненные по выражению (2.33) для эффективности управления автомобилем-самосвалом БелАЗ-7540В в условиях эксплуатации на строительстве Рогунской ГЭС [101, 147] сведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Результаты расчета относительного расхождения эффективности управления автомобилем при бережливом и агрессивном стилях вождения по отдельным показателям эффективности $P_{Эin}$

| Относительное расхождение между эффективностями управления автомобилем при бережливом и агрессивном стилях вождения для n -ного показателя эффективности в % | Стаж работы, лет | | | | | | |
|--|------------------|-------|-------|------|------|------|------|
| | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
| по путевому расходу топлива | 5,2 | 5,1 | 3,8 | 2,8 | 2,5 | 2,2 | 1,1 |
| по производительности | 9,1 | 8,4 | 8,0 | 7,9 | 7,3 | 6,7 | 6,1 |
| по материальным затратам | 10,0 | 12,8 | 13,8 | 12,9 | 11,0 | 9,3 | 8,2 |
| по надежности | 15,0 | 15,0 | 15,1 | 14,5 | 13,6 | 12,8 | 12,5 |
| среднее значение расхождения | 9,82 | 10,32 | 10,17 | 9,52 | 8,60 | 7,73 | 6,97 |

2.5 Энергетические затраты и эффективность функционирования системы ВАДС

Несмотря на большое разнообразие классификационных признаков эффективности функционирования системы ВАДС, оценка эффективности функционирования системы ВАДС по энергетическому признаку является главной.

На основании вышеизложенного, предлагается концептуальная модель оценки функционирования системы ВАДС по энергетическим затратам, которая определяется выражением

$$\mathcal{E}_{nc} = \mathcal{E}_{na} + \mathcal{E}_{ng}, \quad (2.34)$$

где \mathcal{E}_{na} – затраты энергии на перевозку груза по карьерной дороге, Дж; \mathcal{E}_{ng} – затраты энергии водителя на управление автомобилем, Дж.

Затраты энергии водителя при управлении автомобилем на отрезке пути 1 км определяются из выражения

$$\mathcal{E}_e = (F \cdot r_{pk} \cdot \varphi_{pk} \cdot n_{np} + F \cdot S_{pxm} \cdot n_m + F \cdot S_{pxm} \cdot n_m),$$

$$\mathcal{E}_e = F \cdot (r_{pk} \cdot \varphi_{pk} \cdot n_{np} + S_{pxm} \cdot n_m + S_{pxm} \cdot n_m),$$

где F – сила, приложенная на рулевое колесо, а также на педали тормоза и муфты сцепления, Н; r_{pk} – радиус рулевого колеса, м; φ_{pk} – суммарное значение угла поворота рулевого колеса, рад; n_{np} , n_m и n_m – соответственно, число поворотов рулевого колеса, а также число нажатий на педали тормоза и муфты сцепления, приходящиеся на 1 км пути; S_{pxm} – рабочий ход педали тормоза, м; S_{pxm} – рабочий ход педали муфты сцепления, м.

При условии, что $S_{pxm} = S_{pxm} = S_{pxn}$ и $n_m = n_m = n_n$ затраты энергии водителя при управлении автомобилем можно переписать в виде

$$\mathcal{E}_e = F \cdot (r_{pk} \cdot \varphi_{pk} \cdot n_{np} + 2 \cdot S_{pxn} \cdot n_n), \quad (2.35)$$

где n_m – общее число нажатий на педаль тормоза и муфты сцепления, шт.

Для практических расчетов принимаем $F=200$ Н; $r_{pk} = 0,3$ м, $S_{pxn} = 0,20$ м. Значения других параметров, необходимых для расчета энергозатрат, определяемых экспериментальным путем для конкретных дорожных условий на строительстве горных ГТС, равняются $\varphi_{pk} = 40$; $n_{np} = 30$; $n_n = 30$.

Из-за незначительности затрат энергии водителя на управление автомобилем (2,92%) в дальнейших расчетах ими можно пренебрегаем.

С учетом сказанного, общие энергетические затраты \mathcal{E}_c (2.34) будет равны \mathcal{E}_a (2.25)

$$\mathcal{E}_c = \mathcal{E}_a = (G_a \cdot \psi \cdot (1 - k_D) + m_a \cdot \delta_{ep} \cdot \frac{dv}{dt} \cdot \cos \alpha) \cdot S. \quad (2.36)$$

Для оценки эффективности функционирования системы ВАДС предлагается концептуальная модель, основное назначение которой заключается в выявлении причинно-следственных связей объекта исследования для получения определенных результатов, а в данном случае, для решения вопросов оценки эффективности системы ВАДС.

Основное назначение концептуальной модели – выявление причинно-следственных связей объекта исследования для получения определенных результатов, а в данном случае, для решения вопросов оценки эффективности системы ВАДС.

В чем же заключается концептуальность предлагаемого метода исследования эффективности системы ВАДС?

Эффективность системы ВАДС отождествляется с эффективностью преобразования тепловой энергии в механическую и определяется как отношение полезно преобразованной тепловой энергии в системе ВАДС к общему количеству затраченной тепловой энергии [5, 97, 104, 136, 139, 145, 152].

$$\mathcal{E} = \frac{A_{\text{П}}}{Q} \cdot 100\% = \frac{P_T \cdot S}{q_n \cdot H_u \cdot S} \cdot 100\%, \quad (2.37)$$

где $A_{\text{П}}$ – количество полезно преобразованной тепловой энергии в системе ВАДС, Дж; Q – количество полной (суммарной) энергии, затраченной на выполнении полезной работы, Дж; q_n – путевой расход топлива (номинальный), л/(100 км); H_u – низшая теплотворная способность топлива, Дж/кг [58].

Эффективность функционирования системы ВАДС может быть выражена так энергия, затраченная на выполнение полезной работы, отнесённой на единицу пробега в общей величине выделенной энергоносителем энергии [82, 104].

$$\mathcal{E}_{\text{ВАДС}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{ан}}}{q_{n2} \cdot H_u} \cdot 100\% = \frac{\mathcal{E}_{\text{с}} / S}{q_{n2} \cdot H_u} \cdot 100\%, \quad (2.38)$$

где $\mathcal{E}_{\text{ан}}$ – энергия, затраченная на выполнение полезной работы, отнесённая на единицу пробега автомобиля, Дж/км; q_{n2} – путевой расход топлива в горных условиях, л/(100км).

Путевой расход топлива [5, 104, 126, 132, 151] определяется из выражения

$$g_n = \frac{g_e \cdot (m_a \cdot \psi + \frac{k \cdot F}{13} \cdot V^2)}{2700 \cdot \eta_{\text{тр}} \cdot \rho}, \quad (2.39)$$

где: g_e – удельный расход топлива, г/(кВт. ч); k – коэффициент сопротивления воздуха; F – лобовая площадь автомобиля, м²; V – скорость автомобиля, км/ч; $\eta_{\text{тр}}$ – КПД трансмиссии; ρ – плотность топлива в реальных условиях эксплуатации, кг/м³.

В горных условиях с разреженным воздухом при малых скоростях движения сопротивлением воздуха можно пренебречь. Поэтому уравнение (2.39) запишется в виде [104]

$$g_{nz} = \frac{g_e \cdot [m_a \cdot (f \cos \alpha \pm \sin \alpha)]}{2700 \cdot \eta_{mp} \cdot \rho}. \quad (2.40)$$

Плотность топлива в горных условиях определяется по уравнению Менделеева Д.И.

$$\rho = \rho_n - \gamma \cdot (t_z - 20), \quad (2.41)$$

где ρ_n – плотность дизельного топлива в нормальных условиях ($0,825 \text{ г/см}^3$); γ – температурная поправка ($0,001 \text{ град}^{-1}$); t_z – температура воздуха в горных условиях на высотах 1000-1500 м (40°C)

Результаты вычислений по уравнениям (2.36) и (2.38) представлены графиками (рис. 2.10).

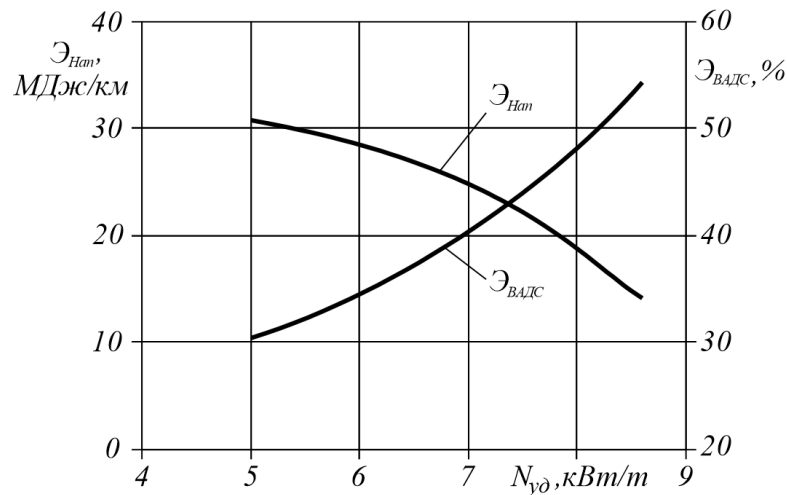


Рисунок 2.10 – Зависимость энергетических затрат $\mathcal{E}_{Нап}$ и эффективности системы ВАДС $\mathcal{E}_{ВАДС}$ от удельной мощности автомобиля $N_{уд}$

Из графиков видно, что с ростом удельной мощности автомобиля энергозатраты системы ВАДС снижаются, а эффективность системы ВАДС возрастает.

Из приведённых графиков (рис. 2.10) можно сделать вывод, что в горных условиях предпочтительным является использование автомобилей начиная с удельной мощности $7,5 \text{ кВт/т}$.

2.6 Влияние конструктивных параметров автомобильных шин на эксплуатационные свойства автомобилей-самосвалов

Конструкция шины также относится к наиболее значимым факторам при оценке энергетических затрат автомобилей-самосвалов в горных условиях РТ.

Значения эксплуатационных факторов, такие как крутящий и тормозной моменты, боковая и вертикальная нагрузки на колесо, внутреннее давление воздуха в шине, скорость движения, режим работы автомобиля, интенсивность движения, виды и частота маневров меняются в широких пределах. Точно так же варьируются дорожные условия: в пределах одного рейса наблюдается изменение качества дорожного покрытия, переход от асфальтобетонного покрытия к щебеночным, гравийным покрытиям, грунтовым дорогам, а соответственно и изменение коэффициента сцепления шины с дорогой [100].

Для оценки влияния вертикальной нагрузки на автомобильные шины обычно пользуются следующим выражением [43, 103]

$$L = c + \frac{d}{G}, \quad (2.42)$$

где c и d – параметры гиперболической модели; G – вертикальная нагрузка, действующая на шину.

Среднее значение действующей на отдельную шину вертикальной нагрузки, определяется из выражения:

$$G = \frac{(m_c + m_{zp} \cdot \gamma \cdot \beta) \cdot g}{n_k}, \quad (2.43)$$

где m_c – снаряжённая масса автомобиля, кг; m_{zp} – грузоподъемность, кг; γ и β – соответственно, коэффициенты использования грузоподъемности и пробега; n_k – число колес автомобиля на каждой оси, шт; g – ускорение свободного падения, м/с².

На основании выражения (2.43) для автомобильных шин 18.00-25, используемых на автомобилях БелАЗ-7540, построен график зависимости их срока службы от вертикальной нагрузки (рис. 2.11).

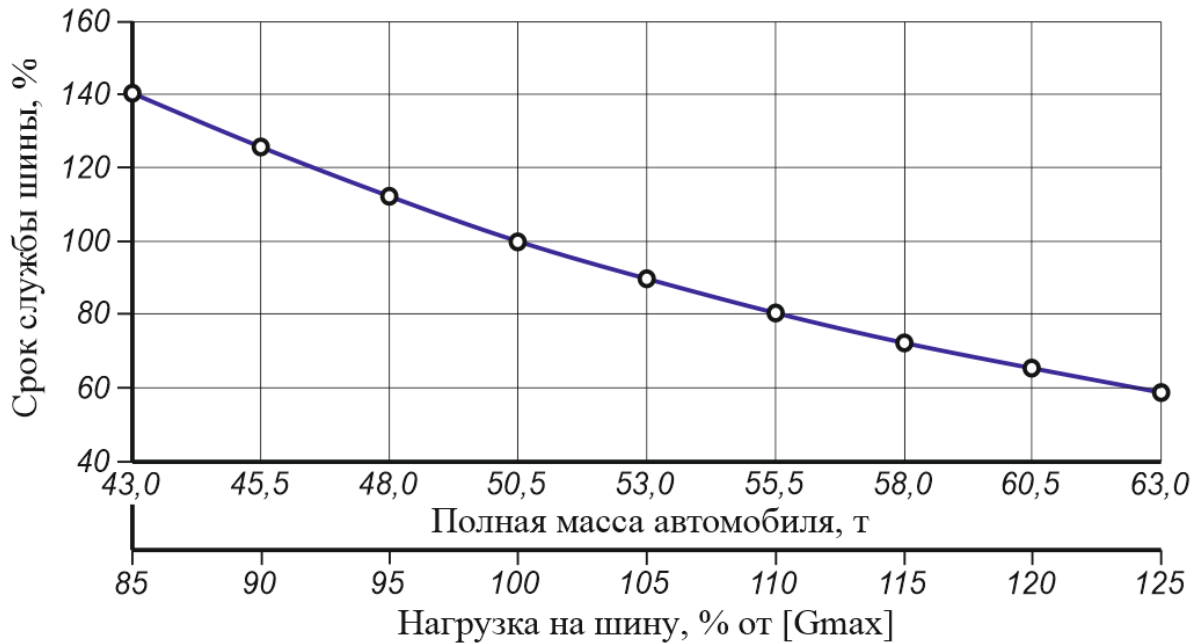


Рисунок 2.11 – Зависимость срока службы автомобильных шин 18.00-25 от вертикальной нагрузки

При эксплуатации автомобилей-самосвалов в горных условиях на ресурс автомобильной шины влияют свыше сорока факторов, которые характеризуются непостоянством значений и которые изменяется в достаточно широких пределах [22].

Сочетание влияния большого разнообразия факторов, определяющих износ, а, следовательно, и срок службы шины, отличается изменчивостью и относится к событию, имеющего вероятностный характер с широкими пределами значений [98, 103]. Можно предположить, что при оценке и корректировании ресурса шин автомобилей-самосвалов невозможно учитывать влияние каждого из факторов в отдельности [9, 107].

Для этой цели в качестве наиболее значимых факторов, определяющих формирование ресурса шин автомобилей-самосвалов, можно выделить дорожно-климатические условия и вертикальную нагрузку. Тогда упрощенная математическая модель для корректирования ресурса шин автомобилей-самосвалов в горных условиях при строительстве ГЭС (на примере строительства Рогунской ГЭС) будет выглядеть

$$L_{uu}^k = L_{uu}^n \cdot k_D \cdot k_T \cdot k_N \cdot k_{np}, \quad (2.44)$$

где L_{uu}^n – нормативный ресурс шины грузового автомобиля в нормальных условиях эксплуатации, тыс. км (для шин типоразмера 18.00-25 $L_{uu}^n = 45$ тыс. км); k_D – обобщённый динамический коэффициент; k_T – корректирующий коэффициент влияния температуры окружающей среды на формирование ресурса шин ($k_T = 0,85 - 0,87$); k_N – корректирующий коэффициент влияния радиальной нагрузки на формирование ресурса шин ($k_N = 0,91 - 0,93$); k_{np} – корректирующий коэффициент, учитывающий влияние прочих факторов на формирование ресурса шин ($k_{np} = 0,79 - 0,81$).

2.6.1 Самоочищаемость пневматических шин автомобилей-самосвалов

Каркас современной пневматической шины представляет собой сочетание сравнительно жесткого корда с эластичной резиной, что в совокупности делает конструкцию шины упругим элементом, обеспечивающим большую эластичность во всех направлениях: радиальном, окружном (тангенциальном) и боковом.

Одним из важнейших факторов эффективности функционирования карьерных автомобилей-самосвалов, особенно при эксплуатации в горных условиях строительства ГТС, является правильный выбор, применение, ТО и ремонт пневматических шин повышенной проходимости со специальным карьерным рисунком протектора.

Считается, что эксплуатационные затраты на шины составляют 25 – 30% и более от суммы расходов на транспортирование горной массы автосамосвалами. На основе результатов многолетних исследований карьерных автомобилей-самосвалов, эксплуатируемых в сложных горных карьерах при строительстве ГТС установлено, что эксплуатационные затраты на шины заметно превышают указанные выше пределы и достигают 30 – 45%, поэтому увеличение пробега шин имеет важное значение для сокращения затрат.

Технический уровень эксплуатации шин зависит от соблюдения правил ухода за ними, правильной загрузки автосамосвалов и равномерности распределения горной массы в кузове, состояния и параметров подъездных и карьерных дорог, а также подъездов в забоях и на отвалах, скорости движения, квалификации водителей. На срок службы шин влияет крепость транспортируемых горных пород, температура окружающей среды, количество осадков, климатические условия.

Горные карьерные дороги в условиях РТ характеризуются повышенной неровностью дорожного полотна и достаточно глубокими и широкими колеями, сложной геометрией в плане и профиле, протяжными подъёмами и спусками, большинство участков насыщены дресвяными и щебенистыми обломками горных пород, выпавших из кузова самосвала на поверхность дороги.

В горных условиях строительства ГТС технический уровень эксплуатации шин находится на низком уровне. Тому причиной служит сложность соблюдения правил ухода за ними, неравномерность распределения горной массы в кузове, плохое состояние погрузочных площадок, несоответствующие параметры подъездных и карьерных дорог, а также подъездов в забоях и на отвалах, несоблюдение скоростных режимов движения и квалификации водителей. На срок службы шин также влияют: крепость транспортируемых горных пород, температура окружающей среды, климатические условия, количество осадков.

Горные условия РТ характеризуются обычно частыми и обильными осадками зимой и весной, а лето и первая половина осени отличаются высоким уровнем запыленности, для снижения которого автомобильные дороги обильно поливаются водой. Все это приводит к тому, что дорожное полотно увлажняется и размывается.

Рисунки беговых дорожек протекторов шин 18.00-25, монтируемых на автомобилях-самосвалах БелАЗ-7540В в условиях сухих поверхностей с высокой несущей способностью весьма эффективны с точки зрения тягово-сцепных и тормозных свойств, а также экономичности по расходу топлива. Однако в условиях, увлажненных и размытых карьерных дорог колесные движители становятся причиной буксования машин, что приводит к снижению

производительности из-за потери скорости движения и большого перерасхода топлива, нарушению технологического процесса и усталости операторов и т.п. Подробная причинно-следственная связь между буксованием колеса автомобиля и ухудшением ее эффективности использования представлена на рисунке 2.12.



Рисунок 2.12 – Схема причинно-следственной связи между буксованием колеса автомобиля и ухудшением ее эффективности использования

При движении автомобиля-самосвала по размытой грунтовой дороге в глубокой колее очень часто между сдвоенными шинами колес заклиниваются посторонние предметы (камни, булыжники, и прочие посторонние предметы). При этом образуются инерционные силы неуравновешенной массы, которые создают дополнительную нагрузку на трансмиссию, силовую передачу и ходовую часть колесной машины. Кроме этого, нарушается её курсовая и боковая устойчивость.

К одним из свойств пневматических шин следует отнести способность их к самоочищению и отводу прилипшей грязи по канавкам рисунка протектора, так как от этого зависят величины продольного и бокового сцепления шины с поверхностью качения.

Самоочищаемость шин как фактор, влияющий на динамику колесных машин, целесообразно рассматривать с определения момента сопротивления колеса переменной массы. Вследствие прилипания к колесу грунта или отрыва его частиц, заклинивания постороннего предмета между сдвоенными шинами изменяется масса колеса. Момент инерции его относительно собственной оси найдем из уравнения [7, 20]:

$$M_u = J_k + M \cdot h^2, \quad (2.45)$$

где J_k – момент инерции колеса; M – масса постороннего тела ($M = G_1/g$, где G_1 – вес постороннего тела); h – расстояние от центра массы колеса до центра массы постороннего тела.

Момент инерции колеса, если его представить в виде тора или диска, можно найти по формуле:

$$J_k = M_T \left(R_T^2 + \frac{3}{4} \cdot r_T^2 \right) + \frac{1}{2} M_D \cdot r_D^2 = \frac{G_T}{g} \left(R_T^2 + \frac{3}{4} \cdot r_T^2 \right) + \frac{1}{2} \cdot \frac{G_D}{g} \cdot r_D^2, \quad (2.46)$$

где M_T – масса тора; M_D – масса диска; G_T – вес тора; G_D – вес диска; R_T – расстояние от оси колеса до центра тора; r_T – радиус тора; r_D – радиус диска; g – ускорение свободного падения тел.

Момент сопротивления колеса с массой, сосредоточенной на ободке, находим из выражения:

$$M_c = \varepsilon_k \cdot J_k + M \cdot h^2, \quad (2.47)$$

где ε_k – угловое ускорение колеса.

Угловое ускорение колеса определяется из выражения

$$\varepsilon_k = \frac{\omega_1 - \omega_0}{t} = \frac{\alpha}{t^2}, \quad (2.48)$$

где $\alpha = l/r_k$ – суммарный угол поворота колеса в радианах; ω_0 и ω_1 – соответственно, начальная и конечная угловые скорости колеса; l – путь, пройденный автомобилем; t – время, затраченное автомобилем на прохождение участка пути.

Подставив в уравнение (2.47) вместо J_k и k их значения из формул (2.46) и (2.48), получим

$$M_c = \left[\frac{G_T}{g} \left(R_T^2 + \frac{3}{4} \cdot r_T^2 \right) + \frac{1}{2} \cdot \frac{G_D}{g} \cdot r_D^2 + \frac{G_T}{g} \cdot R_T^2 \right] \cdot \frac{\alpha}{t^2}. \quad (2.49)$$

Уравнение (2.49) показывает, что момент сопротивления колеса с массой, сосредоточенной на ободе, прямо пропорционален этой массе. Следует отметить, что чем больше создаваемый такой массой момент сопротивления, тем больше затрат энергии на перекачивание колесной машины.

Согласно работе Ю.Г. Горшкова и В.Ф. Бабкова [7, 20, 21], сила, удерживающая прилипшей массы между выступами протектора, определяется из выражения

$$P_y = S_0 \cdot \varepsilon + P_0 \cdot h_\varepsilon \cdot (\varepsilon + q \cdot \zeta \cdot \operatorname{tg} \varphi), \quad (2.50)$$

где S_0 – площадь дна впадины; ε – сцепление прилипшей массы с резиной; P_0 – периметр впадины; h_ε – высота впадины; q – максимальное удельное давление колеса на дно колеи; φ – угол внутреннего трения увлажненной массы; ζ – коэффициент бокового распора увлажненной массы на поверхности дороги.

Расчет удерживающей силы P_y по уравнению (2.50) можно произвести по средним данным для глины и значениям: $S_0 = 33,8 \text{ см}^2$; $\varepsilon = 0,06 \text{ кг/см}^2$; $P_0 = 2,0 \text{ см}$; $h_\varepsilon = 3,7 \text{ см}$; $\varphi = 28$ градусов; $\zeta = 0,3$; $q = 2,0 \text{ кг/см}^2$.

Тогда $P_y = S_0 \cdot \varepsilon + P \cdot h_\varepsilon \cdot (\varepsilon + q \cdot \zeta \cdot \operatorname{tg} (28 \cdot 3,14/180)) = 4,64 \text{ кгс}$. Если высоту впадины h_ε взять равной $h_\varepsilon = 0,7 \text{ см}$, то $F_y = 1,80 \text{ кгс}$ (для увлажненной смеси грунта,

песка, древесных и щебенистых обломков горных пород, и т.п.).

Если сопротивление прилипшей массы на разрыв составляет $S_0 \cdot C$ (C – сцепление дорожного полотна), то условие, при котором грязевая масса не будет прилипать к шине, должно быть следующим: $C < P_y$;

$$C < S_0 \cdot \varepsilon + P_0 \cdot h_g \cdot (\varepsilon + g \cdot \zeta \cdot \operatorname{tg} \varphi). \quad (2.51)$$

Для самоочищения шины необходимо, чтобы центробежная сила P_u была равна или превышала удерживающую P_y , то есть

$$P_u = \frac{mv^2}{R} = \frac{h_g \cdot S_0 \cdot j \cdot v^2}{g \cdot R} \geq S_0 \cdot \varepsilon + P_0 \cdot h_g \cdot \varepsilon + g \cdot \zeta \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (2.52)$$

где m – масса смеси, запрессованного во впадину между выступами протектора; j – удельный вес прилипшей массы; v – линейная скорость беговой дорожки шины, соответствующий скорости движения автомобиля; R – расстояние от центра колеса до центра впадины.

Следует отметить, что самоочищение шины будет происходить при условии, если глубина впадины рисунка протектора h_g

$$h_g \leq \frac{S_0 \cdot \varepsilon \cdot g}{S_0 \cdot j \cdot v^2 / g \cdot R - [P_0 \cdot \varepsilon + g \cdot \zeta \cdot \operatorname{tg} \varphi] \cdot g \cdot R}. \quad (2.53)$$

Используя формулу (2.52), определим зависимость $P_u(R, v, h_g)$. Для этого по табл. 2.6 находим данные некоторых средних значений механических показателей связных масс прилипшей смеси при различном их состоянии [34].

Таблица 2.5 – Средние значения механических показателей связных грунтов при различном их состоянии

| Вид связных грунтов | Несущая способность грунтов, кгс/см ² | Внутреннее сцепление грунта, кгс/см ² (ε) | Угол внутреннего трения, град | Модуль деформации грунта, кг/см ² |
|-----------------------------|--|--|-------------------------------|--|
| Влажность ниже пластичности | | | | |
| Галечниковые (щебенистые) | 4,0...4,5 | 0,02...0,06 | 32...38 | 280...480 |
| Среднекрупный песчаный | 4,0...5,0 | 0,01...0,03 | 35...40 | 300...500 |
| Гравийные с песчаным | 5,0 | 0,01...0,02 | 38...40 | 300...500 |

Из графика (рис. 2.13) видно, что с увеличением глубины впадины h_e рисунка протектора требуется большее значение центробежной силы P_u .



Рисунок 2.13 – Зависимость величины центробежной силы P_u от глубины впадины h_e для автомобиля БелАЗ-7540В

Самоочищаемость пневматической шины зависит от величины, центробежной и удерживающей сил, состояния грунта, скорости движения колесной машины и параметров рисунка протектора.

Предложенный метод оценки самоочищаемости пневматических шин автомобилей-самосвалов может быть использован как на стадии создания новых конструкций колесных движителей, так и существующих для выявления их соответствия условиям эксплуатации. Кроме того, для правильного выбора профиля шины для эксплуатации автомобилей на строительстве ГЭС рассмотрена модель взаимодействия шины и грунта.

На основании предлагаемых методик самоочищаемости шины и контактного взаимодействия шины и грунта разработаны рекомендации по конструктивному исполнению колесного движителя для автомобилей-самосвалов, эксплуатируемых на строительстве Рогунской ГЭС, а именно, разработанная методика позволяет определить высоту рисунка протектора, а его насыщенность и профиль шины, исходя из самоочищаемости шины и уменьшения энергетических затрат на перекачивание колеса.

2.6.2 Влияние конструктивных параметров шины на энергетические затраты

Расход топлива при постоянстве теплотворной способности H_u топлива и эффективном КПД двигателя η_e пропорционален внешнему сопротивлению автомобиля. Эффективный КПД двигателя зависит от режимов его работы.

Выразив эффективную мощность N_e через составляющие внешних сопротивлений, путевой расход топлива Q_n можно представить в следующем виде [56]:

$$Q_n = \frac{q_e}{2700 \cdot \eta_n \cdot \gamma} \cdot (P_\partial + P_B + P_{xx} + P_H), \quad (2.54)$$

где $\eta_n = 0,98^k; 0,97^e; 0,99^\mu$ – коэффициент, учитывающий влияние нагрузки на потери в трансмиссии (k, e, μ – соответственно число пар цилиндрических и конических шестерён и число карданов, передающих нагрузку); γ – удельный вес топлива, кг/л; P_{xx} – сила сопротивления трансмиссии на холостом ходу, Н.

Согласно исследованиям [75, 76], коэффициент сопротивления качению шин зависит, в частности, от подводимого к колесу момента, скорости качения и неровности дороги. По данным А.К. Бируля, дополнительное увеличение коэффициента сопротивления качения из-за неровностей дороги и скорости качения выражается формулой

$$f_k = f_o + \lambda_n \cdot S_n \cdot V^2 \cdot 10^{-8}, \quad (2.55)$$

где λ_n – коэффициент, зависящий от конструкции ходовой части автомобиля (для грузовых автомобилей $\lambda_n = 5,5$); S_n – показатель ровности покрытия (для гравийного покрытия он равен 50 – 150).

Таким образом, силу сопротивления дороги можно представить так:

$$P_\partial = G_a \left[(f_o + \lambda_n \cdot S_n \cdot V^2 \cdot 10^{-8}) \cdot \cos \alpha \pm \sin \alpha \right]. \quad (2.56)$$

Сила сопротивления трансмиссии на холостом ходу P_{xx} , с достаточной для практики точностью может быть оценена следующей эмпирической зависимостью [56]:

$$P_{xx} = (2 + 0,025 \cdot V) \cdot G_a \cdot 10^{-3}. \quad (2.57)$$

С увеличением нагрузки двигателя до определенного предела удельный расход топлива уменьшается, а эффективный КПД возрастает. С уменьшением степени использования мощности двигателя происходит обратное явление. Поэтому при работе автомобиля с низкой степенью использования мощности двигателя увеличение сопротивления качению повышает общий расход топлива Q_n за счёт возрастания внешней нагрузки и вместе с тем его уменьшает, так как с увеличением внешней нагрузки удельный расход топлива понижается. При работе с большей степенью использования мощности двигателя, когда эффективный КПД двигателя изменяется незначительно, расход топлива изменяется пропорционально изменению внешнего сопротивления. Указанное необходимо учитывать при оценке влияния сопротивления качению шин на расход топлива автомобилем.

Таким образом, для расчёта расхода топлива Q_n при заданной скорости V необходимо по экспериментальным зависимостям определить g_e для заданных чисел оборотов

$$n_e = \frac{V \cdot U_{\text{тр}}}{0,38 \cdot r_k}, \quad (2.58)$$

где $U_{\text{тр}}$ – передаточное число трансмиссии.

Известно, что суммарное сопротивление $\Sigma N_{\text{сп}}$ движению автомобиля прогрессивно возрастает с увеличением скорости движения, причем с достаточной для практики точностью можно принять, что мощность сопротивления трению $N_{\text{ст}}$ в силовой передаче, мощность трения в подшипниках передних колёс и вентиляционных потерь $N_{\text{п}}$, мощность сопротивления качению $N_{\text{к}}$ шин передних и задних колёс с увеличением скорости возрастает примерно линейно, а мощность сопротивления воздуха $N_{\text{в}}$ выражается кубической зависимостью. При малых скоростях движения автомобиля сопротивление воздуха относительно мало и обычно не принимается в расчёт.

Нами был проведен широкий комплекс исследований по оценке различных видов сопротивлений при свободном движении автомобиля. Опыты показали, что в общем балансе сопротивления движению автомобиля потери на качение шин

составляют при малых скоростях движения 70 – 80%, а при средних скоростях движения (50 – 60 км/ч) 50 – 60%. Поэтому, благодаря снижению сопротивления качению в шинах, можно значительно уменьшить расход топлива автомобиля.

При лабораторно-дорожных испытаниях коэффициент сопротивления качению шин обычно характеризуют величиной пути выбега автомобиля с определенной начальной скорости до его полной остановки. Такой метод оценки коэффициент сопротивления качению шин является достаточно простым и удобным. Для этого необходимо определить зависимость между коэффициентом сопротивления качению шин и выбегом автомобиля. Это даст возможность определить расход топлива Q_n по известной величине выбега автомобиля.

В работе [59, 116] на основании опытных данных выведена зависимость коэффициента сопротивления качению шин от выбега. В нашем случае представляет интерес теоретическая зависимость начального коэффициента сопротивления качению шины f_k непосредственно от выбега с учетом влияния неровностей дорожного покрытия, что позволит анализировать влияние различных факторов на величину пути выбега и коэффициента сопротивления качению шин (2.9).

Приведенные выше зависимости позволяют проанализировать влияние коэффициента сопротивления качению шин на расход топлива автомобилем. Они показывают, что с уменьшением сопротивления качению уменьшается расход топлива.

В наиболее часто встречающихся (средних) условиях эксплуатации автомобилей с колесной формулой 4×2, 1% снижения коэффициента сопротивления качению шин уменьшает расход топлива на 0,25 – 0,35%. На твердых дорогах потери на трение в контакте и на вентиляцию воздуха колесом относительно невелики. В таких условиях главным источником коэффициента сопротивления качению являются гистерезисные потери внутри шины.

Поскольку коэффициент сопротивления качению шин ведущих колес выше, чем ведомых, необходимо при рассмотрении топливной экономичности автомобиля учитывать количество ведомых и ведущих осей, величину и

распределение моментов между последними. Очень сильно сказывается на увеличении расхода топлива интенсивный рост коэффициент сопротивления качению шин при движении на повороте. В зависимости от скорости движения и радиуса поворота коэффициента сопротивления качению шин может увеличиваться (по сравнению с прямолинейным движением) во много раз.

Например, коэффициент сопротивления качению шин автомобиля, движущегося по кругу радиусом 10 м со скоростью около 30 км/ч возрастает примерно в 15 раз по сравнению с прямолинейным движением.

Опыт эксплуатации показывает, что у современных шин различных изготовителей разница в величинах сопротивления качению может достигать таких величин, при которых разность в расходе топлива при прочих равных условиях может достигать 20 – 30%. Это подчеркивает важность мероприятий по снижению коэффициента сопротивления качению шин, как одного из основных факторов, определяющих топливную экономичность автомобиля.

Выбор шин для автомобилей заключается в соответствующем определении их основных размеров, рисунка протектора и эксплуатационных норм: нагрузки, давления воздуха, скорости движения. Кроме того, могут предъявляться специфические требования к шине, бескамерность, регулируемость давления воздуха, малое сопротивление качению и другие требования. Таким образом, к главным характеристикам шин относятся прежде всего их габаритные размеры: наружный диаметр D , ширина профиля B , высота профиля H , ширина обода C , радиус кривизны протектора R и ширина протектора (рис. 2.14).

Шины в зависимости от назначения могут выполняться с различными конструктивными соотношениями формы профиля и габаритных размеров, они отличаются в основном геометрическими соотношениями, характеризующими конфигурацию их профиля.

В зависимости от давления воздуха, сил, действующих на колесо, и скорости движения форма шины может изменять свои геометрические параметры. Эластичная оболочка одинаковой жесткости по всему профилю под действием давления воздуха стремится занять форму тора.

В действительности автомобильная покрышка имеет различную жесткость в разных точках её поперечного сечения. В зоне брекера и протектора она обычно больше, чем на боковинах. Поэтому при накачивании автомобильной шины воздухом ее каркас принимает определенную равновесную форму, несколько отличающуюся от тора.

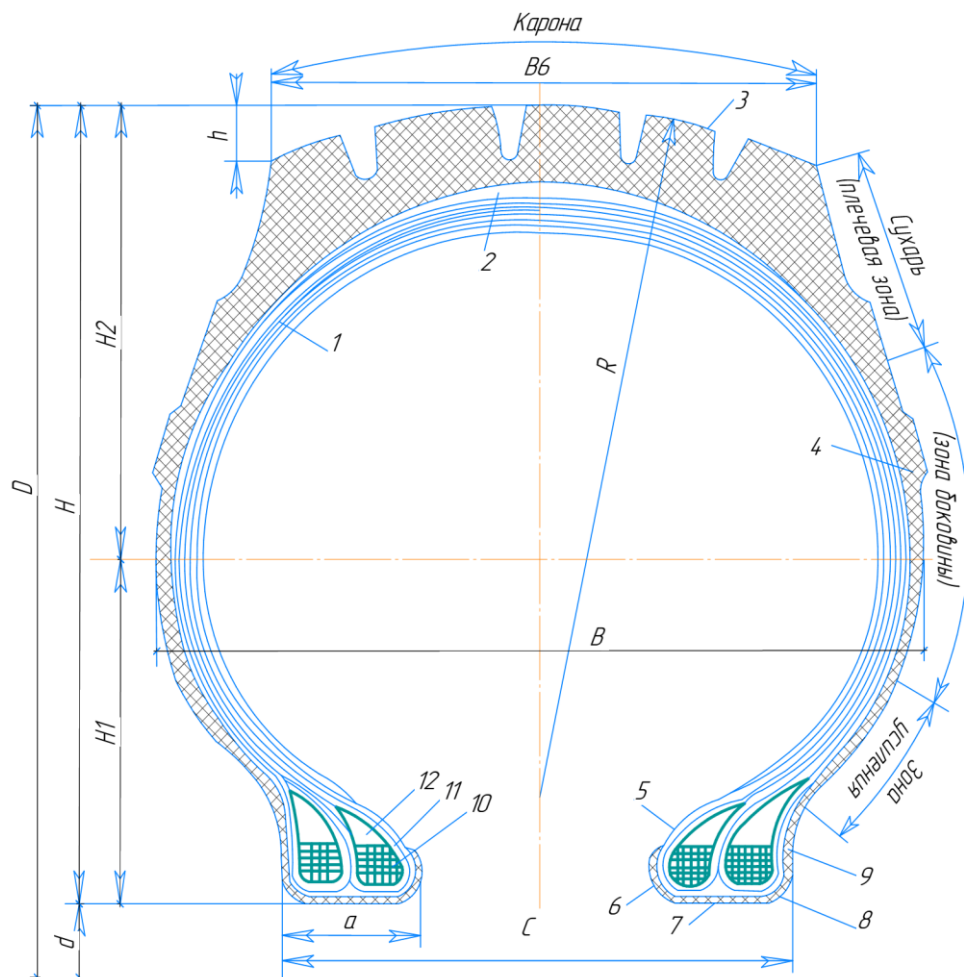


Рисунок 2.14 – Радиальный разрез шины: 1 – каркас; 2 – подушечный слой (брекер); 3 – протектор; 4 – боковина; 5 – борт; 6 – носок борта; 7 – основание борта; 8 – пятка борта; 9 – бортовая лента; 10 – бортовая проволока; 11 – обертка; 12 – наполнительный шнур; H – высота профиля покрышки; H_1 – расстояние от основания борта до горизонтальной осевой линии профиля; H_2 – расстояние от горизонтальной оси до экватора; B – ширина профиля покрышки; B_0 – ширина беговой дорожки протектора по хорде (корона); R – радиус кривизны протектора; D – наружный диаметр шины; d – внутренний (посадочный) диаметр шины; h – стрела дуги протектора; C – ширина раствора бортов; a – ширина борта

Изменение размеров покрышки при накачивании её сжатым воздухом зависит не только от соотношения жесткостей в различных точках профиля, но и главным образом от первоначальной формы покрышки. Действительно, если ширина профиля B диагональной покрышки выполнена значительно большей, чем его высота H , то под действием давления воздуха диаметр шины D увеличивается. Наоборот, если $H > B$, то при накачивании шины воздухом диаметр покрышки уменьшается. Существует определенное соотношение между B и H , при котором с изменением давления воздуха размеры профиля шины изменяются незначительно.

Основную нагрузку от давления воздуха несёт каркас покрышки, так как его жесткость значительно выше жесткости резины.

Известно, что при

$$\frac{B-C}{B_{\text{п}}} \left[1 + \frac{H^2}{2 \cdot (B-C)^2} \right] \cdot \cos \beta < 1 \quad (2.59)$$

наружный диаметр под действием внутреннего давления увеличивается (ширина профиля уменьшается), при

$$\frac{B-C}{B_{\text{п}}} \left[1 + \frac{H^2}{2 \cdot (B-C)^2} \right] \cdot \cos \beta > 1 \quad (2.60)$$

наружный диаметр уменьшается (ширина профиля увеличивается); здесь B – ширина профиля; H – высота профиля шины; C – ширина обода.

Эмпирические зависимости, полученные различными авторами, позволяют определить ориентировочные значения коэффициентов сопротивления уводу шин. Приведем некоторые из них:

$$K_y = K_{y0} \cdot q_z \cdot q_m \cdot q_{\varphi}, \quad (2.61)$$

где K_{y0} – коэффициент сопротивления уводу ведомого колеса на линейном участке зависимости $P_y = f(\delta)$ при оптимальных значениях нормальной нагрузки и давления воздуха в шине; q_z – коэффициент коррекции, учитывающий влияние отклонения нормальной нагрузки от оптимальной; q_m – коэффициент коррекции, учитывающий влияние продольных реакций, действующих на колесо; q_{φ} – коэффициент коррекции, учитывающий зависимость коэффициента сопротивления уводу от

коэффициента поперечного сцепления φ_y на участке нелинейной зависимости $P_y=f(\delta)$.

Коэффициенты сопротивления уводу K_{y0} составляют: у шин грузовых автомобилей 30 – 100 кН/рад, у шин автомобилей особо большой грузоподъемности 360 – 1500 кН/рад. Для шины 18.00-25 автомобиля-самосвала БелАЗ-7540В грузоподъемностью 30 т он составляет 60 кН/рад.

При отсутствии данных по значениям коэффициента он может быть приближенно определен по формуле:

$$K_{y0} = 1000 \frac{N_{сл}}{N_{сл}+10} D \cdot B_{ш} \sqrt{\frac{B_{ш}}{H_{ш}}} + \frac{6,2}{d^3(N_{сл}+8)} \cdot \frac{D \cdot H_{ш} \cdot B_{ш}}{(D^2 - d^2) \cdot d}, \quad (2.62)$$

где D и d – соответственно наружный и посадочный диаметр шины, м; $B_{ш}$, $H_{ш}$ – ширина и высота профиля шины, м; $N_{сл}$ – число слоев корда в шине.

Для тороидальных шин диагональной конструкции значение коэффициента сопротивления уводу может быть определено по эмпирической формуле:

$$K_{y0} = 0,78 \cdot B_{ш} \cdot (d + 2 \cdot B_{ш}) \cdot (p_v + 98), \quad (2.63)$$

где d и $B_{ш}$ – соответственно посадочный диаметр и ширина профиля шины, м; p_v – давление воздуха в шине, кПа.

Коэффициент коррекции, учитывающий отклонение нормальной реакции R_z от оптимальной R_{zopt} , при которой достигается K_{ymax} ,

$$q_z = 2,4 \cdot \frac{R_z}{R_{zopt}} - 1,8 \cdot \left(\frac{R_z}{R_{zopt}} \right)^2 + 0,4 \cdot \left(\frac{R_z}{R_{zopt}} \right)^3. \quad (2.64)$$

Коэффициент коррекции, учитывающий влияние продольной реакции, действующей на колесо,

$$q_T = \sqrt{1 - \left[R_x / (\varphi \cdot R_z) \right]^2} / (1 + 0,375 R_x / R_z) \quad (2.65)$$

при $\sqrt{R_x^2 + R_y^2} \leq 0,5 \cdot \varphi \cdot R_z$, то есть до момента, когда скольжением можно пренебречь.

Коэффициент коррекции, учитывающий влияние сцепления колеса с дорогой,

$$q_{\varphi} = \operatorname{arctg} \cdot \frac{\left[\pi \cdot K_{y0} \cdot (\delta - \delta_0) / (2 \cdot \varphi \cdot R_z) \right]}{\left[\pi \cdot K_{y0} \cdot (\delta - \delta_0) / (2 \cdot \varphi \cdot R_z) \right]}, \quad (2.66)$$

где δ_0 – угол увода, соответствующий переходу от линейного участка 1 к нелинейному участку 2 (рис. 2.15).

В соответствии с методикой взаимодействия шины с опорной поверхностью, представленной в работе, при движении карьерных автомобилей-самосвалов по щебёночному дорожному покрытию, сопротивление движению, в основном, определяется затратами, связанными с работой шин. При прямолинейном движении – это радиальные деформации шин, при криволинейном движении к радиальным деформациям добавляются деформации в боковом направлении. Решая уравнения (2.9), (2.62)

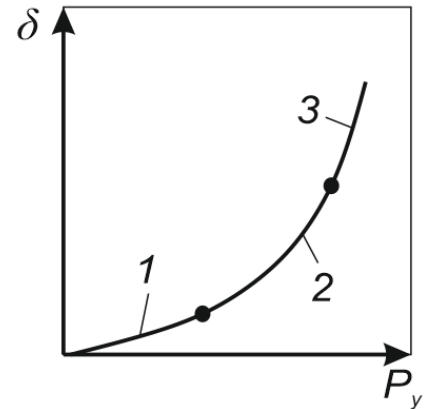


Рисунок 2.15 –
Зависимость угла увода от
боковой силы

и (2.63) из условия минимизации начального коэффициента сопротивления качению f_k , было определено оптимальное значение $H/B = 0,8$ для шин грузовых автомобилей, эксплуатируемых в горных условиях. Значительным резервом в этом направлении является широкое применение радиальных шин.

2.7 Основные выводы по разделу

На основе приведённых теоретических исследований получены следующие результаты:

1. Усовершенствована концептуальная модель эффективности функционирования системы ВАДС в горных условиях, основанная на законе сохранения энергии, в отличие от оценки эффективности системы ВАДС по её надёжности и отношению к безопасности дорожного движения. На основе предложенной концептуальной модели предложено дифференциальное уравнение для определения уровня эффективности системы ВАДС.

2. Выявлены, что энергетические затраты на транспортные работы автомобилей снижаются с увеличением удельной эффективной мощности автомобиля. Следовательно, удельная мощность автомобиля может служить ключевым параметром для оценки энергетических затрат автомобиля.

3. Предложен обобщенный динамический коэффициент оценки эффективности функционирования карьерной дороги в горных условиях (k_D) и динамический коэффициент, учитывающий сложность условий эксплуатации (k_{di}) для учёта совместного влияния факторов.

4. Предложена методика оценки эффективности управления автомобилем. Экспериментально установлены зависимости эффективности управления автомобилем от стажа работы водителя, а также пределы изменения показателей эффективности при бережливом и агрессивном стилях вождения.

5. Предложенный метод оценки самоочищаемости пневматических шин автомобилей-самосвалов может быть использован как на стадии создания новых конструкций колесных движителей, так и существующих для выявления их соответствий условиям эксплуатации.

3 МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Задачи экспериментальных исследований

С целью проверки теоретических предпосылок, изложенных во второй главе, стали необходимы экспериментальные исследования, в которые входит: проведение лабораторных, лабораторно-дорожных и хронометражных испытаний карьерных автомобилей-самосвалов, используемых в условиях строительства ГЭС в РТ.

В качестве объектов исследований были выбраны следующие большегрузные самосвалы:

- карьерный автомобиль-самосвал марки БелАЗ-7540В с ГМТ;
- карьерный автомобиль-самосвал марки SHACMAN-SX3256DR384 с МТ.

Экспериментальные испытания проводились с целью сравнительной оценки надежности системы ВАДС, а также для определения технико-экономических показателей большегрузных карьерных автомобилей-самосвалов марок БелАЗ-7540В с ГМТ и SHACMAN-SX3256DR384 с МТ, эксплуатируемых в условиях строительства Рогунской ГЭС в РТ.

Для достижения поставленной цели предполагалось решение следующих задач:

- определение закономерностей изменения технико-экономических показателей большегрузных карьерных автомобилей-самосвалов при выполнении ими транспортных работ в условиях РТ;
- определение показателей надежности элементов системы ВАДС;
- оценка эффективности системы ВАДС в горных условиях РТ;
- установление экспериментальных значений коэффициентов реализации технико-экономических показателей большегрузных карьерных автомобилей-самосвалов.

Объекты исследований были подготовлены на кафедре «Колесные и гусеничные машины» Южно-уральского Государственного университета, кафедре «Эксплуатация автомобильного транспорта» Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими и на строительстве Рогунской ГЭС.

Экспериментальные исследования проводились в три этапа:

1. Стендовые (лабораторные) испытания двигателя ЯМЗ-240М2-1 автомобиля БелАЗ-7540В и WEICHAI WP10 автомобиля SHACMAN-SX3256DR384 в лаборатории обкатки и испытания пункта ТО и ремонта большегрузных автомобилей-самосвалов в АТП строительства Рогунской ГЭС.

2. Лабораторно-дорожные сравнительные испытания автомобилей-самосвалов БелАЗ-7540В и SHACMAN-SX3256DR384, оснащенных гидромеханической и механической коробками перемены передач.

3. Хронометражные наблюдения за работой автомобилей-самосвалов БелАЗ-7540В и SHACMAN-SX3256DR384 при выполнении ими транспортных операций в различных дорожных условиях.

Стендовые (лабораторные) испытания проводились в лаборатории испытания автомобилей пункта ТО и ремонта большегрузных автомобилей - самосвалов в АТП строительства Рогунской ГЭС на обкаточно-тормозном стенде с целью снятия регуляторной и скоростной характеристик двигателей ЯМЗ-240М2-1 и WEICHAI WP10.

Стендовые испытания проводились до и после лабораторно-дорожных испытаний в соответствии с требованиями, предусмотренными в ГОСТ 26899-86 [27].

В процессе стендовых испытаний проводилась тарировка измерительной аппаратуры для фиксации показателей двигателя и силовой установки.

Схема управления обкаточно-тормозным стендом показан на рисунке 3.1.

Лабораторно-дорожные испытания карьерных автомобилей-самосвалов марок БелАЗ-7540В и SHACMAN-SX3256DR384, оснащенных гидромеханической и механической коробками перемены передач проводились на карьерных дорогах строительства Рогунской ГЭС в 2018-2019 годах. Испытания проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 58137-2018 [31] и правилами производства транспортных работ с соблюдением установленных мер безопасности транспортных средств.

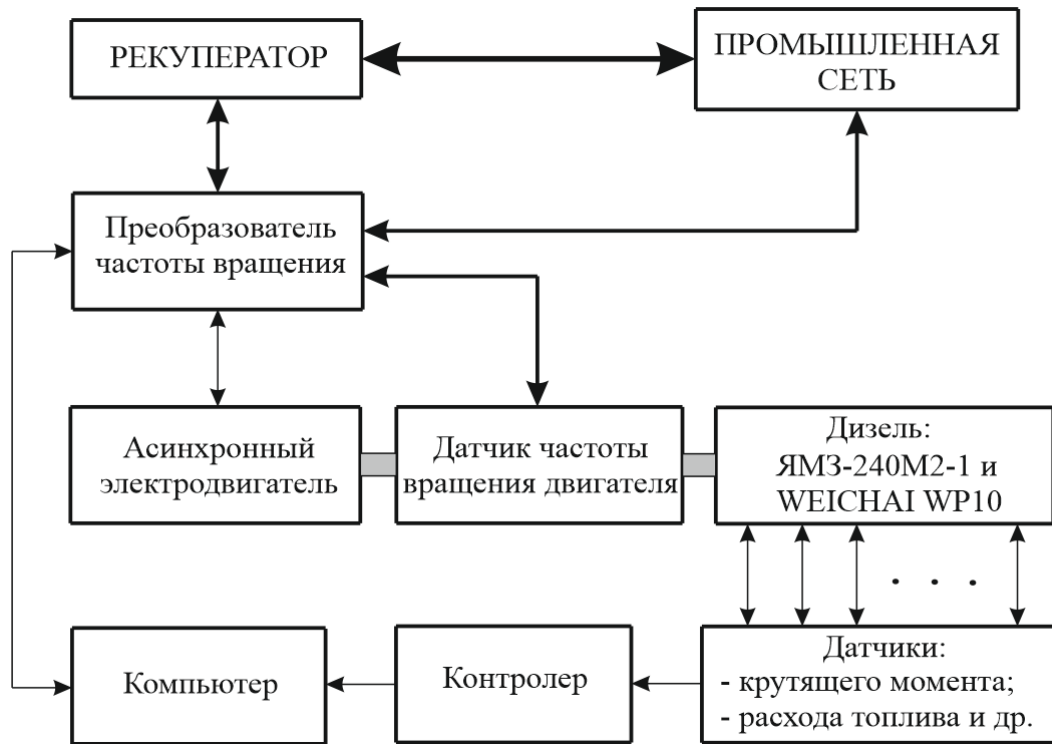


Рисунок 3.1 – Схема управления обкаточно-тормозным стендом

Карьерным автомобильным дорогам на строительстве Рогунской ГЭС в горных условиях характерны следующие особенности [101, 109]:

– большинство участков автомобильной дороги засыпаны дресвяными и щебенистыми обломками горных пород, выпавших из кузова самосвала на поверхность дороги, причем распределение частиц имеют вероятностный характер (рис.3.2);



Рисунок 3.2 – Фрагмент горной карьерной автодороги

– наибольшая удельная плотность дресвяных и щебенистых обломков горных пород, отнесенная на единицу площади дороги, наблюдается на поворотах, подъемах, участках дорог с неровностями, колеях дороги;

– на обочинах дорог имеются скопления камней (крупных, средних и мелких), дресвяных и щебенистых обломков горных пород;

– не соответствие поперечного профиля дорог требованиям СНиП, частые обратные уклоны и вогнутость формы, что способствует скапливанию дресвяных и щебенистых обломков горных пород в подобных участках.

Перечисленные характерные особенности карьерных автомобильных дорог на строительстве ГТС в горных условиях приводят в целом к снижению эффективности функционирования системы ВАДС.

Состав гравия, разрабатываемого и используемого на строительстве ГТС в горных условиях, составляют, в основном, зерна гранита и других пород.

Можно выделить две основные причины засорения поверхности дороги гравийными и галечниковыми частицами: естественное и за счет их выпадения из кузова автомобиля-самосвала при перевозке горной породы (так называемые «просьпы»).

Целью лабораторно-дорожных испытаний ставилась сравнительная оценка влияния дорожно-эксплуатационных условий на надежность и эффективность системы ВАДС при выполнении транспортных операций в горных регионах РТ, а также обоснование оптимальных нагрузочных и скоростных режимов работы двигателя и силовой установки в суровых горных условиях в процессе выполнения ими транспортных работ. Были исследованы надежность системы ВАДС и экономические показатели двигателя автомобиля SHACMAN-SX3256DR384 и силовой установки БелАЗ-7540В при различных дорожных и эксплуатационных условиях.

Хронометражные наблюдения за карьерными автомобилями - самосвалами марок БелАЗ-7540В и SHACMAN-SX3256DR384, производились при выполнении ими транспортных работ в условиях карьерных дорог строительства Рогунской ГЭС в РТ. При этом были определены фактическая производительность, часовой и удельный расходы топлива, а также расход запасных частей на единицу выработки.

3.2 Условия проведения экспериментальных исследований

Характерной особенностью территории Рогунской ГЭС считается засушливость климата, обилие тепла и значительная изменчивость практически всех климатических элементов.

Климат в условиях строительства Рогунской ГЭС охватывает самые широкие диапазоны температур, условий увлажнения, характера выпадения осадков, интенсивности солнечной радиации и т.д.

Годовой цикл температуры воздуха, в зависимости от времени суток находится в диапазоне от $-6,8^{\circ}\text{C}$ до $+28^{\circ}\text{C}$. Максимальная температура воздуха наблюдается в июле, минимальная в январе. Годовое количество осадков колеблется от 2,8 до 150,4 мм и средняя относительная влажность от 28 до 73%.

Общая продолжительность солнечного света колеблется от 1836 до 3294 часов в год. Облачность уменьшает приходящую солнечную радиацию и радиационный баланс. Максимальная интенсивность суммарной солнечной радиации достигается в месяцах июне – августе. Средняя скорость ветра изменяется от 2,4 до $3,5 \text{ м/с}^2$.

Дорожно-климатические условия строительства Рогунской ГЭС отображены на рисунке 3.3

Засорение поверхности дорожного полотна дресвяными и щебенистыми обломками горных пород ещё более усугубляют и без того сложные условия передвижения автомобиля по горной карьерной дороге, в результате чего снижается эффективность функционирования системы ВАДС.

Ещё одной характерной особенностью карьерных автомобильных дорог на строительстве Рогунской ГЭС является ровность (или неровность) дороги, которая характеризуется наличием неровностей или отклонений фактической поверхности от проектной, вызывающих при проезде автомобиля колебания его колес и кузова [28].

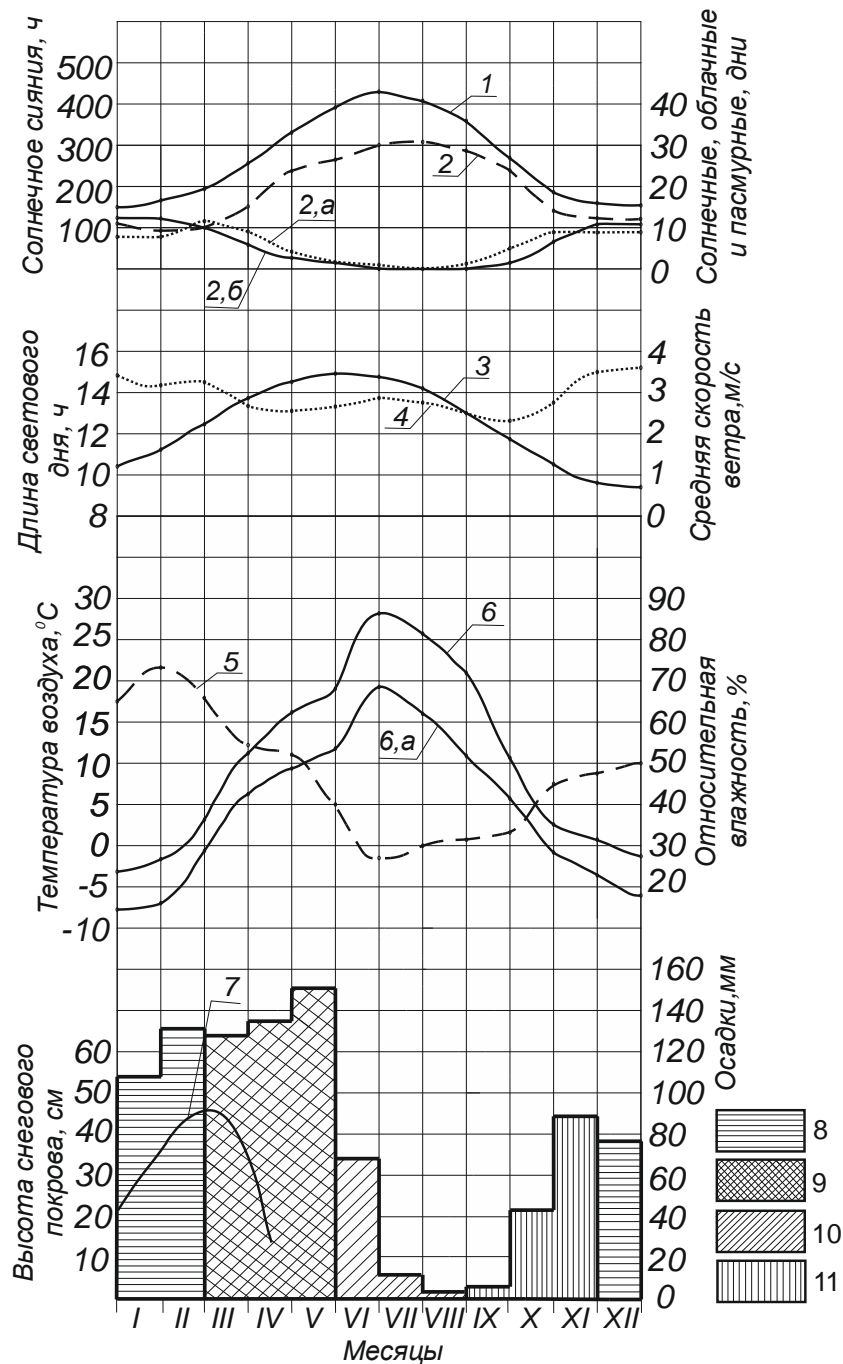


Рисунок 3.3 – Дорожно-климатический график района приложения дороги в условиях строительства Рогунской ГЭС [74]: 1 – продолжительность солнечного сияния, 2 – количество солнечных дней, 2, а – количество облачных дней, 2, б – количество пасмурных дней, 3 – длина светового дня, 4 – средняя скорость ветра, 5 – относительная влажность, 6 – годовой цикл изменения температуры воздуха днем, 6, а – годовой цикл изменения температуры воздуха ночью, 7 – высота снежного покрова, 8 – зимние осадки, 9 – весенние осадки, 10 – летние осадки, 11 – осенние осадки и осадки в переходные периоды.

В карьерных автомобильных дорогах на строительстве Рогунской ГЭС в горных условиях встречаются продольные и поперечные виды неровности. Из поперечной неровности наряду с макронеровностью (с длиной волны 5 м и более) и шероховатостью (с длиной волны до 10 см) широко распространены и микронеровности дорожной поверхности, состоящие из неровностей длиной от 10 см до 5 м, которые вызывают значительные колебания автомобильной подвески [62].

Неровности поверхности карьерной дороги измерялись в условиях строительства Рогунской ГЭС при помощи универсальной дорожной рейки РДУ-КОНДОР (рис. 3.4) согласно требованиям существующих стандартов и других нормативно-технических документов [73, 109].



Рисунок 3.4 – Измерение неровностей карьерной дороги при помощи универсальной дорожной рейки РДУ-КОНДОР

Все виды неровности дороги так или иначе влияют на функционирование системы ВАДС. В тоже время, микронеровности характеризуют ровность дороги, оказывают существенное влияние на показатели эффективности функционирования системы ВАДС.

В формировании эффективности функционирования системы ВАДС немаловажное значение отводится засоренности поверхности дороги инородными предметами, такими как крупные или мелкие камни, дресвяные и щебенистые обломки горных пород, металлические и др. предметы.

Автомобили эксплуатируются в тяжелых условиях, включающих гористую местность, тоннели, карьерные условия. Замер расхода топлива автомобилями модели SHACMAN-SX3256DR384 осуществлялась на карьере №15 (рис. 3.5 а) с длиной участка от места погрузки до места разгрузки породы 2850 м (при общей длине маршрута с учетом выезда и заезда на базу 6600 м) и карьерных самосвалов БелАЗ-7540В на участке Т-18 до карьера №26 (рис. 3.5 б), длина которого составляла 5570 м. На обоих участках автомобили эксплуатируются на бездорожье, то есть дороги на указанных маршрутах нельзя соотнести к какой-либо категории дорог.

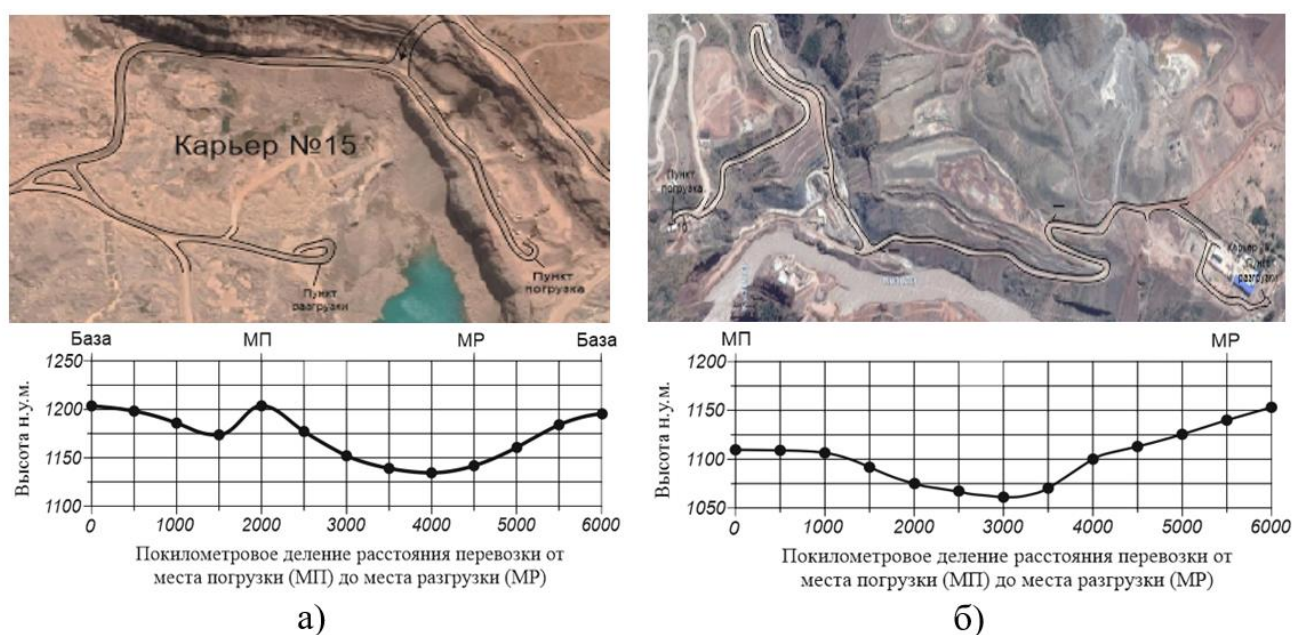


Рисунок 3.5 – Графическое отображение условий дороги карьеров в профиле и в плане: а) карьер №15; б) карьер №26

Подконтрольные автомобили на участках перемещаются со среднетехнической скоростью 8 – 10 км/ч. На участке карьера №15 расположены 6 участков кривизны дороги со средним радиусом 23 м, а на маршруте Т-18 до карьера № 26 таких участков 8 со средним радиусом кривизны дороги – 36 м.

Расход топлива определяли с помощью переносного расходомера модели DFM учитывающего неисправности топливной системы, несоответствия характеристик топлива-смазочных материалов стандарту, высоту протектора (мм), состояние трансмиссии, температуру и давление атмосферного воздуха.

В качестве фактического параметра расхода топлива было выбрано среднеарифметическое значение, при движении автомобилей в прямом и обратном направлениях по контрольному участку.

При выполнении замеров расхода топлива придерживались требований ГОСТ 20306-90 «Топливная экономичность автотранспортных средств. Номенклатура и методы испытаний [24].

Перед испытаниями проверялись: исправность спидометра; исправность системы питания; герметичность топливной системы; состояние контрольно-измерительных приборов; соответствие сорта ТСМ техническим условиям завода-изготовителя.

В ходе экспериментальных исследований измерялись: масса автомобиля (полная и снаряженная); давление воздуха в шинах; глубина протектора; температура окружающего воздуха; барометрическое давление; высота испытательного участка от уровня моря.

Для замера расхода топлива расходомер подключали к фильтру грубой очистки топлива (рис. 3.6).



Рисунок 3.6 – Подключение расходомера топлива DFM в топливную систему автомобиля SHACMAN-SX3256DR384

При проведении хронометража были учтены стесненные условия участков дорог, местами сочетающиеся с уклоном дорог до 6%.

3.3 Методика дорожных испытаний оценки влияния элементов системы ВАДС на ее эффективность

Перед началом проведения испытаний пробег новых автомобилей должен составлять не менее 2 км при кратких и 5 – 10 км при длительных контрольных и приемочных испытаниях, длина измерительного участка составляет около 5,5 км. Для снятия характеристики «разгон-выбег» движение автомобиля осуществляется с включением передачи, используемой для трогания с места. Затем следует разгон при полной подаче топлива и переключении передач при номинальной частоте вращения двигателя.

При определении скоростной характеристики разгона, на высшей передаче, разгон начинается с минимально устойчивой скорости на этой же передаче до скорости, соответствующей номинальной частоте вращения ДВС. Для установления максимальной скорости автомобиля он должен совершить пробег (не менее 1 км) на высшей передаче с наибольшей устойчивой скоростью. Время разгона с места определяется для участка пути длиной 2 и 5,5 км, а время разгона до заданной скорости устанавливаются по результатам записи параметров разгона с места.

Испытательные заезды должны проводиться в противоположных направлениях. Скорость, время, путь разгона и выбега измеряются соответствующей аппаратурой. Измерения проводились с 3-х кратной повторностью. При определении максимальных значений тяговых сил на ведущих колесах (на крюке) фиксируют показания динамометрических устройств в момент начала буксования колес или остановки двигателя.

Лабораторно-дорожные испытания проводились в соответствии с нормативно-техническими требованиями, установленными для карьерных автомобилей-самосвалов марок БелАЗ-7540В и SHACMAN-SX3256DR384. При проведении лабораторно-дорожных испытаний, руководствовались требованиями, предусмотренными в стандартах ГОСТ 22576-90 и ГОСТ 20306-90 [24, 25]. Условия лабораторно-дорожных испытаний (метеорологические условия, характеристика дороги и др.) выбирались в соответствии с требованиями ГОСТ Р 58137-2018 [31].

Для испытания карьерных автомобилей - самосвалов марок БелАЗ-7540В и SHACMAN-SX3256DR384, были выбраны карьерные дороги с плечом грузоперевозок 5,0 – 5,5 км. с наибольшими подъемом и спуском на отдельных участках дороги с характерной неровностью дорожного полотна.

Схема проведения лабораторно-дорожных испытаний карьерных автомобилей-самосвалов марок БелАЗ-7540В и SHACMAN-SX3256DR384, показана на рисунке 3.7.

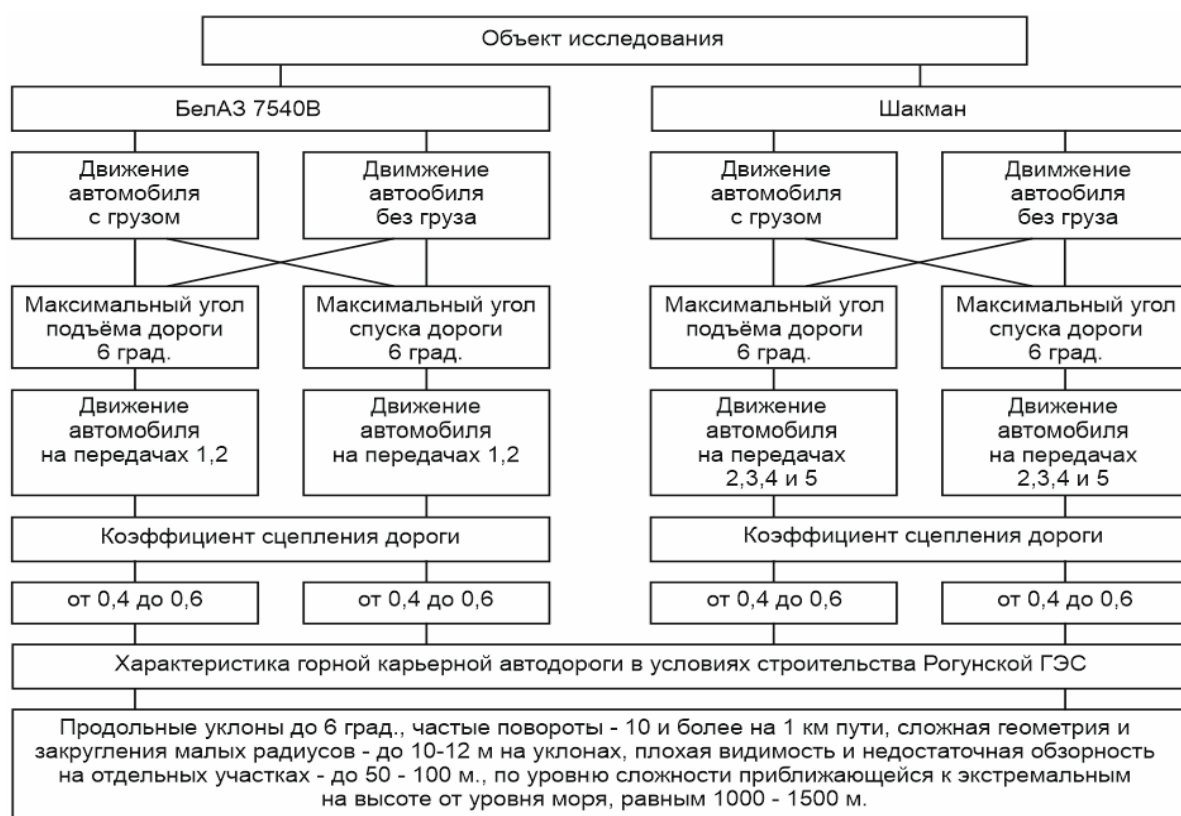


Рисунок 3.7 – Схема выполнения лабораторно-дорожных испытаний.

Карьерные автомобили-самосвалы марок БелАЗ-7540В и SHACMAN-SX3256DR384 испытывались на дорогах с длиной плеча грузоперевозки, равной 5,0 – 5,5 тыс. метрам и углом наклона профиля дороги, не превышающим 6 градусов. Перед началом лабораторно-дорожных испытаний и после их завершения проверялись, прогрев тензометрической аппаратуры, балансировка мостов в каналах усилителя и работа осциллографа. При контрольном заезде карьерных автомобилей-самосвалов марок БелАЗ-7540В и SHACMAN-SX3256DR384 проверялось функционирование измерительно-регистрирующей аппаратуры.

Каждый опыт проводился с трехкратной повторностью в следующей последовательности: установление требуемых режимов движения автомобиля; прогрев и проверка работы измерительно-регистрирующей аппаратуры; балансировка мостов в каналах усилителя; регистрация показателей на неустановившемся режиме движения карьерных автомобилей; остановка; регистрация в журнале наблюдений соответствующей информации о проведении опыта.

3.4 Оборудование и измерительная аппаратура для испытаний влияния элементов системы ВАДС

Для замеров тяговой силы и скорости движения автомобиля использовали ленточные стэнды. Ведущие колеса автомобиля за счет сил сцепления прокручивают барабаны, преодолевая сопротивление, создаваемое тормозом. От значения тормозного момента зависят крутящий момент и сила тяги на ведущих колесах. Скорость автомобиля фиксировали по спидометру, а также по скоростемеру стэнда.

Свободную силу тяги P_T на крюке автомобиля измеряли на ленточном стэнде (рис. 3.8). При этом задние колеса находились на ленте, охватывающей оба барабана. Барабан соединен с электротормозом. Буксирный прибор (крюк) автомобиля через динамометр соединен с неподвижной опорой. При движении автомобиля его колеса проворачивают ленту. Сопротивление вращения ленты обусловлено плавной нагрузкой электротормоза. Силу тяги P_m измеряли динамометром визуально, а также фиксировали на компьютере.

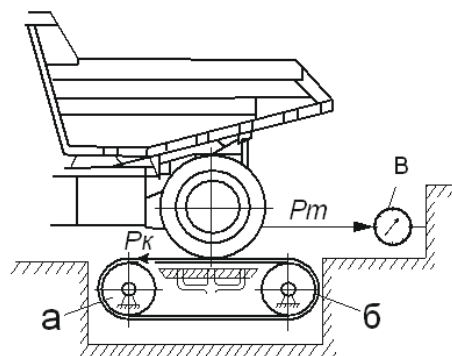


Рисунок 3.8 – Ленточный динамометрический стэнд:
 а – барабан; б – лента;
 в – динамометр.

Измерения крутящего момента на ведущих колесах автомобиля, находящегося на динамометрическом стэнде, а также при дорожных испытаниях проводились с применением метода тензометрирования с установкой тензодатчиков на полуосях.

Пройденный путь – S , время – t и скорость – V движения автомобиля определялись с помощью специальной установки «путь-время-скорость» с приводом от «пятого колеса». Установка состоит из преобразователя, связанного с осью «пятого колеса»; прибора-указателя и записи $S-t-V$; звена, соединяющего преобразователь с указателем. «Пятое колесо» мотоциклетного типа установлено в вилке и шарнирно закреплено на автомобиле под подножкой у грузового автомобиля. Для обеспечения безотрывного качения колеса по дороге с неровным покрытием в узле его крепления применялись пружины, прижимающие колесо к дороге.

Ускорения автомобиля регистрировалось визуально преобразователями ускорений (жидкостными, механическими), а также самопишущими приборами. Для фиксации времени заезда применялись секундомеры и электронные хронографы.

При дорожных испытаниях автомобилей на топливную экономичность определялись топливные характеристики при: установившемся режиме движения; движении по карьерной дороге с переменным продольным профилем; циклическом движении; а также контролировался расход топлива, пересчитанный на 100 км пути.

Расход топлива за время эксперимента измерялся специальными датчиками типа DUT-E (рис. 3.9).

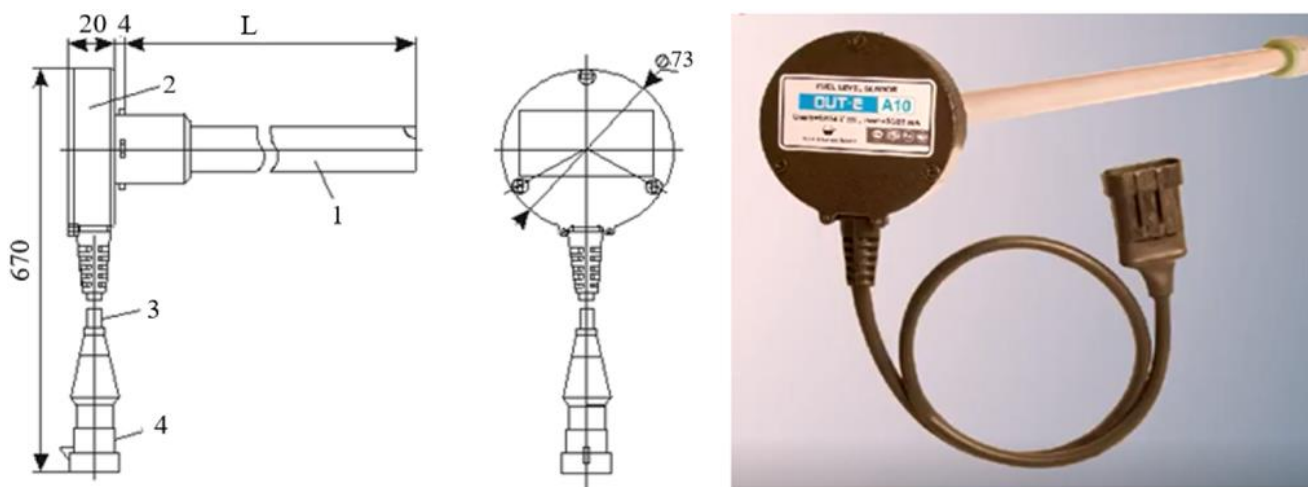


Рисунок 3.9. – Схема датчика уровня топлива: 1 – измерительная часть; 2 – измерительная головка с находящейся внутри электронной платой; 3 – интерфейсный кабель; 4 – разъем электрического подключения.

Установлено, что электрическая емкость изменяется в зависимости от глубины погружения измерительной части в топливо, которое по своим свойствам является диэлектрической жидкостью. Электронная плата датчика анализирует текущее значение электрической емкости и формирует соответствующий выходной сигнал.

Далее под действием давления топлива, аналогичным образом, произойдет последовательное перемещение поршней с вытеснением топлива из других цилиндров. Объем топлива за один оборот кривошипа определялся диаметром цилиндра и радиусом кривошипа. Во избежание трения и утечек топлива кривошипное устройство имеет магнитную связь с герконом (герметизированный контакт) для получения электрических импульсов. Один импульс эквивалентен расходу топлива, равному 1 см^3 .

Электрические импульсы фиксируются электромеханическими счетчиками прибора. Один счетчик регистрирует непрерывный (суммарный) расход топлива, а другой («разовый») счетчик включается испытателем одновременно с секундомером прибора нажатием кнопки. В комплект топливомера входят также фильтр тонкой очистки топлива и воздухоотделительное устройство. Другой разновидностью топливомеров является турбопреобразователи расхода топлива типа DFM с выходным электрическим сигналом.

Для одновременного получения показателей тягово-динамических качеств и топливной экономичности автомобилей пользовались прибором, преобразующим показаниям в электрические сигналы.

Для измерения малых и мгновенных расходов топлива на неустановившихся режимах работы ДВС использовались преобразователи с дискретностью отсчета $0,1 \text{ см}^3$ и измеритель расхода топлива типа DFM, который выдает информацию, вводимую в усилитель сигнала и одновременно с этим информацию для записи на осциллографе.

С целью измерения основных энергетических и технико-экономических показателей карьерных автомобилей, они были оснащены измерительной, усилительной и регистрирующей аппаратами, питание к которым подавалось от двух аккумуляторных батарей типа 6СТМ-128МС. На автомобилях БелАЗ-7540В установлены четыре аккумуляторные батареи или 6СТЭ-128МС или 6ТСТ-

120ЭМС. Каждая две аккумуляторные батареи соединены между собой параллельно, вследствие чего емкость каждой образованной группы увеличивается в 2 раза по сравнению с емкостью одной аккумуляторной батареи. Образованные две группы соединяются между собой последовательно, что обеспечивает увеличение их общего напряжения до 24 В.

Измерение непрерывных значений крутящего момента вала двигателя ЯМЗ-7540В автомобиля БелАЗ-7540В производилось при помощи четырех проволочных тензометрических датчиков, установленных на карданном валу автомобиля по мостовой схеме.

Электрический сигнал от тензометрического кардана поступал через токосъемник к усилителю и далее через фильтр к осциллографу (рис.3.10).

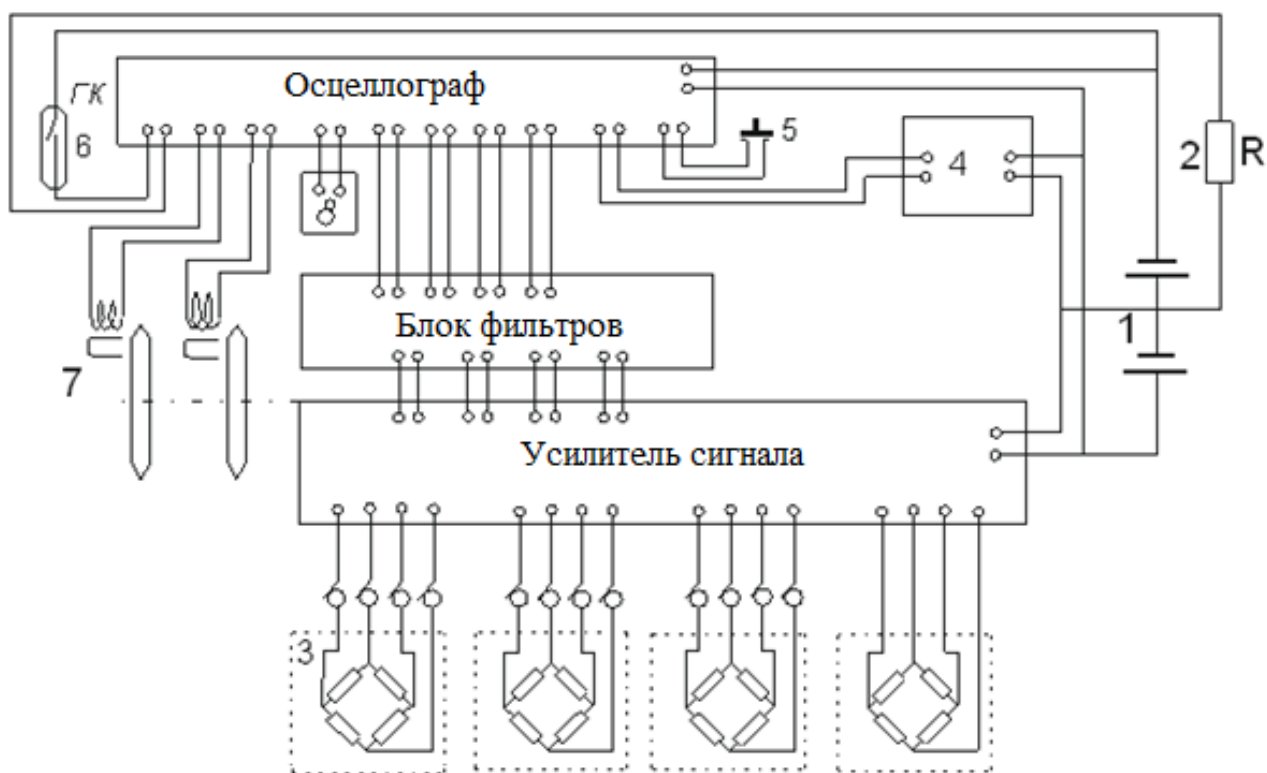


Рисунок 3.10 – Схема включения измерительно-регистрирующей аппаратуры:

1 – аккумуляторные батареи; 2 – тензометрические датчики; 3 – токосъемники; 4 – расходомер топлива DFM; 5 – кнопка отметчика; 6, 7 – соответственно, герконы и индукционные преобразователи числа оборотов; 8 – электрические часы.

Измерение крутящих моментов на полуосях автомобиля производилось при помощи тензометрических датчиков, установленных на ведущие валы конечной передачи.

На тензометрический вал установлены тензометрические датчики по мостовой схеме, электрический сигнал от которых поступал через токосъемник к усилителю далее через фильтр к осциллографу.

Число оборотов, ведущих колес автомобилей измерялись при помощи индукционных датчиков, встроенных в концевые токосъемники. Электрические сигналы от индукционных датчиков поступали в осциллограф без предварительного усиления.

Значение часового расхода топлива измерялось при помощи счетчика расхода топлива DFM (рис. 3.11), который подключался в систему топливоподдачи автомобиля между подкачивающим насосом и фильтром тонкой очистки топлива. Сигнал от датчика DUT-E поступал в осциллограф без предварительного усиления.



Рисунок 3.11 – Расходомер топлива DFM: 1 – измерительная камера кольцевого типа; 2 – верхняя крышка с находящейся внутри микропроцессорной платой; 3 – кронштейн; 4 – интерфейсный кабель с разъемом подключения.

Длины характерных участков дороги измерялись при помощи рулетки, а отметка текущего времени с интервалом 0,1 и 1,0 с осуществлялась с помощью часов, входящих в комплект осциллографа.

3.5 Порядок работы при определении топливной характеристики автомобиля

Топливная характеристика автомобиля определялась в следующей последовательности:

1. Подготовка автомобиля к испытаниям в соответствии с общими требованиями. Нагрузка автомобиля должна быть полной.
2. Отметка на дороге участок длиной 6 км.
3. Тарировка приборов от максимальных показаний с точностью до 1% для измерения скорости и расхода топлива и до 0,5% для измерения времени и пути.
4. Прогрев автомобиля при пробеге не менее чем 30 км по дороге.
5. Выполнить заезд и замер расхода топлива на высшей передаче с максимальной постоянной скоростью в одну и другую сторону мерного участка. Заданные скорости должны быть развиты не менее чем за 200 м до начала измеряемого участка.
6. Аналогичным образом выполнить заезды и замеры для движения со скоростями определенные для грузовых автомобилей.
7. Определить средние арифметические значения скоростей и расходов топлива для каждого замера и построить осредненную кривую топливной характеристики.

3.6 Оценка погрешностей измерений

Вследствие несовершенства методов и средств измерений, субъективных особенностей экспериментаторов, а также влияния внешних факторов, результаты измерения, как правило отличаются от истинного значения измеряемой величины.

Отклонение результатов измерения от истинного значения измеряемой величины характеризует погрешность измерения. Основное влияние на неточность измерения оказывает погрешность используемого измерительного прибора и несовершенство выбранного метода измерений.

Погрешность измерений определяется в единицах измеряемой величины или в

относительном виде в процентах, или долях от истинного значения измеряемой величины. В соответствии с этим, погрешности измерений по способу числового выражения бывают абсолютные и относительные [121].

Абсолютная погрешность измерения ΔX определяется как разность между значением величины, полученной в результате измерения X и истинным значением измеряемой величины X_u .

$$\Delta X = X - X_u \quad (3.1)$$

Относительная погрешность измерения δ представляет собой отношение абсолютной погрешности измерения к истинному значению величины, выраженная в процентах:

$$\delta = \Delta X / X_u \quad (3.2)$$

Составляющими погрешностей измерений являются систематические и случайные погрешности.

Систематическая погрешность измерения – составляющая погрешности, остающаяся постоянной или закономерно изменяющейся при повторных измерениях одной и той же величины в одинаковых условиях.

Случайная погрешность – составляющая погрешности измерения, изменяющаяся случайным образом при повторных измерениях одной и той же величины в одинаковых условиях.

Если частота появления случайных погрешностей подчинена нормальному закону распределения, то наиболее распространенной является оценка величины случайной погрешности через среднеквадратическую погрешность, которая в общем случае определяется по формуле:

$$\sigma_Q = \sqrt{D_{np}^2 + D_{осц}^2 + D_{np.тар}^2 + D_{тар}^2 + D_{обр}^2}, \quad (3.3)$$

где D_{np} , $D_{осц}$, $D_{np.тар}$, $D_{тар}$, $D_{обр}$, – соответственно погрешности прибора, осциллографа, тарировки прибора, а также обработки тарированных и рабочих осциллограмм.

При измерении крутящих моментов карданного вала, двигателя ЯМЗ-240М2-1 и на полуосях автомобилей БелАЗ-7540В и SHACMAN-SX3256DR384 погрешность

составляет ($\pm 2,3\%$), что не выходит за допускаемый предел суммарной погрешности при измерении энергетических параметров грузовых автомобилей по ГОСТ 6875-54.

Среднеквадратичная погрешность измерения крутящих моментов и тягового усилия складывается из ошибки при тарировке, которая, в свою очередь, складывается из ошибки отсчета нагрузки задаваемой динамометром ($\pm 2,1\%$), ошибки обработки тарированных диаграмм ($\pm 0,52\%$), ошибки тензозвена ($\pm 0,52\%$). Ошибка при обработке осциллограмм составляет ($\pm 0,52\%$).

При правильном подборе типа осциллографа его ошибка не превышает ($\pm 1\%$).

Следовательно, среднеквадратичная погрешность измерений крутящих моментов и тягового усилия составляет ($\pm 2,3\%$), что находится в допустимых пределах суммарной погрешности при измерении энергетических параметров грузовых автомобилей по ГОСТ 6875-54 [29].

Аналогично определялись погрешности измерений других показателей.

Погрешность измерения расхода топлива складывается из ошибки измерения расхода топлива весовым способом (не более $\pm 0,52\%$), ошибки расходомера DFM ($\pm 1,5\%$) и ошибки обработки осциллограмм ($\pm 0,52\%$). Так, среднеквадратичная погрешность измерения расхода топлива составляет ($\pm 1,7\%$).

Погрешности измерений количества оборотов ведущих колес автомобиля составляют ($\pm 0,63\%$). Погрешность измерений времени опыта составляет ($\pm 0,38\%$).

3.7 Основные выводы по разделу

На основе экспериментальных исследований получены следующие результаты:

1. Проанализированы характерные особенности карьерных автомобильных дорог на строительстве ГТС в горных условиях, а также причины интенсивности засорения поверхности дороги гравийными и галечниковыми частицами.

2. По результатам статистической обработки результатов измерений установлены удельные плотности распределения гравийных и галечниковых частиц на поверхности дороги, отнесенные на 1 м^2 площади и на 1 км пути.

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Расход топлива автомобилей с механической и гидромеханической трансмиссиями

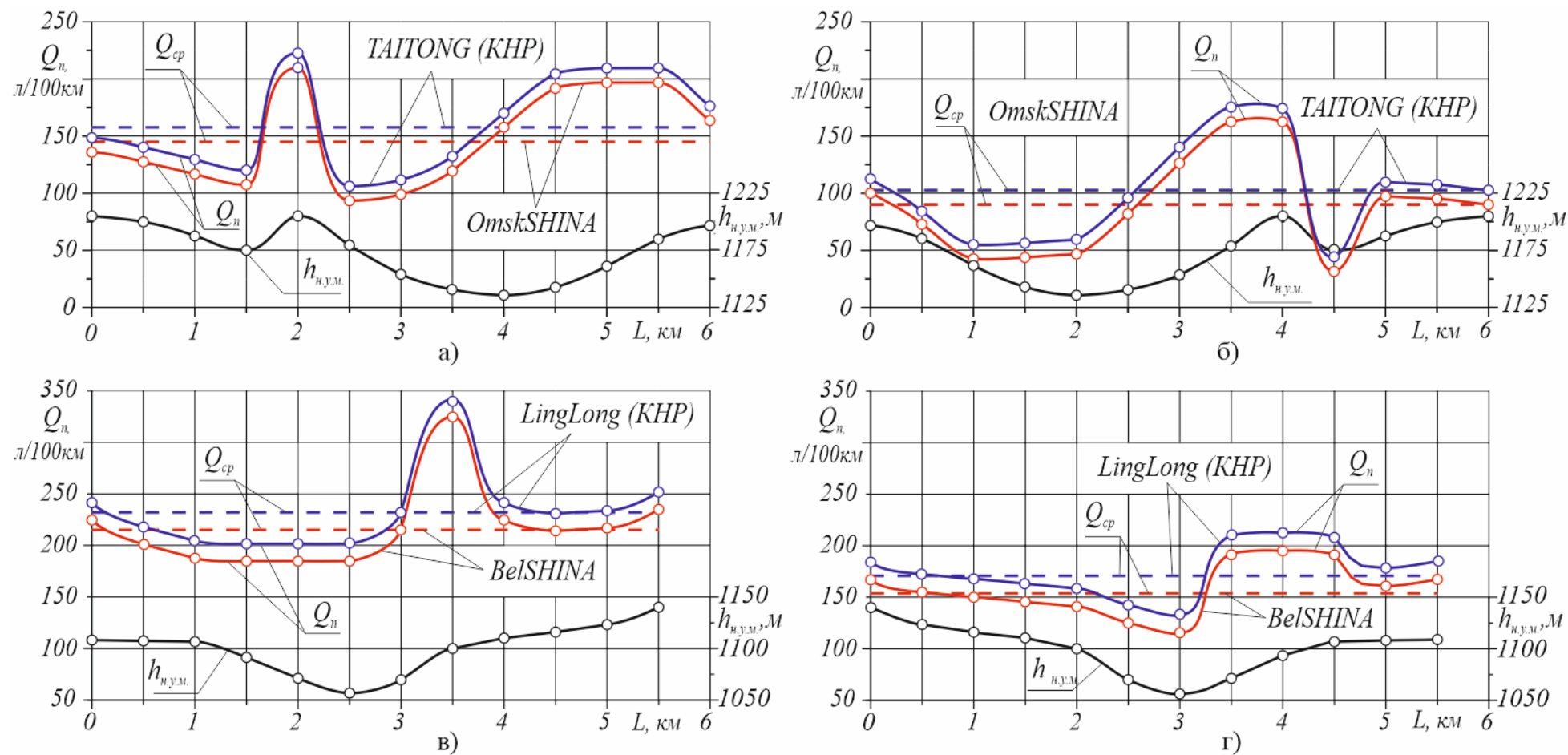
Для условий строительства Рогунской ГЭС, на основе хронометражных исследований определены экспериментальные данные по путевому расходу топлива [105, 129, 149]. По данным экспериментальных исследований построены графики зависимости путевого расхода топлива автомобилей-самосвалов SHACMAN-SX3256DR384 с МТ, шины 12.00R20 и БелАЗ-7540В с ГМТ, шины 18.00-25 от условий эксплуатации на строительстве Рогунской ГЭС при движении автомобилей с грузом и без груза (рис. 4.1).

Для автомобилей-самосвалов принято определять путевой расход топлива за одну езду [106, 129, 149]. Для условий строительства Рогунской ГЭС график зависимости путевого расхода топлива автомобилей-самосвалов SHACMAN-SX3256DR384 и БелАЗ-7540В от условий эксплуатации за одну езду представлен на рисунке 4.2.

Экспериментальные исследования проводились в соответствии с нормативно-техническими документами, установленными для большегрузных автомобилей-самосвалов марок SHACMAN-SX3256DR384 и БелАЗ-7540В [92]. При проведении экспериментальных исследований руководствовались требованиями, предусмотренными в ГОСТ 20306-90 [24].

Условия экспериментальных исследований (метеорологические и дорожные условия, характеристика режимов движения, уклон дороги) выбирались в соответствии с требованиями ГОСТ Р 58137-2018 [31].

Для испытания большегрузных автомобилей-самосвалов марок SHACMAN-SX3256DR384 и БелАЗ-7540В выбраны маршруты с длинами плеч 6000 и 5500 м, максимальным уклоном, равным 6%, на высотах н. у. м. от 1000 до 1250 м и коэффициентом сцепления на отдельных участках маршрута 0,5 - 0,6 (для сухой грунтовой дороги) [115, 150].



Риснок 4.1 – Зависимость путевого расхода топлива автомобилями-самосвалами SHACMAN-SX3256DR384 с шинами 12.00R20 (а, б) и БелАЗ-7540В с шинами 18.00-25 (в, г) от условий эксплуатации на строительстве Рогунской ГЭС при движении автомобилей с грузом (а, в) и без груза (б, г): $h_{н.у.м.}$ – высота н. у. м.; Q_n – путевые расходы топлива по данным экспериментальных исследований; Q_{cp} – средние значения путевого расхода топлива.

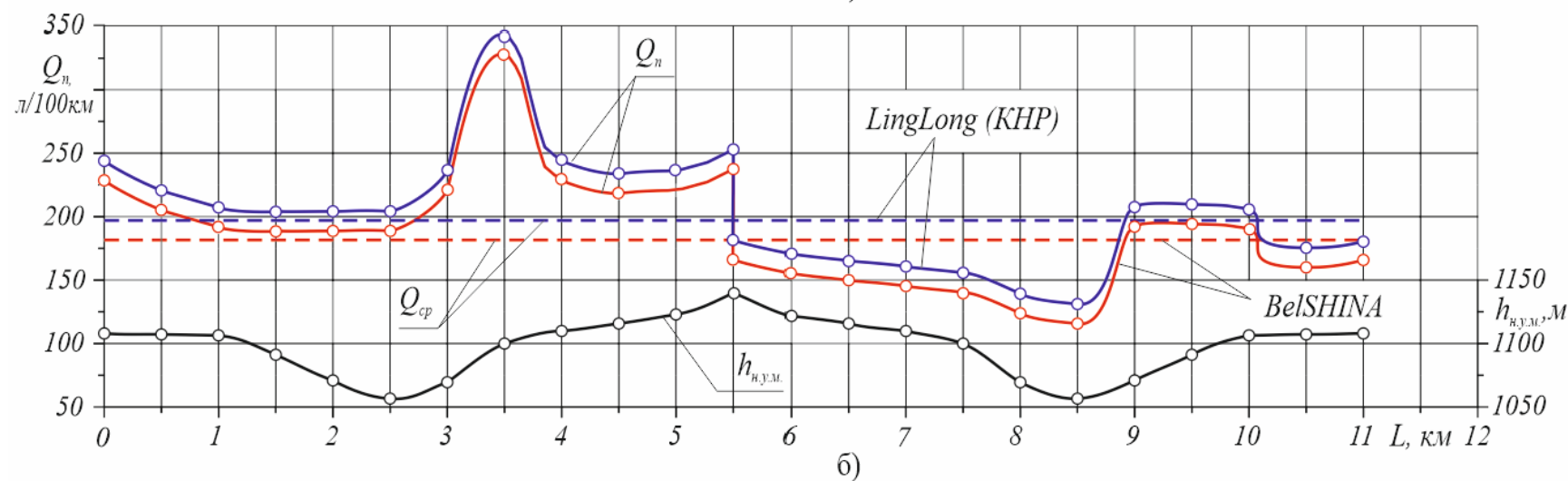
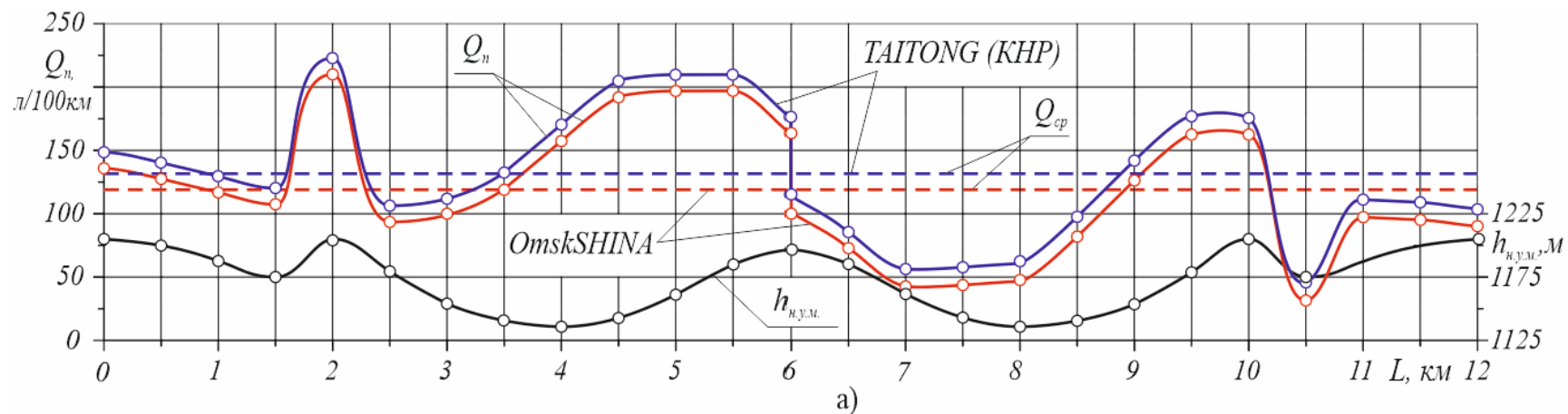


Рисунок 4.2 – Зависимость путевого расхода топлива автомобилями-самосвалами SHACMAN-SX3256DR384 с шинами 12.00R20 (а) и БелАЗ-7540В с шинами 18.00-25 (б) от условий эксплуатации на строительстве Рогунской ГЭС за одну езду: $h_{\text{н.у.м.}}$ – высота н.у. м., Q_n – путевые расходы топлива по данным экспериментальных исследований; $Q_{\text{ср}}$ – средние значения путевого расхода топлива за одну езду.

4.2 Планирование и обработка результатов многофакторного эксперимента

В горных условиях функционирования системы ВАДС при строительстве Рогунской ГЭС в качестве параметра планирования многофакторного эксперимента выбран путевой расход топлива. При этом значимыми факторами, обуславливающими расход топлива, являются: масса перевозимого груза M_{gp} (т), коэффициент сопротивления качению колес f_k и обобщенный динамический коэффициент k_D [104, 109].

Уменьшение числа опытов обеспечивается отказом от серии однофакторных экспериментов и проведением единого многофакторного эксперимента при одновременном варьировании всех факторов.

Многофакторный эксперимент (МФЭ) – это система опытов, при которой реализуются все возможные, неповторяющиеся комбинации уровней факторов [41, 42, 70].

В общем случае планирование и обработку результатов МФЭ можно разбить на следующие этапы [41, 42, 70].

Кодирование факторов. В подавляющем большинстве случаев факторы имеют разную размерность и в числовом выражении могут различаться на несколько порядков.

Поэтому с целью выравнивания размерностей факторов при обработке результатов МФЭ используется операция кодирования факторов – перевод натуральных значений факторов в безразмерную форму с вариацией их значений от минус единицы до плюс единицы.

Кодированное значение факторов подчиняется зависимости:

$$X_i = \frac{X_{nat} - X_o}{I} \quad (4.1)$$

где X_{nat} – натуральное (размерное) значение фактора; X_o – основной уровень фактора; I – интервал варьирования фактора.

Основной уровень фактора численно равен середине диапазона варьирования (области определения) фактора при эксперименте:

$$X_o = \frac{X_{\max} + X_{\min}}{2} \quad (4.2)$$

где X_{\max} и X_{\min} – соответственно верхний и нижний уровни фактора (наибольшее и наименьшее значение фактора в диапазоне варьирования).

Интервал варьирования численно равен половине диапазона варьирования (области определения) фактора при эксперименте:

$$I = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{2} \quad (4.3)$$

Используя выражение (4.1), можно увидеть, что в кодированной форме нижний уровень фактора равен минус единице, основной-нулю, верхний-плюс единице.

На этапе планирования и обработки эксперимента заполняют таблицу соответствия натуральных и кодированных значений факторов, так называемую рабочую матрицу эксперимента.

В таблице 4.1 приведен пример рабочей матрицы МФЭ, целью которой является получение математической модели путевого расхода топлива в зависимости от массы перевозимого груза, коэффициента сопротивления качению колес и обобщенного динамического коэффициента.

Исходный уровень факторов и интервалы их варьирования приведены в таблице 4.1

Таблица 4.1 – Исходный уровень факторов и интервалы их варьирования

| Уровень варьируемых факторов | Обозначение кодовое | БелАЗ-7540В | | | SHACMAN-SX3256DR384 | | |
|------------------------------|---------------------|-------------|-------|-------|---------------------|-------|-------|
| | | $M_{ep, T}$ | f_k | k_D | $M_{ep, T}$ | f_k | k_D |
| | | X_1 | X_2 | X_3 | X_1 | X_2 | X_3 |
| Основной уровень | 0 | 29 | 0,023 | 0,125 | 23 | 0,023 | 0,125 |
| Интервал варьирования | Δx_i | 5 | 0,001 | 0,005 | 5 | 0,001 | 0,005 |
| Верхний уровень | +1 | 34 | 0,024 | 0,13 | 28 | 0,024 | 0,13 |
| Нижний уровень | -1 | 24 | 0,022 | 0,12 | 18 | 0,022 | 0,12 |

Во время эксперимента были приняты следующие диапазоны изменения перечисленных факторов:

– для автомобиля БелАЗ-7540В: $M_{зр.маx} = 24$, $M_{зр.мин} = 34$ т; $f_{k.маx} = 0,022$, $f_{k.мин} = 0,024$; $k_{D.маx} = 0,12$, $k_{D.мин} = 0,13$.

– для автомобиля SHACMAN-SX3256DR384: $M_{зр.маx} = 18$, $M_{зр.мин} = 28$ т; $f_{k.маx} = 0,022$, $f_{k.мин} = 0,024$; $k_{D.маx} = 0,12$, $k_{D.мин} = 0,13$.

Построение планов многофакторного эксперимента. В классическом МФЭ варьируемые факторы в опытах принимают значения только верхнего и нижнего уровней. Количество опытов МФЭ (без учета параллельных или повторных опытов) равно количеству неповторяющихся комбинаций уровней факторов.

Так, двухфакторный эксперимент базируется на четырех опытах, трехфакторный – на восьми, четырехфакторный – на шестнадцати и т.д. В работе рассмотрели трехфакторный эксперимент.

Трехфакторный эксперимент проводится в угловых точках плана. Координаты этих точек в таблице 4.2 представлены сочетанием знаков «+» и «-», единицу чаще всего не указывают.

Таблица 4.2 – Матрица планирования и результатов МФЭ

| № опыта | План | | | | | | | | Результаты опытов | | | | | | | |
|---------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|-----------|-------------------|-------|-------|-------|---------------------|-------|-------|-------|
| | | | | | | | | | БелАЗ-7540В | | | | SHACMAN-SX3256DR384 | | | |
| | X_0 | X_1 | X_2 | X_3 | X_{12} | X_{13} | X_{23} | X_{123} | Y_1 | Y_2 | Y_3 | Y_i | Y_1 | Y_2 | Y_3 | Y_i |
| 1 | + | - | - | - | + | + | + | - | 185 | 186 | 181 | 184 | 119 | 120 | 115 | 118 |
| 2 | + | + | - | - | - | - | + | + | 193 | 191 | 186 | 190 | 127 | 125 | 120 | 124 |
| 3 | + | - | + | - | - | + | - | + | 180 | 184 | 185 | 183 | 114 | 118 | 119 | 117 |
| 4 | + | + | + | - | + | - | - | - | 188 | 190 | 186 | 188 | 122 | 124 | 120 | 122 |
| 5 | + | - | - | + | + | - | - | + | 181 | 185 | 180 | 182 | 115 | 119 | 114 | 116 |
| 6 | + | + | - | + | - | + | - | - | 183 | 184 | 188 | 185 | 117 | 118 | 122 | 119 |
| 7 | + | - | + | + | - | - | + | - | 191 | 186 | 184 | 187 | 125 | 120 | 118 | 121 |
| 8 | + | + | + | + | + | + | + | + | 193 | 188 | 186 | 189 | 127 | 122 | 120 | 123 |

Таблица 4.2 составлена по результатам МФЭ, где каждый опыт выполнялся трижды. При проведении серий повторных опытов используют рандомизацию –

случайную последовательность проведения повторных опытов, что позволяет преобразовать не исключенную систематическую ошибку.

Столбцы X_0 и X_{123} носят условный характер и введены в матрицу для наглядности расчета коэффициентов регрессии. Знаки столбца X_0 – все «+». Знаки столбца X_{123} получаются по правилу перемножения знаков столбцов.

Выполнив обработку результатов по известной методике, были получены следующие коэффициенты регрессии: $b_0; b_1; b_2; b_3; b_{12}; b_{13}; b_{23}; b_{123}$.

При расчете коэффициентов регрессии используется правило.

Суммируются средние арифметические значения результатов повторных опытов со знаками соответствующего столбца. Полученная сумма делится на число опытов МФЭ. Для расчета b_0 используется столбец X_0 , b_1 – столбец X_1 , b_2 – столбец X_2 , b_3 – столбец X_3 и т.д., то есть

$$b_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Y_{ij} = \sum_{i=1}^N Y_i / N, \quad (4.4)$$

где Y_i – значение функции (средний путевой расход топлива); N – число опытов; i – номер опыта; j – номер фактора.

После расчетов коэффициентов регрессии целесообразно сделать проверку правильности вычислений, подставив в уравнение регрессии кодированные значения факторов для какого-либо из опытов и сравнить расчетное значение изучаемой величины с опытным.

В общем виде в качестве математической модели объектов исследования, получаемой в результате обработки МФЭ, получим следующее уравнение регрессии (полином первой степени)

$$Y_{расч.i} = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{23} X_2 X_3 + b_{123} X_1 X_2 X_3. \quad (4.5)$$

Дисперсия параллельных опытов определяется из выражения

$$S_{воспр.i}^2 = \frac{1}{m_i - 1} \sum_{i=1}^{m_i} (Y_{ij} - Y_i)^2. \quad (4.6)$$

В таблице 4.3 представлены матрица планирования эксперимента и результаты обработки экспериментальных данных.

Таблица 4.3 – Матрица планирования эксперимента и результатов измерения путевого расход топлива

| № | Марка автомобилей-самосвалов | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|------------------------------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|-----------|-------|-------|-------|-------|----------------------|
| | b_0 | b_1 | b_2 | b_3 | b_{12} | b_{13} | b_{23} | b_{123} | Y_1 | Y_2 | Y_3 | Y_i | $S^2_{\text{воспр}}$ |
| БелАЗ-7540В | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 186 | 2,0 | 0,8 | -0,3 | -0,3 | -0,8 | 1,5 | 0,00 | 185 | 186 | 181 | 184 | 7 |
| 2 | 186 | 2,0 | 0,8 | -0,3 | -0,3 | -0,8 | 1,5 | 0,00 | 193 | 191 | 186 | 190 | 13 |
| 3 | 186 | 2,0 | 0,8 | -0,3 | -0,3 | -0,8 | 1,5 | 0,00 | 180 | 184 | 185 | 183 | 7 |
| 4 | 186 | 2,0 | 0,8 | -0,3 | -0,3 | -0,8 | 1,5 | 0,00 | 188 | 190 | 186 | 188 | 4 |
| 5 | 186 | 2,0 | 0,8 | -0,3 | -0,3 | -0,8 | 1,5 | 0,00 | 181 | 185 | 180 | 182 | 7 |
| 6 | 186 | 2,0 | 0,8 | -0,3 | -0,3 | -0,8 | 1,5 | 0,00 | 183 | 184 | 188 | 185 | 7 |
| 7 | 186 | 2,0 | 0,8 | -0,3 | -0,3 | -0,8 | 1,5 | 0,00 | 191 | 186 | 184 | 187 | 13 |
| 8 | 186 | 2,0 | 0,8 | -0,3 | -0,3 | -0,8 | 1,5 | 0,00 | 193 | 188 | 186 | 189 | 13 |
| SHACMAN-SX3256DR384 | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 120 | 2,0 | 0,8 | -0,3 | -0,3 | -0,8 | 1,5 | 0,00 | 119 | 120 | 115 | 118 | 7 |
| 2 | 120 | 2,0 | 0,8 | -0,3 | -0,3 | -0,8 | 1,5 | 0,00 | 127 | 125 | 120 | 124 | 13 |
| 3 | 120 | 2,0 | 0,8 | -0,3 | -0,3 | -0,8 | 1,5 | 0,00 | 114 | 118 | 119 | 117 | 7 |
| 4 | 120 | 2,0 | 0,8 | -0,3 | -0,3 | -0,8 | 1,5 | 0,00 | 122 | 124 | 120 | 122 | 4 |
| 5 | 120 | 2,0 | 0,8 | -0,3 | -0,3 | -0,8 | 1,5 | 0,00 | 115 | 119 | 114 | 116 | 7 |
| 6 | 120 | 2,0 | 0,8 | -0,3 | -0,3 | -0,8 | 1,5 | 0,00 | 117 | 118 | 122 | 119 | 7 |
| 7 | 120 | 2,0 | 0,8 | -0,3 | -0,3 | -0,8 | 1,5 | 0,00 | 125 | 120 | 118 | 121 | 13 |
| 8 | 120 | 2,0 | 0,8 | -0,3 | -0,3 | -0,8 | 1,5 | 0,00 | 127 | 122 | 120 | 123 | 13 |

Из таблицы 4.3 видно, что для восьмого опыта величина дисперсии гораздо больше остальных. Поэтому осуществляем проверку дисперсий с использованием критерия Кохрена $G_{\text{расч}} < G_{\text{табл}}$:

$$G_{\text{расч}} = S_{\text{max}}^2 / \sum_{i=1}^8 S_{\text{воспр},i}^2 \quad (4.7)$$

Табличное значение критерия Кохрена $G_{\text{табл}}$ [78] при $N = 8$ (количество опытов) $f = m - 1 = 3 - 1 = 2$, равно 0,5157. Так как выполняется условие $G_{\text{расч}} < G_{\text{табл}}$ ($0,18 < 0,5157$), то принимаем гипотезу об однородности дисперсий.

Вычисляем дисперсию воспроизводимости для всего эксперимента:

$$S_{\text{воспр.}}^2 = S_{(y)}^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_{\text{воспр.}}^2. \quad (4.8)$$

Вычисляем ошибку всего эксперимента:

$$S_{(y)} = \sqrt{S_{(y)}^2}. \quad (4.9)$$

Проверка статистической значимости коэффициентов. Проверка проводится с помощью $t_{\text{табл}}$ – критерия. Для полного факторного эксперимента ошибки всех коэффициентов равны между собой и определяются следующим образом.

Вычисление $S(b_i)$ проводится по следующим зависимостям:

$$S(b_i) = S(y) / \sqrt{N_m}. \quad (4.10)$$

Оценка статистической значимости коэффициентов регрессии проводится по величине доверительного интервала [78].

Далее определяется доверительный интервал длиной Δb_i :

$$\Delta b_i = \pm t_{\text{табл.}} \cdot S(b_i), \quad (4.11)$$

где $\pm t_{\text{табл}}$ – критерий Стьюдента, $S(b_i)$ – ошибка коэффициентов регрессии.

Интерпретация результатов многофакторного эксперимента. Основные выводы, которые можно сделать, анализируя уравнение регрессии, следующие:

1. Коэффициент b_0 численно равен значению функции отклика в центре плана эксперимента (когда все факторы находятся на основном уровне). При проверке адекватности полученной математической модели опытным путем в центре плана проводится серия повторных опытов. Если опытное значение функции отклика существенно отличается от расчетного (b_0), делается вывод, что полученное уравнение регрессии неадекватно описывает изучаемое явление, и принимается решение о проведении следующей серии экспериментов.

2. Коэффициенты регрессии b_1 и b_2 характеризуют влияние каждого фактора на исследуемое явление. Чем больше по абсолютной величине коэффициент регрессии, тем существеннее влияние соответствующего фактора. Положительный коэффициент регрессии свидетельствует о том, что с увеличением значения соответствующего фактора функция отклика увеличивается. Отрицательный

коэффициент регрессии показывает, что с увеличением значения соответствующего фактора значение функции отклика убывает. Коэффициент b_{23} характеризует степень взаимовлияния факторов, когда степень влияния одного фактора на исследуемое явление зависит от значения другого.

Табличное значение критерия Стьюдента ($t_{табл}$) [78] выбираем для числа степеней свободы $f = N(m-1) = 8(3-1) = 16$ и по принятому уровню значимости $q = 0,05$, то есть $t_{табл} = 2,12$. Таким образом все коэффициенты уравнения, без $b_2, b_3, b_{12}, b_{13}, b_{123}$, оказались статистически значимыми. Проверка статистической значимости коэффициентов b_i уравнения регрессии производится из условия $b_i > \Delta b$.

На основании статистической обработки МФЭ и определения статистически значимых коэффициентов уравнения регрессии нелинейная математическая модель принимает вид:

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_{23} X_2 X_3. \quad (4.12)$$

Перевод уравнения регрессии в натуральную форму. Уравнения регрессии в кодированной форме неудобны в практическом использовании. Чтобы определить значение функции отклика, необходимо натуральные значения факторов сначала закодировать, а только затем подставить кодированные значения в уравнение регрессии. Операция перевода уравнения регрессии в натуральную форму основывается на формуле для кодирования факторов (4.1). Для эксперимента, рабочая матрица которого представлена в таблице 4.1, выражения для кодирования факторов для различных марок автомобилей-самосвалов имеют вид:

– для БелАЗ-7540В:

$$X_1 = \frac{M_{zp} - 29}{5} = 0,2 \cdot M_{zp} - 5,8;$$

$$X_2 = \frac{f_k - 0,023}{0,001} = 1000 \cdot f_k - 23;$$

$$X_3 = \frac{k_D - 0,125}{0,005} = 200 \cdot k_D - 25.$$

– для SHACMAN-SX3256DR384:

$$X_1 = \frac{M_{zp} - 23}{5} = 0,2 \cdot M_{zp} - 4,6;$$

$$X_2 = \frac{f_k - 0,023}{0,001} = 1000 \cdot f_k - 23;$$

$$X_3 = \frac{k_D - 0,125}{0,005} = 200 \cdot k_D - 25.$$

Эти выражения подставляются в кодированное уравнение регрессии. После арифметических преобразований получается уравнение регрессии в натуральной форме, где вместо кодированных факторов X_1 , X_2 и X_3 присутствуют натуральные величины $M_{зр}$, f_k и k_D . Проверку правильности вычислений можно сделать, подставив в кодированное уравнение кодированные значения факторов, а в уравнение в натуральной форме – натуральные значения факторов.

Проверка уравнения на адекватность. Проверка проводится с целью доказательства пригодности полученного уравнения регрессии для описания экспериментальных данных с заданной точностью. Для этого оценивают отклонения вычисленных по уравнениям регрессии (4.12) значений функции $Y_i = Q$ – от экспериментально установленных из таблицы 4.3.

Не принимая во внимание коэффициенты $b_2, b_3, b_{12}, b_{13}, b_{123}$ получим:

В таблице 4.4 представлены результаты расчетов значений функции $Y_i = Q$ без учета коэффициенты $b_2, b_3, b_{12}, b_{13}, b_{123}$.

Таблица 4.4 – Результаты расчетов значений функции с учетом коэффициентов и без учета коэффициентов путевого расхода топлива автомобилей-самосвалов

| № опыта | БелАЗ-7540В | | | SHACMAN-SX3256DR384 | | |
|---------|--|--------------|---|--|--------------|---|
| | С учетом коэффициентов $b_2, b_3, b_{12}, b_{13}, b_{123}$ | | Без учета коэффициентов $b_2, b_3, b_{12}, b_{13}, b_{123}$ | С учетом коэффициентов $b_2, b_3, b_{12}, b_{13}, b_{123}$ | | Без учета коэффициентов $b_2, b_3, b_{12}, b_{13}, b_{123}$ |
| | Y_i | $Y_{расч.i}$ | $Y_{расч.i}$ | Y_i | $Y_{расч.i}$ | $Y_{расч.i}$ |
| 1 | 184 | 184 | 185,5 | 118 | 118 | 119,5 |
| 2 | 190 | 190 | 189,5 | 124 | 124 | 123,5 |
| 3 | 183 | 183 | 182,5 | 117 | 117 | 116,5 |
| 4 | 188 | 188 | 186,5 | 122 | 122 | 120,5 |
| 5 | 182 | 182 | 182,5 | 116 | 116 | 116,5 |
| 6 | 185 | 185 | 186,5 | 119 | 119 | 120,5 |
| 7 | 187 | 187 | 185,5 | 121 | 121 | 119,5 |
| 8 | 189 | 189 | 189,5 | 123 | 123 | 123,5 |

Проверка адекватности полученной математической модели. Для проверки гипотезы об адекватности математической модели необходимо сравнить две дисперсии:

– дисперсию неадекватности, зависящую от разности между значениями Y_{ip} , рассчитанными по математической модели (ММ), и экспериментальными результатами Y_{is} :

$$S_a^2 = \frac{1}{(N-L)} \sum_{i=1}^N (Y_{ip} - Y_{is})^2, \quad (4.13)$$

где L – число значимых коэффициентов исследуемого уравнения регрессии, не считая b_0 ;

– дисперсию неоднородности, характеризующую погрешности наблюдений:

$$S_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_{yi}^2. \quad (4.14)$$

Заметим, что дисперсия погрешности наблюдений может быть оценена лишь путем сравнения результатов нескольких параллельных опытов, проводимых в каждой экспериментальной точке.

Адекватность ММ проверяется по F – критерию Фишера. Его расчетное значение находят как частное от деления оценки дисперсии неадекватности на оценку дисперсии единичного наблюдения:

$$F_p = S_a^2 / S_y^2. \quad (4.15)$$

Если это условие не выполняется, их нужно поменять местами.

Критическое значение $F_{кр}$ находят из таблицы распределения Фишера по числу степеней свободы числителя $f = K(N-L)$, знаменателя $f = N(K-1)$ и уровню значимости q [78]. Если $F_p > F_{кр}$, гипотеза об адекватности отклоняется.

Как правило, вначале проверяют адекватность линейной ММ. Если предположение об адекватности подтверждается, то в качестве окончательной ММ выбирают линейную; если отклоняется – добавляют эффект взаимодействия с наибольшим коэффициентом и вновь проверяют гипотезу, и так до тех пор, пока существуют степени свободы.

Если в результате модель все же оказалась неадекватной, это говорит о том, что тип математической модели выбран неудачно и при данном шумовом уровне и классе точности измерительных приборов ММ должна быть уточнена.

После составления МФЭ и проведения рандомизированных опытов сведем полученные результаты в таблицы 4.5 и 4.6.

Статистическая обработка полученных результатов. Для проверки по критерию Кохрена [1] воспроизводимости опытов при выбранном уровне значимости $q = 0,05$ вычислим в каждой точке факторного пространства среднее значение (4.5) и дисперсию (4.6) исследуемого параметра. Получаемые результаты запишем в табл. 4.5 и 4.6.

Таблица 4.5 – Результаты расчётов для автомобиля БелАЗ-7540В

| № | Номер опыта | | | X_0 | X_1 | X_2 | X_3 | X_1 X_2 | X_1 X_3 | X_2 X_3 | X_1X_2 X_3 | Y_1 | Y_2 | Y_3 | Y_i | S_y^2 | | | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------------------------------|-------|-------|-------|----------------|----------------|----------------|-------------------|---|-------|-------|-------|---------|--------------------------------------|--|--|--|--|
| | Первая серия | Вторая серия | Третья серия | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 5 | 8 | 2 | + | - | - | - | + | + | + | - | 185 | 186 | 181 | 184 | 7 | | | | | |
| 2 | 6 | 4 | 5 | + | + | - | - | - | - | + | + | 193 | 191 | 186 | 190 | 13 | | | | | |
| 3 | 2 | 5 | 1 | + | - | + | - | - | + | - | + | 180 | 184 | 185 | 183 | 7 | | | | | |
| 4 | 8 | 2 | 8 | + | + | + | - | + | - | - | - | 188 | 190 | 186 | 188 | 4 | | | | | |
| 5 | 4 | 6 | 3 | + | - | - | + | + | - | - | + | 181 | 185 | 180 | 182 | 7 | | | | | |
| 6 | 7 | 3 | 4 | + | + | - | + | - | + | - | - | 183 | 184 | 188 | 185 | 7 | | | | | |
| 7 | 3 | 1 | 7 | + | - | + | + | - | - | + | - | 191 | 186 | 184 | 187 | 13 | | | | | |
| 8 | 1 | 7 | 6 | + | + | + | + | + | + | + | + | 193 | 188 | 186 | 189 | 13 | | | | | |
| $\sum_{i=1}^N Y_{ij}$ | | | | 1488 | 16 | 6,4 | -2,4 | -2,4 | -6,4 | 12 | 0,0 | Критерий Кохрена $G_p = 0,18$ $G_{кр} = 0,5157$ ($f_1 = 2, f_2 = 8, q = 0,05$) Вывод: дисперсия однородна | | | | | | | | | |
| Критерий Стьюдента $f = 16, q = 0,05,$ $t_{кр} = 2,12$ | | | b_i | 186,0 | 2,0 | 0,8 | -0,3 | -0,3 | -0,8 | 1,5 | 0,0 | | | | | | Критерий Фишера $q = 0,05, f_2 = 16$ | | | | |
| | | | Вывод | зн | зн | нз | нз | нз | нз | зн | нз | | | | | | | | | | |
| Линейная ММ | | | | $Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3$ | | | | | | | | ММ неадекватна | | | | | | | | | |
| Нелинейная ММ | | | | $Y = b_0 + b_1X_1 + b_{23}X_2X_3$ | | | | | | | | ММ адекватна | | | | | | | | | |
| ММ в натуральном масштабе: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $Q = 1036,9 + 0,4 \cdot M_{zp} - 37500 \cdot f_k - 6900 \cdot k_D + 300000 \cdot f_k \cdot k_D,$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| где M_{zp} – масса перевозимого груза, т; f_k – коэффициент сопротивления качению колес; k_D – обобщенный динамический коэффициент. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Таблица 4.6 – Результаты расчётов для автомобиля SHACMAN-SX3256DR384

| № | Номер опыта | | | X_0 | X_1 | X_2 | X_3 | X_1 X_2 | X_1 X_3 | X_2 X_3 | X_1X_2 X_3 | Y_1 | Y_2 | Y_3 | Y_i | S_y^2 | | | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------------------------------|-------|-------|-------|----------------|----------------|----------------|-------------------|---|-------|-------|-------|---------|--------------------------------------|--|--|--|--|
| | Первая серия | Вторая серия | Третья серия | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 5 | 8 | 2 | + | - | - | - | + | + | + | - | 119 | 120 | 115 | 118 | 7 | | | | | |
| 2 | 6 | 4 | 5 | + | + | - | - | - | - | + | + | 127 | 125 | 120 | 124 | 13 | | | | | |
| 3 | 2 | 5 | 1 | + | - | + | - | - | + | - | + | 114 | 118 | 119 | 117 | 7 | | | | | |
| 4 | 8 | 2 | 8 | + | + | + | - | + | - | - | - | 122 | 124 | 120 | 122 | 4 | | | | | |
| 5 | 4 | 6 | 3 | + | - | - | + | + | - | - | + | 115 | 119 | 114 | 116 | 7 | | | | | |
| 6 | 7 | 3 | 4 | + | + | - | + | - | + | - | - | 117 | 118 | 122 | 119 | 7 | | | | | |
| 7 | 3 | 1 | 7 | + | - | + | + | - | - | + | - | 125 | 120 | 118 | 121 | 13 | | | | | |
| 8 | 1 | 7 | 6 | + | + | + | + | + | + | + | + | 127 | 122 | 120 | 123 | 13 | | | | | |
| $\sum_{i=1}^N y_{ij}$ | | | | 960 | 16 | 6,4 | -2,4 | -2,4 | -6,4 | 12 | 0,0 | Критерий Кохрена $G_p = 0,18$ $G_{кр} = 0,5157$ ($f_1 = 2, f_2 = 8, q = 0,05$) Вывод: дисперсия однородна | | | | | | | | | |
| Критерий Стьюдента $f=16, q = 0,05,$ $t_{кр} = 2,12$ | | | b_i | 120,0 | 2,0 | 0,8 | -0,3 | -0,3 | -0,8 | 1,5 | 0,0 | | | | | | Критерий Фишера $q = 0,05, f_2 = 16$ | | | | |
| | | | t_i | 324,3 | 5,4 | 2,0 | -0,7 | -0,7 | -2,0 | 4,1 | 0,0 | | | | | | | | | | |
| | | | Вывод | зн | зн | нз | нз | нз | нз | зн | нз | | | | | | | | | | |
| Линейная ММ | | | | $Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3$ | | | | | | | | ММ неадекватна | | | | | | | | | |
| Нелинейная ММ | | | | $Y = b_0 + b_1X_1 + b_{23}X_2X_3$ | | | | | | | | ММ адекватна | | | | | | | | | |
| ММ в натуральном масштабе: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| $Q = 973,3 + 0,4 \cdot M_{зп} - 37500 \cdot f_k - 6900 \cdot k_D + 300000 \cdot f_k \cdot k_D,$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| где $M_{зп}$ – масса перевозимого груза, т; f_k – коэффициент сопротивления качению колес; k_D – обобщенный динамический коэффициент. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

4.3 Сравнение теоретических и экспериментальных исследований

Каждый опыт по определению топливно-экономических показателей автомобилей-самосвалов марок SHACMAN-SX3256DR384 с МТ и БелАЗ-7540В с ГМТ проводился в трехкратной последовательности на каждом из маршрутов движения, средние значения результатов испытаний при движении автомобилей с грузом, а также результаты расчетов ММ в натуральном масштабе, сведены в таблицу 4.7.

Таблица 4.7 – Результаты испытаний автомобилей-самосвалов на топливную экономичность при движении с грузом в горных условиях

| № | Марка автомобиля | Масса перевозимого груза, т | Норма путевого расхода топлива, л/(100 км) | Фактический путь расход топлива, л/(100 км) | Расчетное значение путевого расхода топлива, л/(100 км) | Разница, л/(100 км) | Погрешность измерения, δ, % |
|--------------|---------------------|-----------------------------|--|---|---|---------------------|-----------------------------|
| 1 | SHACMAN-SX3256DR384 | 26,4 | 81 * | 122,2 | 121,7 | 0,50 | 0,41 |
| 2 | SHACMAN-SX3256DR384 | 25,2 | 81 * | 118,2 | 121,2 | -3,00 | 2,54 |
| 3 | SHACMAN-SX3256DR384 | 24,7 | 81 * | 120,8 | 120,7 | 0,10 | 0,08 |
| Ср. значение | | 25,4 | 81 | 120,4 | 121,2 | -0,80 | 0,66 |
| 4 | БелАЗ-7540В | 30,5 | 132,5 | 186,7 | 186,6 | 0,10 | 0,05 |
| 5 | БелАЗ-7540В | 30 | 132,5 | 186,4 | 186,4 | 0,00 | 0,00 |
| 6 | БелАЗ-7540В | 28,8 | 132,5 | 184,2 | 185,9 | -1,70 | 0,92 |
| Ср. значение | | 29,8 | 132,5 | 185,8 | 186,3 | -0,53 | 0,29 |

* норма путевого расхода топлива определена расчётным путем.

Сравнительный анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований представлен в виде графиков (рис. 4.3).

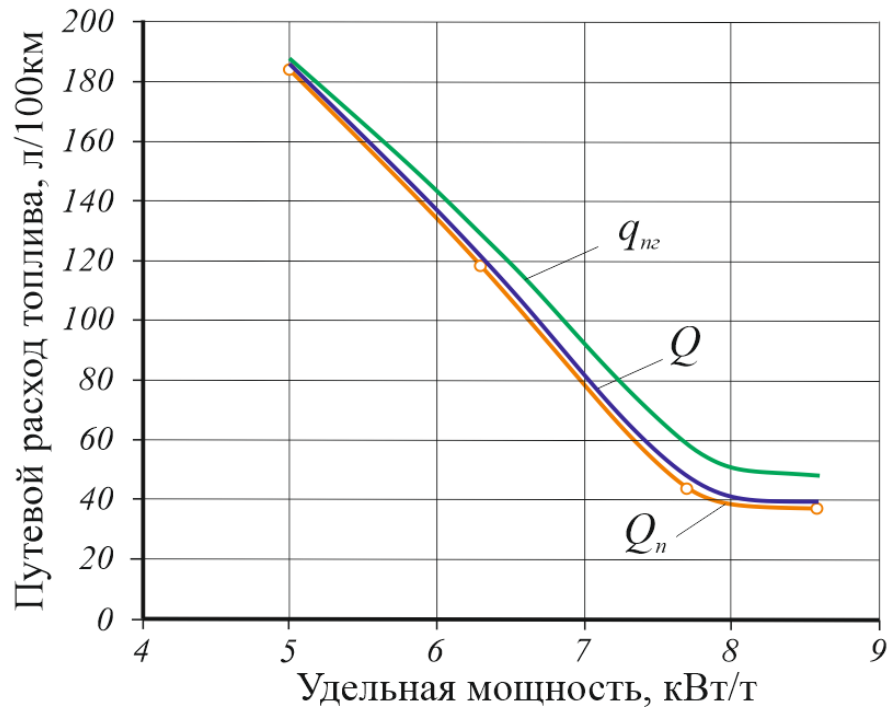


Рисунок 4.3 – Зависимость путевого расхода топлива от удельной мощности автомобиля в горных условиях: q_{ng} – расчетный расход топлива по традиционной методике; Q – расчетный расход топлива по предлагаемой ММ; Q_n – экспериментальный расход топлива.

Из графиков видно, что с повышением удельной мощности автомобиля путевой расход топлива снижаются и стабилизируются, начиная с удельной мощности 7,7 кВт/т, следовательно, в горных условиях при строительстве ГТС является целесообразным использование автомобилей-самосвалов с большой удельной мощностью.

4.4 Результаты хронометражных исследований

В таблицах 4.8 и 4.9 приведены затраты времени на нормативную смену и производительности автомобилей-самосвалов, полученных на основе хронометражных наблюдений. Для автомобилей-самосвалов SHACMAN-SX3256DR384 с МТ и БелАЗ-7540В с ГМТ средние скорости движения составляли соответственно 16,3 км/ч и 11,3 км/ч. Коэффициенты использования времени

основной работы по результатам испытаний составляли соответственно 98,0% и 98,2%.

Таблица 4.8 – Баланс времени работы автомобилей-самосвалов на маршруте №10 с длиной плеча 11 км

| Показатели времени | SHACMAN-SX3256DR384 | | БелАЗ-7540В | |
|--|---------------------|------|-------------|------|
| | ед. изм., ч | % | ед. изм., ч | % |
| Время основной работы | 9,1 | 82,8 | 8,71 | 79,2 |
| Общее время на погрузку и разгрузку: | | | | |
| – время на погрузку | 0,98 | 8,9 | 0,84 | 7,6 |
| – время на разгрузку | 0,36 | 3,3 | 0,27 | 2,4 |
| Время на одну езду: | | | | |
| – время движения с грузом | 4,60 | 41,8 | 4,67 | 42,4 |
| – время движения без груза | 3,20 | 29,1 | 2,93 | 26,7 |
| Время на холостые переезды | 0,26 | 2,4 | 0,41 | 3,7 |
| Время на ЕО | 0,40 | 3,6 | 0,60 | 5,5 |
| Время отдыха | 1,00 | 9,1 | 1,00 | 9,1 |
| Время на устранение технических неисправностей | 0,24 | 1,8 | 0,28 | 2,6 |
| Итого: сменное время | 11,00 | 100 | 11,00 | 100 |

Таблица 4.9 – Производительности автомобилей-самосвалов по результатам хронометражных наблюдений

| Показатель | SHACMAN-SX3256DR384 | | БелАЗ-7540В | |
|---------------------------------------|---------------------|---------------------|-------------|---------------------|
| | ед. изм. | значение показателя | ед. изм. | значение показателя |
| Температура воздуха | °С | +28 | °С | +28 |
| Давления воздуха | мм. рт. ст. | 614 | мм. рт. ст. | 614 |
| Высота н. у. м. | м | 1050-1180 | м | 1050-1180 |
| Категория (группа) сложности маршрута | – | III | – | III |
| Средний уклон дороги | град | 4,2 | град | 4,2 |

| | | | | |
|---|------------------|------------------------------------|------------------|------------------------------------|
| Коэффициент сцепление дороги | – | 0,48 | – | 0,48 |
| Неровность дороги | см/км | 180 | см/км | 180 |
| Категория водителя | – | III | – | III |
| Стаж работы водителя | лет | 6 | лет | 8 |
| Техническое состояние автомобиля | – | Соответствует техническим условиям | – | Соответствует техническим условиям |
| Срок службы автомобиля | лет | 2 | лет | 2 |
| Средняя скорость движения автомобиля за езду | км/ч | 16,3 | км/ч | 11,3 |
| Грузоподъемность | т | 25 | т | 30 |
| Полная масса автомобиля с грузом | т | 39,13 | т | 52,8 |
| Снаряжённая масса автомобиля | т | 14,13 | т | 22,9 |
| Длина плеча грузоперевозки | км | 10,6 | км | 10,6 |
| Норма путевого расхода топлива* | л/(100 км) | 81 | л/(100 км) | 132 |
| Фактический путевой расход топлива | л/(100 км) | 120,4 | л/(100 км) | 185,8 |
| Фактический транспортный расход топлива за езду | л/(100 ткм) | 4,8 | л/(100 ткм) | 6,2 |
| Количество рейсов в смену | шт | 12 | шт | 8 |
| Вид трансмиссии | – | механическая | – | гидромеханическая |
| Вид груза | – | галечник | – | галечник |
| Плотность груза | т/м ³ | 2,3 | т/м ³ | 2,3 |
| Средняя масса груза | т | 25,4 | т | 29,9 |
| Сменная производительность | т/см | 304,8 | т/см | 239,2 |
| Продолжительность смены | ч | 11 | ч | 11 |
| Эффективность системы ВАДС** | % | 26,6 | % | 31,0 |

* по существующим нормативам [54, 72];

** по результатам исследований автора [104].

На рисунках 4.4 и 4.5 представлены эмпирические и теоретические распределения частот эффективности системы ВАДС при строительстве Рогунской ГЭС с автомобилями-самосвалами SHACMAN-SX3256DR384 и БелАЗ-7540В. Результаты обработки данных хронометражных наблюдений показывают, что эмпирические характеристики распределения эффективности системы ВАДС

хорошо согласуется с теоретическим нормальным законом распределения. Вероятности согласия распределений частот эффективности системы ВАДС $P(\chi^2)$ находятся в пределах 0,63 – 0,93. При этом коэффициенты их вариаций изменяются в пределах $\lambda_t = 5,2 – 6,3\%$.

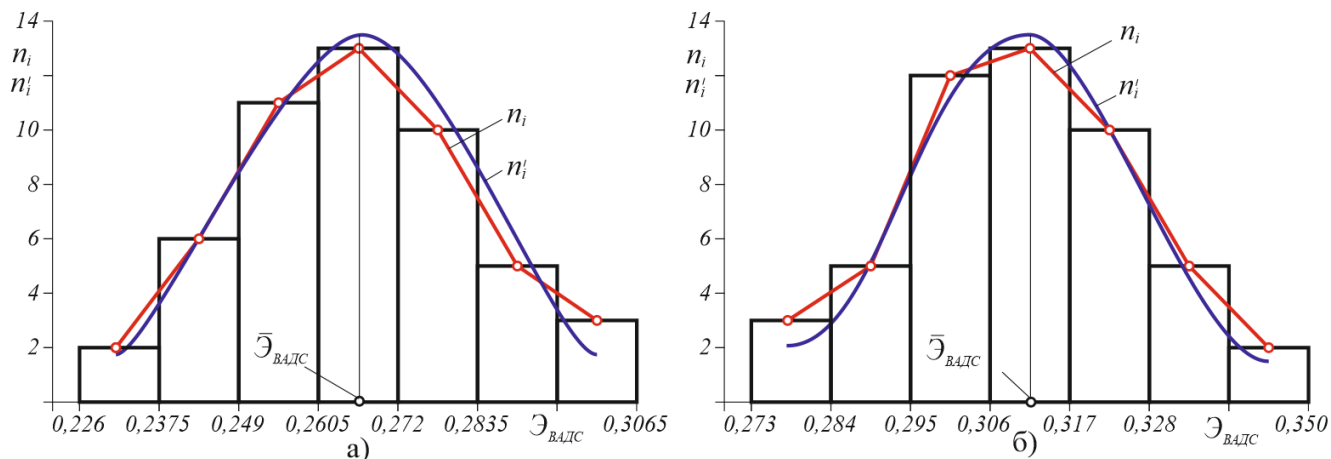


Рисунок 4.4 – Эмпирические и теоретические кривые распределения частот эффективности системы ВАДС: а) с автомобилем SHACMAN-SX3256DR384 с МТ: $\bar{\varepsilon}_{\text{ВАДС}} = 0,252$; $\sigma_{\varepsilon} = 0,017$; $\nu = 6,3\%$; $P(\chi^2) = 93\%$ и б) с автомобилем БелАЗ-7540В с ГМТ: $\bar{\varepsilon}_{\text{ВАДС}} = 0,31$; $\sigma_{\varepsilon} = 0,0162$; $\nu = 5,2\%$; $P(\chi^2) = 90\%$.

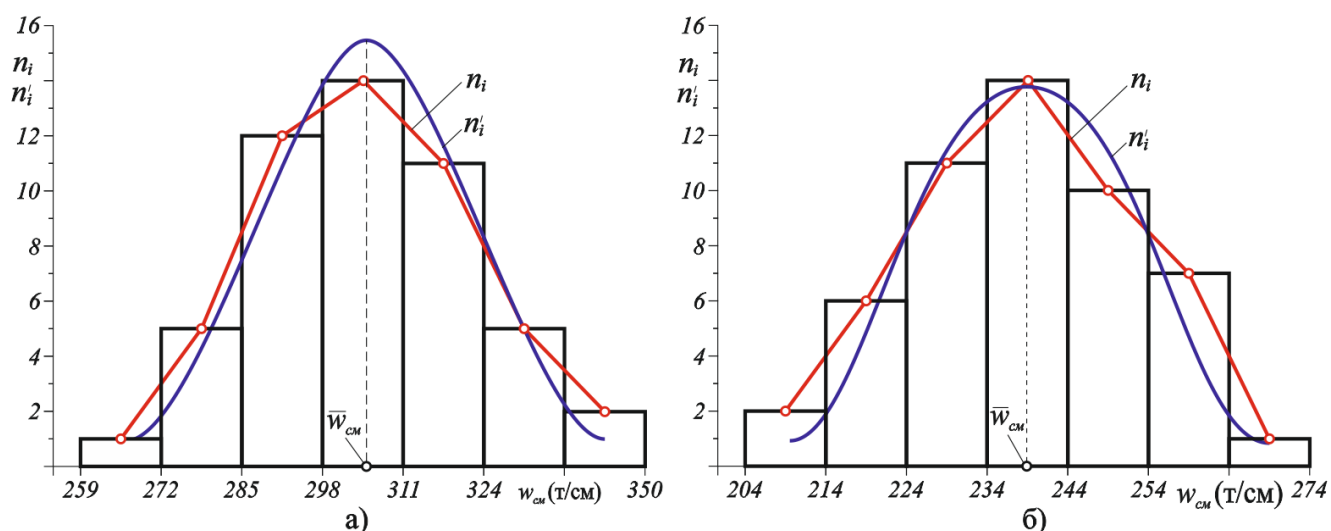


Рисунок 4.5 – Эмпирические и теоретические кривые распределения частот сменной производительности: а) автомобилем SHACMAN-SX3256DR384 с МТ: $W_{\text{см}} = 305$ т/см; $\sigma_{\varepsilon} = 16,8$ т/см; $\nu = 5,5\%$; $P(\chi^2) = 90\%$ и б) автомобилем БелАЗ-7540В с ГМТ: $W_{\text{см}} = 239$ т/см; $\sigma_{\varepsilon} = 13,2$ т/см; $\nu = 5,6\%$; $P(\chi^2) = 67\%$.

4.5 Основные выводы по разделу

На основе проведённых экспериментальных исследований получены следующие результаты:

1. Расчетным и экспериментальным способами установлено, что в условиях горных карьеров эффективность системы ВАДС с автомобилем, оснащённым механической трансмиссией на 8 ... 9% превышает эффективность системы ВАДС с автомобилем, оснащённым гидромеханической трансмиссией.

2. Экспериментальные значения транспортного расхода топлива за езду автомобилями-самосвалами в горных карьерах строительства Рогунской ГЭС составляют: SHACMAN-SX3256DR384 с механической трансмиссией 4,8 – 5,2 л/(100 ткм); БелАЗ-7540В с гидромеханической трансмиссией 6,1 – 6,4 л/(100 ткм).

3. Анализ результатов исследований показывает хорошую согласованность экспериментальных и теоретических данных путевого расхода топлива за езду. При этом расхождение между их фактическим и расчетным значениями составляет менее 3,0 л/(100 км).

4. Обоснована эффективность применения различных марок большегрузных автомобилей-самосвалов, эксплуатируемых в условиях строительства Рогунской ГЭС по фактическим значениям транспортного расхода топлива.

5. Результаты экспериментальных исследований приняты к использованию на производстве.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЙ

На основе полученных результатов исследований предлагаются следующие практические рекомендации по повышению эффективности и снижению энергетических затрат автомобилей-самосвалов, эксплуатируемых в горных условиях РТ:

– с целью повышения эффективности функционирования системы ВАДС в горных условиях целесообразно выбирать автомобили-самосвалы с большой удельной мощностью (свыше 7 кВт/т) преимущественно с механической трансмиссией;

– в условиях строительства Рогунской ГЭС предлагается использовать шины с высотой рисунка протектора, определяемой по предлагаемой методике, исходя из типоразмера шины и условий эксплуатации (тип грунта, скоростной режим) для автомобилей-самосвалов: БелАЗ-7540В рекомендуется шина 18.00-25 с высотой рисунка протектора не более 2,7 см и SHACMAN-SX3256DR384 рекомендуется шина 12.00R20 с высотой рисунка не более 1,5 см;

– на основании математической модели взаимодействия шины с дорожным покрытием предлагается использовать соотношение её высоты и ширины, равным порядку 0,8;

– уточнены нормативы путевого расхода топлива автомобилей-самосвалов в горных условиях, подтверждаемые актами внедрения результатов работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании выполненных автором теоретических и экспериментальных исследований получены следующие основные результаты и выводы:

1. Выполнен анализ элементов системы ВАДС применительно к горным условиям функционирования автомобилей-самосвалов на строительстве гидротехнических сооружений, отмечены недостатки действующих систем в рассматриваемых условиях эксплуатации.

2. Разработана концептуальная модель функционирования системы ВАДС, базирующаяся на энергетических принципах оценки эффективности системы, включающая в себя предложенный обобщённый динамический коэффициент, характеризующий дорожные условия на строительстве Рогунской ГЭС.

3. Предложены методика оценки самоочищаемости шин и базирующиеся на ней рекомендации по выбору конструкции шин для автомобилей-самосвалов, эксплуатируемых в горных условиях на строительстве гидротехнических сооружений.

4. Установлено, что для снижения энергетических затрат на перекатывание колес в условиях строительства Рогунской ГЭС при имеющихся ограничениях, накладываемых на конструкцию движителя, отношение высоты рисунка протектора шины к его ширине должно быть равным $0,7...0,8$.

5. Результаты проведённых экспериментальных исследований по определению технико-экономических показателей автомобилей с механической и гидромеханической трансмиссиями, эксплуатируемых в горных условиях, свидетельствуют о более высоких энергетических затратах автомобилей с гидромеханической трансмиссией (на $8...10\%$), в связи с чем сформулированы рекомендации по использованию типов трансмиссий на эксплуатируемых автомобилях-самосвалах.

6. В результате проведённые экспериментальных исследований, установлено, что с увеличением удельной мощности автомобиля снижаются путевой расход топлива и приведенные затраты на транспортную работу

автомобиля на 24%, в связи с этим целесообразно в горных условиях на строительстве гидротехнических сооружений использовать большегрузные автомобили-самосвалы.

7. Проведены экспериментальные исследования по влиянию коэффициента сопротивления качению колес, массы перевозимого груза и обобщенного динамического коэффициента на путевой расход топлива. На базе этого разработана математическая модель в натуральном масштабе для прогнозирования путевого расхода топлива автомобилями-самосвалами в горных условиях. Относительные расхождения между теоретическими и экспериментальными значениями не превышают 3%.

8. Основные результаты диссертационных исследований внедрены в технологический процесс эксплуатации автомобилей-самосвалов для выполнения транспортной работы при строительстве гидротехнических сооружений в Республике Таджикистан и подтверждены актами внедрения, в частности, предложены рекомендации по корректированию нормативов расхода топлива для автомобилей-самосвалов, эксплуатирующийся при строительстве Рогунской ГЭС.

СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

АТП – автотранспортное предприятие;

ВАДС – водитель-автомобиль-дорога-среда;

ГБАО – Горно-Бадахшанская автономная область;

ГМТ – гидромеханическая трансмиссия;

ГТС – гидротехническое сооружение;

ГЭС – гидроэлектростанция;

ДАО – дочернее акционерное общество;

ДВС – двигатель внутреннего сгорания;

ДТП – дорожно-транспортное происшествие;

ИТР – инженерно-технический работник;

КПД – коэффициент полезного действия;

ММ – математическая модель;

МТ – механическая трансмиссия;

МФЭ – многофакторный эксперимент;

Н. У. М. – над уровнем моря;

ОАО – открытое акционерное общество;

ОЗА – околосемная атмосфера;

СНГ – Содружество Независимых Государств;

ТО – техническое обслуживание;

ТСМ – телескопический стреляющий механизм;

ЦПГ – цилиндропоршневая группа;

ЯМЗ – Ярославский моторный завод;

DFM – Dongfeng Motors;

DUT-E – Датчик уровня топлива;

ESRI – Environmental Systems Research Institute (Институт исследования экологических систем);

OGIS – Office of Government Information Services (Управление государственными информационными службами).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абомелик, Т.П. Методология планирования эксперимента: методические указания к лабораторным работам. – Ульяновск: УлГТУ, 2011 – 38 с.
2. Алиев, В.А. Исследование надежности автомобилей в высокогорных условиях эксплуатации: дисс. ... канд. техн. наук. 05.00.00 / В.А. Алиев. – Душанбе, – 1971. – 180 с.
3. Алиев, В.А. Надежность тормозных систем автомобилей КамАЗ в специфических условиях республики / В.А. Алиев, А.А. Турсунов // Горизонты науки. – Душанбе: Дониш, 1987. – №4. – С. 23-26.
4. Антонов, А.С. Армейские автомобили: Теория / А.С. Антонов, Ю.А. Кононович, Е.И. Магидович, В.С. Прозоров. Воениздат. Москва, 1970. – 192 с.
5. Аринин, И.Н. Техническая эксплуатация автомобилей / И.Н. Аринин, С.И. Коновалов, Ю.В. Баженов. – Изд. 2-е. – Ростов н/Д: Феникс, 2007. – 314 с.
6. Атлас Узбекской ССР, Киргизской ССР, Таджикской ССР, Туркменской ССР: Политико-адм. деление-по состоянию на 1 янв. 1988 г. Численность населения – на 1 янв. 1987 г. / Е.В. Крамская, Г.А. Золотухина, Г.Ф. Ткаченко. – М.: ГУГК, 1988. – 75 с.
7. Бабков В.Ф. Качение автомобильного колеса по грунтовой поверхности // Тр. МАДИ. – М.: Дориздат, 1953. – Вып. 15. – С. 89.
8. Бабков, В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения / В.Ф. Бабков. – М.: Транспорт, 1993. – 271с.
9. Бакеев, Р.Б. Проблема определения и корректирования нормативов ресурса автомобильных шин // Проблемы эксплуатации автомобилей, строительных, дорожных и подъемно-транспортных машин: Межвузовский сборник научных трудов. – Тюмень: ТГНУ, 2001. – С. 3-5.
10. Бируля, А.К. Проектирование автомобильных дорог / А.К. Бируля. – Москва, 1948. – 347 с.
11. Бобоев, К.О. Эффективность функционирования развития региональной транспортной инфраструктуры (на материалах Республики Таджикистан):

- дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / К.О. Бобоев. – Душанбе, 2016. – 217 с.
12. Вахламов, В.К. Автомобили: Эксплуатационные свойства. Учеб. пособие для вузов / В.К. Владимир. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 240 с.
 13. Вахламов, В.К. Автомобили: теория и конструкция автомобиля и двигателя / В.К. Вахламов, М.Г. Шатров, А.Л. Юрчевский. – М.: Академия, 2012. – 816 с.
 14. Великанов, Д. Требования к конструктивным особенностям и типу автомобилей южного и горного исполнения / Д. Великанов, А. Левин // Автом. Транспорт. – 1977. – №9. – С. 23-26.
 15. Великанов, Д.П. Автомобильные транспортные средства / Д.П. Великанов. – М.: Транспорт, 1977. – 326 с.
 16. Великанов, Д.П. Эффективность автомобиля / Д.П. Великанов. – М.: Транспорт, 1969. – 239 с.
 17. Воронков, А.Г. Оценка транспортно-эксплуатационного состояния автомобильной дороги: метод. указания / А.Г. Воронков, К.А. Андрианов. – Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2008. – 24 с.
 18. Гащук, П. Автомобіль. Теорія колісного рушія. Кондор. Київ, 2018. – 328 с.
 19. Гнеденко, Б.В. Математические методы в теории надёжности / Б.В. Гнеденко, Ю.К. Беляев, А.Д. Соловьев. – М.: Наука, 2010 – 524 с.
 20. Горшков, Ю. Г. Обоснование математической модели самоочищаемости пневматических шин / Ю. Г. Горшков, Ю. Б. Четыркин // Вестник КрасГАУ. – 2012. – № 2(65). – С. 192-196.
 21. Горшков, Ю.Г. Самоочищаемость пневматических шин транспортных средств – фактор активной безопасности движения // Тр. ЧИМЭСХ. – Челябинск, 1977. – Вып. 122.
 22. Горюнов, С.В. Функциональная модель прогнозирования долговечности шин карьерных автосамосвалов // Известия МГТУ МАМИ. – 2013. – Т. 1. – № 2(16). – С. 149-154.
 23. ГОСТ 12536-2014. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава (взамен ГОСТ 12536-79). – М.: Стандартинформ, 2019. – 103 с.

24. ГОСТ 20306-90. Автотранспортные средства. Топливная экономичность. Методы испытания. – М.: Издательство стандартов, 1991. – 34 с.
25. ГОСТ 22576-90. Автотранспортные средства. Скоростные свойства. Методы испытаний. – М.: Издательство стандартов, 1991. – 34 с.
26. ГОСТ 26585-2003. Шины пневматические крупногабаритные и сверхкрупногабаритные для внедорожных карьерных автомобилей. Технические условия (взамен ГОСТ 26585 – 85). – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2004. – 35 с.
27. ГОСТ 26899-68. Техническая диагностика. Стенды роликовые для определения параметров тягово-скоростных свойств и топливной экономичности автомобилей и колесных тракторов в условиях эксплуатации. Общие технические требования. – М.: Издательство стандартов, 1986. – 12 с.
28. ГОСТ 30412-96. Дороги автомобильные и аэродромы. Методы измерений неровностей оснований и покрытий. – М., 1996. – 9 с.
29. ГОСТ 6875-54. Автомобили грузовые. Методы контрольных испытаний. – М.: Издательство стандартов, 1974. – 349 с.
30. ГОСТ Р 51568-99 (ИСО 3310-1-90) Сита лабораторные из металлической проволочной сетки. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 2000. – 11с.
31. ГОСТ Р 58137-2018. Дороги автомобильные общего пользования. Руководство по оценке риска в течение жизненного цикла. – М.: Стандартинформ, 2018. – 52 с.
32. ГОСТ Р 52399 – 2005. Геометрические элементы автомобильных дорог. – М.: Стандартинформ, 2006. – 11 с.
33. Графкина, М.В. Экология и экологическая безопасность автомобиля: учебник / М.В. Графкина, В.А. Михайлов, К.С. Иванов. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: ФОРУМ; ИНФРА-М, 2016. – 320 с.
34. Гриб, С.И. Механика грунтов. Физические и механические характеристики грунтов / С. И. Гриб // – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. – 65 с.
35. Губарев, А.В. Конструирование и расчет наземных транспортно-

- технологических средств / А.В. Губарев, А.Г. Уланов. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2015. – 564 с.
36. Давлатшоев, Р.А. Повышение тормозных свойств автотранспортных средств в горных условиях эксплуатации: дисс. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / Р.А. Давлатшоев. – Душанбе, 2007. – 206 с.
37. Девятов, М.М. Формирование современных требований к транспортной инфраструктуре сельских муниципальных образований на основе исследования эволюции системы водитель-автомобиль-дорога-среда / М.М. Девятов, А.М. Поляков, Е.В. Столетов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2019. – № 2(75). – С. 80-91.
38. Еремин, В.М. Концептуальная модель функционирования системы ВАДС как основа компьютерной имитации. САПР и ГИС автомобильных дорог / В.М. Еремин, 2014. – №1(2). – С. 90-93.
39. Еремин, В.М. Методологические аспекты исследования системы «водитель-автомобиль-дорога-окружающая среда» / В.М. Еремин. Актуальные вопросы повышения безопасности движения: Сб. науч. трудов. – М.: МАДИ, 1988, – С. 4-8.
40. Жуковец, А.Г. Содержание и ремонт автомобильных дорог: уч.-метод. пособие для выполнения курсового и дипломного проектирования / А.Г. Жуковец, Н.В. Бандюк. – Гомель: БелГУТ, 2016. – 61 с.
41. Зайцев, А.В. Обработка результатов полного факторного эксперимента: метод. указания к выполнению практической работы / А.В. Зайцев. – Курган: КГУ, 2016. – 23 с.
42. Зайцев, А.В. Сеницын С.Н., Фролов В.А. Планирование и обработка эксперимента при диффузионном хромировании деталей из серого чугуна / А.В. Зайцев, С.Н. Сеницын, В.А. Фролов // Вестник КГУ. Серия «Технические науки». – 2011. – Вып. 6. – № 1 (20). – С. 83-85.
43. Захаров, Н.С. Влияние условий эксплуатации на долговечность автомобильных шин. – Тюмень: ТюмГНГУ, 1997. – 139 с.

44. Зимелев, Г.В. Теория автомобиля. – М.: Воениздат, 1957. – 455 с.
45. Иванов, В.Н. Модель поведения водителя типа «стимул-реакция» / В.Н. Иванов. Н.А. Мурахина. – Труды МАДИ, 1974. – Вып. 73. – С. 71-83.
46. Иванов, В.Н. Проблемы обоснования эксплуатационных свойств и систем комплекса АВД: дисс. ... докт. техн. наук: 05.22.10 / В.Н. Иванов – М.,1970. – 416 с.
47. Иларионов, В.А. Динамичность автомобиля / В.А. Иларионов. – М.: Транспорт, 1964. – 95 с.
48. Иларионов, В.А. Теория автомобиля / В.А. Иларионов, М.М. Морин, А.М. Шейнин. – М.: Автотрансиздат, 1960 – 192 с.
49. Иларионов, В.А. Эксплуатационные свойства автомобиля (теоретический анализ) / В.А. Иларионов. – М.: Машиностроение, 1966. – 280 с.
50. Исмонзода, С.М. Проблемы обеспечения безопасности дорожного движения в Республике Таджикистан / С.М. Исмонзода. – ФГКОУ ВО Орловский юридический институт Министерства внутренних дел Российской Федерации имени В.В. Лукьянова. Орёл. – 2019. – №1, – С. 209-2013.
51. Исхаки, Ю.Б. Дыхательные пути и высокогорье / Ю.Б. Исхаки, А.А. Жаворонков, А.С. Ростовщиков. – Душанбе: Ирфон, 1989. – 128 с.
52. Калужский, Я.А. Повышение безопасности движения средствами дорожно-эксплуатационной службы / Я.А. Калужский, В.М. Кисляков, Ж.В. Бегма. – М.: Транспорт, 1971. – 149 с.
53. Кантаев, А.С. Определение гранулометрического состава дисперсных материалов / А.С. Кантаев, И.Д. Брус. – Томск: Изд-во ТПУ, 2014. – 12 с.
54. Карьерные самосвалы БелАЗ-7540А, БелАЗ-7540В, БелАЗ-7540С, БелАЗ-7540D, БелАЗ-7540К, БелАЗ-7547, БелАЗ-75471, БелАЗ-75473 и их модификации / Руководство по ремонту 7547-3902080 РС. Республика Беларусь. Изд.-завод, 2013. – 368 с.
55. Клинковштейн, Г.И. Исследование тормозных качеств автомобилей и методов их проверки в эксплуатации: дисс. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / Г.И. Клинковштейн – М., 1961. – 220 с.

56. Кнороз, В.И. Работа автомобильной шины / В.И. Кнороз, Е.В. Кленников, А.С. Шелухин, Ю.М. Юрьев. – М.: «Транспорт», 1976. – 238 с.
57. Козлов, В.Г. Влияние погодно-климатических факторов на системы комплекса "водитель-автомобиль-дорога-среда" / В.Г. Козлов, А.В. Скрыпников, М.А. Абасов, В.В. Никитин, В.В. Самцов // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2019. – № 1. – С. 30-36.
58. Колчин, А.И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей. Учеб. пособие для вузов / А.И. Колчин, В.П. Демидов. 4-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2008. – 496 с.
59. Крестовников, Г.А. Исследование режима максимальной скорости грузовых автомобилей и тягачей – Труды НАМИ, 1966. – Вып. 81. – С. 39-57.
60. Лазарев, С.Н. Оценка качества безопасного функционирования автомобиля в дорожно-транспортной системе "водитель-автомобиль-дорога-среда" по статическим свойствам / С.Н. Лазарев, Н.А. Орешин, Д.А. Мамлеев // Управление деятельностью по обеспечению БДД: состояние, проблемы, пути совершенствования. – 2019. – № 1(2). – С. 278-284.
61. Лень, Ю.И. Карьерные автодороги их значимость и проблемы совершенствования / Ю.И. Лень, Ю.В. Стенин, А.Г. Колчанов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – № 3. – С. 103-108.
62. Леонович, И.И. Диагностика автомобильных дорог: учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги» / И.И. Леонович, С.В. Богданович. – Минск: БНТУ, 2012. – 226 с.
63. Литвинов, А.С. Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств. Учебник для вузов по специальности «Автомобили и автомобильное хозяйство» / А.С. Литвинов, Я.Е. Фаробин. – М.: Машиностроение, 1989. – 240 с.
64. Литвинов, А.С. Управляемость и устойчивость автомобиля / А.С. Литвинов. – М.: Машиностроение, 1971. – 416 с.
65. Лобанов, Е.М. Проектирование дорог и организация движения с учетом психофизиологии водителя / Е.М. Лобанов. – М.: Транспорт, 1980. – 311 с.
66. Логистические процессы и морские магистрали II в Азербайджане, Армении, Грузии, Казахстане, Молдове, Таджикистане, Туркменистане, Узбекистане,

- Украине. Проект мастер-плана «LOGMOS» – Приложение 5. Обзор автодорожного сектора. Проект. – 2013. – 178 с.
67. Мирзоева, Н.Ш. Совершенствование методологии финансирования содержания автомобильных дорог горного региона в обеспечении экономической безопасности: дисс. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / Н.Ш. Мирзоева. – Душанбе, 2009. – 189 с.
68. Мурахина, Н.А. Повышение безопасности дорожного движения методом оптимизации системы Автомобиль - Водитель – Дорога: дисс. ... канд. техн. наук: 05.22.11 / Н.А. Мурахина. – М., 1974. – 188 с.
69. Нарбут, А.Н. Автомобили: Рабочие процессы и расчет механизмов и систем / А.Н. Нарбут. – 2-е изд., испр. – М.: Изд-кий центр «Академия», 2008. – 235 с.
70. Некрасов, В.И. Многофакторный эксперимент. Планирование и обработка результатов: учеб. пособие. – Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 1998. – 146 с.
71. Нигматов, И.И. Особенности архитектурно строительного проектирования зданий, возводимых в условиях жаркого климата Центральной Азии / И.И. Нигматов. – Душанбе, 1993. – 216 с.
72. ООО «ТехКомплектСервис» / Технические характеристики / самосвалы HOWO-ZZ3257N3847N1 и SHACMAN-SX3256DR384 [Электронный ресурс], – режим доступа: <https://tehkomservis.ru/> (дата обращения: 19.12.2019).
73. Оценка ровности конструктивных слоёв дорожной одежды универсальной дорожной рейкой: методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Технология и организация работ по строительству дорожной одежды» / сост. Е.В. Андреева. – Омск: СибАДИ, 2011. – 16 с.
74. Погода в Таджикистане / районы республиканского подчинения / Рогун [Электронный ресурс], – режим доступа: <http://tajikistan.pogoda360.ru/603282/> (дата обращения: 19.10.2019).
75. Петрушов, В.А. Сопротивление качению автомобилей и автопоездов / В.А. Петрушов, С.А. Шуклин, В.В. Московкин. – Москва. Машиностроение, 1975. – 224 с.

76. Петрушов, В.А. Способы обобщенной оценки влияния схемы привода на расход топлива автомобилем – «Автомобильная промышленность», 1966. – №12. – С. 23-77.
77. Рахимов, Я.А. Человек и высокогорье / Я.А. Рахимов, Л.Е. Этинген, В.Ш. Белкин. – Душанбе: Ирфон, 1982. – 96 с.
78. Ревина, И.В. Планирование эксперимента: метод. указания при работе над курсовыми работами и дипломным проектом. – Омск: Издательство ОмГТУ, 2015. – 50 с.
79. Ротенберг, Р.В. Основы надежности системы Водитель-Автомобиль-Дорога-Среда / Р.В. Ротенберг. – М.: Машиностроение, 1986. – 216 с.
80. Рябчинский, А.И. Экологическая безопасность автомобиля / А.И. Рябчинский, Ю.В. Трофименко, С.В. Шелмаков. // Под ред. Член-корр. РАН В.Н. Луканина – М.: МАДИГУ, 2000. – 95 с.
81. Сайдуллозода, С.С. Особенности работы системы водитель-автомобиль-дорога-среда Республики Таджикистан / С.С. Сайдуллозода, К.Т. Мамбеталин, Ж.Т. Пиров // Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ. – 2018. – С. 65-70.
82. Сайдуллозода, С.С. Оценка эффективности функционирования системы водитель-автомобиль-дорога-среда по энергетическим показателям / С.С. Сайдуллозода, К.В. Гаврилов, А.М. Умирзоков, А.Г. Уланов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. – 2021. – Т. 21. – №4. – С. 61-70.
83. Сайдуллозода, С.С. Функционирования системы водитель-автомобиль-дорога-среда в горных условиях Таджикистана / С.С. Сайдуллозода // Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ. – 2019. – С. 24-32.
84. Самойлов, Д.С. Организация и безопасность городского движения / Д.С. Самойлов, В.А. Юдин. – М.: Высш. школа, 1972. – 256 с.
85. Сафаров, Н. Республика Таджикистан. Национальная стратегия и план действий по сохранению и рациональному использованию биоразнообразия / Н. Сафаров. – Душанбе, 2013. – 216 с.
86. Сергеев, А.Г. Метрологическое обеспечение эксплуатации технических систем /

- А.Г. Сергеев. – М.: Изд. МГОУ, 1994. – 488 с.
87. Скворцова, Т.В. Повышение надёжности звена "водитель" в системе "водитель-автомобиль-дорога среда" / Т.В. Скворцова // Воронежский научно-технический Вестник. – 2012. – Т. 1. – № 1. – С. 26-33.
88. Скрышников, А.В. Комплекс "водитель-автомобиль-дорога-среда" как двухуровневая децентрализованная система обслуживания / А.В. Скрышников, Е.В. Чернышова, М.А. Абасов, П.В. Тихомиров // Современные наукоемкие технологии. – 2019. – № 5. – С. 81-87.
89. СНиП 2.05.07-91* «Промышленный транспорт» / Министром России. – М.: ГП ЦПП, 1996. – 112 с.
90. СНиП 3.06.03-85. Автомобильные дороги / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 112 с.
91. Степанов, И.С. Влияние элементов системы водитель-автомобиль-дорога-среда на безопасность дорожного движения: Учебное пособие / И.С. Степанов, Ю.Ю. Покровский, В.В. Ломакин, Ю.Г. Москалева – М.: МГТУ «МАМИ», 2011. – 171 с.
92. Сурмин, Ю.П. Теория систем и системный анализ: учебное пособие / Ю.П. Сурмин. – К.: МАУП, 2003. – 368 с.
93. Таджикская Советская Социалистическая Республика / АН ТаджССР, Госком. ТаджССР по делам изд-в, полиграфии и кн. торговли; Гл. ред. М. Асимов. – 2-е изд., доп. – Душанбе: Тадж. Сов. Энцикл., 1984. – 503 с.
94. Токарев, А.А. Топливная экономичность и тягово-скоростные качества автомобиля / А.А. Токарев. – М.: Машиностроение, 1982. – 221 с.
95. Турсунов, А.А. Влияние метеорологических условий горного региона на эффективность работы АТС / А.А. Турсунов, А.М. Умирзоков // Вестник МГТУ ГА, 2009. – №147 (10). – С. 64-71.
96. Турсунов, А.А. Надежность водителя автомобиля в горных условиях / А.А. Турсунов, Я. Юсупов // Труды ТГУ, Серия: Транспорт и дорожное хозяйство, Вып. 2. – Душанбе, 1999. – С. 28-30.
97. Турсунов, А.А. Оценка влияния параметров горной среды на энергетические

- показатели энергоустановок транспортных машин / А.А. Турсунов, М.А. Абдуллоев, А.М. Умирзоков // Транспортные и транспортно-технологические системы: материалы Международной научно-технической конференции. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2010. – С. 330-334.
98. Турсунов, А.А. Управление работоспособностью автомобилей в горных условиях эксплуатации / А.А. Турсунов. – Душанбе: Ирфон, 2003. – 356 с.
99. Турсунов, А.А. Управление работоспособностью автомобилей в горных условиях эксплуатации: дисс. ... докт. техн. наук: 05.22.10 / А.А. Турсунов – Душанбе, 2002. – 441 с.
100. Умирзоков, А.М. Влияние дорожных, климатических и эксплуатационных факторов на долговечность автомобильных шин / А.М. Умирзоков, А.А. Саибов, М.А. Абдуллоев, Ф. Джобиров // Вестник Таджикского технического университета. – 2015. – № 3(31). – С. 89-94.
101. Умирзоков, А.М. К оценке эффективности управления большегрузными автомобилями-самосвалами в горных условиях / А.М. Умирзоков, К.Т. Мамбеталин, С.С. Сайдуллозода, У.М. Маллабоев // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексева. – 2020. – №3 (130). – С. 141-148.
102. Умирзоков, А.М. Классификация системы ВАДС / А.М. Умирзоков, К.Т. Мамбеталин, С.С. Сайдуллозода, А.А. Соибов, А.Х. Абаев, А.Л. Бердиев // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2019. – №1 (45). – С. 176-176.
103. Умирзоков, А.М. Классификация факторов, влияющих на пробег шин в условиях высокогорных карьеров / А.М. Умирзоков, А.А. Саибов, Ф.И. Джобиров, А.Х. Абаев // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования. – 2018. – № 3(43). – С. 44-48.
104. Умирзоков, А.М. Концептуальная модель оценки эффективности системы «водитель-автомобиль-дорога-среда» / А.М. Умирзоков, К.Т. Мамбеталин, С.С. Сайдуллозода, А.А. Саибов // Вестник ЮУрГУ. Серия: Машиностроение. – 2019. – № 1 (Том 19). – С. 37-46.
105. Умирзоков, А.М. Моделирование расхода топлива большегрузными

- автомобилями в горных условиях эксплуатации / А.М. Умирзоков, К.Т. Мамбеталин, С.С. Сайдуллозода, Ш.К. Самиев // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2020. – № 2 (129). – С. 140-149.
106. Умирзоков, А.М. Оценка сети автомобильных дорог Республики Таджикистан / А.М. Умирзоков, Н.Р. Гоибов, С.С. Сайдуллозода, А.Л. Бердиев // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2021. – №3 (134). – С. 117-124.
107. Умирзоков, А.М. Оценка формирования ресурса шин грузовых автомобилей в горных условиях при строительстве Рогунской гидроэлектростанции / А.М. Умирзоков, Ф.И. Джобиров, С.С. Сайдуллозода, А.Л. Бердиев // Научно-технический вестник БГУ. – 2021. – №4. – С. 396-403.
108. Умирзоков, А.М. Оценка эффективности эксплуатации автомобилей в условиях высокогорья Республики Таджикистан / А.М. Умирзоков, А.А. Саибов, Б.Ж. Мажитов // материалы XVIII Междунар. науч. практ. конф. «Актуальные проблемы эксплуатации автотранспортных средств». – Владимир: под общ. ред. канд. техн. наук, 24-25 нояб., 2016. – С. 37-43.
109. Умирзоков, А.М. Оценка эффективности эксплуатации автомобильной дороги в горных карьерах / А.М. Умирзоков, К.Т. Мамбеталин, С.С. Сайдуллозода, А.Л. Бердиев // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2021. – №1 (132). – С. 98-105.
110. Умирзоков, А.М. Структура среды эксплуатации системы ВАДС / А.М. Умирзоков, К.Т. Мамбеталин, А.А. Гафаров, С.С. Сайдуллозода, А. А. Саибов, А.Х. Абаев, Ф.А. Гафаров // Вестник ТУТ. – 2018. – 3(34), С. 47-54.
111. Умирзоков, А.М. Факторы, влияющих на расход запасных частей в условиях высокогорья / А.М. Умирзоков, К.Т. Мамбеталин, С.С. Сайдуллозода, А.А. Соибов, А.Х. Абаев, А.Л. Бердиев // Политехнический вестник. Серия Инженерный исследования, 2019. – №1 (45). – С. 167-171.
112. Фалькевич, Б.С. Теория автомобиля / Б.С. Фалькевич – М.: Машиностроение, 1963. – 259 с.
113. Фаробин, Я.Е. Оптимизация параметров автопоездов по производительности / Я.Е. Фаробин // Изв. вузов. Машиностроение, – 1980. – №10. – С. 71-83.

114. Фаробин, Я.Е., Оценка эксплуатационных свойств автопоездов для международных перевозок / Я.Е. Фаробин, В.С. Шупляков. – М.: Транспорт, 1983. – 200 с.
115. Филькин, Н.М. Основы теории исследования эксплуатационных свойств автомобиля / Н.М. Филькин, Р.Ф. Шаихов, И.П. Буянов. – Пермь: ФГБОУ ВО Пермская ГСХА, 2016. – 241 с.
116. Хусаинов, А.Ш. Эксплуатационные свойства автомобиля. Учебное пособие / А.Ш. Хусаинов. – Ульяновск: УлГТУ, 2011. – 109 с.
117. Черепанов, Л.А. Расчет тяговой динамически и топливной экономичности автомобиля: учеб. Пособие / Л.А. Черепанов. – Тольятти: ТолПИ, 2001. – 41 с.
118. Чернышов, В.Н. Теория систем и системный анализ: учеб. пособие / В.Н. Чернышов, А.Н. Чернышов. – Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2008. – 96 с.
119. Чудаков, Е.А. Теория автомобиля / Е.А. Чудаков. – М.: Машгиз, 1950. – 343 с.
120. Шарифов, А. Реструктуризация дорожной отрасли транспортного комплекса Республики Таджикистан: дисс...канд. экон. наук: 08.00.05 / Шарифов Анвар. – Душанбе, 2003. – 127 с.
121. Электрические измерения: учебник для студ. учреждений сред. проф. Образования / В.А. Панфилов. – 8-е изд., испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 288 с.
122. Abishev, K.K. On the issue of reliability of a motor vehicle driver / K.K. Abishev // Bulletin of Semey Shakarim State University, 2015. – Vol. 2 (70). – P. 3-6.
123. Bellet, T. Human driver modelling and simulation into a virtual road environment / T. Bellet, P. Mayenobe, J.C. Bornard, J.C. Paris, D. Gruyer, B. Claverie // Human Modelling in Assisted Transportation, 2011. – P. 251-262.
124. Buss, D. Driver`s reliability and its effect on road traffic safety / D. Buss, K. Abishev, A. Baltabekova // Procedia Computer Science, 2019. – Vol. 149. – P. 463-466.
125. Danko, D. M. The digital chart of the world project / D. M. Danko // Proceedings of the Eleventh Annual ESRI User Conference. – Environmental Systems Research Institute, 1991. – Т. 1. – P. 1125-1128.

126. David, L.G. How does on-road fuel economy vary with vehicle cumulative mileage and daily use? / L.G. David, L. Jun, J.K. Asad, W. Behram, L.H. Janet, G. Richard // *Transportation Research Part D. – Transport and Environment*, 2017. – Vol. 55. – P. 142-161.
127. Farahmand, B. Effect of road geometry on driver fatigue in monotonous environments: A simulator study / B. Farahmand, A.M. Boroujerdian // *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 2018. – Vol. 58. P. 640-651.
128. Frauke, W. Conceptual model of the industry sector in an energy system model / W. Frauke, B. Mattia // *A case study for Denmark. Journal of Cleaner Production*, 2018. – Vol. 203. P. 427-443.
129. Gaoxiang, L. Impact of the dual-credit policy on improvements in fuel economy and the production of internal combustion engine vehicles / L. Gaoxiang, M. Haicheng, F. Tijun, K.Ch. Hing // *Resources, Conservation and Recycling*, 2000. – Vol. 156, P. 104712.
130. Glantz, M. New Hominin Remains from Uzbekistan / M. Glantz, B. Viola, P. Wrinn, T. Chikisheva, A. Derevianko, A. Krivoshapkin, U. Islamov, R. Suleimanov, T. Ritzman. – *Journal of Human Evolution*, 2008. – 55 (2): P. 223-237.
131. Graser, A. Processing: A python framework for the seamless integration of geoprocessing tools in QGIS / A. Graser, V. Olaya // *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2015. – T. 4. – №. 4. – C. 2219-2245.
132. Hans, J.W. Does driving behavior matter? An analysis of fuel consumption data from heavy-duty trucks / J.W. Hans, S. Morten // *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2015. – Vol. 36. – P. 107-120.
133. Hastings, Global Land One-kilometer Base Elevation (GLOBE) Digital Elevation Model, Documentation / Hastings, A. David, Paula K. Dunbar // *Key to Geophysical Records Documentation (KGRD) 34. National Oceanic and Atmospheric Administration, National Geophysical Data Center, 325 Broadway, Boulder, Colorado 80303, U.S.A., 1999. – Vol. 1.0. – P. 44-56.*
134. Herman, R. Characterizing Traffic Conditions in Urban Areas / R. Herman, S.

- Ardekani, *Transportation Science*, 1984. – Vol. 18(2). – P. 101-140.
135. Herman, R. *Traffic Dynamics: Analysis of Stability in Car Following* / R. Herman, E.W. Montroll, R.B. Potts, R.W. Rothery // *Operations Research*, 1959. – Vol. 7(1). – P. 86-106.
136. Ian, N.C. *Supply chains and their management: Application of general systems theory* / N.C. Ian, M.H. Mammy // *Journal of Retailing and Consumer Services*. – September, 2007. – Vol. 14, Issue 5. – P. 319-327.
137. Janssen, W.H. *Driver Task Load in Different Road Environments* / W.H. Janssen // *Proceedings of the Human Factors Society Annual Meeting*, 1983. – Vol. 27(4). – P. 323-323.
138. Jimenez, F. *Advanced Driver Assistance System for road environments to improve safety and efficiency* / F. Jimenez, J.E. Naranjo, J.J. Anaya, F. García, A. Ponz, J.M. Armingol // *Transportation Research Procedia*, 2016. – Vol. 14. – P. 2245-2254.
139. Joaquim, F. *Cooperative sensing for improved traffic efficiency: The highway field trial* / F. Joaquim, A. Muhammad, F. Bruno, S. Luis, A. João, M. Lara, C. Rui, I. Giovanni, C. Elena // *Computer Networks*, 2018. – Vol. 143. – P. 82-97.
140. Likaj, R. *Mathematical and computer model of the car driver in a bumpy road* / R. Likaj, A. Shala // *15th International Research / Expert Conference” Trends in the Development of Machinery and Associated Technology*, 2011, Prague, Czech Republic, 12-18 September.
141. Nicholas, P. *Systems approach to city design: Exploring the compatibility of sociotechnical systems* / P. Nicholas, Patorniti, J. S. Nicholas, M.S. Paul // *Habitat International*, 2017. – Vol. 66. – P. 42-48.
142. Novak, M. *Challenge of Human Factor Influence for Car Safety* / M. Novak, Z. Votruba // *Symposium of Santa Clara on Challenges in Internet and Interdisciplinary Research -SSCCII-2004*.
143. Novak, M. *Impacts of Driver Attention Failures on Transport Reliability and Safety and Possibilities of its Minimizing* / M. Novak, Z. Votruba, J. Faber // *Lecture at conference SSGRR-2003*.
144. Oron-Gilad, T. *Road Environment and Driver Fatigue* / T. Oron-Gilad, R. Hancock

- // Driving Assesment Conference, 2005. – Vol. 3. – P. 318-324.
145. Sonu, Rajak. Sustainable transportation systems performance evaluation using fuzzy logic / Rajak. Sonu, P. Parthiban., R. Dhanalakshmi. *Ecological Indicators*. 2016. – Vol. 71. – P. 503-513.
 146. Umirzokov, A M. Classification of factors influencing the reliability of the driver-vehicle-road-environment (DVRE) system in the conditions of mountain quarries / A.M. Umirzokov, U.M. Mallaboev, S.S. Saidullozoda, Kh.Kh. Khabibullozoda // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020. – Vol. 817. – P. 1-8.
 147. Umirzokov, A.M. A methodology for evaluating the efficiency of driving a truck / A.M. Umirzokov, K.T. Mambetalin, S.S. Saidullozoda, A.L. Berdiev // *Materials Science and Engineering*, 2021. – P. 1-6.
 148. Umirzokov, A.M. On issue of evaluating the effectiveness of the driver-car-road-environment (DCRE) system / A.M. Umirzokov, K.T. Mambetalin, S.S. Saidullozoda // *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 2021. – P. 30-38.
 149. Umirzokov, A.M. Road fuel consumption by a dump truck in mountain conditions / A.M. Umirzokov, K.T. Mambetalin, S.S. Saidullozoda // *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 2021. – P. 267-277.
 150. Wael, Jamous. Assessing travel time reliability implications due to roadworks on private vehicles and public transport services in urban road networks. / Wael Jamous, Chandra Balijepalli // *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 2018. – Vol. 5, – Issue 4. – P. 296-308.
 151. Walnum, H.J. Does driving behavior matter? An analysis of fuel consumption data from heavy-duty trucks / H.J. Walnum, M. Simonsen // *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2015. – Vol. 36. – P. 107-120.
 152. Wikander, C.J. Evaluation of Auxiliary Device Efficiency in Heavy Vehicle Application / C.J. Wikander, J. Flemmer // 2013.
 153. Zhou, M. A review of vehicle fuel consumption models to evaluate eco-driving and eco-routing / M. Zhou, H. Jin, W. Wang // *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2016. – Vol. 49. – P. 203-218.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
ПАТЕНТ НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 198627

ШТИФТОВАЯ МУФТА СЦЕПЛЕНИЯ

Патентообладатель: *Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)" ФГАОУ ВО "ЮУрГУ (НИУ)" (RU)*

Авторы: *Мамбеталин Кахим Токушевич (RU), Сайдуллозода Сайвали Сайдулло (TJ), Умирзоков Ахмад Маллабоевич (TJ)*

Заявка № 2020109848

Приоритет полезной модели 05 марта 2020 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре полезных
моделей Российской Федерации 21 июля 2020 г.

Срок действия исключительного права
на полезную модель истекает 05 марта 2030 г.

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

 Г.П. Ильин



ПРИЛОЖЕНИЕ Б
АКТЫ И СПРАВКИ ВНЕДРЕНИЯ


| | | |
|--|--|--|
| <p>ВАЗОРАТИ НАҚЛИЁТИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН</p> |  | <p>МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН</p> |
| <p>MINISTRY OF TRANSPORT OF THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN</p> | | |
| <p>734042, ш. Душанбе, к. Абдул 14. Тел: (372) 221-17-13, 221-20-03. E-mail: info@mintrans.tj, веб: www.mintrans.tj</p> | <p>734042, Dushanbe, Ayri 14 str. tel: (372) 21-17-13, 221-20-03. E-mail: info@mintrans.tj, web: www.mintrans.tj</p> | <p>734042, г. Душанбе, ул. Абдул 14. Тел: (372) 221-17-13, 221-20-03. E-mail: info@mintrans.tj, веб: www.mintrans.tj</p> |
| <p>№ <u>2-1288</u> аз «<u>14</u>» <u>07</u> 2021 с. Ба № _____ аз «___» _____ 2021 с.</p> | | |
| | | <p>УТВЕРЖДАЮ: Первый заместитель Министра транспорта Республики Таджикистан  Бобозода Р. _____ 2021 г.</p> |
| <p>АКТ</p> | | |
| <p>внедрения результатов исследований работы аспиранта кафедры «Колесные и гусеничные машины» Южно-Уральского государственного университета (НИУ), Сайдуллозода Сайвали Сайдулло</p> | | |
| <p>1. Наименование работы: Оценка энергетических затрат автомобилей-самосвалов на основе модели их функционирования в горных условиях Республики Таджикистан.</p> | | |
| <p>2. Наименование предприятия: Министерства транспорта Республики Таджикистан.</p> | | |
| <p>3. Наименование производства: ОАО «Рогунская ГЭС».</p> | | |
| <p>Научная работа Сайдуллозода Сайвали Сайдулло обсуждалась на техническом совете Министерства транспорта Республики Таджикистан</p> | | |
| <p>Управление строительства и дорожного хозяйства Минтранса рассмотрел результаты выполненной научной работы аспиранта Сайдуллозода С.С. и оценил их как научное достижение, имеющее практическую ценность для решения вопросов организации транспортных работ автомобилями-самосвалами при карьерах в горных условиях Республики Таджикистан.</p> | | |
| <p>По рекомендациям производству изложенным в диссертационной работе принято решение:</p> | | |
| <p>1. Пересмотреть существующие нормативы расхода топлива с учетом факторов горных условий и разрабатывать мероприятия по сокращению расхода топлива.</p> | | |
| <p>2. Организовать учебу по повышению уровня подготовки водительского состава для управления большегрузными карьерными автомобилями-самосвалами.</p> | | |
| <p>3. Проводить работы по улучшению качества карьерных автомобильных дорог.</p> | | |
| <p>Начальник Управления Наземного транспорта,</p> | | <p> Неъматзода Ф.</p> |

Рисунок Б.1 – Акт внедрения в Министерстве транспорта РТ



ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН
ҶАМЪИЯТИ САҲОМИИ КУШОДАИ «НБО РОГУН»

735417, ш. Рогун, кӯч. Сохтмончиён-40 тел: 8-(3134) 21-8-56 факс: 8-(3134) 22-4-35 E-mail: info@rogunges.tj

№ 1661 аз «19» 08 с. 2021



УТВЕРЖДАЮ
Генеральный директор
ОАО «Рогунская ГЭС»
Сафарзода Х.
_____ 2021 г.

АКТ

о внедрении в ОАО «Рогунская ГЭС» результатов исследований
аспиранта Южно-Уральского государственного университета (НИУ),
кафедры «Колесные и гусеничные машины»
Сайдуллозода Сайвали Сайдулло

Результаты исследований по диссертационной работе Сайдуллозода Сайвали Сайдулло «Оценка энергетических затрат автомобилей-самосвалов на основе модели их функционирования в горных условиях Республики Таджикистан», в частности: методика полевых испытаний расхода топлива на автомобилях-самосвалах с учетом условий эксплуатации обсуждены в Научно-Техническом Совете Дирекции строительства и рекомендованы к применению в условиях строительства, для уточнения нормативов расхода топлива на транспортные работы в условиях карьеров.

Методика основана на испытаниях для определения технико-экономических показателей большегрузных карьерных автомобилей-самосвалов механической трансмиссией и гидромеханической трансмиссией, эксплуатируемых в условиях карьеров.

В целом, применение указанной методики позволяет повысить повышение эффективности большегрузных автомобилей-самосвалов и снижение расходов топлив в горных условиях Республики Таджикистан.

И.о Директор, ДАО «Основное
строительство»
ОАО «Рогунская ГЭС»
Карчиев Д.

Главный механик ДАО «Основное
строительство» ОАО «Рогунская ГЭС»
Мирзоев Ф.

Рисунок Б.2 – Акт внедрения в ОАО «Рогунская ГЭС»

УТВЕРЖДАЮ
 Ректор ТТУ им. акад. М.С. Осими
 Д.Э.Н., профессор
 Давлатзода К.К.
 «19» 2021 г.



СПРАВКА

о внедрении в Таджикском техническом университете имени академика М.С. Осими результатов диссертационной работы аспиранта Южно-Уральского государственного университета (НИУ), кафедры «Колесные и гусеничные машины» Сайдуллозода Сайвали Сайдулло

Настоящим удостоверяем, что результаты диссертационной работы аспиранта Сайдуллозода Сайвали Сайдулло «Оценка энергетических затрат автомобилей-самосвалов на основе модели их функционирования в горных условиях Республики Таджикистан» внедрены в учебный процесс кафедры «Эксплуатация автомобильного транспорта» и кафедры «Детали машин и строительно-дорожные машины» путем использования материалов кандидатской диссертации при разработке учебных курсов для подготовки бакалавров направления 37.01.05-02 – «Автомобили и автомобильное хозяйство», 37.01.06-01 – «Техническая эксплуатация автомобилей» и 361101 – «Подъемно-транспортные, строительно-дорожные машины и оборудования».

Декан Транспортного факультета,
 к.т.н., доцент



Р.А. Давлатшоев

Зав. кафедрой «ЭАТ»
 к.т.н., доцент



М.А. Юнусов

Рисунок Б.3 – Справка о внедрении в Таджикском техническом университете им. акад. М.С. Осими

СПРАВКА

Настоящая, выдана в том, что аспирантом третьего курса Южно-Уральского государственного университета Сайдуллозода Сайвали действительно, в период с 10 июля по 26 июля 2019 года на территории стройплощадки Рогунской ГЭС были проведены эксперименты по замеру расхода топлива на автомобилях БелАЗ-7540В и самосвал китайского производства «Шакман» с учетом условий эксплуатации.

Результат проведенных полевых испытаний экспериментальных автомобилей в карьерных условиях строительства вышеуказанного гидротехнического сооружения предоставленный в отчете:

Главный механик
ДАО «Основного строительство»
ОАО «Рогунский ГЭС»



Самиев Ш.К.

Рисунок Б.4 – Справка о проведении экспериментального исследования

ПРИЛОЖЕНИЕ В**РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАБОТКИ ОТКАЗОВ АВТОМОБИЛЯ В ГОРНЫХ
УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН**

Таблица В.1 – Итоговые результаты обработки отказов БелАЗ-7540В

| № п/п | Наименование | ПО АТП, единиц | ПО АТП, % |
|-------|--|----------------|-----------|
| | | 6040 | 30,95 |
| 2 | Топливная система | 2477 | 12,69 |
| 3 | Электрооборудование | 2523 | 12,93 |
| 4 | ГМП | 702 | 3,60 |
| 5 | Передний мост | 88 | 0,45 |
| 6 | Задний мост | 851 | 4,36 |
| 7 | Карданная передача | 488 | 2,50 |
| 8 | Рулевое управление | 114 | 0,58 |
| 9 | Система охлаждения | 43 | 0,22 |
| 10 | Тормозная система | 1652 | 8,46 |
| 11 | Подвеска | 726 | 3,72 |
| 12 | Подшипники | 1952 | 10,00 |
| 13 | Автомобильные шины типоразмера 18.00-25 | 1242 | 6,36 |
| 14 | Прочие отказы | 620 | 3,18 |
| Итого | | 19518 | 100 |

Таблица В.2 – Температура окружающего воздуха

| Месяцы | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
|-------------------------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|------|-----|-----|
| Максимальная | 17 | 20 | 28 | 34 | 36 | 38 | 41 | 38 | 35 | 31 | 26 | 19 |
| Средняя месячная | 15 | 16 | 20 | 24 | 27 | 32 | 33 | 34 | 28 | 27 | 23 | 21 |
| Минимальная | 6 | 7 | 8 | 13 | 22 | 27 | 26 | 28 | 23 | 24 | 17 | 13 |
| Количество осадок (режим влажности) | | | | | | | | | | | | |
| Осадки, мм | 40 | 120 | 135 | 84 | 52 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 10 | 32 |
| Средняя относительная влажность | | | | | | | | | | | | |
| Влажность, % | 65 | 73 | 65 | 54 | 52 | 40 | 28 | 30 | 31 | 33 | 45 | 48 |
| Концентрация пыли | | | | | | | | | | | | |
| Пыль, мг/м ³ | 2,75 | 2 | 2,5 | 2,7 | 2,4 | 2,9 | 3,4 | 3,6 | 3,4 | 2,05 | 2,7 | 3 |

| Интенсивность суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность | | | | | | | | | | | | |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| высокогорные | 145 | 175 | 200 | 240 | 280 | 315 | 350 | 300 | 250 | 215 | 190 | 170 |
| горные | 115 | 150 | 200 | 280 | 350 | 360 | 375 | 340 | 315 | 275 | 210 | 150 |
| равнинные | 95 | 115 | 150 | 200 | 250 | 260 | 270 | 245 | 230 | 170 | 130 | 100 |
| Продолжительность солнечного сияния | | | | | | | | | | | | |
| Солнечное сияние, ч | 150 | 130 | 150 | 180 | 300 | 350 | 400 | 400 | 400 | 350 | 280 | 250 |
| Количество солнечных дней | | | | | | | | | | | | |
| Солнечные дни, дни | 17 | 13 | 18 | 20 | 28 | 33 | 31,5 | 30 | 27 | 27 | 24 | 20 |

Таблица В.3 – Суточный ход температуры наружного воздуха в г. Душанбе.

| Месяцы | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 |
|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| январь | 22 | 19 | 18 | 21 | 24 | 28 | 32 | 34 | 33 | 31 | 28 | 24 | 22 |
| апрель | 8 | 7 | 8 | 11 | 14 | 16 | 18 | 20 | 18 | 17 | 14 | 12 | 7 |
| октябрь | 11 | 10 | 11 | 13 | 15 | 18 | 23 | 24 | 19 | 14 | 13 | 12 | 11 |
| июль | 0 | -4 | -3 | -4 | 2 | 4 | 7 | 9 | 6 | 4 | 3 | 2 | 0 |

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ АВТОМОБИЛЕЙ-САМОСВАЛОВ В УСЛОВИЯХ СТРОИТЕЛЬСТВА РОГУНСКОЙ ГЭС

Таблица Г.1 – Данные для построения внешней скоростной характеристики двигателя КамАЗ-740

| | | | | | | | |
|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| x_i | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1 |
| ω_{ei}, c^{-1} | 104 | 130 | 156 | 182 | 208 | 234 | 260 |
| $N_{ei}, кВт$ | 62 | 81 | 99 | 115 | 129 | 140 | 147 |
| $M_{ei}, Н.м$ | 598 | 621 | 632 | 632 | 621 | 598 | 564 |
| $g_{ei}, г/(кВт. ч)$ | 233 | 233 | 234 | 238 | 244 | 252 | 262 |

Таблица Г.2 – Данные для построения внешней скоростной характеристики двигателя ЯМЗ-236

| | | | | | | | |
|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| x_i | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1 |
| ω_{ei}, c^{-1} | 88 | 110 | 132 | 154 | 176 | 198 | 220 |
| $N_{ei}, кВт$ | 56 | 73 | 89 | 103 | 116 | 126 | 132 |
| $M_{ei}, Н.м$ | 636 | 660 | 672 | 672 | 660 | 636 | 600 |
| $g_{ei}, г/(кВт. ч)$ | 233 | 233 | 234 | 238 | 244 | 252 | 262 |

Таблица Г.3 – Данные для построения внешней скоростной характеристики двигателя ЯМЗ-240М2-1

| | | | | | | |
|-------------------------|------|------|------|------|------|-------|
| i | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 0,9 | 0,95 |
| n_N, c^{-1} | 46 | 92 | 138 | 184 | 207 | 218,5 |
| $N_{e,max}, кВт$ | 49 | 112 | 178 | 233 | 253 | 260 |
| $M_{\partial,max}, Н.м$ | 1060 | 1221 | 1290 | 1267 | 1221 | 1190 |
| k_{em} | 2,5 | 1,9 | 1,4 | 1,1 | 1,0 | 1,0 |
| $M_{m,max}, Н.м$ | 2650 | 2320 | 1807 | 1394 | 1221 | 1190 |

Таблица Г.4 – Данные для построения внешней скоростной характеристики двигателя WEICHAИ WP10

| | | | | | | | |
|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| x_i | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1 |
| ω_{ei}, c^{-1} | 92 | 115 | 138 | 161 | 184 | 207 | 230 |
| $N_{ei}, кВт$ | 104,7 | 135,9 | 166,0 | 193,6 | 217,4 | 235,6 | 247,0 |
| $M_{ei}, Н.м$ | 1138,3 | 1181,3 | 1202,8 | 1202,8 | 1181,3 | 1138,3 | 1073,9 |
| $g_{ei}, г/(кВт. ч)$ | 233,2 | 232,7 | 234,3 | 238,1 | 244,1 | 252,2 | 262,5 |

Таблица Г.5 – Данные для построения графиков скоростей и ускорения, тяговых сил и динамической характеристики для автомобиля КамАЗ-5511

| Передача | Параметры | Значение | | | | | | |
|---------------|------------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Величина | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1 |
| Первая | V_i , м/с | 2,7 | 3,3 | 4,0 | 4,6 | 5,3 | 6,0 | 6,6 |
| $U_{k1}=3,35$ | P_m , Н | 21568 | 22382 | 22789 | 22789 | 22382 | 21568 | 20347 |
| | D_a | 0,115 | 0,119 | 0,121 | 0,121 | 0,119 | 0,114 | 0,108 |
| | j , м/с ² | 0,623 | 0,651 | 0,665 | 0,664 | 0,650 | 0,620 | 0,577 |
| Вторая | V_i , м/с | 3,6 | 4,5 | 5,4 | 6,3 | 7,2 | 8,1 | 9,0 |
| $U_{k2}=2,48$ | P_m , Н | 15967 | 16569 | 16871 | 16871 | 16569 | 15967 | 15063 |
| | D_a | 0,085 | 0,088 | 0,089 | 0,089 | 0,087 | 0,084 | 0,079 |
| | j , м/с ² | 0,494 | 0,518 | 0,529 | 0,528 | 0,515 | 0,489 | 0,450 |
| Третья | V_i , м/с | 4,9 | 6,1 | 7,3 | 8,5 | 9,7 | 10,9 | 12,1 |
| $U_{k3}=1,83$ | P_m , Н | 11782 | 12227 | 12449 | 12449 | 12227 | 11782 | 11115 |
| | D_a | 0,062 | 0,065 | 0,065 | 0,065 | 0,064 | 0,061 | 0,057 |
| | j , м/с ² | 0,354 | 0,372 | 0,380 | 0,378 | 0,365 | 0,342 | 0,309 |
| Четвертая | V_i , м/с | 6,6 | 8,2 | 9,9 | 11,5 | 13,2 | 14,8 | 16,5 |
| $U_{k4}=1,35$ | P_m , Н | 8692 | 9020 | 9184 | 9184 | 9020 | 8692 | 8200 |
| | D_a | 0,046 | 0,047 | 0,047 | 0,047 | 0,045 | 0,043 | 0,040 |
| | j , м/с ² | 0,226 | 0,238 | 0,242 | 0,237 | 0,224 | 0,203 | 0,173 |
| Пятая | V_i , м/с | 8,9 | 11,1 | 13,3 | 15,6 | 17,8 | 20,0 | 22,2 |
| $U_{k5}=1$ | P_m , Н | 6438 | 6681 | 6803 | 6803 | 6681 | 6438 | 6074 |
| | D_a | 0,033 | 0,034 | 0,034 | 0,033 | 0,031 | 0,028 | 0,025 |
| | j , м/с ² | 0,119 | 0,125 | 0,123 | 0,115 | 0,099 | 0,076 | 0,045 |

Таблица Г.6 – Данные для построения графиков скоростей и ускорения, тяговых сил и динамической характеристики для автомобиля МАЗ-5549

| Передача | Параметры | Значение | | | | | | |
|---------------|------------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Величина | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1 |
| Первая | V_i , м/с | 2,5 | 3,1 | 3,8 | 4,4 | 5,0 | 5,6 | 6,3 |
| $U_{k1}=3,35$ | P_m , Н | 20589 | 21366 | 21754 | 21754 | 21366 | 20589 | 19423 |
| | D_a | 0,137 | 0,142 | 0,144 | 0,144 | 0,141 | 0,136 | 0,128 |
| | j , м/с ² | 0,771 | 0,804 | 0,820 | 0,820 | 0,802 | 0,766 | 0,714 |
| Вторая | V_i , м/с | 3,4 | 4,2 | 5,1 | 5,9 | 6,7 | 7,6 | 8,4 |
| $U_{k2}=2,48$ | P_m , Н | 15272 | 15848 | 16136 | 16136 | 15848 | 15272 | 14407 |

| | | | | | | | | |
|---------------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | D_a | 0,101 | 0,105 | 0,107 | 0,106 | 0,104 | 0,100 | 0,094 |
| | j , м/с ² | 0,619 | 0,647 | 0,660 | 0,659 | 0,642 | 0,611 | 0,564 |
| Третья | V_i , м/с | 4,6 | 5,7 | 6,8 | 8,0 | 9,1 | 10,2 | 11,4 |
| $U_{k3}=1,83$ | P_m , Н | 11315 | 11742 | 11955 | 11955 | 11742 | 11315 | 10674 |
| | D_a | 0,075 | 0,077 | 0,078 | 0,078 | 0,076 | 0,073 | 0,068 |
| | j , м/с ² | 0,456 | 0,478 | 0,486 | 0,483 | 0,467 | 0,439 | 0,399 |
| Четвертая | V_i , м/с | 6,2 | 7,7 | 9,3 | 10,8 | 12,3 | 13,9 | 15,4 |
| $U_{k4}=1,35$ | P_m , Н | 8347 | 8662 | 8819 | 8819 | 8662 | 8347 | 7874 |
| | D_a | 0,055 | 0,056 | 0,056 | 0,056 | 0,054 | 0,051 | 0,046 |
| | j , м/с ² | 0,304 | 0,318 | 0,322 | 0,315 | 0,298 | 0,271 | 0,234 |
| Пятая | V_i , м/с | 8,3 | 10,4 | 12,5 | 14,6 | 16,7 | 18,7 | 20,8 |
| $U_{k5}=1$ | P_m , Н | 6183 | 6416 | 6533 | 6533 | 6416 | 6183 | 5833 |
| | D_a | 0,039 | 0,040 | 0,040 | 0,038 | 0,036 | 0,033 | 0,028 |
| | j , м/с ² | 0,176 | 0,181 | 0,178 | 0,165 | 0,144 | 0,114 | 0,074 |

Таблица Г.7 – Данные для построения графиков скоростей и ускорения, тяговых сил и динамической характеристики для автомобиля БелАЗ-7540В

| Передача | Параметры | Значение | | | | | |
|---------------|------------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Величина | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 0,9 | 0,95 |
| Первая | V_i , м/с | 1,2 | 2,4 | 3,5 | 4,7 | 5,3 | 5,6 |
| $U_{k1}=2,46$ | P_m , Н | 45457 | 39804 | 30990 | 23914 | 20950 | 20406 |
| | D_a | 0,088 | 0,077 | 0,060 | 0,046 | 0,040 | 0,039 |
| | j , м/с ² | 0,498 | 0,418 | 0,292 | 0,191 | 0,148 | 0,140 |
| Вторая | V_i , м/с | 2,0 | 4,1 | 6,1 | 8,1 | 9,1 | 9,6 |
| $U_{k2}=1,43$ | P_m , Н | 26424 | 23138 | 18014 | 13901 | 12178 | 11862 |
| | D_a | 0,051 | 0,045 | 0,034 | 0,026 | 0,023 | 0,022 |
| | j , м/с ² | 0,268 | 0,212 | 0,124 | 0,052 | 0,021 | 0,015 |
| Третья | V_i , м/с | 2,9 | 5,8 | 8,7 | 11,6 | 13,0 | 13,8 |
| $U_{k3}=1$ | P_m , Н | 18478 | 16181 | 12597 | 9721 | 8516 | 8295 |
| | D_a | 0,036 | 0,031 | 0,023 | 0,017 | 0,014 | 0,014 |
| | j , м/с ² | 0,142 | 0,099 | 0,031 | 0,027 | 0,018 | 0,010 |

Таблица Г.8 – Данные для построения графиков скоростей и ускорения, тяговых сил и динамической характеристики для автомобиля SHACMAN-SX3258DR384

| Передача | Параметры | Значение | | | | | | |
|----------------------------|------------------------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | Величина | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1 |
| Первая $U_{k1}=4,81$ | V_i , м/с | 1,8 | 2,1 | 2,6 | 3,0 | 3,4 | 3,9 | 4,3 |
| | P_m , Н | 52485 | 54466 | 55456 | 55456 | 54466 | 52485 | 49514 |
| | D_a | 0,137 | 0,142 | 0,144 | 0,144 | 0,142 | 0,137 | 0,129 |
| Вторая $U_{k2}=4,04$ | j , м/с ² | 0,520 | 0,543 | 0,555 | 0,555 | 0,543 | 0,520 | 0,485 |
| | V_i , м/с | 2,1 | 2,7 | 3,2 | 3,7 | 4,3 | 4,8 | 5,3 |
| | P_m , Н | 44083 | 45747 | 46578 | 46578 | 45747 | 44083 | 41588 |
| Третья $U_{k3}=3,39$ | D_a | 0,115 | 0,119 | 0,121 | 0,121 | 0,119 | 0,115 | 0,108 |
| | j , м/с ² | 0,500 | 0,523 | 0,534 | 0,534 | 0,522 | 0,499 | 0,465 |
| | V_i , м/с | 2,5 | 3,2 | 3,8 | 4,5 | 5,1 | 5,7 | 6,4 |
| Четвертая $U_{k4}=2,85$ | P_m , Н | 36990 | 38386 | 39084 | 39084 | 38386 | 36990 | 34897 |
| | D_a | 0,096 | 0,100 | 0,102 | 0,102 | 0,100 | 0,096 | 0,090 |
| | j , м/с ² | 0,463 | 0,485 | 0,495 | 0,495 | 0,484 | 0,461 | 0,427 |
| Пятая $U_{k5}=2,39$ | V_i , м/с | 3,0 | 3,8 | 4,5 | 5,3 | 6,1 | 6,8 | 7,6 |
| | P_m , Н | 31098 | 32272 | 32858 | 32858 | 32272 | 31098 | 29338 |
| | D_a | 0,081 | 0,084 | 0,085 | 0,085 | 0,084 | 0,080 | 0,076 |
| Шестая $U_{k6}=2,01$ | j , м/с ² | 0,413 | 0,433 | 0,443 | 0,442 | 0,431 | 0,410 | 0,378 |
| | V_i , м/с | 3,6 | 4,5 | 5,4 | 6,3 | 7,2 | 8,1 | 9,0 |
| | P_m , Н | 26079 | 27063 | 27555 | 27555 | 27063 | 26079 | 24603 |
| Седьмая $U_{k7}=1,69$ | D_a | 0,068 | 0,070 | 0,071 | 0,071 | 0,070 | 0,067 | 0,063 |
| | j , м/с ² | 0,354 | 0,372 | 0,381 | 0,380 | 0,369 | 0,349 | 0,319 |
| | V_i , м/с | 4,3 | 5,4 | 6,4 | 7,5 | 8,6 | 9,7 | 10,7 |
| Восьмая $U_{k8}=1,42$ | P_m , Н | 21932 | 22760 | 23174 | 23174 | 22760 | 21932 | 20691 |
| | D_a | 0,057 | 0,059 | 0,060 | 0,060 | 0,058 | 0,056 | 0,053 |
| | j , м/с ² | 0,292 | 0,308 | 0,315 | 0,314 | 0,303 | 0,284 | 0,257 |
| Девятая $U_{k9}=1,19$ | V_i , м/с | 5,1 | 6,4 | 7,7 | 8,9 | 10,2 | 11,5 | 12,8 |
| | P_m , Н | 18441 | 19137 | 19484 | 19484 | 19137 | 18441 | 17397 |
| | D_a | 0,048 | 0,049 | 0,050 | 0,050 | 0,049 | 0,046 | 0,043 |
| Десятая $U_{k10}=1$ | j , м/с ² | 0,230 | 0,244 | 0,249 | 0,247 | 0,237 | 0,220 | 0,194 |
| | V_i , м/с | 6,1 | 7,6 | 9,1 | 10,6 | 12,2 | 13,7 | 15,2 |
| | P_m , Н | 15495 | 16079 | 16372 | 16372 | 16079 | 15495 | 14617 |
| Девятая $U_{k9}=1,19$ | D_a | 0,040 | 0,041 | 0,042 | 0,041 | 0,040 | 0,038 | 0,035 |
| | j , м/с ² | 0,171 | 0,182 | 0,186 | 0,183 | 0,173 | 0,156 | 0,132 |
| | V_i , м/с | 7,3 | 9,1 | 10,9 | 12,7 | 14,5 | 16,3 | 18,1 |
| Десятая $U_{k10}=1$ | P_m , Н | 12985 | 13475 | 13720 | 13720 | 13475 | 12985 | 12250 |
| | D_a | 0,033 | 0,034 | 0,034 | 0,034 | 0,033 | 0,031 | 0,028 |
| | j , м/с ² | 0,116 | 0,125 | 0,126 | 0,122 | 0,111 | 0,094 | 0,070 |
| Десятая $U_{k10}=1$ | V_i , м/с | 8,6 | 10,8 | 13,0 | 15,1 | 17,3 | 19,4 | 21,6 |
| | P_m , Н | 882 | 1102 | 1323 | 1543 | 1764 | 1984 | 2205 |
| | D_a | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,000 |
| Десятая $U_{k10}=1$ | j , м/с ² | -0,167 | -0,167 | -0,167 | -0,168 | -0,171 | -0,174 | -0,179 |

Таблица Г.9 – Данные для построения графиков силового баланса и мощностного баланса для автомобиля КамАЗ-5511

| Передача | Параметры | Значение | | | | | | |
|-------------------------|-------------------------------|----------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| | Величина | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1 |
| Первая $U_{k1}=3,35$ | V_i , м/с | 2,7 | 3,3 | 4,0 | 4,6 | 5,3 | 6,0 | 6,6 |
| | P_κ , Н | 2340 | 2385 | 2430 | 2474 | 2519 | 2564 | 2609 |
| | N_κ , кВт | 6,21 | 7,91 | 9,67 | 11,49 | 13,37 | 15,31 | 17,31 |
| | P_∂ , Н | 2960 | 3005 | 3050 | 3094 | 3139 | 3184 | 3229 |
| | N_∂ , кВт | 7,85 | 9,96 | 12,14 | 14,37 | 16,66 | 19,01 | 21,42 |
| | P_ϵ , Н | 20 | 31 | 44 | 60 | 79 | 99 | 123 |
| | N_ϵ , кВт | 0,05 | 0,10 | 0,18 | 0,28 | 0,42 | 0,59 | 0,81 |
| | P_u , Н | 17757 | 18558 | 18951 | 18935 | 18510 | 17677 | 16435 |
| | N_u , кВт | 47,11 | 61,55 | 75,42 | 87,92 | 98,22 | 105,53 | 109,02 |
| | P_T , Н | 20736 | 21593 | 22044 | 22089 | 21728 | 20961 | 19787 |
| | $P_\partial + P_\epsilon$, Н | 2979 | 3035 | 3094 | 3155 | 3218 | 3284 | 3352 |
| | $P_\kappa + P_\epsilon$, Н | 2359 | 2415 | 2474 | 2535 | 2598 | 2664 | 2732 |
| | N_T , кВт | 55,02 | 71,62 | 87,73 | 102,56 | 115,30 | 125,13 | 131,25 |
| | $N_\partial + N_\epsilon$ кВт | 7,91 | 10,07 | 12,31 | 14,65 | 17,07 | 19,60 | 22,23 |
| | $N_\kappa + N_\epsilon$ кВт | 6,26 | 8,01 | 9,85 | 11,77 | 13,79 | 15,90 | 18,12 |
| Вторая $U_{k2}=2,48$ | V_i , м/с | 3,6 | 4,5 | 5,4 | 6,3 | 7,2 | 8,1 | 9,0 |
| | P_κ , Н | 2403 | 2463 | 2524 | 2585 | 2645 | 2706 | 2766 |
| | N_κ , кВт | 8,61 | 11,04 | 13,57 | 16,21 | 18,96 | 21,82 | 24,79 |
| | P_∂ , Н | 3023 | 3083 | 3144 | 3205 | 3265 | 3326 | 3386 |
| | N_∂ , кВт | 10,83 | 13,81 | 16,90 | 20,10 | 23,40 | 26,82 | 30,34 |
| | P_ϵ , Н | 36 | 56 | 81 | 110 | 143 | 181 | 224 |
| | N_ϵ , кВт | 0,13 | 0,25 | 0,43 | 0,69 | 1,03 | 1,46 | 2,01 |
| | P_u , Н | 12176 | 12759 | 13036 | 13007 | 12672 | 12031 | 11084 |
| | N_u , кВт | 43,64 | 57,16 | 70,08 | 81,58 | 90,83 | 97,02 | 99,31 |
| | P_T , Н | 15235 | 15898 | 16260 | 16321 | 16080 | 15538 | 14695 |
| | $P_\partial + P_\epsilon$, Н | 2395 | 3139 | 3225 | 3314 | 3408 | 3507 | 3610 |
| | $P_\kappa + P_\epsilon$, Н | 2439 | 2519 | 2605 | 2694 | 2789 | 2887 | 2990 |
| | N_T , кВт | 54,60 | 71,22 | 87,41 | 102,36 | 115,26 | 125,30 | 131,66 |
| | $N_\partial + N_\epsilon$ кВт | 10,96 | 14,06 | 17,34 | 20,79 | 24,43 | 28,28 | 32,35 |
| | $N_\kappa + N_\epsilon$ кВт | 8,74 | 11,29 | 14,00 | 16,90 | 19,99 | 23,28 | 26,79 |
| Третья $U_{k3}=1,83$ | V_i , м/с | 4,9 | 6,1 | 7,3 | 8,5 | 9,7 | 10,9 | 12,1 |
| | P_κ , Н | 2489 | 2571 | 2653 | 2735 | 2817 | 2899 | 2982 |
| | N_κ , кВт | 12,09 | 15,61 | 19,33 | 23,25 | 27,37 | 31,69 | 36,20 |
| | P_∂ , Н | 3109 | 3191 | 3273 | 3355 | 3437 | 3519 | 3602 |
| | N_∂ , кВт | 15,10 | 19,37 | 23,85 | 28,52 | 33,39 | 38,46 | 43,73 |
| | P_ϵ , Н | 66 | 103 | 148 | 202 | 263 | 333 | 411 |
| | N_ϵ , кВт | 0,32 | 0,62 | 1,08 | 1,71 | 2,56 | 3,64 | 4,99 |
| P_u , Н | 7963 | 8370 | 8548 | 8494 | 8210 | 7695 | 6950 | |

| | | | | | | | | |
|---------------|-------------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| | N_u , кВт | 38,67 | 50,82 | 62,27 | 72,20 | 79,75 | 84,09 | 84,39 |
| | PT , H | 11137 | 11664 | 11969 | 12051 | 11911 | 11548 | 10963 |
| | $P_d + P_v$, H | 3175 | 3294 | 3421 | 3557 | 3701 | 3853 | 4013 |
| | $P_k + P_v$, H | 2555 | 2674 | 2801 | 2937 | 3081 | 3233 | 3393 |
| | NT , кВт | 54,09 | 70,82 | 87,20 | 102,43 | 115,70 | 126,20 | 133,11 |
| | $N_d + N_v$ кВт | 15,42 | 20,00 | 24,92 | 30,23 | 35,95 | 42,10 | 48,73 |
| | $N_k + N_v$ кВт | 12,41 | 16,23 | 20,41 | 24,96 | 29,93 | 35,33 | 41,20 |
| Четвертая | V_i , м/с | 6,6 | 8,2 | 9,9 | 11,5 | 13,2 | 14,8 | 16,5 |
| $U_{k4}=1,35$ | P_k , H | 2606 | 2717 | 2828 | 2940 | 3051 | 3162 | 3274 |
| | N_k , кВт | 17,16 | 22,36 | 27,93 | 33,87 | 40,17 | 46,85 | 53,88 |
| | P_d , H | 3226 | 3337 | 3448 | 3560 | 3671 | 3782 | 3894 |
| | N_d , кВт | 21,24 | 27,46 | 34,05 | 41,01 | 48,34 | 56,03 | 64,09 |
| | P_v , H | 121 | 189 | 272 | 370 | 484 | 612 | 756 |
| | N_v , кВт | 0,80 | 1,56 | 2,69 | 4,27 | 6,37 | 9,07 | 12,44 |
| | P_u , H | 0,226 | 0,238 | 0,242 | 0,237 | 0,224 | 0,203 | 0,173 |
| | N_u , кВт | 4807 | 5067 | 5147 | 5049 | 4772 | 4316 | 3682 |
| | P_T , H | 8153 | 8592 | 8868 | 8979 | 8927 | 8711 | 8331 |
| | $P_d + P_v$, H | 3347 | 3526 | 3720 | 3930 | 4155 | 4394 | 4649 |
| | $P_k + P_v$, H | 2727 | 2906 | 3100 | 3310 | 3535 | 3775 | 4029 |
| | N_T , кВт | 53,68 | 70,71 | 87,58 | 103,46 | 117,55 | 129,04 | 137,13 |
| | $N_d + N_v$ кВт | 22,03 | 29,02 | 36,74 | 45,28 | 54,71 | 65,10 | 76,53 |
| | $N_k + N_v$ кВт | 17,95 | 23,92 | 30,62 | 38,14 | 46,54 | 55,92 | 66,32 |
| Пятая | V_i , м/с | 8,9 | 11,1 | 13,3 | 15,6 | 17,8 | 20,0 | 22,2 |
| $U_{k5}=1$ | P_k , H | 2762 | 2912 | 3062 | 3212 | 3363 | 3513 | 3663 |
| | N_k , кВт | 24,55 | 32,35 | 40,82 | 49,97 | 59,78 | 70,25 | 81,40 |
| | P_d , H | 3381 | 3532 | 3682 | 3832 | 3983 | 4133 | 4283 |
| | N_d , кВт | 30,06 | 39,24 | 49,09 | 59,61 | 70,80 | 82,65 | 95,17 |
| | P_v , H | 220 | 344 | 496 | 675 | 882 | 1116 | 1378 |
| | N_v , кВт | 1,96 | 3,83 | 6,61 | 10,50 | 15,67 | 22,32 | 30,61 |
| | P_u , H | 2460 | 2579 | 2549 | 2370 | 2042 | 1565 | 939 |
| | N_u , кВт | 21,86 | 28,65 | 33,98 | 36,86 | 36,29 | 31,29 | 20,86 |
| | P_T , H | 6062 | 6455 | 6727 | 6877 | 6906 | 6813 | 6599 |
| | $P_d + P_v$, H | 3602 | 3876 | 4178 | 4507 | 4864 | 5249 | 5661 |
| | $P_k + P_v$, H | 2982 | 3256 | 3558 | 3887 | 4244 | 4629 | 5041 |
| | N_T , кВт | 53,88 | 71,71 | 89,68 | 106,97 | 122,76 | 136,26 | 146,64 |
| | $N_d + N_v$ кВт | 32,01 | 43,07 | 55,70 | 70,11 | 86,47 | 104,97 | 125,79 |
| | $N_k + N_v$ кВт | 26,50 | 36,18 | 47,44 | 60,47 | 75,45 | 92,57 | 112,01 |

Таблица Г.10 – Данные для построения графиков силового баланса и мощностного баланса для автомобиля МАЗ-5549

| Передача | Параметры | Значение | | | | | | |
|---------------|-----------------------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Величина | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1 |
| Первая | V_i , м/с | 2,5 | 3,1 | 3,8 | 4,4 | 5,0 | 5,6 | 6,3 |
| $U_{k1}=3,33$ | P_k , Н | 1867 | 1901 | 1935 | 1969 | 2003 | 2037 | 2071 |
| | N_k , кВт | 4,67 | 5,94 | 7,26 | 8,62 | 10,02 | 11,46 | 12,95 |
| | P_{∂} , Н | 2470 | 2504 | 2537 | 2571 | 2605 | 2639 | 2673 |
| | N_{∂} , кВт | 6,2 | 7,8 | 9,5 | 11,3 | 13,0 | 14,9 | 16,7 |
| | P_{ϵ} , Н | 23 | 36 | 52 | 70 | 92 | 116 | 143 |
| | N_{ϵ} , кВт | 0,06 | 0,11 | 0,19 | 0,31 | 0,46 | 0,65 | 0,90 |
| | P_u , Н | 17541 | 18305 | 18677 | 18658 | 18249 | 17448 | 16256 |
| | N_u , кВт | 43,9 | 57,2 | 70,1 | 81,7 | 91,3 | 98,2 | 101,6 |
| | P_T , Н | 20034 | 20844 | 21266 | 21300 | 20946 | 20203 | 19073 |
| | $P_{\partial} + P_{\epsilon}$, Н | 2493 | 2539 | 2589 | 2642 | 2697 | 2755 | 2816 |
| | $P_k + P_{\epsilon}$, Н | 1890 | 1937 | 1987 | 2039 | 2095 | 2153 | 2214 |
| | N_T , кВт | 50,1 | 65,2 | 79,8 | 93,2 | 104,8 | 113,7 | 119,2 |
| | $N_{\partial} + N_{\epsilon}$ кВт | 6,2 | 7,9 | 9,7 | 11,6 | 13,5 | 15,5 | 17,6 |
| | $N_k + N_{\epsilon}$ кВт | 4,7 | 6,1 | 7,5 | 8,9 | 10,5 | 12,1 | 13,8 |
| Вторая | V_i , м/с | 3,4 | 4,2 | 5,1 | 5,9 | 6,7 | 7,6 | 8,4 |
| $U_{k2}=2,47$ | P_k , Н | 1914 | 1960 | 2006 | 2052 | 2097 | 2143 | 2189 |
| | N_k , кВт | 6,45 | 8,26 | 10,14 | 12,10 | 14,14 | 16,26 | 18,45 |
| | P_{∂} , Н | 2517 | 2562 | 2608 | 2654 | 2700 | 2745 | 2791 |
| | N_{∂} , кВт | 8,5 | 10,8 | 13,2 | 15,7 | 18,2 | 20,8 | 23,5 |
| | P_{ϵ} , Н | 42 | 65 | 94 | 128 | 167 | 211 | 261 |
| | N_{ϵ} , кВт | 0,14 | 0,27 | 0,47 | 0,75 | 1,13 | 1,60 | 2,20 |
| | P_u , Н | 12202 | 12754 | 13013 | 12979 | 12653 | 12033 | 11120 |
| | N_u , кВт | 41,1 | 53,8 | 65,8 | 76,6 | 85,3 | 91,3 | 93,7 |
| | P_T , Н | 14761 | 15382 | 15715 | 15761 | 15519 | 14989 | 14172 |
| | $P_{\partial} + P_{\epsilon}$, Н | 2558 | 2628 | 2702 | 2782 | 2866 | 2956 | 3052 |
| | $P_k + P_{\epsilon}$, Н | 1956 | 2025 | 2100 | 2179 | 2264 | 2354 | 2449 |
| | N_T , кВт | 49,8 | 64,8 | 79,5 | 93,0 | 104,6 | 113,7 | 119,5 |
| | $N_{\partial} + N_{\epsilon}$ кВт | 8,6 | 11,1 | 13,7 | 16,4 | 19,3 | 22,4 | 25,7 |
| | $N_k + N_{\epsilon}$ кВт | 6,6 | 8,5 | 10,6 | 12,9 | 15,3 | 17,9 | 20,6 |
| Третья | V_i , м/с | 4,6 | 5,7 | 6,8 | 8,0 | 9,1 | 10,2 | 11,4 |
| $U_{k3}=1,83$ | P_k , Н | 1978 | 2040 | 2102 | 2163 | 2225 | 2287 | 2348 |
| | N_k , кВт | 9,00 | 11,61 | 14,35 | 17,23 | 20,25 | 23,42 | 26,72 |
| | P_{∂} , Н | 2581 | 2642 | 2704 | 2766 | 2827 | 2889 | 2951 |
| | N_{∂} , кВт | 11,7 | 15,0 | 18,5 | 22,0 | 25,7 | 29,6 | 33,6 |
| | P_{ϵ} , Н | 76 | 119 | 171 | 233 | 304 | 385 | 475 |
| | N_{ϵ} , кВт | 0,35 | 0,68 | 1,17 | 1,85 | 2,77 | 3,94 | 5,40 |
| | P_u , Н | 8214 | 8598 | 8759 | 8697 | 8413 | 7906 | 7176 |
| | N_u , кВт | 37,4 | 48,9 | 59,8 | 69,3 | 76,6 | 80,9 | 81,6 |

| | | | | | | | | |
|---------------|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | P_T , Н | 10871 | 11359 | 11634 | 11695 | 11544 | 11180 | 10602 |
| | $P_\partial + P_\epsilon$, Н | 2657 | 2761 | 2875 | 2998 | 3131 | 3274 | 3426 |
| | $P_\kappa + P_\epsilon$, Н | 2054 | 2159 | 2273 | 2396 | 2529 | 2672 | 2823 |
| | N_T , кВт | 49,5 | 64,6 | 79,4 | 93,1 | 105,1 | 114,5 | 120,6 |
| | $N_\partial + N_\epsilon$ кВт | 12,1 | 15,7 | 19,6 | 23,9 | 28,5 | 33,5 | 39,0 |
| | $N_\kappa + N_\epsilon$ кВт | 9,3 | 12,3 | 15,5 | 19,1 | 23,0 | 27,4 | 32,1 |
| Четвертая | V_i , м/с | 6,2 | 7,7 | 9,3 | 10,8 | 12,3 | 13,9 | 15,4 |
| $U_{k4}=1,35$ | P_κ , Н | 2066 | 2150 | 2233 | 2317 | 2400 | 2484 | 2568 |
| | N_κ , кВт | 12,75 | 16,58 | 20,67 | 25,01 | 29,62 | 34,48 | 39,60 |
| | P_∂ , Н | 2668 | 2752 | 2836 | 2919 | 3003 | 3086 | 3170 |
| | N_∂ , кВт | 16,5 | 21,2 | 26,2 | 31,5 | 37,0 | 42,8 | 48,9 |
| | P_ϵ , Н | 140 | 218 | 314 | 428 | 559 | 707 | 873 |
| | N_ϵ , кВт | 0,86 | 1,68 | 2,91 | 4,62 | 6,89 | 9,81 | 13,46 |
| | P_u , Н | 5188 | 5424 | 5486 | 5372 | 5084 | 4622 | 3984 |
| | N_u , кВт | 32,0 | 41,8 | 50,8 | 58,0 | 62,7 | 64,1 | 61,4 |
| | P_T , Н | 7996 | 8395 | 8636 | 8719 | 8646 | 8415 | 8027 |
| | $P_\partial + P_\epsilon$, Н | 2808 | 2970 | 3150 | 3347 | 3562 | 3794 | 4043 |
| | $P_\kappa + P_\epsilon$, Н | 2206 | 2368 | 2548 | 2745 | 2959 | 3191 | 3441 |
| | N_T , кВт | 49,3 | 64,7 | 79,9 | 94,1 | 106,7 | 116,8 | 123,8 |
| | $N_\partial + N_\epsilon$ кВт | 17,3 | 22,9 | 29,1 | 36,1 | 43,9 | 52,7 | 62,4 |
| | $N_\kappa + N_\epsilon$ кВт | 13,6 | 18,3 | 23,6 | 29,6 | 36,5 | 44,3 | 53,1 |
| Пятая | V_i , м/с | 8,3 | 10,4 | 12,5 | 14,6 | 16,7 | 18,7 | 20,8 |
| $U_{k5}=1$ | P_κ , Н | 2183 | 2296 | 2409 | 2522 | 2635 | 2747 | 2860 |
| | N_κ , кВт | 18,18 | 23,90 | 30,09 | 36,75 | 43,88 | 51,48 | 59,55 |
| | P_∂ , Н | 2785 | 2898 | 3011 | 3124 | 3237 | 3350 | 3463 |
| | N_∂ , кВт | 23,2 | 30,2 | 37,6 | 45,5 | 53,9 | 62,8 | 72,1 |
| | P_ϵ , Н | 255 | 398 | 573 | 780 | 1018 | 1289 | 1591 |
| | N_ϵ , кВт | 2,12 | 4,14 | 7,15 | 11,36 | 16,96 | 24,15 | 33,12 |
| | P_u , Н | 2915 | 3006 | 2947 | 2741 | 2385 | 1882 | 1230 |
| | N_u , кВт | 24,3 | 31,3 | 36,8 | 39,9 | 39,7 | 35,3 | 25,6 |
| | P_T , Н | 5955 | 6302 | 6531 | 6644 | 6640 | 6520 | 6283 |
| | $P_\partial + P_\epsilon$, Н | 3040 | 3296 | 3584 | 3904 | 4255 | 4638 | 5053 |
| | $P_\kappa + P_\epsilon$, Н | 2438 | 2694 | 2982 | 3301 | 3653 | 4036 | 4451 |
| | N_T , кВт | 49,6 | 65,6 | 81,6 | 96,8 | 110,6 | 122,2 | 130,8 |
| | $N_\partial + N_\epsilon$ кВт | 25,3 | 34,3 | 44,8 | 56,9 | 70,9 | 86,9 | 105,2 |
| | $N_\kappa + N_\epsilon$ кВт | 20,3 | 28,0 | 37,2 | 48,1 | 60,8 | 75,6 | 92,7 |

Таблица Г.11 – Данные для построения графиков силового баланса и мощностного баланса для автомобиля БелАЗ-7540В

| Передача | Параметры | Значение | | | | | |
|----------|-----------|----------|-----|-----|-----|-----|-------|
| | Величина | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 0,9 | 0,095 |
| Первая | V , м/с | 1,2 | 2,4 | 3,5 | 4,7 | 5,3 | 5,6 |

| | | | | | | | |
|---------------|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| $U_{k1}=2,46$ | P_{κ} , Н | 6141 | 6360 | 6578 | 6797 | 6906 | 6961 |
| | N_{κ} , кВт | 7,24 | 14,99 | 23,26 | 32,05 | 36,63 | 38,97 |
| | P_{δ} , Н | 10519 | 10738 | 10956 | 11175 | 11284 | 11339 |
| | N_{δ} , кВт | 12,4 | 25,3 | 38,7 | 52,7 | 59,9 | 63,5 |
| | P_{θ} , Н | 9,8 | 39,2 | 88,3 | 156,9 | 198,6 | 221,3 |
| | N_{θ} , кВт | 0,01 | 0,09 | 0,31 | 0,74 | 1,05 | 1,24 |
| | P_u , Н | 35046 | 29381 | 20542 | 13418 | 10421 | 9856 |
| | N_u , кВт | 41,3 | 69,3 | 72,6 | 63,3 | 55,3 | 55,2 |
| | P_T , Н | 45575 | 40157 | 31587 | 24750 | 21903 | 21416 |
| | $P_{\delta} + P_{\theta}$, Н | 10529 | 10777 | 11044 | 11332 | 11483 | 11560 |
| | $P_{\kappa} + P_{\theta}$, Н | 6151 | 6399 | 6667 | 6954 | 7105 | 7182 |
| | N_T , кВт | 53,7 | 94,7 | 111,7 | 116,7 | 116,2 | 119,9 |
| | $N_{\delta} + N_{\theta}$, кВт | 12,4 | 25,4 | 39,1 | 53,4 | 60,9 | 64,7 |
| | $N_{\kappa} + N_{\theta}$, кВт | 7,3 | 15,1 | 23,6 | 32,8 | 37,7 | 40,2 |
| Вторая | V , м/с | 2,0 | 4,1 | 6,1 | 8,1 | 9,1 | 9,6 |
| $U_{k2}=1,43$ | P_{κ} , Н | 6299 | 6675 | 7051 | 7427 | 7615 | 7709 |
| | N_{κ} , кВт | 12,77 | 27,07 | 42,89 | 60,24 | 69,48 | 74,25 |
| | P_{δ} , Н | 10676 | 11052 | 11428 | 11804 | 11992 | 12086 |
| | N_{δ} , кВт | 21,6 | 44,8 | 69,5 | 95,7 | 109,4 | 116,4 |
| | P_{θ} , Н | 29,0 | 116,1 | 261,2 | 464,4 | 587,8 | 654,9 |
| | N_{θ} , кВт | 0,06 | 0,47 | 1,59 | 3,77 | 5,36 | 6,31 |
| | P_u , Н | 16047 | 12684 | 7431 | 3127 | 1286 | 904 |
| | N_u , кВт | 32,5 | 51,4 | 45,2 | 25,4 | 11,7 | 8,7 |
| | P_T , Н | 26753 | 23853 | 19120 | 15396 | 13866 | 13645 |
| | $P_{\delta} + P_{\theta}$, Н | 10705 | 11169 | 11690 | 12269 | 12580 | 12741 |
| | $P_{\kappa} + P_{\theta}$, Н | 6328 | 6791 | 7312 | 7891 | 8202 | 8364 |
| | N_T , кВт | 54,2 | 96,7 | 116,3 | 124,9 | 126,5 | 131,4 |
| | $N_{\delta} + N_{\theta}$, кВт | 21,7 | 45,3 | 71,1 | 99,5 | 114,8 | 122,7 |
| | $N_{\kappa} + N_{\theta}$, кВт | 12,8 | 27,5 | 44,5 | 64,0 | 74,8 | 80,6 |
| Третья | V , м/с | 2,9 | 5,8 | 8,7 | 11,6 | 13,0 | 13,8 |
| $U_{k3}=1$ | P_{κ} , Н | 6460 | 6998 | 7536 | 8073 | 8342 | 8476 |
| | N_{κ} , кВт | 18,73 | 40,58 | 65,55 | 93,64 | 108,85 | 116,75 |
| | P_{δ} , Н | 10838 | 11376 | 11913 | 12451 | 12720 | 12854 |
| | N_{δ} , кВт | 31,4 | 66,0 | 103,6 | 144,4 | 166,0 | 177,0 |
| | P_{θ} , Н | 59 | 237 | 534 | 950 | 1202 | 1339 |
| | N_{θ} , кВт | 0,17 | 1,38 | 4,65 | 11,02 | 15,68 | 18,45 |
| | P_u , Н | 8119 | 5643 | 1763 | 1545 | 1030 | 572 |
| | N_u , кВт | 23,5 | 32,7 | 15,3 | 17,9 | 13,4 | 23,5 |
| | P_T , Н | 19016 | 17256 | 14210 | 14946 | 14952 | 14766 |
| | $P_{\delta} + P_{\theta}$, Н | 10897 | 11613 | 12448 | 13401 | 13922 | 14193 |
| | $P_{\kappa} + P_{\theta}$, Н | 6520 | 7235 | 8070 | 9023 | 9544 | 9816 |
| | N_T , кВт | 55,1 | 100,1 | 123,6 | 173,3 | 195,1 | 219,0 |

| | | | | | | | |
|--|-----------------------------------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| | $N_{\partial}+N_{\epsilon}$, кВт | 31,6 | 67,3 | 108,3 | 155,4 | 181,7 | 195,5 |
| | $N_{\kappa}+N_{\epsilon}$, кВт | 18,9 | 42,0 | 70,2 | 104,7 | 124,5 | 135,2 |

Таблица Г.12 – Данные для построения графиков силового баланса и мощностного баланса для автомобиля SHACMAN-SX3258DR384

| Передача | Параметры | Значение | | | | | | |
|---------------------------------|-----------------------------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Величина | | | | | | | |
| Первая $U_{k1}=4,81$ | V , м/с | 1,8 | 2,2 | 2,7 | 3,1 | 3,6 | 4,0 | 4,5 |
| | P_{κ} , Н | 4663 | 4725 | 4787 | 4849 | 4911 | 4973 | 5036 |
| | N_{κ} , кВт | 8,37 | 10,61 | 12,90 | 15,24 | 17,64 | 20,10 | 22,61 |
| | P_{∂} , Н | 5815 | 5877 | 5939 | 6001 | 6063 | 6125 | 6187 |
| | N_{∂} , кВт | 10,4 | 13,2 | 16,0 | 18,9 | 21,8 | 24,7 | 27,8 |
| | P_{ϵ} , Н | 14,8 | 23,2 | 33,4 | 45,4 | 59,3 | 75,1 | 92,7 |
| | N_{ϵ} , кВт | 0,03 | 0,05 | 0,09 | 0,14 | 0,21 | 0,30 | 0,42 |
| | P_u , Н | 44801 | 46776 | 47757 | 47746 | 46743 | 44748 | 41760 |
| | N_u , кВт | 80,5 | 105,0 | 128,6 | 150,1 | 167,9 | 180,8 | 187,5 |
| | P_T , Н | 50631 | 52676 | 53729 | 53792 | 52865 | 50948 | 48040 |
| | $P_{\partial} + P_{\epsilon}$, Н | 5830 | 5900 | 5972 | 6047 | 6123 | 6200 | 6280 |
| | $P_{\kappa} + P_{\epsilon}$, Н | 4678 | 4748 | 4821 | 4895 | 4971 | 5049 | 5128 |
| | N_T , кВт | 90,9 | 118,2 | 144,7 | 169,1 | 189,9 | 205,9 | 215,7 |
| $N_{\partial}+N_{\epsilon}$ кВт | 10,5 | 13,2 | 16,1 | 19,0 | 22,0 | 25,1 | 28,2 | |
| $N_{\kappa}+N_{\epsilon}$ кВт | 8,4 | 10,7 | 13,0 | 15,4 | 17,9 | 20,4 | 23,0 | |
| Вторая $U_{k2}=4,04$ | V , м/с | 2,1 | 2,7 | 3,2 | 3,7 | 4,3 | 4,8 | 5,3 |
| | P_{κ} , Н | 4711 | 4784 | 4858 | 4932 | 5006 | 5080 | 5154 |
| | N_{κ} , кВт | 10,07 | 12,79 | 15,58 | 18,45 | 21,41 | 24,44 | 27,55 |
| | P_{∂} , Н | 5862 | 5936 | 6010 | 6084 | 6158 | 6232 | 6306 |
| | N_{∂} , кВт | 12,5 | 15,9 | 19,3 | 22,8 | 26,3 | 30,0 | 33,7 |
| | P_{ϵ} , Н | 21,0 | 32,9 | 47,3 | 64,4 | 84,1 | 106,5 | 131,4 |
| | N_{ϵ} , кВт | 0,04 | 0,09 | 0,15 | 0,24 | 0,36 | 0,51 | 0,70 |
| | P_u , Н | 36424 | 38077 | 38895 | 38878 | 38026 | 36338 | 33815 |
| | N_u , кВт | 77,9 | 101,8 | 124,7 | 145,5 | 162,6 | 174,8 | 180,8 |
| | P_T , Н | 42307 | 44046 | 44953 | 45027 | 44268 | 42676 | 40252 |
| | $P_{\partial} + P_{\epsilon}$, Н | 5883 | 5969 | 6057 | 6148 | 6242 | 6338 | 6437 |
| | $P_{\kappa} + P_{\epsilon}$, Н | 4732 | 4817 | 4906 | 4997 | 5090 | 5186 | 5285 |
| | N_T , кВт | 90,5 | 117,7 | 144,2 | 168,5 | 189,3 | 205,3 | 215,2 |
| $N_{\partial}+N_{\epsilon}$ кВт | 12,6 | 16,0 | 19,4 | 23,0 | 26,7 | 30,5 | 34,4 | |
| $N_{\kappa}+N_{\epsilon}$ кВт | 10,1 | 12,9 | 15,7 | 18,7 | 21,8 | 25,0 | 28,3 | |
| Третья $U_{k3}=3,39$ | V , м/с | 2,5 | 3,2 | 3,8 | 4,5 | 5,1 | 5,7 | 6,4 |
| | P_{κ} , Н | 4767 | 4855 | 4943 | 5031 | 5119 | 5207 | 5295 |
| | N_{κ} , кВт | 12,15 | 15,46 | 18,89 | 22,44 | 26,09 | 29,86 | 33,73 |
| | P_{∂} , Н | 5919 | 6007 | 6095 | 6183 | 6271 | 6359 | 6447 |
| | N_{∂} , кВт | 15,1 | 19,1 | 23,3 | 27,6 | 32,0 | 36,5 | 41,1 |

| | | | | | | | | |
|---------------|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | P_{θ} , Н | 29,9 | 46,7 | 67,2 | 91,5 | 119,5 | 151,2 | 186,7 |
| | N_{θ} , кВт | 0,08 | 0,15 | 0,26 | 0,41 | 0,61 | 0,87 | 1,19 |
| | P_u , Н | 29352 | 30734 | 31414 | 31389 | 30662 | 29231 | 27096 |
| | N_u , кВт | 74,8 | 97,9 | 120,1 | 140,0 | 156,3 | 167,6 | 172,6 |
| | P_T , Н | 35301 | 36788 | 37576 | 37664 | 37052 | 35741 | 33730 |
| | $P_{\partial} + P_{\theta}$, Н | 5949 | 6054 | 6162 | 6275 | 6391 | 6510 | 6634 |
| | $P_{\kappa} + P_{\theta}$, Н | 4797 | 4902 | 5010 | 5123 | 5239 | 5359 | 5482 |
| | N_T , кВт | 90,0 | 117,2 | 143,6 | 167,9 | 188,8 | 204,9 | 214,9 |
| | $N_{\partial} + N_{\theta}$ кВт | 15,2 | 19,3 | 23,6 | 28,0 | 32,6 | 37,3 | 42,3 |
| | $N_{\kappa} + N_{\theta}$ кВт | 12,2 | 15,6 | 19,2 | 22,8 | 26,7 | 30,7 | 34,9 |
| Четвертая | V , м/с | 3,0 | 3,8 | 4,5 | 5,3 | 6,1 | 6,8 | 7,6 |
| $U_{k4}=2,85$ | P_{κ} , Н | 4834 | 4939 | 5043 | 5148 | 5253 | 5358 | 5462 |
| | N_{κ} , кВт | 14,65 | 18,71 | 22,93 | 27,31 | 31,84 | 36,54 | 41,39 |
| | P_{∂} , Н | 5986 | 6090 | 6195 | 6300 | 6405 | 6509 | 6614 |
| | N_{∂} , кВт | 18,1 | 23,1 | 28,2 | 33,4 | 38,8 | 44,4 | 50,1 |
| | P_{θ} , Н | 42,3 | 66,0 | 95,1 | 129,4 | 169,0 | 213,9 | 264,1 |
| | N_{θ} , кВт | 0,13 | 0,25 | 0,43 | 0,69 | 1,02 | 1,46 | 2,00 |
| | P_u , Н | 23428 | 24580 | 25139 | 25104 | 24477 | 23256 | 21441 |
| | N_u , кВт | 71,0 | 93,1 | 114,3 | 133,2 | 148,4 | 158,6 | 162,5 |
| | P_T , Н | 29456 | 30736 | 31429 | 31534 | 31050 | 29979 | 28319 |
| | $P_{\partial} + P_{\theta}$, Н | 6028 | 6156 | 6290 | 6429 | 6574 | 6723 | 6878 |
| | $P_{\kappa} + P_{\theta}$, Н | 4876 | 5005 | 5138 | 5277 | 5422 | 5571 | 5726 |
| | N_T , кВт | 89,3 | 116,4 | 142,9 | 167,3 | 188,2 | 204,4 | 214,6 |
| | $N_{\partial} + N_{\theta}$ кВт | 18,3 | 23,3 | 28,6 | 34,1 | 39,8 | 45,8 | 52,1 |
| | $N_{\kappa} + N_{\theta}$ кВт | 14,8 | 19,0 | 23,4 | 28,0 | 32,9 | 38,0 | 43,4 |
| Пятая | V , м/с | 3,6 | 4,5 | 5,4 | 6,3 | 7,2 | 8,1 | 9,0 |
| $U_{k5}=2,39$ | P_{κ} , Н | 4915 | 5039 | 5164 | 5289 | 5414 | 5539 | 5664 |
| | N_{κ} , кВт | 17,76 | 22,77 | 28,00 | 33,45 | 39,14 | 45,04 | 51,18 |
| | P_{∂} , Н | 6066 | 6191 | 6316 | 6441 | 6566 | 6691 | 6816 |
| | N_{∂} , кВт | 21,9 | 28,0 | 34,2 | 40,7 | 47,5 | 54,4 | 61,6 |
| | P_{θ} , Н | 60,1 | 93,9 | 135,2 | 184,0 | 240,4 | 304,2 | 375,6 |
| | N_{θ} , кВт | 0,22 | 0,42 | 0,73 | 1,16 | 1,74 | 2,47 | 3,39 |
| | P_u , Н | 18400 | 19354 | 19806 | 19757 | 19207 | 18155 | 16603 |
| | N_u , кВт | 66,5 | 87,4 | 107,4 | 125,0 | 138,8 | 147,6 | 150,0 |
| | P_T , Н | 24527 | 25639 | 26257 | 26382 | 26013 | 25150 | 23794 |
| | $P_{\partial} + P_{\theta}$, Н | 6126 | 6285 | 6451 | 6625 | 6806 | 6995 | 7191 |
| | $P_{\kappa} + P_{\theta}$, Н | 4975 | 5133 | 5299 | 5473 | 5654 | 5843 | 6039 |
| | N_T , кВт | 88,6 | 115,8 | 142,3 | 166,9 | 188,0 | 204,5 | 215,0 |
| | $N_{\partial} + N_{\theta}$ кВт | 22,1 | 28,4 | 35,0 | 41,9 | 49,2 | 56,9 | 65,0 |
| | $N_{\kappa} + N_{\theta}$ кВт | 18,0 | 23,2 | 28,7 | 34,6 | 40,9 | 47,5 | 54,6 |
| Шестая | V , м/с | 4,3 | 5,4 | 6,4 | 7,5 | 8,6 | 9,7 | 10,7 |
| $U_{k6}=2,01$ | P_{κ} , Н | 5009 | 5157 | 5306 | 5454 | 5603 | 5751 | 5900 |

| | | | | | | | | |
|---------------|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | N_{κ} , кВт | 21,53 | 27,71 | 34,20 | 41,02 | 48,16 | 55,61 | 63,39 |
| | P_{∂} , Н | 6161 | 6309 | 6458 | 6606 | 6755 | 6903 | 7052 |
| | N_{∂} , кВт | 26,5 | 33,9 | 41,6 | 49,7 | 58,1 | 66,7 | 75,8 |
| | P_{ϵ} , Н | 85,0 | 132,7 | 191,2 | 260,2 | 339,8 | 430,1 | 531,0 |
| | N_{ϵ} , кВт | 0,37 | 0,71 | 1,23 | 1,96 | 2,92 | 4,16 | 5,70 |
| | P_u , Н | 14149 | 14928 | 15283 | 15214 | 14721 | 13804 | 12464 |
| | N_u , кВт | 60,8 | 80,2 | 98,5 | 114,4 | 126,5 | 133,5 | 133,9 |
| | P_T , Н | 20395 | 21370 | 21931 | 22080 | 21815 | 21138 | 20046 |
| | $P_{\partial} + P_{\epsilon}$, Н | 6246 | 6442 | 6649 | 6866 | 7094 | 7333 | 7583 |
| | $P_{\kappa} + P_{\epsilon}$, Н | 5094 | 5290 | 5497 | 5715 | 5943 | 6182 | 6431 |
| | N_T , кВт | 87,6 | 114,8 | 141,4 | 166,1 | 187,5 | 204,4 | 215,4 |
| | $N_{\partial} + N_{\epsilon}$ кВт | 26,8 | 34,6 | 42,9 | 51,6 | 61,0 | 70,9 | 81,5 |
| | $N_{\kappa} + N_{\epsilon}$ кВт | 21,9 | 28,4 | 35,4 | 43,0 | 51,1 | 59,8 | 69,1 |
| Седьмая | V , м/с | 5,1 | 6,4 | 7,7 | 8,9 | 10,2 | 11,5 | 12,8 |
| $U_{k7}=1,69$ | P_{κ} , Н | 5121 | 5298 | 5475 | 5651 | 5828 | 6004 | 6181 |
| | N_{κ} , кВт | 26,18 | 33,85 | 41,97 | 50,55 | 59,58 | 69,05 | 78,98 |
| | P_{∂} , Н | 6273 | 6450 | 6626 | 6803 | 6980 | 7156 | 7333 |
| | N_{∂} , кВт | 32,1 | 41,2 | 50,8 | 60,9 | 71,3 | 82,3 | 93,7 |
| | P_{ϵ} , Н | 120,2 | 187,8 | 270,4 | 368,0 | 480,7 | 608,4 | 751,1 |
| | N_{ϵ} , кВт | 0,61 | 1,20 | 2,07 | 3,29 | 4,91 | 7,00 | 9,60 |
| | P_u , Н | 10625 | 11252 | 11517 | 11420 | 10960 | 10137 | 8953 |
| | N_u , кВт | 54,3 | 71,9 | 88,3 | 102,1 | 112,0 | 116,6 | 114,4 |
| | P_T , Н | 17018 | 17890 | 18414 | 18591 | 18420 | 17902 | 17037 |
| | $P_{\partial} + P_{\epsilon}$, Н | 6393 | 6638 | 6897 | 7171 | 7460 | 7765 | 8084 |
| | $P_{\kappa} + P_{\epsilon}$, Н | 5242 | 5486 | 5745 | 6019 | 6309 | 6613 | 6932 |
| | N_T , кВт | 87,0 | 114,3 | 141,2 | 166,3 | 188,3 | 205,9 | 217,7 |
| | $N_{\partial} + N_{\epsilon}$ кВт | 32,7 | 42,4 | 52,9 | 64,1 | 76,3 | 89,3 | 103,3 |
| | $N_{\kappa} + N_{\epsilon}$ кВт | 26,8 | 35,0 | 44,0 | 53,8 | 64,5 | 76,1 | 88,6 |
| Восьмая | V , м/с | 6,1 | 7,6 | 9,1 | 10,6 | 12,2 | 13,7 | 15,2 |
| $U_{k8}=1,42$ | P_{κ} , Н | 5256 | 5466 | 5676 | 5886 | 6096 | 6307 | 6517 |
| | N_{κ} , кВт | 31,97 | 41,56 | 51,79 | 62,66 | 74,17 | 86,32 | 99,11 |
| | P_{∂} , Н | 6407 | 6618 | 6828 | 7038 | 7248 | 7458 | 7669 |
| | N_{∂} , кВт | 39,0 | 50,3 | 62,3 | 74,9 | 88,2 | 102,1 | 116,6 |
| | P_{ϵ} , Н | 170,2 | 266,0 | 383,0 | 521,3 | 680,9 | 861,7 | 1063,9 |
| | N_{ϵ} , кВт | 1,04 | 2,02 | 3,49 | 5,55 | 8,28 | 11,79 | 16,18 |
| | P_u , Н | 7641 | 8130 | 8305 | 8167 | 7715 | 6950 | 5872 |
| | N_u , кВт | 46,5 | 61,8 | 75,8 | 86,9 | 93,9 | 95,1 | 89,3 |
| | P_T , Н | 14219 | 15014 | 15516 | 15726 | 15644 | 15270 | 14604 |
| | $P_{\partial} + P_{\epsilon}$, Н | 6578 | 6884 | 7211 | 7559 | 7929 | 8320 | 8732 |
| | $P_{\kappa} + P_{\epsilon}$, Н | 5426 | 5732 | 6059 | 6408 | 6777 | 7168 | 7581 |
| | N_T , кВт | 86,5 | 114,2 | 141,6 | 167,4 | 190,3 | 209,0 | 222,1 |
| | $N_{\partial} + N_{\epsilon}$ кВт | 40,0 | 52,3 | 65,8 | 80,5 | 96,5 | 113,9 | 132,8 |

| | | | | | | | | |
|---------------|-----------------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| | $N_{\kappa}+N_{\epsilon}$ кВт | 33,0 | 43,6 | 55,3 | 68,2 | 82,5 | 98,1 | 115,3 |
| Девятая | V , м/с | 7,3 | 9,1 | 10,9 | 12,7 | 14,5 | 16,3 | 18,1 |
| $U_{k9}=1,19$ | P_{κ} , Н | 5418 | 5669 | 5920 | 6171 | 6421 | 6672 | 6923 |
| | N_{κ} , кВт | 39,33 | 51,44 | 64,46 | 78,39 | 93,23 | 108,97 | 125,63 |
| | P_{∂} , Н | 6570 | 6821 | 7072 | 7322 | 7573 | 7824 | 8075 |
| | N_{∂} , кВт | 47,7 | 61,9 | 77,0 | 93,0 | 109,9 | 127,8 | 146,5 |
| | P_{ϵ} , Н | 242,4 | 378,7 | 545,4 | 742,3 | 969,5 | 1227,0 | 1514,9 |
| | N_{ϵ} , кВт | 1,76 | 3,44 | 5,94 | 9,43 | 14,08 | 20,04 | 27,49 |
| | P_{ι} , Н | 5060 | 5413 | 5491 | 5295 | 4823 | 4076 | 3054 |
| | N_{ι} , кВт | 36,7 | 49,1 | 59,8 | 67,3 | 70,0 | 66,6 | 55,4 |
| | P_{τ} , Н | 11872 | 12613 | 13108 | 13359 | 13366 | 13127 | 12644 |
| | $P_{\partial} + P_{\epsilon}$, Н | 6812 | 7200 | 7617 | 8065 | 8543 | 9051 | 9590 |
| | $P_{\kappa} + P_{\epsilon}$, Н | 5661 | 6048 | 6465 | 6913 | 7391 | 7899 | 8438 |
| | N_{τ} , кВт | 86,2 | 114,4 | 142,7 | 169,7 | 194,0 | 214,4 | 229,4 |
| | $N_{\partial}+N_{\epsilon}$ кВт | 49,5 | 65,3 | 82,9 | 102,4 | 124,0 | 147,8 | 174,0 |
| | $N_{\kappa}+N_{\epsilon}$ кВт | 41,1 | 54,9 | 70,4 | 87,8 | 107,3 | 129,0 | 153,1 |
| Десятая | V , м/с | 8,6 | 10,8 | 13,0 | 15,1 | 17,3 | 19,4 | 21,6 |
| $U_{k9}=1$ | P_{κ} , Н | 5609 | 5907 | 6206 | 6504 | 6803 | 7101 | 7400 |
| | N_{κ} , кВт | 48,45 | 63,78 | 80,41 | 98,32 | 117,52 | 138,02 | 159,80 |
| | P_{∂} , Н | 6761 | 7059 | 7358 | 7656 | 7954 | 8253 | 8551 |
| | N_{∂} , кВт | 58,4 | 76,2 | 95,3 | 115,7 | 137,4 | 160,4 | 184,7 |
| | P_{ϵ} , Н | 343,2 | 536,3 | 772,3 | 1051,2 | 1372,9 | 1737,6 | 2145,2 |
| | N_{ϵ} , кВт | 2,96 | 5,79 | 10,01 | 15,89 | 23,72 | 33,77 | 46,33 |
| | P_{ι} , Н | -7140 | -7112 | -7128 | -7186 | -7287 | -7432 | -7619 |
| | N_{ι} , кВт | -61,7 | -76,8 | -92,4 | -108,6 | -125,9 | -144,4 | -164,5 |
| | P_{τ} , Н | -36 | 483 | 1002 | 1521 | 2040 | 2559 | 3078 |
| | $P_{\partial} + P_{\epsilon}$, Н | 7104 | 7595 | 8130 | 8707 | 9327 | 9991 | 10697 |
| | $P_{\kappa} + P_{\epsilon}$, Н | 5952 | 6444 | 6978 | 7555 | 8176 | 8839 | 9545 |
| | N_{τ} , кВт | -0,3 | 5,2 | 13,0 | 23,0 | 35,2 | 49,7 | 66,5 |
| | $N_{\partial}+N_{\epsilon}$ кВт | 61,4 | 82,0 | 105,3 | 131,6 | 161,1 | 194,2 | 231,0 |
| | $N_{\kappa}+N_{\epsilon}$ кВт | 51,4 | 69,6 | 90,4 | 114,2 | 141,2 | 171,8 | 206,1 |

Таблица Г.13 – Сравнительный анализ тягово-динамических характеристик автомобилей

| Параметр | Марка автомобиля | | | |
|---|------------------|----------|-------------|---------------------|
| | КамАЗ-5511 | МАЗ-5549 | БелАЗ-7540В | SHACMAN-SX3258DR384 |
| Сила тяжести автомобиля G_a , (Н) | 187862 | 150580 | 515025 | 383914 |
| Сила сопротивления воздуха P_{ϵ} , (Н) | 1378 | 1591 | 1339 | 2145 |
| Сила тяги P_p , (Н) | 22789 | 21754 | 45457 | 55456 |
| Сила сопротивления качению P_k , (Н) | 3663 | 2860 | 8476 | 7400 |
| Сила сопротивления дороги P_{∂} , (Н) | 4283 | 3463 | 12854 | 8551 |

| | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|
| Сила сопротивления разгона P_u , (Н) | 18951 | 18677 | 35046 | 47757 |
| Динамический фактор D_a | 0,221 | 0,144 | 0,088 | 0,144 |
| Ускорение автомобиля j , (м/с ²) | 0,665 | 0,820 | 0,498 | 0,555 |
| Тяговая мощность N_T , (кВт) | 146,4 | 130,8 | 219 | 215 |
| Мощность, расходуемая на сопротивление качению N_k , (кВт) | 81,4 | 59,5 | 117 | 160 |
| Мощность, расходуемая на сопротивление дороги N_d , (кВт) | 95,1 | 72,1 | 177 | 184,7 |
| Мощность, расходуемая на сопротивление воздуха N_v , (кВт) | 30,6 | 33,1 | 18,5 | 46,3 |
| Мощность, расходуемая на сопротивление разгону N_u , (кВт) | 109 | 102 | 55,2 | 187,5 |

Таблица Г.14 – Результаты расчетов энергетических затрат и эффективности системы ВАДС

| Параметр | Марка автомобиля | | | |
|--|------------------|---------------------|------------|----------|
| | БелАЗ-7540В | SHACMAN-SX3258DR384 | КамАЗ-5511 | МАЗ-5549 |
| Удельная мощность автомобиля, кВт/т | 5 | 7,0 | 7,6 | 8,6 |
| Полная масса, кг | 52600 | 39100 | 19150 | 15350 |
| Коэффициент учета вращающихся масс автомобиля | 1,09 | 1,09 | 1,09 | 1,09 |
| Ускорение автомобиля, м/с ² | 0,498 | 0,635 | 0,665 | 0,82 |
| Угол подъема дороги, град | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,999 |
| Длина пути, км | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Эффективность работы автомобиля, Дж | 28524 | 27036 | 13867 | 13706 |
| Сила тяжести автомобиля, Н | 515025 | 383571 | 187862 | 150580 |
| Коэффициент сопротивления дороги | 0,028 | 0,028 | 0,028 | 0,028 |
| Обобщённый динамический коэффициент | 0,125 | 0,125 | 0,125 | 0,125 |
| Эффективность автомобильной дороги, Дж | 1803 | 1342 | 658 | 527 |
| Сила, приложенная на рулевые колесо, Н | 200 | 200 | 200 | 200 |
| Угол поворота рулевого колеса, рад | 40 | 40 | 40 | 40 |
| Радиус рулевого колеса, м | 0,22 | 0,25 | 0,255 | 0,3 |
| Общее число нажатий на педали тормоза и муфты сцепления, шт. | 30,0 | 30 | 30 | 30 |
| Рабочий ход педали тормоза и муфты сцепления, м | 0,18 | 0,2 | 0,24 | 0,22 |
| Энергетические затраты водителя, Дж. | 54960 | 62400 | 64080 | 74640 |
| Путевой расход топлива, кг/100км | 234 | 163 | 74 | 60 |
| Низшая теплотворная способность топлива, кДж/кг | 42500 | 42500 | 42500 | 42500 |
| Энергетические затраты системы ВАДС, Дж | 3032637 | 2837850 | 1452451 | 1423314 |
| Эффективность системы ВАДС | 30 | 41 | 46 | 56 |

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ АВТОМОБИЛЕЙ-САМОСВАЛОВ В УСЛОВИЯХ СТРОИТЕЛЬСТВА РОГУНСКОЙ ГЭС

Таблица Д.1 – Результаты испытаний автомобилей-самосвалов на топливную экономичность при движении с грузом в горных условиях

| № | Марка автомобиля | Снаряженная масса | Масса груза, т | Фактический расход топлива, | Высота н. у. м., м | Плечо перевозки, км | Время движения с грузом, мин | Средний уклон дороги, % | Время погрузки, мин | Фактическая скорость движения автомобиля, км/ч | Норма путевого расхода топлива, л/(100 км) | Фактический путевой расход топлива, л/(100 км) | Фактический транспортный Расход топлива, л/(100 т км) |
|---|---------------------|-------------------|----------------|-----------------------------|--------------------|---------------------|------------------------------|-------------------------|---------------------|--|--|--|---|
| | | автомобиля, т | т | | | | | | | | | | |
| 1 | БелАЗ-7540В | 22,9 | 30,5 | 10,1 | 1180 | 4,5 | 26 | 0,60 | 5,0 | 10,4 | 132,5 | 224,4 | 7,4 |
| 2 | БелАЗ-7540В | 22,9 | 30,0 | 12,3 | 1100 | 5,5 | 30 | 0,58 | 5,5 | 11,0 | 132,5 | 223,6 | 7,4 |
| 3 | БелАЗ-7540В | 22,9 | 28,8 | 12,9 | 1120 | 6,0 | 32 | 0,63 | 5,0 | 11,25 | 132,5 | 215,0 | 7,5 |
| 4 | SHACMAN-SX3256DR384 | 14,1 | 26,4 | 6,8 | 1180 | 4,5 | 19 | 0,60 | 4,5 | 14,2 | 81* | 151,1 | 5,7 |
| 5 | SHACMAN-SX3256DR384 | 14,1 | 25,2 | 8,1 | 1100 | 5,5 | 22 | 0,58 | 4,0 | 15,0 | 81* | 147,3 | 5,8 |
| 6 | SHACMAN-SX3256DR384 | 14,1 | 24,7 | 8,9 | 1120 | 6,0 | 23 | 0,63 | 4,0 | 15,6 | 81* | 148,3 | 6,0 |

* норма путевого расхода топлива определена расчётным путем

Таблица Д.2 – Результаты испытаний автомобилей-самосвалов на топливную экономичность при движении без груза в горных условиях

| № | Марка самосвального автомобиля | Снаряженная масса | Фактический расход топлива, л | Высота над уровнем моря, м | Плечо перевозки, км | Время движения без груза, мин | Средний уклон дороги, % | Фактическая скорость движения автомобиля, км/ч | Норма путевого расхода топлива, л/(100 км) | Фактический путевой расход топлива, л/(100 км) |
|---|--------------------------------|-------------------|-------------------------------|----------------------------|---------------------|-------------------------------|-------------------------|--|--|--|
| | | автомобиля, т | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | |
|---|---------------------|------|-----|------|-----|----|--------|------|-------|-------|
| 1 | БелАЗ-7540В | 22,9 | 6,7 | 1180 | 4,5 | 14 | - 0,60 | 19,3 | 132,5 | 148,9 |
| 2 | БелАЗ-7540В | 22,9 | 8,2 | 1100 | 5,5 | 16 | - 0,58 | 20,6 | 132,5 | 149,1 |
| 3 | БелАЗ-7540В | 22,9 | 9,2 | 1120 | 6,0 | 18 | - 0,63 | 20,0 | 132,5 | 153,3 |
| 4 | SHACMAN-SX3256DR384 | 14,1 | 4,2 | 1180 | 4,5 | 10 | - 0,60 | 27,0 | 81* | 93,3 |
| 5 | SHACMAN-SX3256DR384 | 14,1 | 5,2 | 1100 | 5,5 | 11 | - 0,58 | 30,0 | 81* | 94,5 |
| 6 | SHACMAN-SX3256DR384 | 14,1 | 5,6 | 1120 | 6,0 | 12 | - 0,63 | 30,0 | 81* | 93,3 |

Таблица Д.3 – Результаты испытаний на топливную экономичность автомобиля БелАЗ-37540В за одну езду в горных условиях (базовая норма путевого расхода топлива 132,5 л/(100 км) при снаряженной массе 22,5 т.)

| № | Масса груза, т | Высота над уровнем моря, м | Плечо перевозки, км | Время движения за езду, мин | Общее время погрузки и выгрузки, мин | Средняя скорость движения автомобиля за езду, км/ч | Фактический расход топлива заездку, л | Фактический путевой расход топлива за езду, л/(100 км) |
|-----|----------------|----------------------------|---------------------|-----------------------------|--------------------------------------|--|---------------------------------------|--|
| 1 | 30,5 | 1180 | 4,5 | 48 | 8,0 | 11,2 | 16,8 | 186,7 |
| 2 | 30,0 | 1100 | 5,5 | 55 | 9,0 | 12,0 | 20,5 | 186,4 |
| 3 | 28,8 | 1120 | 6,0 | 68 | 8,0 | 10,6 | 22,1 | 184,2 |
| Ср. | 29,8 | 1150 | 5,3 | 57 | 8,3 | 11,3 | 19,8 | 185,8 |

Таблица Д.4 – Результаты испытаний на топливную экономичность автомобиля SHACMAN-SX3256DR384 за одну езду в горных условиях (базовая норма путевого расхода топлива 81 л/(100 км) при снаряженной массе 15,2 т.)

| № | Масса груза, т | Высота над уровнем моря, м | Плечо перевозки, км | Время движения за езду, мин | Общее время погрузки и выгрузки, мин | Средняя скорость движения автомобиля за езду, км/ч | Фактический расход топлива заездку, л | Фактический путевой расход топлива за езду, л/(100 км) |
|-----|----------------|----------------------------|---------------------|-----------------------------|--------------------------------------|--|---------------------------------------|--|
| 1 | 26,4 | 1180 | 4,5 | 36 | 7,0 | 15,0 | 11,0 | 122,2 |
| 2 | 25,2 | 1100 | 5,5 | 39 | 6,0 | 16,9 | 13,3 | 118,2 |
| 3 | 24,7 | 1120 | 6,0 | 42 | 7,0 | 17,1 | 14,5 | 120,8 |
| Ср. | 25,4 | 1150 | 5,3 | 39 | 6,7 | 16,3 | 12,9 | 120,4 |