

Министерство образования и науки РФ  
Федеральное бюджетное государственное образовательное учреждение  
высшего образования  
НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ им. Р.Е. Алексева

*На правах рукописи*



БОРИСОВ ГЕННАДИЙ ВАЛЕРЬЕВИЧ

**МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАСХОДА ТОПЛИВА  
АВТОПОЕЗДАМИ С УЧЁТОМ СКОРОСТНОГО РЕЖИМА  
ДВИЖЕНИЯ**

Специальность 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта

Диссертация на соискание  
учёной степени кандидата технических наук

Научный руководитель  
доктор технических наук, профессор  
**Кузьмин Николай Александрович**

Н. Новгород - 2016

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....		4
<b>РАЗДЕЛ 1 ОБЗОР СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ</b> .....		7
1.1 Развитие законодательства в области нормирования расхода автомобильных топлив .....		7
1.2 Развитие научных теорий в области нормирования расхода автомобильных топлив .....		15
1.3 Выводы по разделу 1 и задачи исследования .....		42
<b>РАЗДЕЛ 2 РАЗРАБОТКА ВЕРОЯТНОСТНО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ МЕТОДИКИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАСХОДА АВТОМОБИЛЬНЫХ ТОПЛИВ</b> .....		45
2.1 Определение средней скорости движения по маршруту .....		47
2.2 Построение топливно-экономической характеристики .....		65
2.3 Построение циклограммы расхода топлива .....		71
2.4 Алгоритм вероятностно-аналитической методики прогнозирования расхода автомобильных топлив .....		78
2.5 Выводы по разделу 2 .....		81
<b>РАЗДЕЛ 3 РАСЧЁТНАЯ ОЦЕНКА АДЕКВАТНОСТИ МЕТОДИКИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАСХОДА АВТОМОБИЛЬНЫХ ТОПЛИВ</b> .....		82
3.1 Прогнозирование расхода автомобильных топлив согласно действующим нормативам.....		83
3.2 Определение расхода автомобильных топлив согласно последовательности вероятностно-аналитической методики и оценка результатов расчёта .....		86
3.3 Последовательность расчёта среднего путевого расхода топлива для АТП .....		111
3.4 Построение циклограммы расхода автомобильных топлив .....		121
3.5 Выводы по разделу 3 .....		124

<b>РАЗДЕЛ 4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЁТА И ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ МЕТОДИКИ</b> .....	125
4.1 Проверка гипотезы о неприменимости нормального закона распределения для расчёта средней скорости движения в целях прогнозирования расхода топлива .....	126
4.2 Экспериментальная проверка результатов расчёта расхода топлива АТС в заданных условиях эксплуатации .....	141
4.3 Практические рекомендации по использованию вероятностно-аналитической методики прогнозирования расхода автомобильных топлив .....	145
4.4 Рекомендации по развитию вероятностно-аналитической методики прогнозирования расхода автомобильных топлив .....	147
4.5 Выводы по разделу 4 .....	149
<b>ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ</b> .....	151
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	153
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ</b> .....	169
1. Определение максимальной допустимой массы груза .....	170
2. Справочные таблицы к разделу 2 .....	174
3. Техничко-эксплуатационные характеристики АТС .....	175
4. Карта маршрута .....	176
5. Акт контрольного замера расхода топлива на маршруте .....	177
6. Акты внедрения .....	178

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** Затраты на расходы топлива грузовыми автотранспортными средствами (АТС) являются основной составляющей в себестоимости перевозок. В настоящее время нормирование расхода горюче-смазочных материалов (ГСМ) АТС осуществляется согласно методическим рекомендациям N АМ-23-р «Нормы расхода топлива и смазочных материалов на автомобильном транспорте» (с изменениями от 14 июля 2015 года N НА-80-р), которая носит рекомендательный характер для юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, эксплуатирующих автомобили. Автотранспортные предприятия (АТП) согласно полученным нормам списывают затраты на ГСМ и отчитываются за их расход перед налоговыми органами.

Опыт показывает, что полученные таким образом объёмы топлив существенно превышают фактические значения расходов. Всё сказанное говорит о существенных недостатках методики, в которой, в частности, не учитывается прямое влияние скорости движения АТС на расход топлива. Вместе с тем, проведённые учёными в разные годы исследования в области топливной экономичности показывают, что скорость движения АТС признается как определяющий фактор, влияющий на расход топлива при эксплуатации АТС.

Ощущается острая необходимость в современной научно-обоснованной методике определения объективных значений расходов топлив АТС для планирования затрат на перевозки, прежде всего автопоездами, которыми осуществляется наибольшая доля автомобильных перевозок грузов. В основу методики должен быть заложен учёт скоростного режима движения по маршруту как комплексного показателя действия различных факторов (условия эксплуатации, технико-эксплуатационные показатели АТС – их полная масса, дорожное покрытие, характеристики маршрутов движения и т.д.).

Следует отметить, что существующие методики определения средних скоростей движения АТС, оборудованных механическими коробками передач (КП), и построения топливно-экономических характеристик автомобилей также требу-

ют доработки для повышения точности прогнозирования значений расхода топлива АТС.

В этой связи исследования, направленные на повышение эффективности автомобильных перевозок путём обоснованного прогнозирования затрат на топливо, выполняемые в рамках научного направления ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» и научно-практических мероприятий Министерства транспорта и автомобильных дорог Нижегородской области, являются актуальными.

**Объект исследований** – процесс расходования топлива автопоездами в эксплуатации; **предмет исследования** – закономерности изменения расхода топлива автопоездами как функции параметров скоростного режима движения.

**Цель работы** – повышение эффективности автомобильных перевозок грузов путём увеличения точности прогнозирования расхода топлива автопоездами.

**Методы исследования, достоверность и обоснованность результатов.**

Теоретические исследования выполнены с использованием положений теории автомобиля, теории автомобильных двигателей, математической статистики, методов численного моделирования. Экспериментальные исследования выполнялись в лабораторных и дорожных условиях с использованием общепринятых методик и оборудования. Достоверность научных положений работы подтверждена обоснованностью принятых допущений при разработке расчётных моделей, совпадением результатов собственных теоретических и экспериментальных исследований с данными известных работ.

**Область исследования** соответствует требованиям паспорта научной специальности 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта (п.2 «Оптимизация планирования, организации и управления перевозками пассажиров и грузов...» и п.19 «Методы ресурсосбережения в автотранспортном комплексе»).

**Положения, выносимые на защиту, обладающие научной новизной:**

1) математическая модель, отражающая зависимость средней скорости движения АТС от вариации условий эксплуатации;

2) математическая модель, отражающая зависимость расхода топлива АТС на маршрутах от средней скорости движения;

3) вероятностно-аналитическая методика прогнозирования расхода топлив автопоездами, отличающаяся учётом изменения средней скорости их движения по маршрутам.

**Практическая значимость работы** – обеспечение прогнозирования расходов топлива в автопредприятиях с более высокой точностью по сравнению с существующими методиками, снижение планируемых объёмов топлива для выполнения транспортной работы, затрат на перевозки и повышение налоговых отчислений в бюджеты различных уровней.

**Реализация результатов работы.** Результаты исследований одобрены и приняты к внедрению Министерством транспорта и автомобильных дорог Нижегородской области, внедрены в автопредприятиях ООО «Параллель» и ООО «Капитал-Логистик», в учебный процесс НГТУ им. Р.Е. Алексеева.

**Апробация работы.** Материалы исследований представлялись и получили положительную оценку на следующих международных научных конференциях и семинарах: «Безопасность транспортных средств в эксплуатации» (Н. Новгород, 2010, 2012 гг.); «Будущее технической науки» (Н. Новгород, 2008, 2009, 2014, 2015 гг.); «Актуальные проблемы эксплуатации автотранспортных средств» (Владимир, 2016 г.); на научных семинарах кафедр «Автомобильный транспорт», «Автомобили и тракторы» и «Энергетические установки и тепловые двигатели» НГТУ им. Р.Е. Алексеева (2008-2016 гг.).

**Публикации.** По теме диссертации опубликованы 13 статей, в числе которых 3 статьи в журналах из Перечня изданий, рекомендованных ВАК, а также одна монография.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырёх разделов, заключения, списка использованных источников из 171 наименований, приложений, и содержит 182 страницы машинописного текста, в том числе 27 рисунков и 37 таблиц.

# РАЗДЕЛ 1. ОБЗОР СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

## 1.1 Развитие законодательства в области нормирования расхода автомобильных топлив

Нормы расхода горюче-смазочных материалов служат для планирования их потребления и оценки эффективности использования подвижного состава АТ. Норма расхода топлив и смазочных материалов применительно к АТ подразумевает установленное значение меры его потребления при работе автомобиля конкретной модели, марки или модификации. При нормировании расхода топлив различают базовое значение расхода топлив, которое определяется для каждой модели, марки или модификации автомобиля в качестве общепринятой нормы, и расчётное нормативное значение расхода топлив, учитывающее выполняемую транспортную работу и условия эксплуатации автомобилей [13-16,111,112].

Развитие государственного регулирования в области нормирования расхода автомобильных топлив можно разделить на два этапа, реализованные в СССР условно с 1960 по 1991 годы и в РФ – с 1991 по настоящее время.

Первый этап начинается с введения в действие с 01.07.1960 нормативного документа – «Единые нормы расхода жидкого топлива для автомобилей», утверждённые Постановлением Совмина СССР от 05.03.1960 № 252 «О нормах расхода жидкого топлива для автомобилей». Нормы учитывают, в отличие от ранее действовавших норм, не только пробег автомобилей, но и выполняемую за пробег транспортную работу, а также расстояние перевозок с грузом, кроме того, эти нормы дифференцированы по дорожным и климатическим условиям [163].

Следует иметь ввиду, что указанные в нижеследующих выражениях обозначения еще не были введены, но для удобства восприятия приведём выражение с учётом современных обозначений и вынесем деление на 100 за скобки:

$$Q_H = 0,01 \cdot (H_{\text{сaп}} \cdot S + H_w \cdot W) \cdot (1 \pm 0,01 \cdot D), \quad (1.1)$$

где  $Q_H$  – нормируемое количество топлива, л;  $H_{\text{сан}} = H_S + H_D \cdot G_{\text{пр}} \cdot N_{\text{пр}}$  – норма на 100 км пробега автопоезда, л/100 км; для специализированных автомобилей  $H_{\text{сп}} = H_S + H_D(G_{\text{сп}} - G_0)$ ;  $G_{\text{сп}}$  – масса специализированного автомобиля, т;  $G_0$  – вес базового автомобиля, т, при этом, если масса специализированного автомобиля меньше базового, то в скобках  $(G_0 - G_{\text{сп}})$ ;  $H_S$  – норма на 100 км пробега автомобиля (тягача), л/100 км;  $H_D$  – надбавка на дополнительную массу прицепа (п/прицепа), л/т·100км;  $G_{\text{пр}}$  – масса прицепа (п/прицепа), т;  $N_{\text{пр}}$  – количество прицепов (умножение на количество прицепов осуществлялось для бортовых автомобилей с прицепами), шт.;  $H_W$  – норма на 100 т·км, л/100т·км;  $W = G_{\text{гр}} \cdot S_{\text{гр}}$  – транспортная работа, т·км;  $D$  – поправочный (повышающий или снижающий коэффициент), %.

Впоследствии, с периодичностью 5-6 лет, устанавливались новые Нормы, в которые постепенно добавлялись или изменялись поправочные коэффициенты, базовые нормы для новых марок автомобилей и т.д. [1,11,12,17-23,124]. Также, с 01.01.1992 Госстандарт СССР ввёл два нормативных документа:

1. ГОСТ 20306-90 «Автотранспортные средства. Топливная экономичность. Методы испытаний», согласно которому среднюю скорость  $V_{\text{ср}}$ , км/ч, и средний расход топлива  $Q_S$ , л/100 км, по результатам дорожных испытаний в условиях, соответствующих движению на скоростной дороге автополигона НАМИ, при выполнении заданных требований определяют по выражениям [4]:

$$V_{\text{ср}} = 3,6 \frac{S}{t}, \quad (1.2)$$

$$Q_S = 100 \frac{Q}{S} \quad \text{или} \quad G_S = 100 \frac{m_T}{\gamma_T \cdot S}, \quad (1.3)$$

где  $S$  – длина участка, м;  $t$  – среднее время, затраченное на проезд измерительного участка, с;  $Q$  – абсолютный расход топлива, полученный при испытаниях, см<sup>3</sup>;  $m_T$  – масса топлива, г;  $\gamma_T$  – плотность топлива при 20 °С, г/см<sup>3</sup>.

Данный стандарт устанавливает определение следующих показателей и характеристик топливной экономичности: контрольного расхода топлива, расхода

топлива в магистральном цикле на дороге, расхода топлива в городском цикле на дороге, расхода топлива в городском цикле на стенде, топливной характеристики установившегося движения, топливно-скоростной характеристики на магистральной холмистой дороге.

2. ГОСТ 22576-90 «Автотранспортные средства. Скоростные свойства. Методы испытаний», согласно которому скорость  $V_{max}$ , км/ч, и время  $\bar{t}$ , с, движения АТС по дорогам, соответствующим заданным требованиям, определяют по выражениям [5]:

$$V_{max} = 3,6 \frac{S}{\bar{t}}, \quad (1.4)$$

$$\bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i, \quad (1.5)$$

где  $S$  – длина измерительного участка, м;  $n$  – число измерений;  $t_i$  – время прохождения измерительного участка в  $i$ -ом измерении, с.

Данный стандарт устанавливает определение следующих показателей и характеристик скоростных свойств АТС: максимальную скорость, время разгона на заданном пути, время пути до заданной скорости, скоростной характеристики «разгон-выбег», скоростной характеристики «разгон на передаче, обеспечивающей максимальную скорость».

Анализ первого этапа показывает, что кроме качественного изменения в нормировании расхода топлива в 1960 году (учет выполненной транспортной работы, дифференциация по дорожным и климатическим условиям и др.), определения порядка проведения испытаний для определения скоростных свойств АТС и их топливной экономичности, используемых впоследствии НИИАТ при разработке «Методики определения базовых норм расхода топлива на автомобильном транспорте» к началу 1990-х годов не произошло каких-либо других качественных изменений: снизились некоторые нормы и надбавки, увеличился модельный ряд, для которых утверждались нормы, добавились корректирующие коэффициенты и виды топлива.

Второй этап в развитии законодательства в области нормирования расхода топлива начинается с введения в действие с 01.10.1993 «Норм расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте» Р3112199-0295-93, утверждённых Департаментом автомобильного транспорта Минтранса РФ 26.08.1993, а также выходом Инструктивного Письма Минтранса РФ от 13.02.1995 № ЛШ-1/52 «О внесении уточнений в «Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте».

Кроме того, согласно перечню основных тем НИР и ОКР по обеспечению энергосбережения, НИИАТ, совместно с НАМИ и МАДИ поручено разрабатывать, уточнять и дополнять линейные нормы расхода топлива для автомобилей, а также разработать методику и программное обеспечение расчёта эксплуатационных норм расхода топлива для АТС [24]. В результате выполнения поставленных задач, 24.09.1996 НИИАТ разрабатывает и Минтранс РФ утверждает без ограничения срока действия «Методику определения базовых норм расхода топлива на автомобильном транспорте» Р 03112134-0367-97 во исполнение Закона РФ "Об энергосбережении" № 28-ФЗ от 03.04.1996 и Постановления Правительства РФ "О неотложных мерах по энергосбережению" № 1087 от 02.11.1995.

Таким образом, базовая норма расхода топлива для АТС рассчитывалась на основе моделирования движения АТС по типизированным маршрутам, которые формировались в зависимости от типа АТС (легковые, грузовые, автобусы, специальные и специализированные автомобили и др., а также их модификации).

При определении базовых норм расхода топлива учитываются [10]:

– конструкционные параметры автомобиля (колёсная формула, полная и снаряжённая массы автомобиля, грузоподъёмность, тип двигателя, число и расположение цилиндров, рабочий объём двигателя, максимальная мощность при номинальных оборотах, максимальные обороты двигателя, максимальный крутящий момент и соответствующие обороты, тип коробки передач (далее – КП), передаточные числа КП, наличие раздаточной коробки (отбора мощности), количество ступеней ведущего моста, наличие колёсных редукторов, передаточное число

главной передачи, размер и маркировка шин, габаритные размеры, наличие аэродинамического обтекателя, тип применяемого топлива);

– стандартные типизированные маршруты:

- маршрут в среднехолмистой местности (с уклоном до 4%), длина маршрута 14,6 км, ограничения скорости устанавливаются в зависимости от типа АТС (автомобили полной массы до 3,5 т при скоростях движения 90 и 120 км/ч (кроме автомобилей, максимальная конструктивная скорость которых меньше 130 км/ч); автомобили грузовые и автопоезда (кроме полноприводных) полной массы свыше 3,5 т, автобусы пригородные и местного сообщения при скоростях движения 60 и 80 км/ч; автобусы городские скоростях движения 40 и 60 км/ч; автопоезда магистральные, автобусы междугородные и туристские при скоростях движения 60 и 80 км/ч; автомобили полноприводные полной массы свыше 3,5 т при скоростях движения 40 и 60 км/ч);

- городской маршрут, длина маршрута 3,9 км, маршрут состоит из 7 участков разной протяженности и ограничений скорости (1: 0,6 км – 50 км/ч; 2: 0,6 км – 40 км/ч; 3: 1,2 км – 80 км/ч; 4: 0,4 км – 40 км/ч; 5: 0,5 км – 60 км/ч; 6: 0,4 км – 50 км/ч; 7: 0,3 км – 20 км/ч);

- городской автобусный маршрут, длина маршрута 2,2 км, маршрут состоит из 6 участков разной протяженности и ограничений скорости (1: 0,25 км – 30 км/ч; 2: 0,3 км – 35 км/ч; 3: 0,4 км – 40 км/ч; 4: 0,5 км – 45 км/ч; 5: 0,5 км – 50 км/ч; 6: 0,25 км – 40 км/ч).

Тем не менее, нормируемый расход топлива для конкретного автомобиля определяется по известным формулам («Порядок нормирования расхода топлива на автомобильном транспорте» и РЗ112199-0295-93), исходя из базовой нормы и поправочных коэффициентов [10]. Для новых моделей и модификаций АТС, на которые Департаментом АТ Минтранса РФ не утверждены базовые нормы расхода топлива, временные нормы должны быть установлены в соответствии с требованиями «Методики определения базовых норм расхода топлива на автомобильном транспорте», утверждённой Федеральной автомобильно-дорожной службой 14.10.1996.

В дальнейшем, в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 30.07.2004 г. № 395 «Об утверждении Положения о Министерстве транспорта Российской Федерации» (Собрание законодательства Российской Федерации, 2004, № 32, ст.3342) и в целях реализации Приказа Минтранса от 24.06.2003 № 153 «Об утверждении Инструкции по учету доходов и расходов по обычным видам деятельности на автомобильном транспорте» (зарегистрирован Минюстом России 24.07.2003 г., регистрационный № 4916), согласно Распоряжению Минтранса РФ от 14.03.2008 №АМ-23-р введены новые «Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте» (далее – Нормы).

В соответствии с новыми Нормами для автомобилей общего назначения установлены следующие виды норм [16]:

- базовая норма, л/100 км пробега АТС в снаряжённом состоянии;
- транспортная норма, л/100 км пробега при проведении транспортной работы: автобуса, где учитывается снаряжённая масса и нормируемая по назначению автобуса номинальная загрузка пассажиров; самосвала, где учитывается снаряжённая масса и нормируемая загрузка самосвала (с коэффициентом 0,5);
- транспортная норма, л/100 т·км при проведении транспортной работы грузового автомобиля учитывает дополнительный к базовой норме расход топлива при движении автомобиля с грузом, автопоезда с прицепом или полуприцепом без груза и с грузом или с использованием установленных ранее коэффициентов на каждую тонну перевозимого груза, массы прицепа или полуприцепа – до 1,3 л/100 км и до 2,0 л/100 км для автомобилей, соответственно, с дизельными и бензиновыми двигателями, – или с использованием точных расчётов, выполняемых по специальной программе-методике непосредственно для каждой конкретной марки, модификации и типа АТС.

Согласно новым Нормам в нормировании расхода топлива, по сравнению с ранее действовавшими, произошли лишь незначительные изменения [16]:

- добавлены модели, марки и модификации АТС, для которых ранее нормы расхода топлива не были введены;

– изменены формулировки и значения некоторых действующих корректирующих коэффициентов.

На практике сложились две позиции в порядке учета затрат на топливо и смазочные материалы на АТ для целей исчисления налога на прибыль. Первая позиция заключается в необходимости учета затрат на топливо и смазочные материалы в пределах норм, установленных методическими рекомендациями. Такой позиции придерживается Министерство финансов РФ (письмо от 03.09.2010 № 03-03-06/2/57, от 10.06.2011 г. № 03-03-06/4/61, от 14.01.2009 № 03-03-06/1/15), а также Управление Федеральной налоговой службы по г. Москве (письма от 03.11.2009 г. № 16-16/115253, от 13.10.2009 № 16-15/107268), указывая, что в целях выполнения требования об обоснованности расходов при учёте затрат на покупку топлив в расходах необходимо руководствоваться нормами расхода топлив и смазочных материалов, утверждённых методическими рекомендациями.

Вторая позиция: расходы на топливо и смазочные материалы необходимо учитывать в целях налога на прибыль в размере фактически произведенных затрат. Данная позиция отмечается Управлением Федеральной службы по налогам по г. Москве в письме от 12.04.2006 г. № 20-12/29007, где указано, что при налогообложении прибыли учитываются затраты организации на приобретение ГСМ исходя из пробега автомобиля с учётом фактического расхода топлив в производственных целях. Данная позиция поддерживается также судебной практикой.

Поэтому в апреле 2012 года в соответствии с постановлением Правительства РФ от 29 июля 2011 г. № 633 «Об экспертизе нормативных правовых актов федеральных органов исполнительной власти в целях выявления в них положений, необоснованно затрудняющих ведение предпринимательской и инвестиционной деятельности, и о внесении изменений в некоторые акты Правительства РФ», приказом Минэкономразвития России от 09.11.2011 г. № 634 «Об утверждении Порядка проведения экспертизы нормативных правовых актов федеральных органов исполнительной власти в целях выявления в них положений, необоснованно затрудняющих ведение предпринимательской и инвестиционной деятельности», а также Планом проведения экспертизы нормативных правовых актов федеральных

органов исполнительной власти Министерство экономического развития РФ провело экспертизу распоряжения Минтранса России от 14 марта 2008 г. N АМ-23-р «О введении в действие методических рекомендаций «Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте».

По результатам экспертизы распоряжения в соответствии с пунктом 3 постановления № 633 Министерство экономического развития Российской Федерации считает необходимым [9]:

– исключить из пункта 3 распоряжения упоминание, что нормы расхода топлива и смазочных материалов на АТ предназначены для расчётов по налогообложению и для ведения статистической отчетности и указать на рекомендательный характер распоряжения;

– определить однозначный порядок утверждения и изменения поправочных коэффициентов к нормам расхода топлив;

– утвердить порядок проведения периодической актуализации положений распоряжения в отношении используемого парка АТ, в том числе в соответствии с предложениями субъектов предпринимательской деятельности;

– учесть предложения субъектов предпринимательской деятельности, представленные в Справке о результатах публичных консультаций, при доработке распоряжения, например:

- не учтено многообразие факторов с целью определения оптимального расхода топлива;

- методика расчёта расхода ГСМ, указанная в распоряжении, должна носить рекомендательный характер;

- отменить методологию разработки эксплуатационных норм расхода автомобильного топлива на основе расчётных базовых и транспортных норм Минтранса РФ. Ввести в практику деятельности АТП и иных юридических лиц, осуществляющих эксплуатацию АТ, обязанность по самостоятельному проведению тестовых испытаний поступающего в эксплуатацию автомобильного транспорта на топливную экономичность.

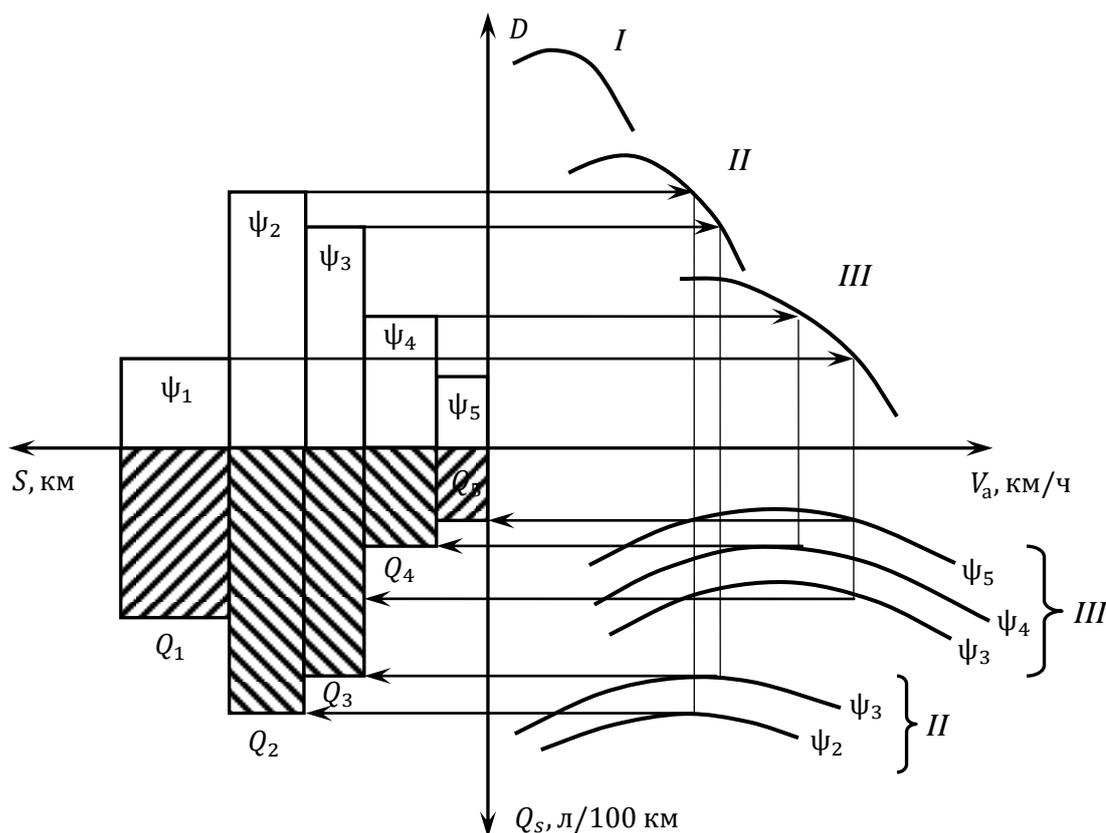
Тем не менее, 14.07.2015 выходит распоряжение Минтранса РФ № НА-80-р «О внесении изменений в Методические рекомендации «Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте», введённые в действие распоряжением Министерства транспорта Российской Федерации от 14.03.2008 г. N АМ-23-р», согласно которому перечень АТ дополняется новыми моделями с соответствующими им базовыми нормами. Других изменений не внесено.

## **1.2 Развитие научных теорий в области нормирования расхода автомобильных топлив**

Параллельно развитию законодательства в области нормирования расхода топлива развивались и научные теории в области топливной экономичности, планирования и нормирования расхода топлив на АТ.

Основными вопросами топливной экономичности и динамических качеств автомобилей в целом занимались такие ученые как Е.А. Чудаков, Г.В. Зимелев, Б.С. Фалькевич, Д.П. Великанов, Н.А. Бухарин, Н.Я. Говорущенко, А.Н. Нарбут, В.Н. Кравец, В.И. Песков, Л.Г. Резник, В.Н. Карнаухов, В.В. Московкин и многие другие. Научные достижения в области нормирования расхода топлива как показателя топливной экономичности сведены в работах Г.В. Зимелева, А.М. Шейнина, М.И. Борисова, Б.С. Фалькевича, В.Н. Кравца и многих других.

В частности, Г.В. Зимелев предложил и опубликовал в своей работе [82, 83] аналитический подход к определению расхода топлива на основе метода определения времени движения автомобиля на заданном перегоне с известным коэффициентом суммарного сопротивления движению. Сопоставляя характеристику дороги с динамической характеристикой автомобиля, определяются те передачи, на которых возможно движение по отдельным участкам и соответствующие скорости движения (рис. 1.1). Если под осью абсцисс динамической характеристики отложить топливно-экономическую характеристику, построенную для тех же сопротивлений и передач, можно определить соответствующие расходы топлива.



**Рис. 1.1. Циклограмма определения расхода топлива на участке маршрута:**  
 $D$  – динамический фактор;  $V_a$  – скорость движения;  $Q$  – путевой расход топлива;  $S$  – расстояние;  
 $\psi_1, \dots, \psi_5$  – суммарные дорожные сопротивления участков маршрута;  
 $Q_1, \dots, Q_5$  – расход топлива на участках маршрута

Рассматривая прямоугольники, основаниями которых служат длины участков, а высотами – расходы топлива (рис. 1.1) можно заключить, что площади их будут представлять в соответствующих масштабах расход топлива на каждом участке. Общий расход топлива на маршруте равен сумме расходов топлива на отдельных участках.

Вместе с тем, как утверждает автор [83], указанный метод даёт только отправные теоретические данные; при эксплуатационных расчётах необходимо вносить поправки на действительные условия движения. Кроме того, существенное влияние на топливную экономичность автомобиля оказывает движение на переменных режимах, что особенно характерно для городского и, в частности, автобусного транспорта. При отсутствии на тот момент научно-экспериментальных исследований и соответствующего математического аппарата для аналитического определения величин, используемых для построения предлагаемой циклограммы

(рис. 1.1), автор заключил, что учёт всех изменяющихся обстоятельств движения практически весьма затруднителен, вследствие чего при нормировании расхода топлива необходимо использовать установленные единые средние нормы расхода топлива, учитывающие усреднённые условия эксплуатации.

Таким образом, предложенный Г.В. Зимелевым аналитический подход к нормированию расхода топлива не нашёл практического применения и не получил должного дальнейшего развития.

Тем не менее, данный подход к нормированию расхода топлива поддерживался и Б.С. Фалькевичем в его работе [150]. В частности, автор указывал, что экономическая характеристика автомобиля в сочетании с его динамической характеристикой может быть использована для составления графиков движения и нормирования расхода топлива при эксплуатации АТ на постоянных маршрутах. При этом, при окончательном составлении графиков движения и нормирования расхода топлива необходимо исходить из достижения максимальной производительности АТ (при обеспечении полной безопасности движения), с учётом топливной экономичности и других статей себестоимости перевозок.

И уже практически в настоящее время Кравец В.Н. в своей работе [105] указывал, что расход топлива на заданных маршрутах может быть определён с помощью циклограммы (рис. 1.1), если при каждой заданной величине дорожного сопротивления определить максимальную скорость на передаче и, далее, путевой расход топлива.

При этом автор [105] указывал аналитический метод расчета и построения топливно-экономической характеристики с помощью общеизвестных аналитических выражений коэффициентов  $k_E = f(E)$  (здесь  $E = \omega_e / \omega_p$  – коэффициент, учитывающий влияние степени  $E$  приближения угловой скорости коленчатого вала (КВ) расчётного режима  $\omega_e = V_a i_{тр} / r_k$  к угловой скорости при максимальной мощности  $\omega_p$ ) и  $k_I = f(I)$  – коэффициент, учитывающий влияние степени использования мощности двигателя  $I = \frac{(P_{\psi} + P_w)}{P_e^{всх} \cdot \eta_{тр}}$ ,  $P_e^{всх}$  – номинальная эффективная мощность двигателя по внешней скоростной характеристике двигателя:

$$k_E = 1,25 - 0,99E + 0,98E^2 - 0,24E^3, \quad (1.6)$$

для бензиновых двигателей:

$$k_{И} = 3,27 - 8,22И + 9,13И^2 - 3,18И^3, \quad (1.7)$$

для дизельных двигателей:

$$k_{И} = 1,2 + 0,14И - 1,8И^2 + 1,46И^3. \quad (1.8)$$

Таким образом, указанная методика до наших дней не претерпела каких-либо существенных изменений, но в силу её естественных преимуществ в современных условиях, данная методика требует доработки при учёте максимально возможного числа факторов, для которых открыты и доказаны соответствующие аналитические выражения.

Необходимость учёта ряда факторов для целей планирования и нормирования расхода топлива, а именно: характеристики дорожной поверхности, средняя скорость движения АТС по маршруту (число оборотов коленчатого вала двигателя), также указывалась в работе О.А. Новикова и В.Н. Уварова [122], которые предложили метод расчёта среднего расхода топлива на основе учёта вышеназванных факторов как случайной величины. Так, согласно [122], средняя скорость, в км/ч, на определённом участке маршрута определяется по выражению:

$$V_{cp} = \sum_{j=1}^m V_{cj} W_j, \quad (1.9)$$

где  $j$  – номер участка маршрута с различными дорожными характеристиками;  $m$  – количество рассматриваемых участков маршрута;  $W_j = S_j/S_{общ}$  – частота встречи того или иного участка маршрута (здесь  $S_j$  – длина рассматриваемого участка маршрута, км;  $S_{общ}$  – общая длина маршрута, км);  $V_{cj}$  – средняя скорость на участке маршрута, км/ч:

$$V_{cj} = 0,27\eta_i \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i \gamma_i}{F_{iN}} \quad \text{– средняя скорость, км/ч, на рассматриваемом участке}$$

маршрута;  $i$  – номер передачи КП;  $n$  – количество передач КП;  $\eta_i$  – КПД двигателя и трансмиссии на  $i$ -ой передаче;  $F_{iN} = \frac{F_T}{G_1 + G_2}$  – удельная сила тяги на  $i$ -ой передаче при работе двигателя в режиме максимальной мощности;  $G_1$  и  $G_2$  – собственный вес автомобиля в снаряженном состоянии и вес нагрузки (включая водителя и пассажиров) соответственно, Н;  $F_T = \frac{T_e i_{\text{тр}} \eta}{r_k}$  – тяговое усилие на ведущих колесах автомобиля, Н;  $T_e$  – крутящий момент двигателя при максимальной мощности двигателя, Н·м;  $i_{\text{тр}} = i_{\text{кп}} \cdot i_0$  – общее передаточное отношение трансмиссии;  $i_{\text{кп}}$  – передаточное отношение коробки передач;  $i_0$  – передаточное отношение главной передачи;  $\eta$  – общий КПД двигателя и трансмиссии;  $r_k = 1,04r_d$  – радиус качения ведущего колеса, м (данное выражение применяется для приближённых вычислений радиуса качения радиальных шин (по ГОСТ 17393-72), при скорости движения автомобиля 60 км/ч);  $r_d \approx r_c = \frac{d}{2} + B_{\text{ш}} \cdot \Delta_{\text{ш}} \cdot \lambda_z$  – динамический радиус шин, м;  $r_c$  – статический радиус шин, м;  $d$  – посадочный диаметр колеса, м;  $B_{\text{ш}}$  – ширина профиля шины, м;  $\Delta_{\text{ш}} = H/B$  – отношение высоты профиля шины к её ширине, %;  $\lambda_z = 0,9$  – коэффициент вертикальной деформации шины (для шин грузовых автомобилей) [154];

$$\delta_i = \frac{1}{2} \cdot \left( 1 + \frac{V_{i-1}}{V_i} \right) \quad \text{– коэффициент, учитывающий форму закона распределения скоростей на } i\text{-ой передаче}$$

(данное выражение применяется для нормального закона распределения, как наиболее вероятного при движении по загородным дорогам I категории);  $V_i = 0,377 \frac{n_e \cdot r_k}{i_{\text{тр}}}$  – максимальная скорость движения автомобиля на  $i$ -ой передаче, км/ч;  $n_e$  – частота вращения коленчатого вала (ЧВКВ) при номинальной эффективной мощности двигателя, мин<sup>-1</sup>;  $V_{i-1}$  – максимальная скорость движения автомобиля на предыдущей передаче, км/ч;

$$\gamma_i = \frac{k_i d_i}{\delta_i \sum_{i=1}^n \frac{k_i d_i}{\delta_i}} \quad \text{– относительное время движения автомобиля на } i\text{-ой пере-}$$

даче;  $d_i = \frac{V_{\text{пр}}}{V_i}$  – отношение предельной скорости движения  $V_{\text{пр}}$  к скорости движения на  $i$ -ой передаче;  $k_i = \Phi\left(\frac{D_i - m_\psi}{\sigma_\psi}\right) - \Phi\left(\frac{D_{i+1} - m_\psi}{\sigma_\psi}\right)$  – относительный путь движения автомобиля на  $i$ -ой передаче (для нормального закона распределения);  $\frac{D_i - m_\psi}{\sigma_\psi}$  – аргумент нормированной функции нормального распределения;  $D_i = \frac{F_T - F_W}{G_1 + G_2}$  – динамический фактор на  $i$ -ой передаче;  $F_W = \frac{W \cdot V_i^2}{12,96}$  – сила сопротивления воздуха при заданной скорости, Н;  $W = \frac{c_x \cdot \rho_B \cdot F}{2}$  – фактор обтекаемости;  $c_x$  – коэффициент обтекаемости;  $\rho_B = 1,225$  кг/м<sup>3</sup> – плотность воздуха;  $F = B \cdot H$  – площадь лобовой проекции автомобиля (площадь миделева сечения), м<sup>2</sup>;  $B$  – колея грузового автомобиля, м;  $H$  – высота автомобиля, м;  $m_\psi = m_\alpha(a - fb) + f$  – математическое ожидание изменения дорожного сопротивления как случайной величины;  $m_\alpha$  – математическое ожидание изменения углов продольного уклона дороги;  $f$  – коэффициент сопротивления качению;  $a = 0,0172$  и  $b = 0,0034$  – коэффициенты, заменяющие  $\cos\alpha$  и  $\sin\alpha$  в выражении дорожного сопротивления ( $\psi = f\cos\alpha \pm \sin\alpha$ , соответственно  $\sin\alpha = a \cdot \alpha$ ,  $\cos\alpha = 1 - b \cdot \alpha$ , в этом случае, ошибка при замене функций  $\sin\alpha$  и  $\cos\alpha$  указанными зависимостями не превышает 2% при изменении величины  $\alpha$  в пределах  $\pm 25^\circ$  [122]);  $\alpha$ , град. – величина уклона дороги;  $\sigma_\psi = \sigma_\alpha(a - fb)$  – среднее квадратическое отклонение дорожного сопротивления;  $\sigma_\alpha$  – среднее квадратическое отклонение углов продольного уклона дороги.

При рассчитанном значении средней скорости движения определяется средний километровый расход топлива на любом участке маршрута, л/км [122] (обозначения в нижеследующих выражениях приводятся в редакции авторов):

$$q_{\text{ср}} = \frac{Q_{\text{тср}}}{V_{\text{ср}}}, \quad (1.10)$$

где  $Q_{\text{тср}}$  – средний часовой расход топлива двигателем в заданном режиме, л/ч.

Если движение осуществляется по различным типам дорог (участкам маршрута с различными дорожными характеристиками), то средний километровый расход может быть рассчитан по выражению [122]:

$$q_{\text{ср}} = \sum_{j=1}^m q_{\text{с}j} W_j, \quad (1.11)$$

где  $q_{\text{с}j} = \sum_{i=1}^n \frac{Q_{\text{тиср}} k_i}{\delta_i V_i}$  – средний километровый расход топлива, л/км, характерный для  $j$ -го типа дороги;  $Q_{\text{тиср}}$  – средний часовой расход топлива двигателем на  $i$ -ой передаче, л/ч.

При этом сами авторы указывают, что общую зависимость и общие рекомендации для аппроксимации опытных зависимостей  $Q_{\text{т}i} = F(\Delta, n_i)$ , как функции часового расхода топлива от числа оборотов коленчатого вала двигателя и величины снимаемой мощности дать весьма трудно.

К определению величины  $Q_{\text{тиср}}$ , на примере автомобиля Урал-375Т с двигателем ЗИЛ-375, авторы подошли с допущением о взаимонезависимом изменении величин  $\Delta$  и  $n_i$ , подбирая эмпирическую аппроксимирующую зависимость с одним аргументом  $\Delta$  при заданном значении  $n_i$  по общему виду фактических (стендовых) зависимостей часового расхода топлива.

Вместе с тем, топливно-экономические характеристики автомобилей определяются в зависимости от условий движения. В соответствии с этим различают топливно-экономические характеристики установившегося движения, ускоренного движения, режима торможения двигателем, циклического движения и др. [126]

Для анализа связи расхода топлива с условиями движения наиболее часто используют топливно-экономическую характеристику установившегося движения автомобиля на дорогах с различной величиной коэффициента  $\psi$ . Это объясняется тем, что большую часть времени автомобиль движется со скоростью, близкой к постоянной – оптимальной по каким-либо параметрам для данных дорожных условий. Таким образом, топливно-экономическая характеристика установившегося

движения – это зависимость путевого расхода  $Q_s = f(V_a, \psi)$  при движении автомобиля со скоростью  $V_a = \text{const}$ , при  $a_x = 0$  и при отсутствии буксования колес ( $r_k = r_d$ ). В соответствии с этим искомая зависимость будет иметь вид [126]:

$$Q_s = \frac{g_e \cdot (P_\psi + P_w)}{36 \cdot \rho_T \cdot V_a \cdot \eta_{\text{тр}}}, \quad (1.12)$$

где  $g_e$  – удельный эффективный расход топлива, г/кВт·ч, определяемый по нагрузочной характеристике двигателя ( $g_e = f(P_e, \omega_e)$ ), по зависимости от степени использования мощности двигателя ( $g_e = f(I, \omega_e)$ ), либо по аналитической зависимости  $g_e = g_{ep} k_{\text{И}} k_{\text{Е}}$  (здесь  $g_{ep} = (1,05 \div 1,10) g_e^{\text{min}}$  – удельный расход топлива двигателем при максимальной мощности);  $F_\psi$  – сила сопротивления движению, Н;  $\rho_T$  – плотность топлива, кг/л (для дизельных топлив  $\rho_T = 0,82$  кг/л).

Многочисленные расчёты с использованием рекомендуемых в литературе по теории автомобиля математических зависимостей (1.6-1.8) для расчётного определения величин  $k_{\text{И}}$  и  $k_{\text{Е}}$ , представляющие собой аппроксимацию соответствующих кривых, показали [126], что при аналитическом определении  $g_e$  удовлетворительные результаты получаются только для бензиновых карбюраторных двигателей. У автомобилей с дизелями обычно получается принципиально ошибочный результат, приводящий к выводу о наибольшей экономичности режимов движения на низших передачах.

Песковым В.И., Гуриным В.А. и другими сотрудниками Автомобильного института НГТУ им. Р.Е. Алексеева и специалистами по различным типам двигателей были проведены экспериментальные и теоретические исследования по изучению нагрузочных характеристик современных бензиновых и дизельных двигателей, результаты которых позволяют рекомендовать для расчётного определения величин  $k_{\text{И}}$  полиномы пятой степени, существенно повышающие точность расчётов и приближающие их результаты к результатам натурных испытаний [126].

Для автомобилей с дизельными двигателями это полином

$$k_{\text{И}} = 3,52 - 17,24И + 44,85И^2 - 55,28И^3 + 31,23И^4 - 6,08И^5. \quad (1.13)$$

Для автомобилей, оснащенных бензиновыми двигателями с распределенным впрыском:

$$k_{И} = 4,32 - 24,21И + 71,87И^2 - 107,21И^3 + 78,73И^4 - 22,5И^5. \quad (1.14)$$

Для автомобилей с бензиновыми карбюраторными двигателями:

$$k_{И} = 4,68 - 22,41И + 56,97И^2 - 74,96И^3 + 49,75И^4 - 13,03И^5. \quad (1.15)$$

**Обзор диссертационных работ по специальности 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта»** в области маршрутного нормирования расхода жидких топлив, влияния различных факторов на расход топлива автомобилями за последние 30 лет (с 1983 года) выявил, что:

- разработаны либо усовершенствованы экспериментально-статистические методики (реже аналитические зависимости) маршрутного нормирования (прогнозирования) расхода топлива с учётом различных факторов (скорость движения, состояние дорожной поверхности, степень загрузки АТС, конструкционные параметры АТС и т.д.) для определённых категорий АТС (легковые, автобусы, грузовые автомобили, седельные и прицепные автопоезда, самосвалы);

- исследованы зависимости влияния различных условий эксплуатации (городские, зимние и т.д.) на расход топлива любых категорий АТС с предложением экспериментальных аппроксимирующих коэффициентов.

В работах С.Н. Абрамова (НИИАТ, 1983 г.); В.И. Джаджанидзе (МАДИ, 1991 г.); А.А. Корякина (МАДИ, 2000 г.); Б.Ю. Исполатова (МГИУ, 2005 г.) произведено совершенствование методов разработки нормативов расхода топлива автобусами на основе:

- учёта технологии движения на городских и пригородных автобусных маршрутах с помощью установленных количественных взаимосвязей между параметрами организации движения автобусов на городских и пригородных маршрутах и расходом топлива, разработанного метода корректировки нормативов расхода топлива при изменении технологии движения маршрутных автобусов и

метода расчёта маршрутных норм расхода топлива для городских и пригородных автобусных перевозок [26];

– методики маршрутного нормирования расхода топлива для АТП, учитывающей особенности формирования расхода топлива автобусами и позволяющей устанавливать дифференцированные нормы расхода топлива на каждом маршруте с помощью теоретической модели формирования линейного расхода топлива автобусами с учётом режима его работы на маршруте [73];

– методики разработки маршрутных нормативов расхода топлива автобусами на городских маршрутах, сформированной с учётом показателей условий эксплуатации, оказывающих наибольшее влияние на расход топлива [102];

– обоснованного выбора основных факторов, влияющих на маршрутный расход топлива городских автобусов ЛиАЗ-6212, многофакторной математической модели маршрутного расхода топлива автобуса в эксплуатации [92].

Применительно к определению расхода топлива автобусами применяется общая формула регрессивной модели эксплуатационного расхода топлива [73] (обозначения в нижеследующих выражениях приводятся в редакции автора):

$$Q = b_0 + b_1P + b_2V_3 + b_3l + b_4i + b_5P^2 + b_6V_3^2 + b_7l^2 + b_8i^2 + b_9PV_3 + b_{10}Pl + b_{11}Pi + b_{12}V_3l + b_{13}V_3i + b_{14}li, \quad (1.16)$$

где  $b_0 \div b_{14}$  – коэффициенты регрессии;  $P$  – пассажиропотоки на один оборот, чел;  $l$  – длина цикла движения, км;  $i$  – уклон дороги, %;  $V_3$  – скорость движения, км/ч.

Обработка накопленного статистического материала (с использованием установленных на автобусы режимометров К-12-22 и расходомеров ИФРТ-2) позволила с помощью метода корреляционно-регрессионного анализа получить уравнения регрессии определяемого расхода топлива для автобусов ПАЗ-672 и ЛАЗ-695Н. Анализ показал, что линейная норма расхода топлива не может быть для всех маршрутов единой (однозначной) и поэтому её необходимо дифференцировать по маршрутам. Дифференцированные маршрутные нормы расхода топлива определяются по формуле [73]:

$$Q_M^{\text{диф}} = kQ_M^{\text{рас}}, \quad (1.17)$$

где  $Q_M^{\text{диф}}$  – дифференцированная маршрутная норма расхода топлива, л/100 км;  $Q_M^{\text{рас}}(P, V_3, i, l)$  – ожидаемый линейный расход топлива, л/100 км;  $k$  – коэффициент пропорциональности между ожидаемым линейным расходом топлива и дифференциальной нормой.

На основе анализа основных факторов, влияющих на расход топлива городскими автобусами, их маршрутные нормы могут быть рассчитаны по следующей математической модели [92] (обозначения в нижеследующих выражениях приводятся в редакции автора):

$$Q = 76,55 - 0,42V_c - 13,43l_{\text{п}} + 7,22n_{\text{пов}} - 0,33G_c - 0,017l_{\text{сс}} - 0,074t, \quad (1.18)$$

где  $V_c$  – средняя скорость сообщения на маршруте, км/ч;  $l_{\text{п}}$  – средняя длина перегона (среднее расстояние между остановками), км;  $n_{\text{пов}}$  – удельное число поворотов (помехонасыщенность) на маршруте, шт./км;  $G_c$  – фактическое наполнение салона автобуса по перегону (коэффициент использования пассажироместимости), чел/м<sup>2</sup>;  $l_{\text{сс}}$  – среднесуточный пробег автобуса, км;  $t$  – температура окружающей среды, °С.

При этом сам автор [92] отмечает превалирующее влияние средней скорости движения (около 35%) на расход топлива по сравнению с другими факторами, значения которой в данной работе были взяты на основе статистических данных.

Проведённые исследования позволили разработать и внедрить маршрутные нормы расхода топлива в нескольких городах для большого числа городских и пригородных автобусных маршрутов [26,73,92,102].

В работах И.К. Шаши (ХАДИ, 1991 г.); Г.И. Шаталова, (МАДИ, 1992 г.) произведено совершенствование методов разработки нормативов расхода топлива грузовыми автомобилями на основе:

– методики нормирования расхода топлива грузовыми автомобилями, основанной на более совершенной математической модели расхода топлива, позво-

ляющей осуществлять индивидуальное нормирование расхода топлива на примере автомобилей ЗИЛ-130 с учётом фактических скоростей движения для каждой группы дорог по разработанной классификации условий эксплуатации [161];

– метода определения маршрутных норм расхода топлива, основанного на использовании фазовой модели движения АТС применительно к автопоездам в составе тягачей КамАЗ [160].

Уравнение расхода топлива можно представить в виде трёх составляющих (обозначения приводятся в редакции автора) [161]:

$$Q = \frac{1}{\eta_i} (A_1 + A_2 V_a + A_3 V_a^2), \quad (1.19)$$

где  $A_1 = [Ca_1 + Aa_1 + C(1 + c_1)G_a\psi]$ ;  $A_2 = Bi_k + Cb_1$ ;  $A_3 = C(1 + c_1)0,077kF$ ;  
 $\eta_i$  – индикаторный КПД двигателя;  $V_a$  – скорость автомобиля, км/ч;  $A = \frac{358V_h i_0}{H_n \rho_T r_k}$ ,  
 $B = \frac{9V_h S_n i_0^2}{H_n \rho_T r_k^2}$ ,  $C = \frac{100}{H_n \rho_T}$  – постоянные для данного автомобиля коэффициенты;  
 $a_1$  – коэффициент, характеризующий потери в трансмиссии при её работе;  
 $b_1$  – коэффициент, характеризующий скоростные потери в трансмиссии;  $c_1$  – коэффициент, характеризующий потери в трансмиссии при передаче крутящего момента;  $G_a$  – вес автомобиля, Н;  $\psi$  – суммарное дорожное сопротивление;  $i_k$  – передаточное число КП;  $V_h$  – объём цилиндров двигателя, л;  $i_0$  – передаточное число главной передачи;  $H_n$  – низшая теплота сгорания топлива, кДж/кг;  $\rho_T$  – плотность топлива, г/см<sup>3</sup>;  $r_k$  – радиус качения колеса, м;  $S_n$  – ход поршня, м.

В общем виде данное уравнение расхода топлива записывается как

$$Q = \int_0^t Q_q dt, \quad (1.20)$$

где  $Q_q$  – часовой расход топлива, кг/ч;  $t$  – время движения, ч,

а скорость движения фиксировалась с помощью устройства для регистрации средней скорости движения, установленного на автомобиле.

При нормировании расхода топлива с учётом атмосферно-климатических условий суммарную норму расхода топлива (выражение 1.15) следует умножить на произведение

$$k_t k_h = (1,045 - 0,3 \cdot 10^{-2} t)(1 + 0,067 \cdot 10^{-3} h), \quad (1.21)$$

где  $t$  – температура окружающей среды,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $h$  – высота над уровнем моря, м.

При этом, как отмечает автор [161], действующие (на момент написания работы) нормы расхода топлива для порожнего автомобиля в среднем на 10% завышены, а для груженого явно, более чем в два раза занижены.

Введение понятия фазовых коэффициентов как интегральных показателей, характеризующих условия движения позволило получить расчётную формулу для определения путевого расхода топлива на участке маршрута (обозначения приводятся в редакции автора), л/100 км [160]:

$$Q_s = \left\{ \left[ A_G \omega^2 (K_{S_p} K_{V_p} K_{U_p}^2 + K_{S_y} K_{V_y} K_{U_y}^2 K_Q) + B_G \omega (K_{S_p} K_{U_p} + K_{S_y} K_{V_y} K_Q) + C_G \left( \frac{K_{S_p}}{K_{V_p}} + \frac{K_{S_y} K_Q}{K_{V_y}} \right) \right] (\tau - \tau_{xx}) + G_{xx} \tau_{xx} \right\} / 36 \rho L, \quad (1.22)$$

где  $A_G, B_G, C_G$  – постоянные для заданного двигателя коэффициенты;  $K_S, K_V, K_U$  – фазовые коэффициенты пути, скорости и передаточного числа КП в фазах разгона и установившегося движения:  $K_{S_j} = S_j / (L - S_H)$ ,  $K_{V_j} = V_j / V$ ,  $K_{U_j} = U_{к_j} / U_{к}$ ,  $S_j$  – путь, пройденный в  $j$ -ой фазе движения, м;  $S_H$  – путь, пройденный автомобилем накатом, м;  $V_j$  – средняя скорость движения в  $j$ -й фазе, м/с;  $V$  – средняя скорость автомобиля на участке маршрута, м/с;  $U_{к_j}$  – среднее передаточное число КП в  $j$ -ой фазе;  $U_{к}$  – среднее передаточное число КП на участке маршрута;  $\omega$  – средняя угловая скорость вала двигателя,  $\text{с}^{-1}$ ;  $K_Q$  – коэффициент коррекции часового расхода топлива в фазе установившегося движения;  $\rho$  – расчётная плотность топлива, кг/л;  $L$  – длина магистральной части маршрута, км;  $\tau$  – время движения на маршруте, с;  $\tau_{xx}$  – суммарное время холостого хода двигателя на маршруте, с;  $G_{xx}$  – средний часовой расход топлива при работе двигателя на холостом ходу, кг/ч.

При этом автор отмечает [160], что фазовый метод неприменим для немагистральных участков маршрута, для которых расход топлива определяется по существующим линейным нормам с учётом всех надбавок. Испытания проводились на магистральных перевозках инертных грузов, при этом фазовые характеристики режимов движения и расход топлива автомобилем регистрировались электронным режимомером РИАЛ-М и расходомером ПРТД.

Проведённые исследования позволили: предложить структурные и организационные изменения в системе нормирования расхода топлива на разных уровнях управления [160,161], внедрить механизированные методы учёта дорожных и транспортных условий работы автомобилей, включить основные результаты исследований в республиканскую программу по экономии топлива на АТП [161].

В работе О.Г. Гелашвили (МАДИ, 1983 г.) разработана теоретическая модель формирования линейного расхода дизельного топлива грузовыми автомобилями с учётом конкретного режима его работы на линии, установлены наиболее значимые показатели характеристики режима работы автомобиля на линии для целей расчёта расхода топлива на основе обобщенной модели движения грузового автомобиля с дизельным двигателем, применённой к автомобилям-самосвалам КамАЗ-5511 и МАЗ-5549 [66].

На основе разработанной автором методики прогнозирования минимального расхода дизельного топлива автомобилем и обоснования технической возможности и экономической эффективности использования автомобиля КамАЗ-5511 с самосвальным прицепом выявлены конкретные причины систематического перерасхода дизельного топлива автомобилями-самосвалами КамАЗ-5511, а также в адрес Госплана СССР и Минтранса РСФСР сделаны предложения по совершенствованию норм расхода дизельного топлива и их дифференциации по длине плеча ездки [66].

В работах А.В. Рузского (КАДИ, 1986 г.); Л.В. Аверичева (СибАДИ, 1994 г.); В.А. Зеера (ИрГТУ, 2008 г.); С.А. Маняшина (ТюмГНГУ, 2013 г.) проведены исследования расхода топлива с учётом специфики движения автомобилей в городских условиях на основе:

– методики оценки влияния городских условий движения на расход топлива и методики расчёта экономии топлива при внедрении прогрессивных методов управления дорожным движением применительно к автомобилям ВАЗ-2101, Москвич-2140, ГАЗ-24, ГАЗ-53А, ЗИЛ-130-76 [134];

– методики нормирования расхода сжиженного нефтяного газа при перевозке грузов в городских условиях автомобилями ЗИЛ-138, ГАЗ-52, ГАЗ-53-07 [28];

– методики дифференцирования норм расхода топлива с учётом времени стоянки автомобилей с работающим двигателем при низких температурах воздуха и алгоритмов отключения цилиндров двигателя на холостом ходу применительно к автомобилям-такси ГАЗ-3110 [81];

– разработанной имитационной модели процесса расхода топлива автомобилем при движении по типичному ездовому циклу в зимних условиях [117].

В работе [134] приведено практическое определение величины дополнительного расхода топлива на одну остановку  $q_S(V_p)$  как функции скорости разгона  $V_p$  после остановки и величины удельного расхода топлива при движении по перегону  $q_L(G_v)$  как функции условий (неравномерности) движения, оцениваемых градиентом скорости  $G_v$ , использовавшегося и в более ранних работах других учёных, в зависимости от уровня транспортной загрузки, длины перегона, числа полос, продолжительности задержки, положения автомобиля при разъезде очереди.

Определение  $q_S$  и  $q_L$  осуществлялось по нижеследующим выражениям и проверялось по результатам испытаний (замеров расхода топлива топливомером Т4П-2, конструкции НАМИ) в сухую погоду на горизонтальных участках дорог и городских магистралей протяженностью 1 км с ровным покрытием из мелкозернистого асфальтобетона для указанных автомобилей в два этапа – с остановкой и без (обозначения приводятся в редакции автора):

$$q_S = Q_{\text{ц}} - q_L(l_T + l_p), \text{ л/ост}, \quad (1.23)$$

где  $Q_{\text{ц}}$  – расход топлива за цикл «торможение – разгон», л;  $l_T, l_p$  – путь, пройденный автомобилем при торможении и разгоне, соответственно, км;

$q_L = a_0 + a_1 G_v + a_2 G_v^2 + a_3 G_v^3$  – для легковых автомобилей, л/км;  
 $q_L = a_0 + a_1 G_v + a_2 G_v^2$  – для грузовых автомобилей;  $G_v$  – градиент скорости,  $c^{-1}$ ,  
 учитывающий неравномерность скоростного режима и оценивающий изменение  
 расхода топлива;  $a_0, a_1, a_2, a_3$  – коэффициенты регрессии, полученные для ука-  
 занных автомобилей по методу наименьших квадратов.

Здесь уместно отметить, что входящий в выражение  $Q_{ц}$  средний часовой  
 расход топлива  $G_{тср}$  ( $Q_{тср}$  в выражении 1.10) в данной работе определён как сред-  
 нее арифметическое  $G_{тср} = \frac{G_{т1} + G_{т2}}{2}$  между начальным  $G_{т1}$  и конечным  $G_{т2}$  часовым  
 расходом топлива в расчётном интервале от начальной  $n_1$  и конечной  $n_2$  частоты  
 вращения коленчатого вала.

Согласно работе [28], потребность в топливе на конкретном маршруте пере-  
 возки груза определяется как (обозначения приводятся в редакции автора)

$$Q = \left( L_M Z_0 - L_x + \sum_{i=1}^k L_{ге_i} + \sum_{j=1}^m L_{x_j} + L_{н_1} + L_{н_2} \right) \frac{N_l}{100} + q_n \left( \sum_{i=1}^{Z_e} L_{ге_i} \gamma_i \right) \frac{N_p}{100}, \quad (1.24)$$

где  $L_M$  – протяжённость маршрута, км;  $Z_0$  – количество оборотов по маршруту;  
 $L_x$  – холостой пробег после заключительной операции разгрузки, км;  
 $L_{ге_i}$  – длина гружёной ездки, км;  $i$  – номер участка маршрута;  $k$  – количество ез-  
 док с грузом;  $L_{н_1}, L_{н_2}$  – протяжённость первого и второго нулевых пробогов, км;  
 $N_l$  – линейная норма расхода топлива на пробег автомобиля (определяется по дей-  
 ствующим нормам расхода топлива), л/100 км;  $q_n$  – номинальная грузоподъём-  
 ность транспортного средства, т;  $\gamma_i$  – коэффициент использования грузоподъём-  
 ности;  $N_p$  – норма расхода топлива на выполнение транспортной работы (опреде-  
 ляется по действующим нормам расхода топлива), л/100 т·км.

При этом полученные значения расходов сжиженного нефтяного газа для  
 изучаемых автомобилей оказались выше определяемых по нормам, поэтому автор  
 [28] предлагает нормировать расход сжиженного нефтяного газа для автомобилей  
 не посредством прямого пересчёта через коэффициент теплотворной способности,

а по установленному автором коэффициенту ( $\Delta = 1,15$ ), определяющему точное соотношение между фактическим и плановым расходом сжиженного газа.

При отсутствии движения (во время длительных стоянок в ожидании пассажиров) с работающим двигателем, расход топлива определяется [81]:

$$Q_{н\text{ХХ}} = \frac{G_{т\text{ХХ}} \cdot \tau_{ст}^{общ} \cdot \delta}{\rho_{т}}, \quad (1.25)$$

где  $G_{т\text{ХХ}}$  – часовой расход топлива на ХХ, кг/ч;  $\tau_{ст}^{общ}$  – общее время стоянок за смену, ч;  $\delta = \frac{\tau_{ст}}{\tau_{ст}^{общ}}$  – доля времени стоянок автомобиля с работающим двигателем;  $\rho_{т}$  – плотность топлива, г/см<sup>3</sup>.

Зависимость оборотного расхода топлива от степени открытия дроссельной заслонки и частоты вращения коленчатого вала двигателя описывается линейной моделью [117]:

$$q_{об} = q_0(t_{дв}) + a \cdot (\varphi - \varphi_0) + a_1 \cdot n_{дв}, \quad (1.26)$$

где  $q_0(t_{дв}) = q_{0\text{ХХ}} + a_2 \cdot (t_{дв0} - t_{дв})$  – значение оборотного расхода, мг, корректируемое в зависимости от температуры двигателя  $t_{дв}$ ;  $q_{0\text{ХХ}}$  – базовое значение оборотного расхода топлива на холостом ходу при рабочей температуре двигателя, мг;  $a$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  – параметры имитационной модели ездового цикла;  $t_{дв0}$  – рабочая температура охлаждающей жидкости, °С, определяемая оптимальными характеристиками системы охлаждения, получаемыми при проектировании ДВС и автоматически поддерживаемая термостатом;  $\varphi$  – степень открытия дроссельной заслонки, %;  $\varphi_0$  – минимальная степень открытия дроссельной заслонки, %, при работе прогретого до рабочей температуры двигателя на холостом ходу;  $n_{дв}$  – частота вращения коленчатого вала двигателя.

Проведённые исследования позволили: получить количественные характеристики влияния условий работы автомобилей на дополнительный расход топлива; обосновать рекомендации по его снижению методами организации дорожного движения; определить основные факторы, влияющие на дополнительный расход

топлива автомобилями при движении по городской магистрали с регулированием движения; использовать результаты исследований во «Временных методических указаниях по определению экономической эффективности технических средств и систем управления дорожным движением» ВНИИБД МВД СССР для обоснования проектируемых АСУД [134]; подтвердить экспериментальными исследованиями эффективность метода отключения цилиндров двигателя на режимах холостого хода [81]; разработать имитационные модели расхода топлива, моделирующие движение автомобиля в условиях низких температур по типичным городским ездовым циклам для ряда легковых автомобилей иностранного производства [117].

В работах Д.А. Захарова (ТюмГНГУ, 2000 г.); А.Г. Белова (ТюмГНГУ, 2004 г.); И.М. Шуваевой (ТюмГНГУ, 2005 г.) проведены исследования влияния зимних условий эксплуатации (отрицательных температур) на топливную экономичность двигателей на основе:

– установленной закономерности изменения температуры воздуха на входе в двигатель при эксплуатации автомобиля зимой; разработанной математической модели расхода топлива, учитывающей температурный режим систем питания и охлаждения двигателя; установленной закономерности изменения топливной экономичности на примере двигателя ЗМЗ-402 при эксплуатации автомобиля ГАЗ-3310 зимой [80];

– установленной закономерности влияния отрицательных температур окружающего воздуха и скорости движения автомобиля на температуру топлива на входе в двигатель и расход топлива при различных нагрузочных и скоростных режимах работы; установленной закономерности изменения топливной экономичности на примере автомобиля ЗИЛ-5301 с двигателем Д-245.12 при эксплуатации зимой [44];

– разработанной математической модели, описывающей влияние температуры воздуха, нагрузки, частоты вращения коленчатого вала на удельный расход при прогреве на примере автомобилей ВАЗ-21102 при имитации городского цикла движения по ГОСТ-20306-90 [164].

Зависимость часового расхода топлива  $G_T$  от температуры воздуха на входе в двигатель  $t_y$  (в диапазоне  $-30 - +90$  °C), температуры охлаждающей жидкости двигателя  $t_{ож}$  (в диапазоне  $40 - 80$  °C), температуры топлива на входе в двигатель  $t_{топ}$  (в диапазоне  $0 - 20$  °C) имеет вид (обозначения приводятся в редакции автора) [80]:

$$G_T = G_0 + S_1(t_y - t_0)^2 - S_2 t_{ож} + S_3 t_{топ}, \quad (1.27)$$

где  $G_0=1,0-12,5$  – минимальный расход топлива, л/ч, для заданного режима работы двигателя ( $n = 700, 1500, 2500, 3500$  мин<sup>-1</sup>,  $P = 0, 2,8, 5,6$  кгс·м);  $t_y = t_{0.хх} + S_t t_{нар} + S_v V_a$  – фактическая установившаяся температура воздуха на входе в двигатель, °C;  $t_{0.хх} = 20-45$ , °C – температура воздуха на входе при работе двигателя на холостом ходу и температуре наружного воздуха  $0$  °C;  $S_t$  ( $S_1$ ) – параметр чувствительности, (л/ч)/(°C)<sup>2</sup>, к изменению температуры наружного воздуха  $t_{нар}$  в диапазоне от  $-33$  °C до  $+15$  °C;  $S_v$  – параметр чувствительности, °C/(км/ч), к изменению скорости движения по температуре воздуха на входе в двигатель;  $V_a = 0-60$  – скорость движения автомобиля, км/ч;  $t_0 = 30-60$  °C – оптимальное значение температуры на входе в двигатель;  $S_1$ , (л/ч)/(°C)<sup>2</sup>;  $S_2, S_3$ , (л/ч)/°C – параметры чувствительности к изменению соответственно температуры воздуха, охлаждающей жидкости, топлива.

При этом при прогреве двигателя в условиях низких температур оборотный расход топлива описывается уравнением вида (обозначения приводятся в редакции автора) [164]:

$$q_{об} = a + S_1(t_0 - t_{дв})^2 - S_2 \varphi, \quad (1.28)$$

где  $t_0$  – оптимальная по расходу топлива температура двигателя;  $t_{дв}$  – температура двигателя;  $S_2$  – параметр чувствительности по расходу топлива к изменению степени открытия дросселя  $\varphi$ .

Применение методики оптимизации температурного режима двигателя при эксплуатации автомобилей зимой (положение шланга забора воздуха – «зима»,

«лето», утеплительный чехол радиатора) позволяет уменьшить расход топлива на 2,0-3,5%.

При этом автор отмечает [80], что недостатком предлагаемой методики стендовых испытаний ДВС на топливную экономичность с использованием наружного воздуха с низкой температурой является необходимость проведения экспериментальных исследований в зимний период года. Также средняя скорость движения автомобилей определялась как среднее значение фактических скоростей движения в течение 1-го месяца [44] либо по экспериментальным заездам с соблюдением указаний ГОСТ-20306-90 [164].

Проведённые исследования позволили: создать методику оптимизации температурного режима двигателя при эксплуатации автомобилей зимой [80]; разработать методику дифференцированного корректирования линейных норм расхода топлива при эксплуатации дизельных автомобилей в условиях отрицательных температур окружающего воздуха [44]; разработать методику нормирования расхода топлива легковыми автомобилями с учётом температуры окружающей среды, количества и продолжительности стоянок с неработающим двигателем [164].

В работах А.Н. Чистякова (ТюмГНГУ, 2006 г.); Г.С. Федоровой (ТюмГНГУ, 2006 г.); Д.А. Чайникова (ТюмГНГУ, 2010 г.); А.В. Нургалева (ТюмГНГУ, 2011 г.) проведены исследования влияния неравномерности движения [156], повышенных скоростей движения [153], массы перевозимого груза [155], дорожных условий [123] на топливную экономичность двигателей на основе:

– пространственно-временного подхода, учитывающего суровость условий эксплуатации и приспособленность автомобилей к ним; разработанной методики аналитического определения уровня приспособленности автомобилей конкретных марок и моделей к неравномерности движения по расходу топлива на основе их технических характеристик [156];

– двухфакторной математической модели приспособленности, описывающей изменение расхода топлива в зависимости от повышенных скоростей движения при низкой температуре окружающего воздуха [153];

– закономерности изменения расхода топлива автомобилей под влиянием массы груза, представляющей собой кусочно-линейную математическую модель применительно к грузовым автомобилям [155];

– двухфакторной математической модели совместного влияния состояния дорожного покрытия и степени загрузки АТС на расход топлива [123].

Автором [156] предложена и экспериментально проверена (для легковых автомобилей ВАЗ) рабочая гипотеза, что зависимость расхода топлива  $q$ , л/100 км, от индекса неравномерности движения описывается линейной моделью приспособленности (обозначения приводятся в редакции автора):

$$q = q(V) + S_u \cdot h_u, \quad (1.29)$$

где  $q(V)$  – расход топлива как функция установившейся равномерной скорости движения  $V$ , численное значение которой определяется как фактическая средняя скорость, л/100 км;  $S_u = \frac{\Delta q_u}{h_u} = \frac{\Delta q_u}{1,225 \cdot \bar{a}} = 0,82 \frac{\Delta q_u}{\bar{a}}$  – показатель приспособленности автомобилей к неравномерности движения по расходу топлива, л/(100 км  $R$ );  $\Delta q_u$  – дополнительный расход топлива, связанный с неравномерностью движения, л/100 км;  $h_u = \frac{12 \cdot \bar{a}}{g} = 1,225 \cdot \bar{a}$  – показатель (индекс) неравномерности движения (в качестве показателя неравномерности автором принято среднее ускорение на маршруте  $\bar{a} = \frac{\sum_i^n a_i L_i}{L}$ , м/с<sup>2</sup>, которое затем переводится в индекс неравномерности, значения которого изменяются в диапазоне  $0R \leq h_u \leq 12R$  (шкала суровости условий эксплуатации); здесь  $n$  – число участков разгона;  $a_i$  – ускорение на  $i$ -ом участке разгона;  $L_i$  – длина участка, м, на котором достигнуто ускорение  $a_i$ ,  $L$  – общая длина маршрута, м).

Значения  $q(V)$ , определены экспериментально или с использованием топливной характеристики установившегося движения для скорости 30 км/ч, эта скорость выбрана автором на основе анализа городских ездовых циклов ГОСТ 20306-90. Кроме того, основываясь на ГОСТ 20306-90, можно вычислить значения показателя неравномерности движения  $h_u$  для магистрального и городского циклов

испытания для различных типов подвижного состава без проведения дополнительных дорогостоящих экспериментов.

Нормирование расхода топлива при наличии неравномерности движения производится по следующему выражению [156] (обозначения приводятся в редакции автора):

$$\Delta q_u = q_{so} \cdot M_a \cdot \delta \cdot \bar{a}, \quad (1.30)$$

где  $q_{so}$  – удельный расход топлива, л/100 Н·км, (количество топлива, затрачиваемого автомобилем на единицу работы индикаторной силы тяги; использование автором этого показателя связано с тем, что в процессе движения величина  $q_{so}$  в отличие от удельного эффективного расхода топлива  $g_e$  остается практически неизменной);  $\delta$  – коэффициент учёта вращающихся масс;  $M_a = \frac{P \cdot i_{тр}}{n \cdot r_k \cdot a}$  – приведённая масса автомобиля (с приведением всех вращающихся масс к радиусу колеса);  $P$  – мощность двигателя, Вт, которая имеется для обеспечения ускорения (неравномерности движения) и определяемая как разность между мощностью, требующейся при данных условиях для преодоления сопротивления движению и мощностью, подводимой к ведущим колесам;  $i_{тр}$  – КПД трансмиссии;  $n$  – частота вращения коленчатого вала двигателя, мин<sup>-1</sup>;  $r_k$  – радиус качения колеса, м.

Таким образом, неравномерность движения автомобилей при определении расхода топлива может быть учтена средними значениями ускорений на заданном маршруте, при этом влияние скорости движения автомобиля на расход топлива производится аналогично с помощью значений показателя приспособленности автомобилей к повышенным скоростям движения по расходу топлива и показателя скорости движения, определяемого по шкале суровости  $0R \leq h_u \leq 12R$  [153].

Учёт массы груза на расход топлива при использовании коэффициента суровости производится по выражению [1557] (обозначения приводятся в редакции автора):

$$Q_\phi = Q_0 + m \cdot \left( \sum_{i=0}^{n_1} S_{1i} + \sum_{i=0}^{n_2} S_{2i} + \sum_{i=n_2}^{n_3} S_{3i} \right), \quad (1.31)$$

где  $Q_0$  – значение расхода топлива порожнего автомобиля, л/100 км;  $m$  – единица массы перевозимого груза (1 т);  $S_1, S_2, S_3$  – значения параметров чувствительности в соответствующем интервале суровости, л/100 км;  $n_1, n_2, n_3$  – количество полных тонн груза (прицепа/полуприцепа) в интервале суровости.

Зависимость расхода топлива автомобиля от показателя приращения коэффициента сопротивления качению и коэффициента использования грузоподъемности описывается двухфакторной математической моделью приспособленности [123] (обозначения приводятся в редакции автора):

$$q = q(V) + S_f \cdot \Delta f \cdot 10^3 + S_\gamma \cdot \gamma + S_{f\gamma} \cdot \Delta f \cdot \gamma \cdot 10^3, \quad (1.32)$$

где  $q(V)$  – оптимальный расход топлива автомобиля в снаряжённом состоянии в стандартных условиях, представляющий собой функцию от скорости движения, л/100 км;  $S_f = \frac{\Delta Q_f}{\Delta f \cdot 10^3}$  – параметр чувствительности к изменению коэффициента сопротивления качению  $f$ ;  $\Delta Q_f$  – дополнительный расход топлива, л/100 км, обусловленный изменением состояния дорожного покрытия;  $\Delta f = f_\phi - f_0$  – показатель, характеризующий тип и состояние дорожного покрытия;  $f_\phi$  – фактическое значение  $f$ ;  $f_0$  – значение  $f$  в стандартных условиях (минимально возможное значение для данного автомобиля);  $S_\gamma = \frac{\Delta Q_\gamma}{\gamma}$  – параметр чувствительности к изменению коэффициента использования грузоподъемности  $\gamma$ ;  $\Delta Q_\gamma$  – дополнительный расход топлива, обусловленный изменением степени загрузки автомобиля, л/100 км;  $S_{f\gamma} = \frac{\Delta Q_{f\gamma}}{\Delta f \cdot \gamma \cdot 10^3}$  – параметр чувствительности к совокупному изменению дорожного покрытия и степени загрузки АТС.

Проведенные исследования позволили: разработать методику дифференцированного корректирования норм расхода топлива, учитывающую неравномерность движения и приспособленность автомобилей к этому фактору [156]; разработать методику дифференцированного корректирования норм расхода топлива в зависимости от различных скоростей движения при низких температурах окру-

жающего воздуха и различных уровней приспособленности автомобилей [153]; разработать методику дифференцированного корректирования норм расхода топлива автомобилей с разными полными массами, к перевозке грузов [155]; разработать методику дифференцированного корректирования норм расхода топлива для автомобилей, эксплуатируемых на дорогах IV – V категорий [123].

Кроме того, *обзор диссертационных работ по специальности 05.05.03 «Колёсные и гусеничные машины»* в области совершенствования методов определения топливно-экономических качеств и характеристик автомобилей за последние 30 лет (с 1984 года) выявил, что:

– разработан (Завод-ВТУЗ при ЗИЛ, 1984 г.) метод исследования топливно-скоростных качеств автомобилей, обеспечивающий выбор параметров конструкции и показателей рассматриваемых свойств с учётом однородности продукции на примере грузовых автомобилей ЗИЛ [99];

– на основе разработанной в МАДИ (Я.Е. Фаробиным) методики выбора состава и полной массы автопоездов, определяющей рациональные технические параметры при оптимизации комплексного критерия – условной удельной производительности (обозначения приводятся в редакции автора):

$$W_Q = \frac{G_{\text{ап}} \cdot V_{\text{ср}}}{Q_s}, \quad (1.33)$$

который является комплексным оценочным показателем, связывающим обобщённые показатели тягово-скоростных свойств и топливной экономичности разработана (МАДИ, 1984 г.) аналитическая методика выбора и оптимизации полной массы автопоездов для конкретных условий эксплуатации с учётом эффективного использования ресурса двигателя и расхода топлива [149];

– разработана (КАДИ, 1986 г.) аналитическая методика определения расхода топлива прицепным автопоездом (применительно к автопоездам ЗИЛ-ММЗ-554М с прицепом КАЗ-4540 и ГАЗ-САЗ-4509) с использованием указанного выше комплексного критерия – условной удельной производительности

на основе топливного баланса прицепного автопоезда, л/100 км [62] (обозначения приводятся в редакции автора):

$$Q_s = Q_{se} + Q_{сдор} + Q_{sw} + Q_{sjap} + Q_{s\eta} + Q_{sjk}, \quad (1.34)$$

где  $Q_{se}$  – затраты топлива вследствие тепловых и механических потерь в двигателе и привод вспомогательного оборудования – условно определяют эффективность использования той части сжигаемого топлива, которую необходимо затратить на преодоление различного рода потерь в самом двигателе;  $Q_{сдор}$ ,  $Q_{sw}$ ,  $Q_{sjap}$ ,  $Q_{s\eta}$ ,  $Q_{sjk}$  – соответственно затраты топлива на преодоление сопротивления дороги и воздушной среды, при ускоренном поступательном движении автопоезда и при ускоренном вращении деталей трансмиссии тягача и всех колес – условно оценивают затраты топлива для обеспечения требуемой эффективной мощности двигателя, снимаемой с его коленчатого вала для движения автопоезда (величина этой мощности приравнивается к затратам мощности на преодоление внешних сопротивлений движению автопоезда и на прокручивание его трансмиссии).

При расчётах расхода топлива  $Q_s$  использованы заводские скоростная внешняя и скоростные частичные и нагрузочные характеристики двигателей, которые аппроксимированы эмпирическими зависимостями [62].

При этом, алгоритм приближённого аналитического метода определения скорости движения  $V_{ап}$  автопоезда при движении по дороге с заданным коэффициентом  $\psi$  сопротивления дороги построен таким образом, что посредством метода «перебора» находится такое значение динамического фактора  $D_i$ , при котором выполняется условие  $(D_i - \psi_{ап}) \geq 0$ , а также указывается и ближайшее следующее значение  $D_{i+1} < \psi_{ап}$ . Именно для значения  $D_i$  вычисляются соответствующие ему величины скорости  $V_{апi}$  автопоезда на заданной передаче, которое корректируется с учётом среднего коэффициента буксования  $S_{б.с}$  ведущих колес автомобиля-тягача, установленного по экспериментальным аппроксимированным зависимостям. Вместе с тем, как отмечает автор [62], целью работы является комплексный подход к выбору конструкционных параметров автомобилей-тягачей и прицепов на основе разработки методов оценки топливной экономичности.

– произведена оценка (МАДИ, 1992 г.) согласованности двигателя, трансмиссии и АТС для обеспечения заданного уровня топливных и скоростных свойств с помощью комплексного критерия технико-экономической эффективности автопоезда или грузового автомобиля, на примере ЗИЛ-4331 [147]:

$$K_{Т-э\text{э}} = \frac{m_a \cdot V_{\text{ср}}}{\overline{G}_T}, \quad (1.35)$$

где  $m_a$  – полная масса АТС, т;  $\overline{G}_T$  – средний часовой расход топлива, л/ч.

При этом отмечается [147], что показатели топливных и скоростных свойств должны рассматриваться совместно в отличие от действующих государственных стандартов.

– рассмотрены пути улучшения топливной экономичности городских автобусов ЛиАЗ-5256 за счёт оптимизации режимов движения и параметров дизельного двигателя и трансмиссии [34]: соответственно целям работы дополнительно к стандартному городскому циклу предложены циклы «лёгкий», «тяжёлый» и «особо тяжёлый», учитывающие условия движения автобусов и наличие уклонов на городских маршрутах. Кроме того, разработана методика расчета [64] и предложены пути улучшения [84] тягово-скоростных и топливно-экономических характеристик автобуса с гидромеханической передачей.

– предложена система методов расчёта топливной экономичности и скоростных свойств автомобилей на основе разработанного метода поэлементного анализа с учётом потерь при движении автомобилей и работе их агрегатов (потери в трансмиссии, сопротивление качению и движению, аэродинамическое сопротивление, потери на привод вспомогательных механизмов) [63,119].

На основе проведенных исследований установлено, что применение параметра  $g_e$ , г/кВт·ч, не позволяет достигнуть необходимой точности моделирования движения автомобиля в широком диапазоне режимов (в т.ч. на уклонах, при остановках) в виду того, что главным фактором, определяющим численное значение  $g_e$ , является не совершенство рабочего процесса двигателя, а удельный вес механических потерь двигателя в топливном балансе автомобиля. Поэтому авторами

предлагается другой показатель топливно-экономических свойств – удельный индикаторный расход топлива  $g_{is}$ , г/Н·100км:

$$g_{is} = \frac{1000}{h_u} + \left( \frac{1000 \cdot Q_S \cdot \rho \cdot h_u - P_i \cdot S}{h_u \cdot P_i \cdot S} \right), \quad (1.36)$$

где  $h_u$  – низшая теплотворная способность топлива, Дж/кг;  $Q_S$  – путевой расход топлива, л/100 км;  $\rho$  – плотность топлива, кг/м<sup>3</sup>;  $P_i$ , Н – сумма сил сопротивления движению автомобиля, приведённых к его колёсам,  $S$  – пройденное расстояние, м.

Численное значение  $g_{is}$  определяет затраты топлива, необходимые для получения механической работы в 100000 Дж, что эквивалентно работе, затрачиваемой на преодоление силы в 1 Н на пути 100 км. Первое слагаемое уравнения (1.36) характеризует удельные затраты топлива, необходимые для совершения механической работы, второе – тепловые потери, связанные с преобразованием этой работы в механическую энергию.

Вместе с тем, целью указанных работ, кроме разработки самого метода [119], являлась разработка нового метода регулирования выбросов вредных веществ в атмосферу [63].

– изложены принципы улучшения топливной экономичности отечественных автопоездов на основе предложенного безразмерного комплексного критерия оценки эксплуатационной эффективности автомобиля [95]:

$$\eta_a = \frac{V_{cp}}{i_0 \cdot \rho_{cp} \cdot H_u \cdot G_T} \cdot \sqrt{\frac{M_e \cdot m_{гр} \cdot g}{r_k}}, \quad (1.37)$$

где:  $V_{cp}$  – средняя скорость, м/с;  $i_0$  – передаточное число главной передачи (ГП);  $\rho_{cp}$  – средняя плотность ряда передаточных чисел высших ступеней трансмиссии;  $H_u$  – низшая теплотворная способность топлива, Дж/кг;  $G_T$  – средний на маршруте массовый расход топлива, кг/с;  $M_e$  – максимальный крутящий момент двигателя, Н·м;  $m_{гр}$  – масса перевозимого груза, кг;  $r_k$  – радиус качения ведущих колес, м.

Для тех случаев, когда  $\rho_{\text{ср}}$  теряет смысл (движение без переключения передач механической коробки передач или при установке бесступенчатой трансмиссии) выражение (1.37) преобразуется:

$$\eta_a = \sqrt{\frac{V_{\text{ср}} \cdot m_{\text{гр}} \cdot g}{\rho_{\text{т}} \cdot Q_{\text{ср}} \cdot H_u^2}}, \quad (1.38)$$

где:  $Q_{\text{ср}}$  – расход топлива на единицу пути, л/м;  $\rho_{\text{т}}$  – плотность топлива, кг/л.

Проведенные исследования позволили рекомендовать конструкционные параметры двигателя и трансмиссии АТС, обеспечивающих показатели топливной экономичности на уровне современных зарубежных аналогов.

В заключение следует отметить, что существует достаточное количество не указанных выше как диссертационных исследований, так и научных работ, охватывающих вопросы тягово-скоростных и топливно-экономических характеристик АТС, но, согласно целям работы, проблемы составления аналитических методов расчёта и нормирования расхода топлива в них отведены на второй план либо не затронуты вовсе, поскольку авторы ставили перед собой другие цели.

### 1.3 Выводы по разделу 1 и задачи исследования

Анализ нормативных актов в области нормирования расхода топлив показал, что кроме качественного изменения в нормировании расхода топлива в 1960 году (учёт выполненной транспортной работы, дифференциация по дорожным и климатическим условиям и др.), определения порядка проведения испытаний для определения скоростных свойств АТС и их топливной экономичности, используемых впоследствии НИИАТ при разработке «Методики определения базовых норм расхода топлива на автомобильном транспорте» не произошло каких-либо других качественных изменений: снизились некоторые нормы и надбавки, увеличился модельный ряд, для которых утверждались нормы, добавились корректирующие коэффициенты и виды используемого топлива.

Предложенные значения базовых линейных расходов топлив различных моделей автомобилей основаны на рекомендациях производителей автотранспортной техники, основаны на ранее осуществленных полигонных испытаниях подобной техники, либо рассчитаны по разработанной в 1996 г. НИИАТ и утвержденной бессрочно Минтрансом методике определения базовых норм расхода топлива. Реальные расходы топлив отличаются от полученных по Нормам значений как в большую так и в меньшую сторону, и чаще всего не соответствуют действительности, поскольку не учитывают следующие, значительно влияющие на расход топлива, факторы:

- **состояние дорожной поверхности** по маршруту следования [36, 45, 47, 59, 60, 72, 101];

- **скорость движения АТС по маршруту следования** [41, 42, 49, 51, 54, 55, 58, 69, 85, 96, 114];

- **часовой расход топлива двигателем или удельный эффективный расход топлива** [29, 30, 33, 39, 46, 52, 53, 57, 58, 70, 131, 135, 146, 148] (действующая надбавка на работу двигателя на стоянке (1 час простоя с работающим двигателем соответствует 10 км пробега автомобиля) установлена для любых автомобилей, что не соответствует действительности).

Кроме этого, вызывают сомнения значения коэффициентов  $H_d$  и  $H_w$ , поскольку они были установлены для автомобилей, давно снятых с производства и не могут быть адекватно применены для современной техники.

Кроме того, к настоящему времени проведено множество научных работ в области определения тягово-скоростных и топливно-экономических характеристик АТС [65, 67, 77, 86, 94, 116, 128, 132, 133, 152, 159, 165-170], в результате которых разработаны методики определения и корректирования расхода топлива автомобилей, но они, как правило, учитывают один либо несколько недостатков существующей законодательно методики, изложенной в Нормам. В других случаях предлагаются дополнительные коэффициенты, либо показатели оценки работы АТ с точки зрения топливной экономичности.

Между тем, методика расчёта и нормирования расхода топлива должна иметь целостный характер, наиболее полно учитывающий специфику работы различных видов АТ и имеющий подтверждение с научной и практической точки зрения [25]. Аналитические методы дают возможность определения расхода топлива в условиях ограниченности времени, финансирования экспериментов, исходных данных о маршруте и т.д., поэтому они предпочтительнее в условиях работы современных АТП.

В соответствии с поставленной целью и проведенным анализом состояния вопроса были определены следующие основные задачи исследования:

1) разработать методику определения средних скоростей движения АТС по участкам маршрутов с учётом наиболее вероятных их значений для последующего прогнозирования расходов топлива;

2) усовершенствовать существующую методику построения топливно-экономической характеристики АТС введением операции построения циклограммы расхода топлива при вариации условий эксплуатации;

3) разработать вероятностно-аналитическую методику прогнозирования расхода топлива автопоездами с учётом средних скоростей их движения;

4) произвести оценку степени соответствия расчётных и экспериментальных значений расходов топлива автопоездами при фактических распределениях скоростей движения по участкам маршрутов;

5) разработать практические рекомендации по использованию результатов исследований в автопредприятиях и оценить их эффективность.

## РАЗДЕЛ 2. РАЗРАБОТКА ВЕРОЯТНОСТНО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ МЕТОДИКИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАСХОДА АВТОМОБИЛЬНЫХ ТОПЛИВ

В общем случае существующие методики определения расхода топлива АТС можно разделить на следующие группы:

– **экспериментальные** (проведение длительных испытаний-замеров расхода топлива для АТС в данных условиях эксплуатации – в результате предлагаются эмпирические коэффициенты или аппроксимирующие зависимости);

– **статистические** (сбор и обработка статистических данных в условиях конкретных АТП в различных условиях эксплуатации – в результате также предлагаются эмпирические коэффициенты или аппроксимирующие зависимости);

– **аналитические** (расчёт либо корректировка нормируемого значения расхода топлива при известных исходных данных АТС и маршрута движения).

Обзор диссертационных работ по специальностям 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта» и 05.05.03 «Колесные и гусеничные машины» за последние 30 лет (начиная с 1983 г.) показал, что наибольшее предпочтение уделено экспериментальным и статистическим методам определения расхода топлива. Вместе с тем, именно аналитические методики в силу их естественных преимуществ – отсутствие необходимости проведения длительных и дорогостоящих экспериментов, минимум затраченного времени для получения результата и т.д. – необходимы для практического использования работниками АТП [25].

В общем виде последовательность расчёта по предлагаемой вероятностно-аналитической методике состоит из постановки нескольких задач, последовательное решение которых позволяет получить (планировать) приближенное к фактическому значению расхода топлива на маршрутах (рис. 2.1):

– определение максимальной допустимой массы груза (пассажигов) – для более полного использования грузоподъемности (пассажировместимости) АТС и, как следствие – повышение эффективности их использования (Приложение П1);

- определение средней скорости движения АТС по маршруту – для составления графиков работы АТС в заданный период;
- построение топливно-экономической характеристики АТС при работе в заданных условиях – для определения наиболее экономичных режимов движения в заданных условиях;
- построение циклограммы расхода топлива – для определения близких к фактическим значений расходов топлива в заданных условиях.



Рис. 2.1. Этапы аналитической методики прогнозирования расхода топлив

При необходимости учёта специфических условий эксплуатации (неравномерность движения, низкие температуры и т.д.) полученное значение расхода топлива можно корректировать с использованием предлагаемых в научной литера-

туре эмпирических или аппроксимирующих зависимостей, полученных в результате диссертационных исследований за последние 30 лет.

## 2.1 Определение средней скорости движения по маршруту

Основное назначение автомобиля состоит в перевозке пассажиров или грузов, либо в транспортировании специального несъемного оборудования. Работа автомобиля характеризуется рядом показателей: средней скоростью, грузоподъемностью, временем нахождения в наряде и т.д. [107,108,122].

Метод определения средней скорости движения автомобиля, как основного показателя динамичности, с использованием математического аппарата теории вероятностей, позволяет учитывать ряд факторов, влияющих на движение:

- факторы, определяющие сопротивление движению;
- факторы, не связанные с изменением сопротивлений, но тем не менее вынуждающие водителя изменять скорость при движении;
- факторы, присущие системе «водитель-автомобиль».

К первой группе факторов можно отнести тип дороги (учитывается через сопротивление качению) и местность (учитывается через величины продольных уклонов), в которой проложена эта дорога.

Ко второй группе факторов относятся интенсивность и состав потока автомобилей, состояние дороги (сухая, мокрая и т.п.) метеорологические условия (туман, дымка, осадки и т.п.), ветровой режим, освещенность (день, сумерки), наличие и крутизна поворотов дороги, поперечные уклоны, ширина проезжей части и количество перекрестков, регулирование движения и т.п.

К третьей группе факторов можно отнести техническое состояние автомобиля, правильность регулировок механизмов трансмиссии (потери мощности, которые имеют место в двигателе, трансмиссии и ходовой части автомобиля), навыки, техника вождения и психологическое состояние водителя и т.п.

Обращает на себя внимание то обстоятельство [122], что ни один из выше-рассмотренных факторов не остаётся по отношению к движущемуся автомобилю

постоянным на всем маршруте. При этом изменение каждого из факторов от участка к участку маршрута является с точки зрения водителя случайным.

Методика определения средней скорости автомобиля в данных условиях движения сводится к следующей последовательности [35,105,122,126,127,154].

### Шаг 1. *Определение максимальных скоростей $V_i$ для каждой передачи.*

Максимальная скорость движения автомобиля  $V_i$  при заданном числе оборотов КВ, входящая в выражение (1.9) и определяемая как  $V_i = 0,377 \frac{n_e \cdot r_k}{i_{кп} \cdot i_0}$ , км/ч, является максимальной «конструкционной» скоростью, подводимой к опорной поверхности и используется для определения динамических характеристик (возможностей) автомобиля. Тем не менее, использование в эксплуатационных расчетах значений скоростей, полученных по данной зависимости нецелесообразно, т.к. они никогда не будут реализованы при движении. Для методики расчёта средних эксплуатационных скоростей движения автомобиля по маршруту предлагается выражение реализуемой скорости движения с учётом технических параметров автомобиля:

$$V_i = 3,6 \eta_{тр} \frac{P_e^s}{F_T}, \text{ км/ч,} \quad (2.1)$$

где  $\eta_{тр} = \eta_{кп}^k \cdot \eta_{цп}^m \cdot \eta_k^l \left(1 - \frac{T_{тр}}{T_e^{max}}\right)$  – КПД трансмиссии (в силу очевидной сложности определения момента трения в трансмиссии  $T_{тр}$  принимается в диапазоне  $\eta_{тр} = 0,80-0,93$ );  $P_e^s$  – максимальная эффективная мощность двигателя, Вт, определяемая по значениям оборотов двигателя  $n_e$ ;  $F_T = \frac{T_e i_{тр} \eta_{тр}}{r_d}$  – сила тяги на ведущих колесах, Н;  $T_e$  – крутящий момент двигателя, Н·м, соответствующий максимальной эффективной мощности;  $i_{тр} = i_{кп} i_0$  – общее передаточное отношение трансмиссии;  $i_{кп}$  – передаточное отношение коробки передач;  $i_0$  – передаточное отношение главной передачи;  $r_d \approx r_c = \frac{d}{2} + B_{ш} \cdot \Delta_{ш} \cdot \lambda_z$  – динамический радиус ведущего колеса, м;  $r_c$  – статический радиус шин, м;  $d$  – посадочный диаметр колеса, м;  $B_{ш}$  – ширина профиля шины, м;  $\Delta_{ш} = H/B$  – отношение высоты профиля шины

к ее ширине, %;  $\lambda_z = 0,9$  – коэффициент вертикальной деформации шины (для шин грузовых автомобилей); 3,6 – коэффициент перевода размерности  $V_i$  из м/с в км/ч.

Выражение для определения динамического радиуса колеса принято для приближённых вычислений для радиальных шин по ГОСТ 17393-72 при скорости движения автомобиля 60 км/ч [97, 98, 104, 140, 141].

Следует отметить, что значения скоростей, рассчитанных по выражению (2.1) меньше максимальных «конструкционных» на 15 – 20%, что в достаточной степени отражает потери в трансмиссии, поэтому их использование в определении скорости движения автомобиля увеличивает общую точность расчётов.

Кроме того, использование выражения (2.1) уменьшает количество этапов определения средней скорости (в сравнении с ранней методикой [122]), что также снижает погрешность расчётов и несколько упрощает методику.

Для построения адекватной динамической характеристики необходимо минимум 5 значений скоростей [105, 121, 126, 127, 151, 157]. Минимальная скорость на передаче определяется при максимальном крутящем моменте на малых оборотах, в области более низких оборотов (например, оборотов холостого хода) происходит резкое снижение крутящего момента, что приводит к неустойчивости работы двигателя и высокой вероятности его остановки.

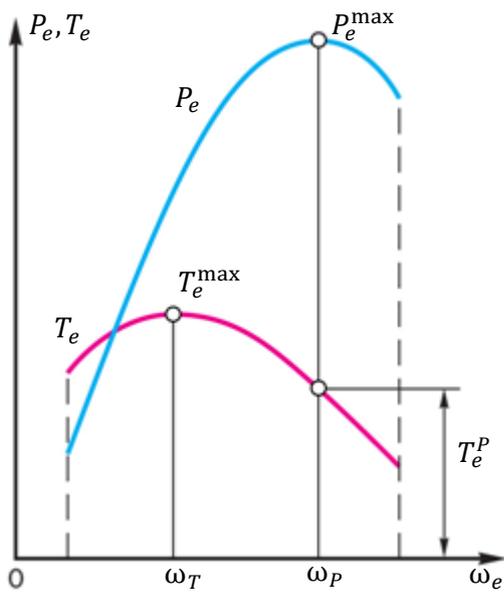
Шаг 2. *Построение динамической характеристики автомобиля* (определение значений динамических факторов для каждой из передач  $D_i$ ):

$$D_i = \frac{F_{Ti} - F_{wi}}{G_{атс}}, \quad (2.2)$$

где  $F_w = \frac{W \cdot V_i^2}{12,96}$  – сила аэродинамического сопротивления, Н, при заданной скорости (коэффициент  $\frac{1}{3,6^2} = \frac{1}{12,96}$  ставится, если скорость указывается в км/ч, а не в м/с);  $W = \frac{c_x \cdot \rho_B \cdot F}{2}$  – фактор обтекаемости;  $c_x$  – коэффициент обтекаемости;  $\rho_B = 1,225$  кг/м<sup>3</sup> – плотность воздуха;  $F = B_K \cdot H$  – площадь миделева сечения,

$\text{м}^2$ ; (здесь:  $B_{\text{к}}$  – колея автомобиля, м;  $H$  – высота АТС, м;  $G_{\text{атс}}$  – полный вес АТС, Н (включая водителя и пассажиров)).

Здесь нужно отметить, что при расчёте силы тяги для определения средней скорости по маршруту следует брать значение не максимального крутящего момента (как для тягового режима, по внешней скоростной характеристике – ВСХ, рис. 2.2), а значение крутящего момента  $T_e^P$  при максимальной эффективной мощности (для мощностного режима).



**Рис. 2.2. Внешняя скоростная характеристика двигателя**

При отсутствии ВСХ конкретного двигателя значение  $T_e^P$  можно приближенно определить через коэффициент использования крутящего момента  $k_T$  [154]:

$$k_T = \frac{T_e^{\max}}{T_e^P} = 1,05 \dots 1,2. \quad (2.3)$$

Кроме того, для определения величины фактора обтекаемости  $W$  обычно используются значения коэффициента обтекаемости  $c_x$ , полученные по результатам испытаний в аэродинамической трубе или на дорогах при нуле-

вом угле натекания воздушного потока ( $c_{x0}$ ) и приведённые в общеизвестных учебных и научных публикациях по теории автомобиля. Однако в реальных условиях эксплуатации автопоезд, как правило, движется под воздействием боковых ветров [71, 74, 75, 125]. При этом угол натекания воздушного потока определяется «розой ветров», характеризующей силу и направление ветра. Для отечественных автомагистралей вероятный угол встречного ветра составляет  $5-14^\circ$ , для некоторых европейских стран –  $5-9^\circ$  [74], соответственно, коэффициент обтекаемости определится по выражению [74, 75]:

$$c_x = c_{x0} + k_\beta \cdot \beta, \quad (2.4)$$

где  $k_\beta$  – коэффициент учета угла натекания воздушного потока;  $\beta, ^\circ$  – угол натекания воздушного потока.

В зависимости от типа автопоезда его аэродинамическое сопротивление при увеличении угла натекания потока от  $0^\circ$  до  $20^\circ$  может вырасти вдвое (табл. П.2.1).

Изложенные данные могут быть использованы при проведении расчётных исследований по прогнозированию расхода топлива [74] и согласуются с данными производителей АТС [32, 37, 38, 78, 79, 89, 90, 103, 113, 118, 120, 137, 138, 158].

В результате строится динамическая характеристика АТС (рис. 2.3) как функции  $D_i = f(V_i)$  для всех существующих передач КП АТС.

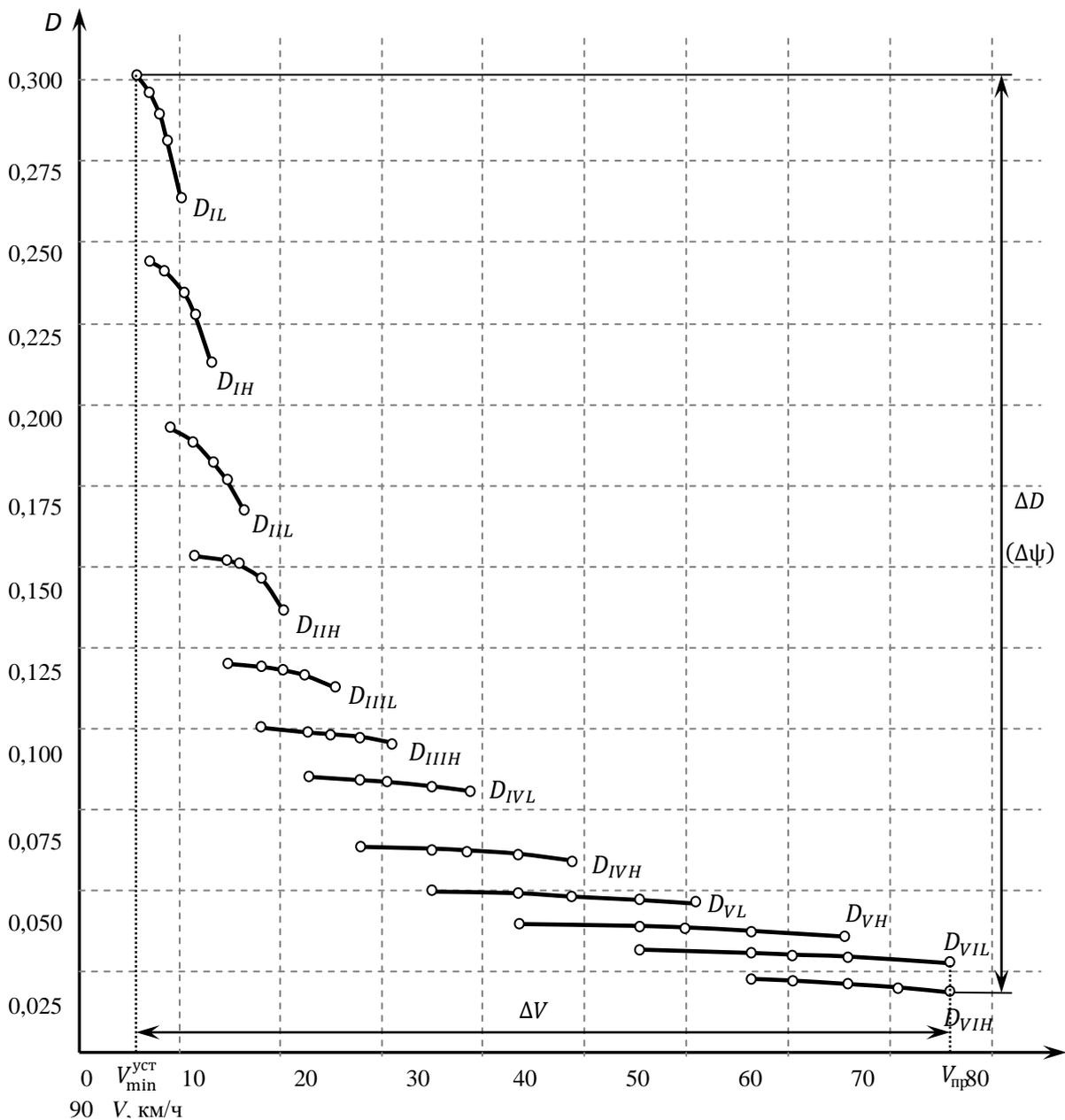


Рис. 2.3. Динамическая характеристика АТС (на примере седельных автопоездов)

Построение данной зависимости по нескольким значениям  $V_i$  (не менее 5 значений) облегчит в дальнейшем построение и использование топливно-экономической характеристики и повысит общую точность определения расхода топлива. При разовом использовании методики достаточно определить  $D_i$  для рассчитанных значений  $V_i$ .

При этом, следует иметь ввиду, что согласно Директивам ЕС 92/6 и 92/24 с 01.01.1994 для некоторых видов конструкций АТС предусмотрена установка устройств ограничения скорости, общий принцип конструкции которых схож между собой [56, 91, 106, 115, 143, 144, 162].

Таким образом, если полученные по выражению 2.1 значения скоростей превысят установленный предел, то для таких передач должно быть установлено значение скорости согласно ограничителя (для АТС полной массой свыше 12 т – 86 км/ч). Кроме того, все высшие передачи, при которых минимальная устойчивая скорость выше допустимого предела, могут быть исключены из дальнейших расчётов.

Для определения средней скорости вероятностным методом [122] нужно последовательно решить следующие задачи:

- определение суммарного сопротивления движению;
- определение длин участков, преодолеваемых АТС на каждой из передач;
- определение времени движения АТС на каждой из передач.

Нижеследующие допущения позволяют упростить решение указанных задач и определяют возможность сравнения тяговых усилий на ведущих колесах автомобиля с сопротивлениями движению:

- 1) участок маршрута, на котором выполняется условие

$$D_{i+1} \leq \psi < D_i, \quad (2.5)$$

преодолевается АТС только на  $i$ -ой передаче;

- 2) при выполнении условия (2.13) скорость АТС на  $i$ -ой передаче меняется в пределах:

$$V_{i-1} < V \leq V_i, \quad (2.6)$$

где:  $V_{i-1}$  и  $V_i$  – максимальные скорости АТС на  $(i - 1)$ -й и  $i$ -ой передачах;

3) переключение с  $i$ -ой передачи на более высокую или низкую обуславливается суммарным сопротивлением  $\psi$ ;

4) переключение на более высшую передачу осуществляется в точке маршрута, где имеет место равенство  $D_{i+1} = \psi$ . При этом на следующем участке имеет место неравенство  $D_{i+1} > \psi$ . Переход на более низшую передачу осуществляется при  $D_i = \psi$ , если в последующем  $\psi > D_i$ ;

5) время переключения передач не учитывается.

### Шаг 3. *Определение суммарного сопротивления движению $\psi$ .*

Суммарное дорожное сопротивление  $\psi$  представляет собой функцию двух параметров: сопротивление качению  $f$  и величина продольных уклонов на маршруте  $\alpha$ , изменение которых по всему маршруту (участкам) носит случайный характер, но в общем случае, когда величины  $f$  и  $\alpha$  приняты усредненными (постоянными) по всему маршруту, зависимость  $\psi = \varphi(f, \alpha)$  определяется [107, 108, 122]:

$$\psi = f \cos \alpha \pm \sin \alpha, \quad (2.7)$$

где:  $\pm$  - характеризуют подъем или спуск.

При этом тип покрытия дороги обуславливает сопротивление качению, которое также является функцией скорости  $f = \varphi(V_i)$  и для грузовых автомобилей определяется как [107,154]:

$$f = f_0 (1 + A \cdot V_a), \quad (2.8)$$

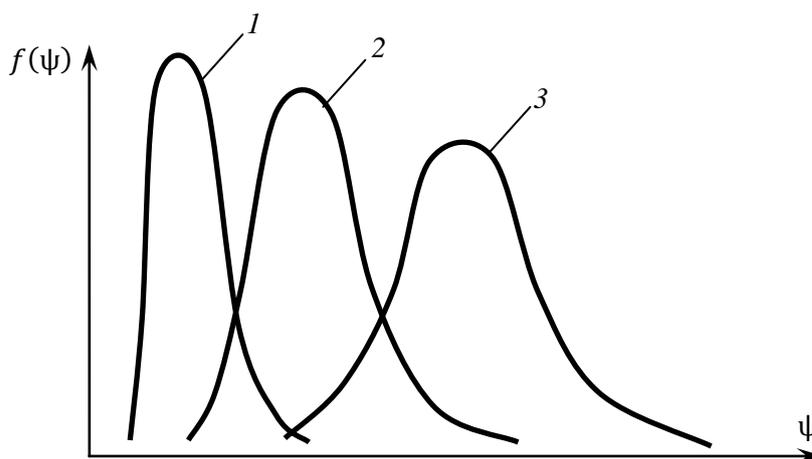
где:  $f_0$  – коэффициент сопротивления качению при малых скоростях движения (определяется по общеизвестным в учебной литературе [105, 107, 108] по автомобильным специальностям значениям – табл. П.2.2);  $A = 0,0002 \div 0,0006$  – коэффициент, учитывающий влияние скорости движения на изменение величины  $f_0$  и зависящий от конструкции шин;  $V_a$ , м/с – скорость движения АТС, при этом для легковых автомобилей в данном выражении учитывается квадрат скорости.

Известно, что наиболее распространенные на дорогах уклоны составляют величины, значительно меньшие тех, которые преодолеваются автомобилем и определяются его конструкционными и тяговыми возможностями. Так, например, уклоны до  $3-4^\circ$  достаточно распространены и закономерны для отечественных дорог [61]. Для таких и значительно больших уклонов функции  $\sin\alpha$  и  $\cos\alpha$  могут быть с достаточной точностью заменены линейными зависимостями вида:  $\sin\alpha = a \cdot \alpha$  и  $\cos\alpha = 1 - b \cdot \alpha$  [122].

Так, например, ошибка при замене функций  $\sin\alpha$  и  $\cos\alpha$  указанными зависимостями при  $a = 0,0172$  и  $b = 0,0034$  не превышает 2% при изменении величины  $\alpha$  в пределах  $\pm 25^\circ$  [122]. Для подавляющего большинства случаев расчёта скорости автомобиля такая ошибка не существенна, что позволяет воспользоваться ими для дальнейших расчётов. Тогда выражение (2.7) запишется в виде:

$$\psi = f(1 - b \cdot \alpha) \pm a \cdot \alpha, \quad (2.9)$$

В научно-технической и учебной литературе по теории автомобиля [105, 122, 126] указано, что фактическое распределение  $\psi$ , как случайной величины, в подавляющем числе случаев подчинено нормальному закону распределения (рис. 2.4) с плотностью вероятности, рассчитываемой по выражению (2.10).



**Рис. 2.4. Распределение дорожного сопротивления при движении по дорогам с различным покрытием:**

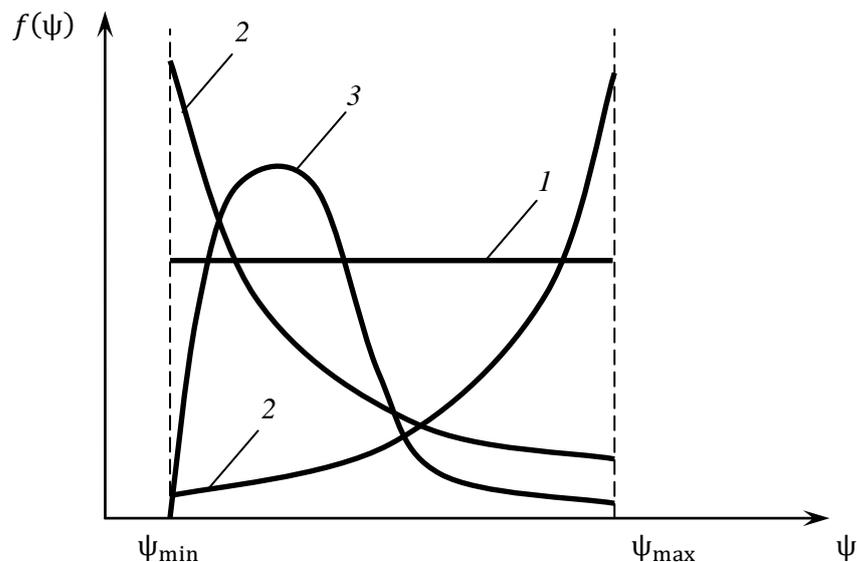
1 - по асфальтобетонному покрытию; 2 - по укатанному гравийному покрытию;  
3 - по булыжному покрытию

$$f(\psi) = \frac{1}{\sigma_\psi \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\psi - m_\psi)^2}{2\sigma_\psi^2}}, \quad (2.10)$$

где:  $m_\psi$  – математическое ожидание дорожного сопротивления  $\psi$ ;  $\sigma_\psi$  – среднее квадратическое отклонение  $\psi$  от математического ожидания.

Тем не менее, на практике встречаются и другие законы распределения дорожного сопротивления, как случайной величины (рис. 2.5). Общее условие для построения графической зависимости плотности вероятности распределения случайной величины записывается в виде:

$$f(\psi) = \begin{cases} f(x), & \text{при } \psi_{min} < \psi \leq \psi_{max} \\ 0 & \text{при } \psi > \psi_{max} \text{ и } \psi < \psi_{min} \end{cases}. \quad (2.11)$$



**Рис. 2.5. Возможные законы распределения дорожного сопротивления при движении в различных дорожных условиях:**

1 - равномерный; 2 - экспоненциальный; 3 - гамма-распределение.

Равномерный закон распределения дорожного сопротивления имеет место, когда любое значение в диапазоне изменения  $\psi$  равновероятно, что возможно в период неустойчивости природно-климатических условий или состояния дорожного покрытия (например, в период весенней распутицы), когда встречаются участки «чистые» и без повреждений, так и наоборот. Плотность вероятности в этом случае описывается выражением вида:

$$f(x) = c = \frac{1}{x_{max} - x_{min}}. \quad (2.12)$$

Экспоненциальный закон распределения дорожного сопротивления имеет место, когда наиболее вероятное значение  $\psi$  располагается вблизи границ диапазона (около  $\psi_{min}$  – в случае превалирующего высокого качества дорожного покрытия, например, после капитального ремонта дороги (экспонента с отрицательной степенью); около  $\psi_{max}$  – при движении по дороге с тем же покрытием, но неудовлетворительного качества (экспонента с положительной степенью). Плотность вероятности в этом случае описывается выражением вида:

$$f(x) = \lambda e^{\pm \lambda x}, \quad (2.13)$$

где:  $\lambda = \frac{1}{m(x)}$  – параметр экспоненциального закона;  $m(x)$  – математическое ожидание случайной величины  $\psi$ .

Гамма-распределение дорожного сопротивления имеет место, когда наиболее вероятное значение  $\psi$  принадлежит конкретному значению в заданном интервале  $\psi_{min} < \psi < \psi_{max}$ . Это наиболее общий случай реального распределения  $\psi$ , как случайной величины, который сводится в частном случае к нормальному, если наиболее вероятное значение стремится к средневзвешенному значению  $m(x)$ , а также к экспоненциальному, если наиболее вероятное значение стремится к границам диапазона. Плотность вероятности гамма-распределения с коэффициентом формы  $k = 2$  (распределение Эрланга, как частный случай, показанный на рис. 2.5) описывается выражением вида:

$$f_{k=2}(x) = \lambda^2 x e^{-\lambda x}. \quad (2.14)$$

Закон распределения случайной величины подбирается по гистограммам опытного (фактического) распределения, с проверкой правильности гипотезы по критерию Пирсона.

Фактическая форма распределения случайной величины  $\psi$  используется для определения относительного пути и времени движения автомобиля по маршруту с учётом вышеприведенных допущений.

Шаг 4. *Определение относительного пути движения АТС на каждой передаче  $k_i$ .*

Физический смысл относительного пути движения АТС на определённой ( $i$ -ой) передаче  $k_i$  описывается выражением:

$$k_i = \frac{S_i}{S_{\text{общ}}}, \quad (2.15)$$

где:  $S_i$  – путь, пройденный на определенной передаче КП, км;  $S_{\text{общ}}$  – общая длина маршрута, км.

При этом очевидно, что значение  $S_i$  является случайным, зависящим от ряда факторов, перечисленных выше. С учётом принятого в качестве допущения условия (2.5) длина участка  $S_i$ , на котором условия благоприятствуют движению на  $i$ -ой передаче, будет зависеть от вероятности попадания величины суммарного сопротивления  $\psi$  в интервалы, ограничиваемые возможностями  $i$ -ой передачи  $D_{i+1} \leq \psi < D_i$  и определится по выражению:

$$S_i = S_{\text{общ}} \cdot p(D_{i+1} \leq \psi < D_i). \quad (2.16)$$

Отсюда видно, что величина  $k_i$  численно равна вероятности  $p(D_{i+1} \leq \psi < D_i)$  и может быть определена из выражения:

$$k_i = p(D_{i+1} \leq \psi < D_i) = \int_{D_{i+1}}^{D_i} f(\psi) d\psi. \quad (2.17)$$

Конечный вид выражения  $k_i$  будет зависеть от графического вида плотности вероятности  $\psi$  (закона распределения случайной величины  $\psi$ ). Как упоминалось выше наиболее вероятные законы распределения  $\psi$ : равномерный, гамма-распределение и как его частные случаи – нормальный и экспоненциальный.

В случае, если опытное распределение  $\psi$  описывается нормальным законом, решение уравнения (2.17) сводится к использованию нормированной функции Лапласа [122]:

$$k_i = \int_{D_{i+1}}^{D_i} f(\psi) d\psi = \Phi\left(\frac{D_i - m_\psi}{\sigma_\psi}\right) - \Phi\left(\frac{D_{i+1} - m_\psi}{\sigma_\psi}\right), \quad (2.18)$$

где:  $\frac{D_i - m_\psi}{\sigma_\psi} = z$  – аргумент нормированной функции (табл. П.2.3);  $\Phi(z)$  – значение нормированной функции (табл. П.2.3).

С учётом принятых обозначений в выражении (2.9) математическое ожидание дорожных сопротивлений запишется в виде [87]:

$$m_\psi = m_\alpha(a - fb) + f, \quad (2.19)$$

где:  $m_\alpha$  – математическое ожидание продольных дорожных уклонов.

При этом, для маятниковых маршрутов или для оборотов по маршруту, когда движение в прямом и обратном направлении происходит по одним и тем же дорогам, можно принять, что  $m_\alpha = 0$ , тогда  $m_\psi = f$ . В общем случае реальное распределение продольных дорожных уклонов  $\alpha$  может описываться с помощью описанных выше законов распределения случайных величин.

С учетом принятых обозначений в выражении (2.9) среднее квадратическое отклонение дорожных сопротивлений от математического ожидания запишется в виде [122]:

$$\sigma_\psi = \sigma_\alpha(a - fb), \quad (2.20)$$

где:  $\sigma_\alpha$  – среднее квадратическое отклонение продольных дорожных уклонов.

Для наиболее распространенных дорог, проложенных в слабо- и среднепересечённой местности, значение  $\sigma_\alpha$  не превышает  $1,5^\circ$  [61,122].

С использованием математического аппарата теории вероятностей и интегрального исчисления можно определить значения относительных путей движения  $k_i$  на каждой передаче для других законов распределения случайных величин  $\psi$ , отличных от нормального.

Так, для равномерного распределения случайной величины  $\psi$ , решение интеграла (2.25) с плотностью вероятности (2.20) приводит к выражению:

$$k_i = \frac{D_i - D_{i+1}}{\Psi_{max} - \Psi_{min}}. \quad (2.21)$$

Для экспоненциального распределения случайной величины  $\psi$ , решение интеграла (2.25) с плотностью вероятности (2.21), например, с отрицательной степенью, приводит к выражению:

$$k_i = e^{-D_{i+1}\lambda} - e^{-D_i\lambda} = e^{-D_{i+1}\lambda}(1 - e^{-\lambda(D_i - D_{i+1})}). \quad (2.22)$$

Для гамма-распределения (как показано на рис. 2.8), решение интеграла (2.25) с плотностью вероятности (2.22) приводит к выражению:

$$k_i = e^{-\lambda D_{i+1}}(1 + \lambda D_{i+1}) - e^{-\lambda D_i}(1 + \lambda D_i). \quad (2.23)$$

**Шаг 5. Определение относительного времени движения АТС на каждой передаче.**

Полученные значения относительного пути движения  $k_i$  и, следовательно, длин участков  $S_i$ , преодолеваемых АТС на каждой передаче, еще не позволяют определить среднюю скорость автомобиля: на этом участке величина скорости может принять любое значение в пределах от  $V_{i-1}$  до  $V_i$  (условие 2.6). При этом каждое отдельное значение скорости представляется случайной величиной. Как и всякая случайная величина, подчинённая любому закону распределения, величина скорости может быть охарактеризована средневзвешенным значением:

$$m(V) = \int_{V_{min}}^{V_{max}} V \cdot f(V) dV. \quad (2.24)$$

Следовательно, средняя скорость автомобиля на  $i$ -ой передаче  $V_{ci}$  определится по выражению:

$$V_{ci} = \int_{V_{i-1}}^{V_i} V \cdot f(V) dV. \quad (2.25)$$

Вычисленные величины  $k_i$  и  $V_{ci}$  учитывают распределение сопротивлений движению и до некоторой степени воздействуют на движение факторов второй и

третьей групп и позволяют перейти к решению задачи определения средней скорости автомобиля [122].

Для всего маршрута длиной  $S_{\text{общ}}$  имеет место соотношение:

$$S_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^n V_{ci} \cdot t_i, \quad (2.26)$$

где:  $n$  – число передач КП;  $t_i$  – время движения на  $i$ -ой передаче, ч (мин, с).

Соответственно, средняя скорость автомобиля  $V_{cj}$  на участке маршрута  $j$  с определённым покрытием определится по выражению:

$$V_{cj} = \sum_{i=1}^n V_{ci} \cdot \frac{t_i}{t_j}, \quad (2.27)$$

где:  $t_j$  – общее время движения автомобиля по участку маршрута, ч (мин, с).

Отсюда очевиден физический смысл относительного времени движения на  $i$ -ой передаче:

$$\gamma_i = \frac{t_i}{t_j} \text{ или } \gamma_i = \frac{t_i}{t_{\text{общ}}}, \quad (2.28)$$

если весь маршрут движения проходит по дорогам с идентичным покрытием, а выражение (2.27) запишется в виде:

$$V_{cj} = \sum_{i=1}^n V_{ci} \cdot \gamma_i. \quad (2.29)$$

Выражение (2.25) для определения средней скорости движения на определенном участке маршрута решается исходя из фактических распределений скоростей  $f(V)$  при движении в заданных дорожных и транспортных условиях на участке маршрута. Для равномерного и нормального распределения, а также в подавляющем числе случаев для расчёта средней скорости движения автомобилей, оснащенных КП с большим числом передач интеграл (2.25) равен:

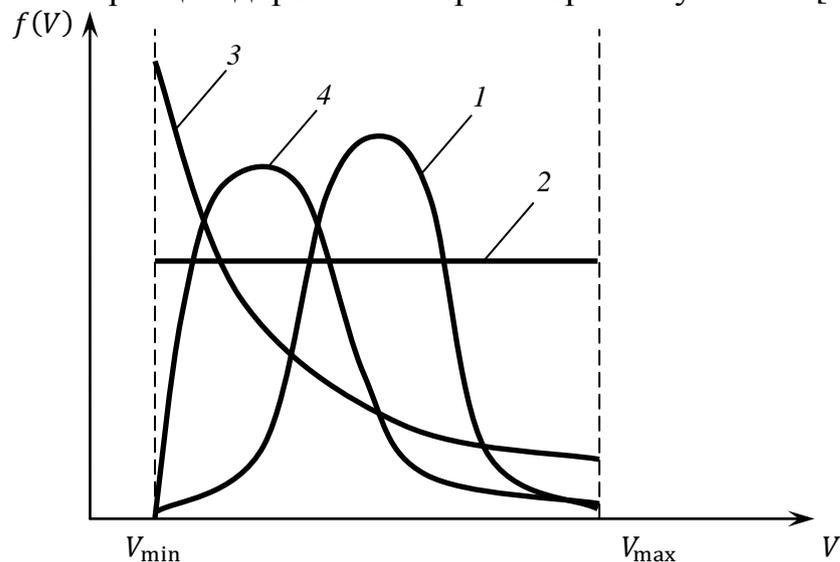
$$V_{ci} = \frac{V_i + V_{i-1}}{2} = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{V_{i-1}}{V_i} \right) V_i = \delta_i V_i, \quad (2.30)$$

где:  $\delta_i = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{V_{i-1}}{V_i} \right)$  – коэффициент выбора закона распределения скоростей.

Обоснованность выражения (2.30) заключается в том, что при большом числе малых интервалов в изучаемом диапазоне от  $V_{min}$  до  $V_{max}$  (в нашем случае при большом числе передач КП) вне зависимости от реального закона распределения скоростей, средневзвешенное значение в каждом диапазоне будет стремиться к среднему значению в диапазоне, и использование среднего значения практически не влияет на точность расчётов.

Тем не менее, в некоторых случаях (например, для городского движения, учебной езде и т.д.), особенно для автомобилей с ограниченным числом передач (например, легковые автомобили, автобусы, ранее выпускавшиеся модели грузовых автомобилей) использование среднего значения может привести к недопустимой погрешности расчетов, что можно избежать путём решения интеграла (2.25) с учетом опытных (фактических) распределений скоростей в общем диапазоне и заданных интервалах.

В эксплуатации встречаются различные законы распределения скоростей движения с учетом вариации дорожных и транспортных условий [122] (рис. 2.6).



**Рис. 2.6. Возможные законы распределения скоростей при движении в различных дорожных и транспортных условиях:**

1 - нормальный; 2 - равномерный; 3 - экспоненциальный; 4 - гамма-распределение.

По существующим представлениям нормальным законом распределения скоростей движения  $V_i$ , как случайной величины, описывается движение автомо-

бия по загородным участкам дорог (особенно по дорогам I категории), когда значение средней скорости стремится к некоторой средневзвешенной величине. Плотность вероятности в этом случае определяется выражением вида (2.10). Тем не менее, данный закон может быть неприменим для городского движения, учебной езды и т.п. из-за значительного повышения погрешности расчетов.

Автором выдвинута гипотеза о том, что фактические распределения скоростей движения в диапазоне от минимальной устойчивой до предельно допустимой скорости вместо до сих пор используемого нормального закона (вне зависимости от дорожных транспортных условий) для городского и загородного движения описываются другими законами распределения случайных величин. В этом случае решение выражения математического ожидания скорости (2.25) должно производиться в соответствии с предложенными законами распределения. Например, для экспоненциального закона это выражение вида:

$$V_{ci} = e^{-\lambda V_{i-1}} \left( V_{i-1} + \frac{1}{\lambda} \right). \quad (2.31)$$

Закон распределения случайной величины подбирается по гистограммам опытного распределения, с проверкой правильности гипотезы по критерию Пирсона, либо принимается с учётом вышеизложенных заключений.

Результат решения интеграла (2.25) нужно привести к выражению вида (2.30) для выделения коэффициента выбора закона распределения скоростей  $\delta_i$ , который будет иметь отличный от (2.30) вид. В итоге, с учётом введенных обозначений и зависимости (2.30) выражение (2.29) переписывается в виде:

$$V_{cj} = \sum_{i=1}^n \delta_i \cdot V_i \cdot \gamma_i. \quad (2.32)$$

Однако, привести сложные математические выражения (например, 2.31) к виду  $V_{ci} = \delta_i V_i$  (2.30) практически затруднительно, поэтому для нахождения значения  $\delta_i$  следует полученные значения  $V_{ci}$  разделить на полученные по выражению (2.1) значения скоростей  $V_i$ , т.е.  $\delta_i = V_{ci}/V_i$ .

Для определения относительного времени движения на  $i$ -ой передаче воспользуемся соотношениями, вытекающими из физического смысла  $\gamma_i$  с использованием ранее введенных обозначений:

$$t_i = \frac{k_i S}{\delta_i V_i};$$

$$t_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^n t_i = \frac{S}{V_{\text{пр}}} \sum_{i=1}^n \frac{k_i d_i}{\delta_i}; \quad (2.33)$$

где:  $V_{\text{пр}}$  – предельная (обусловленная наличием ограничителя ЧВКВ двигателя либо ограничениями скорости движения согласно ПДД) скорость движения, либо в других случаях (без ограничителя) – максимальная скорость движения автомобиля на высшей передаче;  $d_i = V_{\text{пр}}/V_i$  – коэффициент отношения скоростей.

Учитывая определение (физический смысл) величины  $\gamma_i$  и зависимостей (2.41) после несложных алгебраических преобразований можно получить выражение для определения относительного времени движения  $\gamma_i$  на  $i$ -ой передаче в зависимости от относительного пути  $k_i$ , преодолеваемого на той же передаче [122]:

$$\gamma_i = \frac{k_i d_i}{\delta_i \sum_{i=1}^n \frac{k_i d_i}{\delta_i}}. \quad (2.34)$$

#### Шаг 6. *Определение средней скорости движения по маршруту $V_{\text{ср}}$ .*

Средняя скорость движения автомобиля по маршруту  $V_{\text{ср}}$  определяется по выражению (1.9):  $V_{\text{ср}} = \sum_{j=1}^m V_{\text{с}j} W_j$ . При этом, если маршрут движения не слишком протяжённый, находится в однотипных дорожных условиях без резких перепад высот над уровнем моря, то такой маршрут с определенной мерой допущения можно охарактеризовать одним значением дорожного сопротивления  $\psi$ , тогда задача определения средней скорости сводится к решению выражения (2.32).

Эксплуатационные значения средних скоростей на маршрутах, обслуживаемых предприятиями АТ используются для планирования работы подвижного состава (составление графиков движения, согласование работы АТП), но также могут быть использованы для прогнозирования расхода автомобильных топлив.

В заключении следует отметить, что определение средней скорости движения автомобиля по маршруту не для конкретного (-ных) значения дорожного сопротивления  $\Delta\psi$  (либо коэффициента сопротивления качению  $\Delta f$ ), а для всего диапазона изменения сопротивлений (типов покрытий, типа местности), в которых предполагается эксплуатировать данный конкретный автомобиль (например, для асфальто-, цементобетонного и гравийного покрытия), избавит в дальнейшем от необходимости определения средней скорости движения данного автомобиля для значений дорожного сопротивления, отличных от заданных.

Для этого нужно построить графическую зависимость  $V_{cj} = \varphi(f)$  или  $V_{cj} = \varphi(\psi)$  для диапазона значений аргумента  $f$  или  $\psi$  и, соответственно, типов покрытия, в которых предполагается эксплуатировать данный автомобиль, при этом весь диапазон изменения аргумента разбивается на интервалы. Вид данной графической зависимости приведен на рис. 2.7.

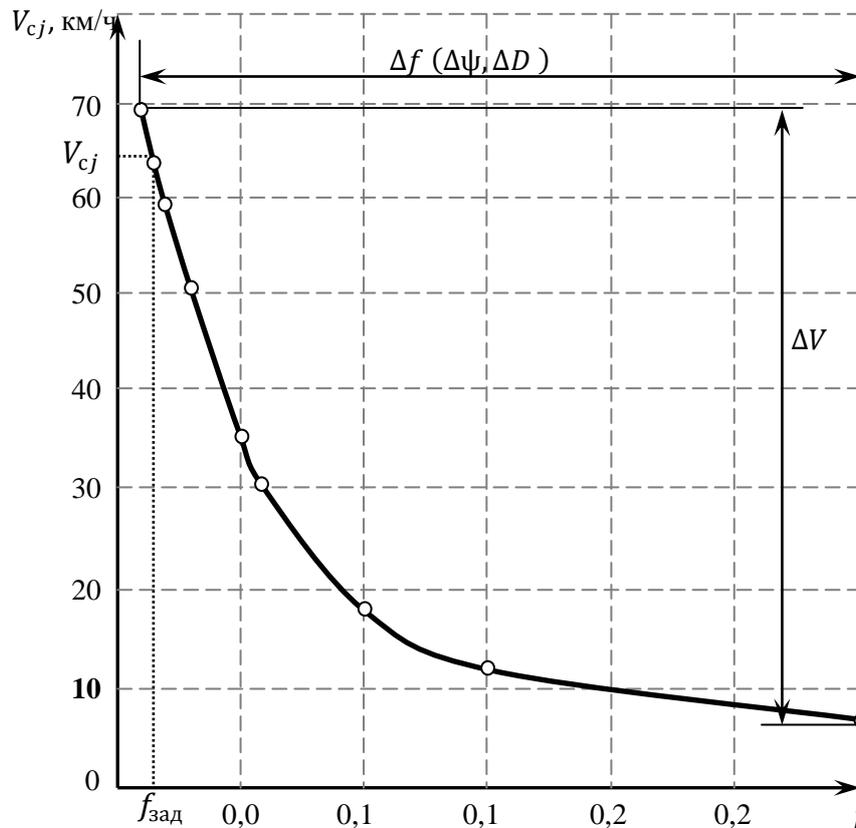


Рис. 2.7. Зависимость средней скорости автомобиля от сопротивления качению

## 2.2 Построение топливно-экономической характеристики

Методика построения топливно-экономической характеристики автомобиля в заданных условиях движения сводится к следующему алгоритму [82,105,126,150].

**Шаг 1. Составление массива угловых скоростей вращения  $\omega_{e i}$  коленчатого вала двигателя.**

В первую очередь рассчитываются значения скоростей движения на каждой передаче по выражению (2.1) (как указывалось ранее – минимум 5 значений: минимальное, максимальное, середина интервала и 2 промежуточных значения, при этом промежуточные значения для удобства расчетов могут совмещаться со значениями других передач). Данные расчёты удобнее произвести в п. 1 определения средней скорости движения по маршруту.

Минимальная скорость на выбранной передаче ограничивается исходя из необходимости обеспечения устойчивости работы двигателя на малых оборотах. Соответственно, в качестве границы устойчивости установим минимальную частоту вращения при максимальном крутящем моменте, поскольку в области более низких значений частот вращения происходит резкое снижение крутящего момента, что приводит к неустойчивости работы двигателя и высокой вероятности его остановки. Минимальное «устойчивое» значение ЧВКВ двигателя определяется по ВСХ двигателя либо из соотношения:  $n_{e \min}^{\text{уст}} = 1,05n_{\text{хх}}$ , при этом  $n_{e \min}^{\text{уст}} = 800-1000 \text{ мин}^{-1}$  для бензиновых двигателей;  $n_{e \min}^{\text{уст}} = 600-800 \text{ мин}^{-1}$  – для дизелей [27,105,126]. Соответствующие значениям массива скоростей движения значения угловой скорости вращения КВ можно определить из выражения для перевода угловой скорости  $\omega_e$  в частоту вращения  $n_e$  [83,105,126,150,154]:

$$\omega_e = \frac{\pi \cdot n_e}{30} = 0,105n_e, \text{ с}^{-1}. \quad (2.35)$$

При отсутствии ВСХ или технических данных двигателя ЧВКВ двигателя можно определить из выражения:

$$n_e = \frac{V_i \cdot i_{\text{кп}} \cdot i_0}{0,377 \cdot r_{\text{к}}}, \text{ мин}^{-1}. \quad (2.36)$$

Полученные значения  $\omega_{ei}$  для всех значений скоростей по передачам используются для определения эффективной мощности двигателя  $P_{ei}$  и эффективного крутящего момента  $T_{ei}$  при значениях частоты вращения коленвала, соответствующих выбранным значениям скоростей движения на каждой передаче.

**Шаг 2. Определение эффективной мощности двигателя  $P_{ei}$  и эффективного крутящего момента  $T_{ei}$ .**

Значения эффективной мощности двигателя для соответствующих значений угловой скорости вращения КВ определяется по ВСХ двигателя, а при её отсутствии – по выражению С.Р. Лейдермана (использование аналитических выражений для определения значений  $P_{ei}$  приводит к увеличению погрешности расчетов) [105,126,154]:

$$P_{ei} = P_e^{max} \cdot \left[ A \cdot \left( \frac{\omega_{ei}}{\omega_{ep}} \right) + B \cdot \left( \frac{\omega_{ei}}{\omega_{ep}} \right)^2 - C \cdot \left( \frac{\omega_{ei}}{\omega_{ep}} \right)^3 \right], \text{ кВт}, \quad (2.37)$$

где:  $A = \frac{K_T \cdot K_\omega \cdot (2 - K_\omega) - 1}{K_\omega \cdot (2 - K_\omega) - 1}$ ,  $B = -\frac{2 \cdot K_\omega \cdot (K_T - 1)}{K_\omega \cdot (2 - K_\omega) - 1}$ ,  $C = -\frac{K_\omega^2 \cdot (K_T - 1)}{K_\omega \cdot (2 - K_\omega) - 1}$  – эмпирические коэффициенты;  $\omega_{ep}$  – угловая скорость вращения коленчатого вала двигателя при максимальной мощности;  $K_T = \frac{T_{e\max}}{T_{eP}}$  – коэффициент приспособляемости двигателя по крутящему моменту;  $K_\omega = \frac{\omega_{eP}}{\omega_{eT}} = \frac{n_{eP}}{n_{eT}}$  – Коэффициент приспособляемости двигателя по угловой скорости.

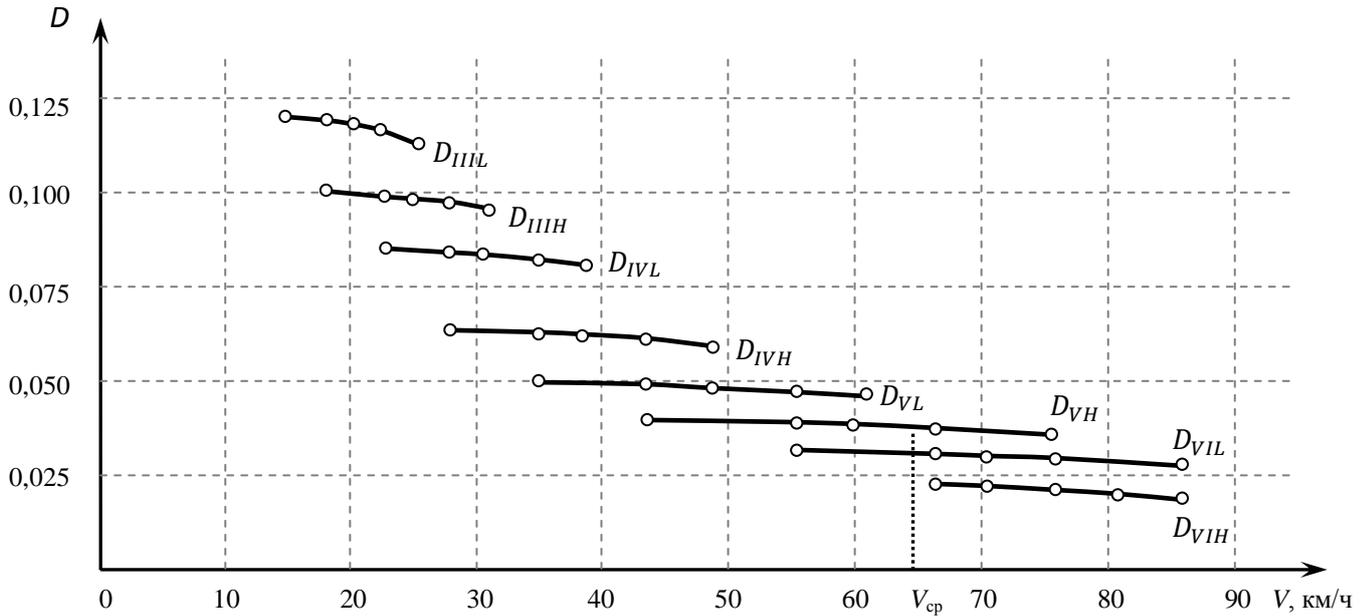
При этом эмпирические коэффициенты  $A$ ,  $B$ ,  $C$  правильно рассчитаны, если выполняется равенство:  $A + B - C = 1$ .

Значения эффективного крутящего момента  $T_{ei}$  для всего массива угловых скоростей вращения коленчатого вала двигателя определяются из выражения:

$$T_{ei} = \frac{9570 \cdot P_{ei}}{n_{ei}} = \frac{0,105 \cdot 9570 \cdot P_e}{\omega_{ei}} = 1004,85 \cdot \frac{P_{ei}}{\omega_{ei}}, \text{ Н} \cdot \text{ м}. \quad (2.38)$$

Для продолжения расчётов, кроме массива данных  $\omega_{ei}$ ,  $P_{ei}$  и  $T_{ei}$ , необходима построенная динамическая характеристика автомобиля, на которой отмечается полученное значение средней скорости движения автомобиля по маршруту  $V_{cp}$  и

определяются те передачи, на которых эта средняя скорость реализуется, например, как показано на рис. 2.8.



**Рис. 2.8. Фрагмент динамической характеристики автомобиля**  
(на примере седельных автопоездов)

Как видно из примера (рис. 2.8) средняя скорость движения реализуется на 5-ой (верхний диапазон – *H*) и 6-ой (нижний диапазон – *L*) передачах. Данный факт должен быть учтен при анализе топливно-экономической характеристики при прогнозировании расхода топлива автомобиля по заданному маршруту.

**Шаг 3. Определение степени использования мощности двигателя для заданных типов дорог при движении на каждой передаче.**

Степень использования мощности двигателя определяется как [105,126,154]

$$I_{\Psi_{ji}} = \frac{P_{\Psi_{ji}} + P_{wi}}{P_{ei} \cdot \eta}, \quad (2.39)$$

где:  $P_{\Psi_{ji}}$  – мощность двигателя, кВт, затрачиваемая на преодоление суммарного дорожного сопротивления для разных типов дорог при движении на каждой передаче;  $P_{wi}$  – мощность, кВт, затрачиваемая на преодоление сопротивления воздуха при движении на каждой передаче.

Мощность двигателя, затрачиваемая на преодоление суммарного дорожного сопротивления, определяется по выражению:

$$P_{\psi ji} = \psi_j \cdot G_{\text{атс}} \cdot V_i, \quad (2.40)$$

где:  $\psi_j$  – суммарное дорожное сопротивление для заданных типов дорог, состоящее из сопротивления качению и уклонов на маршруте;  $G_{\text{атс}}$  – полный вес АТС, кН;  $V_i$  – скорость движения АТС на каждой передаче, м/с.

Мощность, затрачиваемая на преодоление аэродинамического сопротивления, определяется по выражению:

$$P_{wi} = W \cdot V_i^3, \quad (2.41)$$

**Шаг 4. *Определение удельного эффективного расхода топлива двигателем при движении на каждой передаче по заданным типам дорог.***

Значения удельного эффективного расхода топлива двигателя для соответствующих значений угловой скорости вращения КВ определяется по ВСХ двигателя, а при ее отсутствии – по аналитическим выражениям (использование аналитических выражений для определения значений  $g_e$  приводит к увеличению погрешности расчетов) [105,126,154].

Удельный эффективный расход топлива при движении на определенной передаче по заданному типу дорог определяется по выражению:

$$g_{e\psi ji} = g_{ep} \cdot k_{Ei} \cdot k_{ij}, \quad (2.42)$$

где:  $g_{ep}$  – удельный эффективный расход топлива двигателем при максимальной мощности, г/кВт·ч;  $k_{Ei}$  – коэффициент, учитывающий степень использования угловой скорости КВ двигателя;  $k_{ij}$  – коэффициент, учитывающий степень использования мощности двигателя при движении по заданным типам дорог.

Коэффициент  $k_{Ei}$ , учитывающий влияние степени приближения угловой скорости КВ расчётного режима  $\omega_e^S$  к угловой скорости при максимальной мощности  $\omega_{ep}$ , определяемый как функция  $k_E = f(E)$ , рассчитывается для всех типов двигателей по выражению:

$$k_E = 1,25 - 0,99E_s + 0,98E_s^2 - 0,24E_s^3, \quad (2.43)$$

где:  $E_s = \omega_e^s / \omega_{ep}$  – степень использования угловой скорости КВ двигателя.

Коэффициент  $k_{ий}$  учитывающий степень использования мощности дизельного двигателя при движении по заданным типам дорог рекомендуется определять по выражению, выведенному В.И. Песковым [126]:

$$k_{ий} = 3,52 - 17,24И + 44,85И^2 - 55,28И^3 + 31,23И^4 - 6,08И^5. \quad (2.44)$$

Здесь следует отметить, что использование полиномов 3-й степени, предложенных С.Р. Лейдерманом и рекомендуемых в литературе по теории автомобиля (выражения 1.7, 1.8) при расчётах для современных конструкций автомобилей приводят к значительным расхождениям с недопустимым уровнем погрешности с результатами испытаний. Это обстоятельство в значительной степени препятствовало развитию аналитических методик прогнозирования расхода топлива.

Рекомендованные В.И. Песковым полиномы 5-ой степени (выражения 1.13 - 1.15) для расчётного определения величин  $k_{ий}$ , существенно повышают точность расчётов и приближают их результаты к результатам натурных испытаний.

#### Шаг 5. *Построение топливно-экономической характеристики АТС.*

Топливо-экономическая характеристика установившегося движения – это зависимость линейного расхода  $Q_s = f(V_a, \psi)$  при движении автомобиля с  $V_a = V_{cp} = \text{const}$ , при  $a_x = 0$  (частота и интенсивность разгонов) и при отсутствии буксования колес ( $r_k = r_d$ ) [105,126,154]:

$$Q_s = \frac{g_{e\psi ji} \cdot (P_{\psi ji} + P_{wi})}{36 \cdot \rho_T \cdot V_i \cdot \eta_{TP}}, \quad (2.45)$$

где:  $\rho_T$  – плотность топлива, кг/л (для дизельных топлив  $\rho_T = 0,82$  кг/л);  $V_i$  – скорость движения автомобиля на выбранной передаче, м/с;  $P_{\psi ji} + P_{wi} = P_{ei}$  – эффективная мощность двигателя при установившемся движении, кВт.

При этом, если значения скоростей движения и эффективной мощности приведены в км/ч и кВт соответственно, то в знаменателе выражения (2.45) вместо численного коэффициента 36 ставится коэффициент 10.

По результатам вычислений строится топливно-экономическая характеристика АТС (графическая зависимость  $Q_s = f(V_a)$ , л/100 км) (рис. 2.9, 2.10).

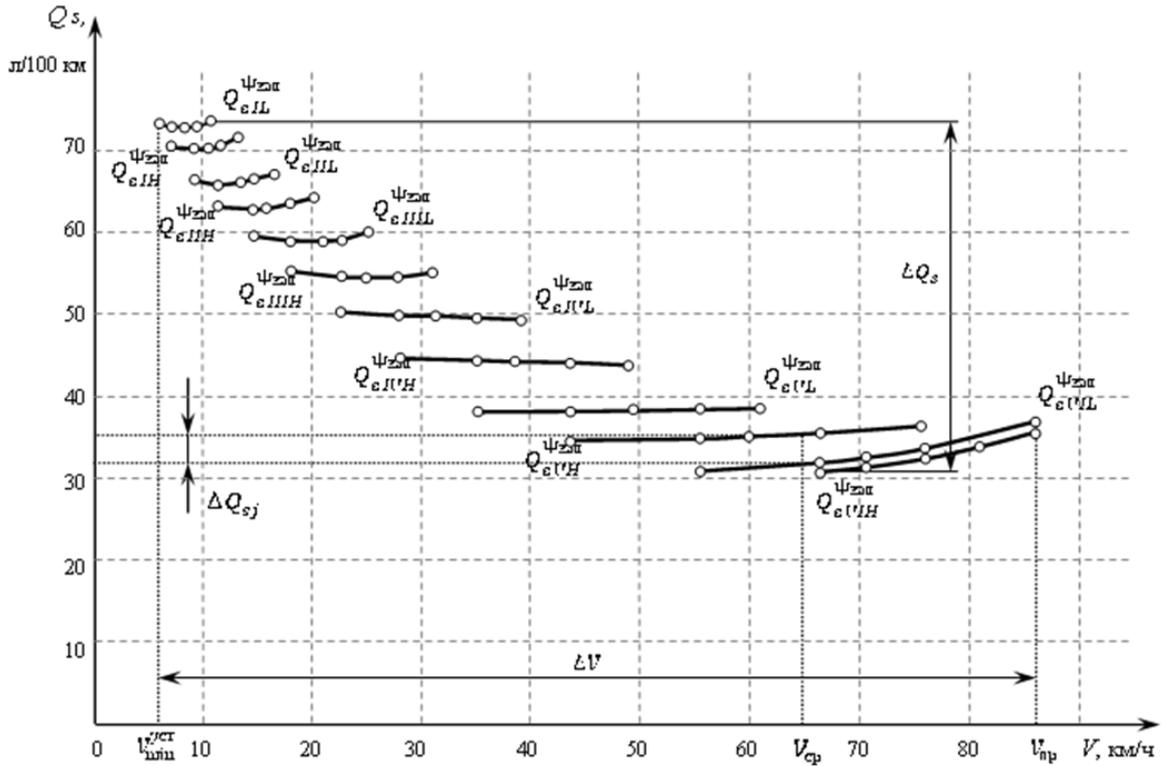


Рис. 2.9. Топливно-экономическая характеристика автомобиля

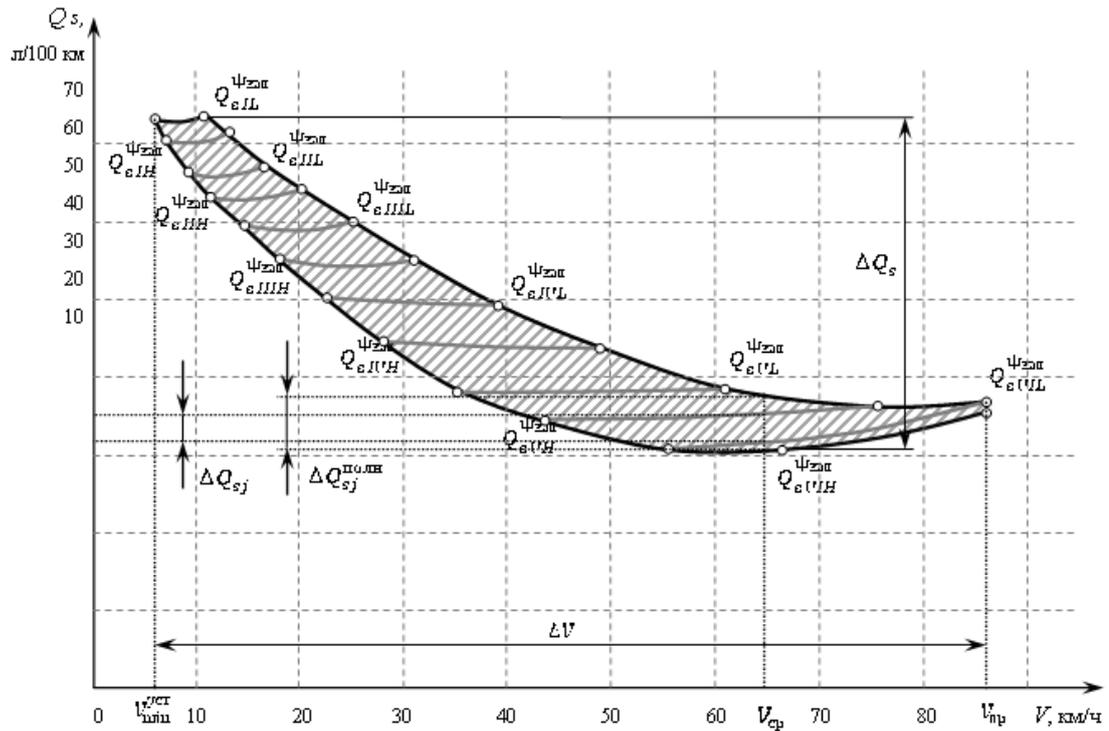


Рис. 2.10. Полная область и диапазон расхода топлива автомобиля

### 2.3 Построение циклограммы расхода топлива

Циклограмма расхода топлива служит для оперативного планирования, контроля и учёта расхода топлива конкретного автомобиля во всём возможном диапазоне условий эксплуатации.

Циклограмма строится путём совмещения динамической характеристики АТС (I квадрант) с топливно-экономической характеристикой АТС (II квадрант). I и II квадранты представляют основную часть циклограммы (рис. 2.11).

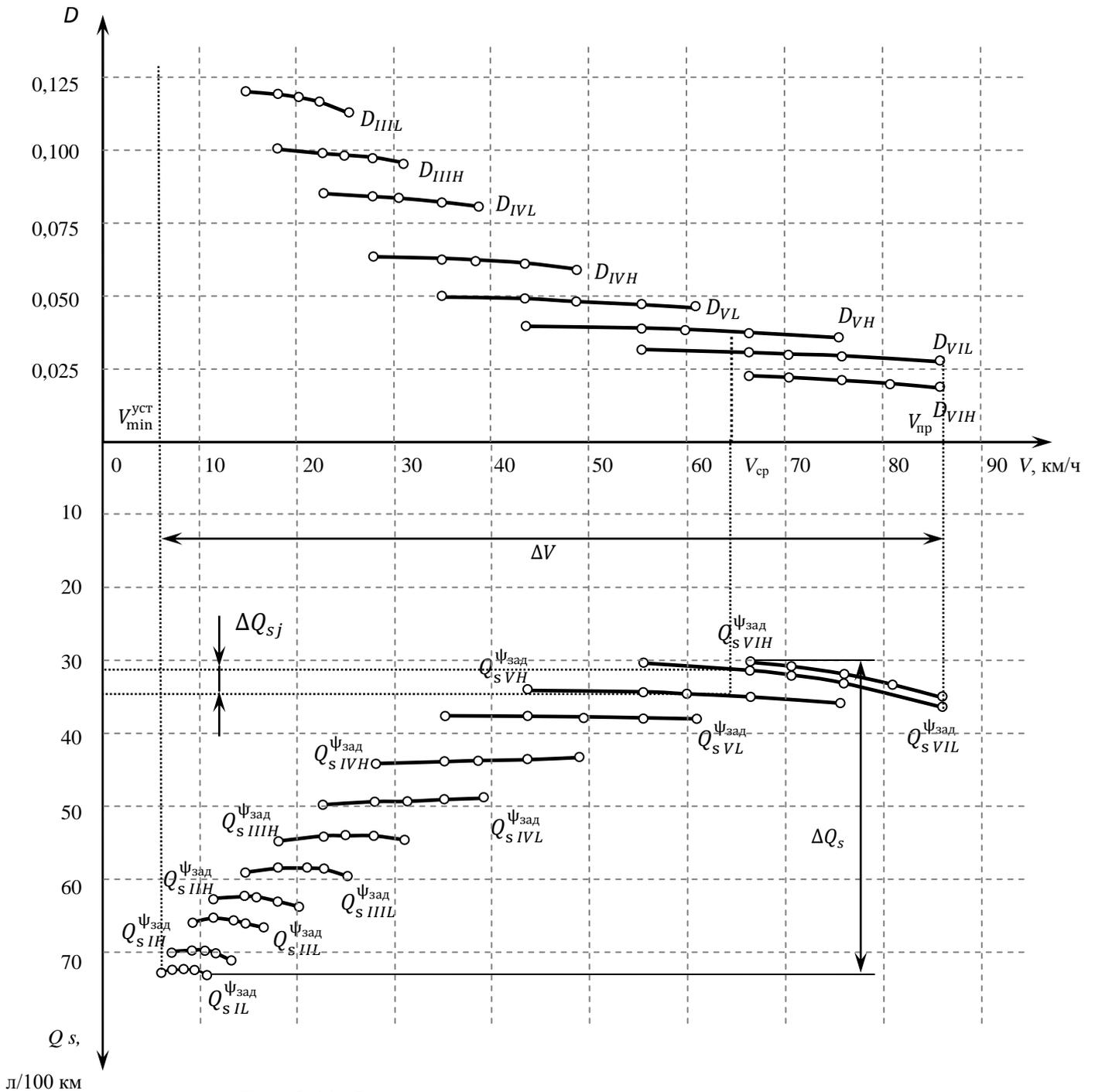


Рис. 2.11. Основная часть циклограммы расхода топлива

Для получения более полной информации по расходу топлива АТС в заданных условиях эксплуатации циклограмму можно дополнить значениями  $Q_H$  расхода топлива в литрах за рассматриваемый период эксплуатации (III квадрант) и данными по изменению дорожного сопротивления  $\psi$  по участкам маршрута (IV квадрант). При этом весь маршрут движения АТС желательно разбить на участки городского (в черте города), пригородного (в пределах 5-50 км от черты города) и загородного (за пределами 50 км от черты города) движения для более полного учёта условий эксплуатации. Полный вид циклограммы прогнозирования расхода топлива показан на рис. 2.12.

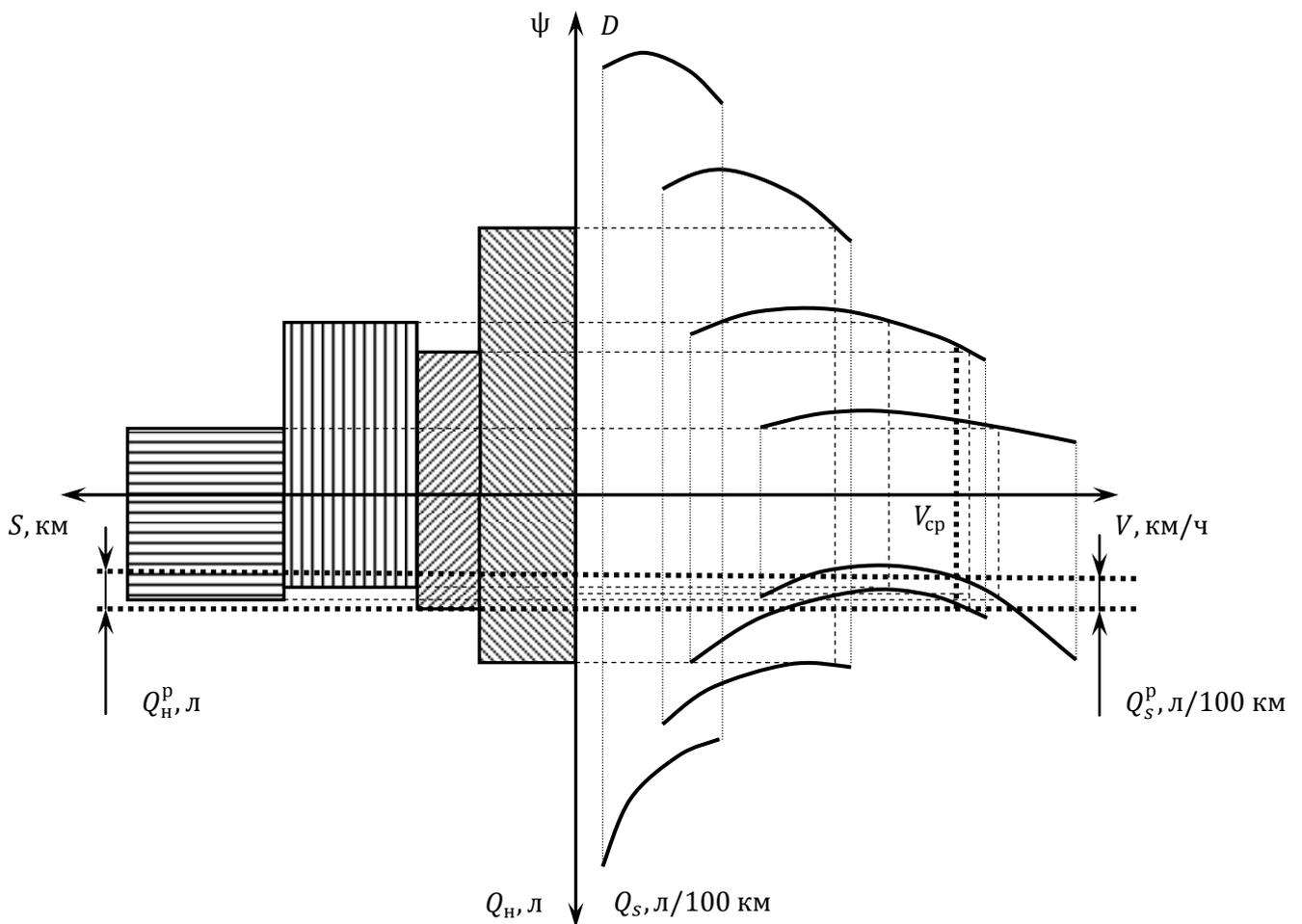


Рис. 2.12. Полный вид циклограммы расхода топлива

Графическое определение диапазона изменения расхода топлива (рис. 2.11, 2.12) производится следующим образом: на шкале абсцисс ( $V_a$ ) отмечается расчетное значение средней скорости движения по маршруту  $V_{cp}$ . Проекция в I квадрант (вверх) даёт представление о тяговых возможностях АТС на реализуемых

передачах; проекция во II квадрант – диапазон расхода топлива  $Q_s$ , л/100 км, на реализуемых передачах; проекции с IV квадранта (по значениям  $\psi$ ) на динамическую характеристику (I квадрант), затем во II квадрант до максимальных (или минимальных) значений  $Q_s$  дает представление (проекция в III квадрант) о максимальном (минимальном) количестве топлива  $Q_n$ , л, затрачиваемых на каждом участке заданного маршрута.

Результатом построения основной части циклограммы прогнозирования расхода топлива являются два диапазона расхода топлива: изменение реализуемого линейного расхода топлива  $\Delta Q_{sj}$ , в л/100 км (рис. 2.9 - 2.11) – данный диапазон (либо любое значение в данном диапазоне) можно установить в качестве нормативного в условиях работы АТП для заданной модели АТС, поскольку фактический расход топлива с высокой вероятностью будет находиться в диапазоне; полный технический диапазон реализуемого расхода топлива  $\Delta Q_{sj}^{\text{полн}}$ , в л/100 км (рис. 2.10) – верхняя и нижняя граница данного диапазона соответственно выше и ниже границ диапазона  $\Delta Q_{sj}$  – отражает колебания в стиле вождения автомобилем конкретными водителями без существенных нарушений правил эксплуатации (вождения) АТС.

Результатом построения полной циклограммы расхода топлива дополнительно являются: диапазон прогнозируемого значения расхода топлива  $Q_n^p$ , в литрах, характеризующего колебания расхода конкретного АТС в заданных условиях эксплуатации, а также значения прогнозируемого расхода топлива для каждого отдельного участка маршрута (площадь заштрихованных прямоугольников).

Тем не менее, сама циклограмма расхода топлива, в зависимости от цены деления входящих в неё шкал, даёт лишь ориентировочное значение диапазона расхода топлива. Точные границы диапазона расхода топлива можно определить аналитически, подставив в выражение (2.45) вместо  $V_i$  значение рассчитанной средней скорости  $V_{cp}$  и вычисляя выражение (2.45) для реализуемых передач КП (если средняя скорость движения может быть реализована на трёх и более передачах КП – расчёт производится для двух крайних передач).

Для определения конкретного прогнозируемого значения расхода топлива, который может быть использован в АТП для конкретной модели АТС в качестве норматива, необходимо вывести аналитические выражения для средней скорости движения  $V_{cp}$  и среднего путевого (линейного) расхода топлива  $Q_{ср}$  с учётом вышеописанных теоретических изысканий.

Для составления аналитического выражения средней скорости движения по участку маршрута необходимо использовать выражения: (1.9), (2.9), (2.32), (2.33), (2.34), выделяя при этом постоянную часть. Соответственно эти выражения:

$$V_{cp} = \sum_{j=1}^m V_{cj} W_j; V_{cj} = \sum_{i=1}^n \delta_i \cdot V_i \cdot \gamma_i; V_i = 3,6\eta_{тр} \frac{P_e^s}{F_T}; \gamma_i = \frac{k_i d_i}{\delta_i \sum_{i=1}^n \frac{k_i d_i}{\delta_i}}; d_i = \frac{V_{пп}}{V_i}.$$

Таким образом:

$$V_i = 3,6\eta_{тр} \frac{P_e^s}{F_T} = 3,6\eta_{тр} \frac{P_e^s}{\frac{T_{ep} i_{тр} \eta_{тр}}{r_D}} = \frac{3,6 P_e^s r_D}{T_{ep} i_0} \cdot \frac{1}{i_{кп}}.$$

$$\begin{aligned} V_{cj}^s &= \sum_{i=1}^n \delta_i \cdot V_i \cdot \gamma_i = \sum_{i=1}^n \delta_i \cdot V_i \cdot \frac{k_i d_i}{\delta_i \sum_{i=1}^n \frac{k_i d_i}{\delta_i}} = \sum_{i=1}^n \frac{V_i k_i d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{k_i d_i}{\delta_i}} = \sum_{i=1}^n \frac{V_i k_i V_{пп}}{V_i \sum_{i=1}^n \frac{k_i V_{пп}}{V_i \delta_i}} = \\ &= \sum_{i=1}^n \frac{k_i V_{пп}}{V_{пп} \sum_{i=1}^n \frac{k_i}{V_i \delta_i}} = \sum_{i=1}^n \frac{k_i}{\sum_{i=1}^n \frac{k_i}{V_i \delta_i}} = \sum_{i=1}^n \frac{k_i}{\frac{T_{ep} i_0}{3,6 P_e^s r_D} \sum_{i=1}^n \frac{k_i i_{кп}}{\delta_i}} = \frac{3,6 P_e^s r_D}{T_{ep} i_0} \sum_{i=1}^n \frac{k_i}{\sum_{i=1}^n \frac{k_i i_{кп}}{\delta_i}}. \end{aligned}$$

$$V_{cp} = \sum_{j=1}^m V_{cj}^s W_j = \sum_{j=1}^m \left[ \sum_{s=1}^s \left( \frac{3,6 P_e^s r_D}{T_{ep} i_0} \sum_{i=1}^n \frac{k_i}{\sum_{i=1}^n \frac{k_i i_{кп}}{\delta_i}} \right) / s \right] W_j.$$

При этом постоянная часть  $\frac{3,6 P_e^s r_D}{T_{ep} i_0}$  вынесена за знак суммы  $\sum_{i=1}^n \frac{k_i}{\sum_{i=1}^n \frac{k_i i_{кп}}{\delta_i}}$  и характеризует определённый режим работы двигателя, а под знаком суммы остаются переменные (вероятностные) коэффициенты  $k_i$  и  $\delta_i$ , учитывающие дорожные и транспортные условия эксплуатации, а также передаточные числа  $i_{кп}$ . Численное значение выражения  $\sum_{i=1}^n \frac{k_i}{\sum_{i=1}^n \frac{k_i i_{кп}}{\delta_i}}$  будет находиться в пределах от 0 до 1.

Итак, аналитическое выражение средней скорости движения АТС на участке маршрута при выбранном режиме работы ( $s$ ) двигателя:

$$V_{cj}^s = \frac{3,6P_e^s r_d}{T_{ep}^s i_0} \sum_{i=1}^n \frac{k_i}{\sum_{i=1}^n \frac{k_i i_{кп}}{\delta_i}}. \quad (2.46)$$

Для расчёта средней скорости движения по маршруту требуется среднее значение  $V_{cj}^s$  во всем рабочем диапазоне двигателя, т.е.:

$$V_{cpj}^s = \frac{\sum_{s=1}^r V_{cj}^s}{s} = \sum_{s=1}^s \left( \frac{3,6P_e^s r_d}{T_{ep}^s i_0} \sum_{i=1}^n \frac{k_i}{\sum_{i=1}^n \frac{k_i i_{кп}}{\delta_i}} \right) / s. \quad (2.47)$$

Средняя эксплуатационная скорость движения АТС на заданном маршруте рассчитывается по выражению, аналогичному (1.9):

$$V_{cp} = \sum_{j=1}^m V_{cpj}^s W_j. \quad (2.48)$$

С помощью выведенного значения  $V_{cp}$  представляется возможным вывести аналитическое выражение среднего реализуемого расхода топлива  $Q_s^j$  на участках маршрута. Упрощая выражение (2.45) и выделяя при этом постоянную часть, с учётом выражений (2.40), (2.41), (2.42) получим:

$$g_{e\psi_{ji} V_{cp}} = g_{ep} \cdot k_{Ei} \cdot k_{и\psi_{ji} V_{cp}}; \quad P_{\psi_{ji} V_{cp}} = \psi_{j\text{ cp}} \cdot G_{атс} \cdot V_{cp}; \quad P_{wi V_{cp}} = W \cdot V_{cp}^3;$$

$$\begin{aligned} Q_s^j &= \frac{g_{e\psi_{ji}} \cdot (P_{\psi_{ji}} + P_{wi})}{36 \cdot \rho_T \cdot V_i \cdot \eta_{тр}} = \frac{1}{36 \cdot \rho_T \cdot \eta_{тр}} \cdot \frac{g_{e\psi_{ji} V_{cp}} \cdot (P_{\psi_{ji} V_{cp}} + P_{wi V_{cp}})}{V_{cp}} = \\ &= \frac{0,001 \cdot g_{ep} \cdot k_E^s \cdot k_{и\psi_{ji} V_{cp}} \cdot V_{cp} \cdot (\psi_{j\text{ cp}} \cdot G_{атс} + W \cdot V_{cp}^2)}{36 \cdot \rho_T \cdot \eta_{тр} \cdot V_{cp}} = \\ &= \frac{0,001 \cdot g_{ep} \cdot k_E^s \cdot k_{и\psi_{ji} V_{cp}}}{36 \cdot \rho_T \cdot \eta_{тр}} \cdot (\psi_{j\text{ cp}} \cdot G_{75атс} + W \cdot V_{cp}^2), \quad \frac{\text{л}}{100 \text{ км}}, \end{aligned}$$

где  $k_E^s$  – значение коэффициента  $k_E$  при ЧВКВ, соответствующим реализуемым при  $V_{cp}$  (в м/с) режимам движения  $s$ ;  $k_{и\psi_{ji} V_{cp}}$  – значение коэффициента  $k_{и\psi_{ji}}$  при движении по заданным участкам маршрута на реализуемых при  $V_{cp}$  передачах;  $\psi_{j\text{ cp}}$  – мат.ожидание дорожного сопротивления при движении с  $V_{cp}$ .

Итак, аналитическое выражение среднего расхода топлива при движении АТС на заданном участке маршрута ( $j$ ) в л/100 км:

$$Q_s^j = \frac{g_{ep} \cdot k_E^S \cdot k_{И\Psi j i V_{cp}}}{36000 \cdot \rho_T \cdot \eta_{TP}} \cdot (m_{\Psi} \cdot G_{атс} + W \cdot V_{cpj}^2), \quad V_{cp} \text{ в } \frac{\text{М}}{\text{с}}; \quad (2.49)$$

$$Q_s^j = \frac{g_{ep} \cdot k_E^S \cdot k_{И\Psi j i V_{cp}}}{10000 \cdot \rho_T \cdot \eta_{TP}} \cdot (0,278 \cdot m_{\Psi} \cdot G_{атс} + 0,02143 \cdot W \cdot V_{cpj}^2), \quad V_{cp} \text{ в } \frac{\text{км}}{\text{ч}}.$$

При этом, входящие в выражение (2.48) величины  $k_E^S$ ,  $k_{И\Psi j i V_{cp}}$ ,  $m_{\Psi}$  определяются как среднее значение для тех передач и режимов работы двигателя, при которых реализуется  $V_{cp}$ . Средний путевой расход топлива на всём маршруте:

$$Q_{s \text{ ср}} = \sum_{j=1}^m Q_s^j \cdot W_j. \quad (2.50)$$

Реализуемые при  $V_{cp}$  передачи (и режимы работы двигателя), без необходимости проведения полных расчётов, аналитически можно определить с использованием диаграммы разгона автомобиля (рис. 2.13) [105].

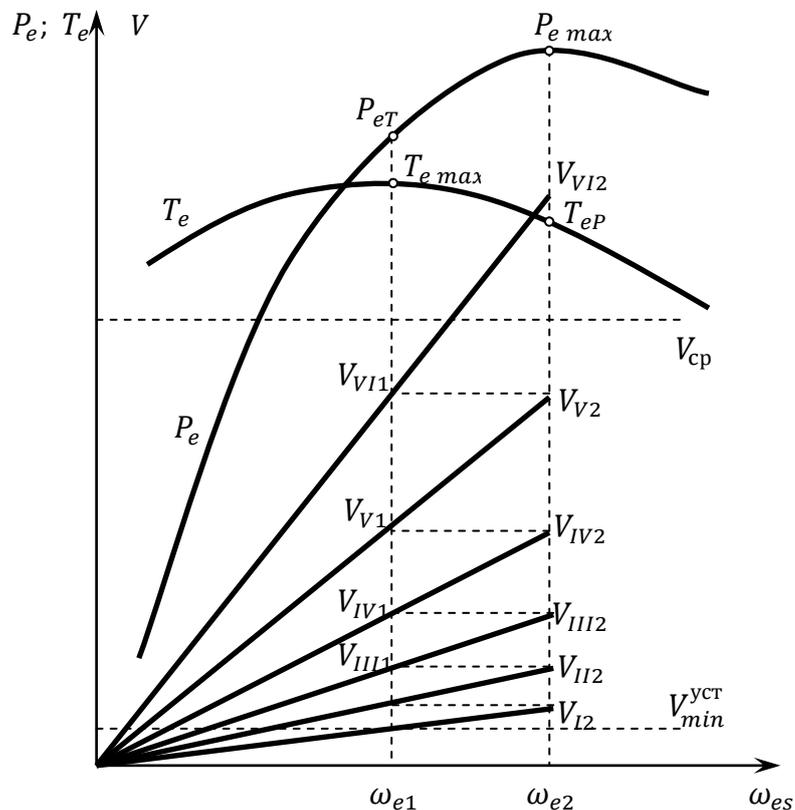


Рис. 2.13. Вид диаграммы разгона автомобиля

Для того, чтобы в процессе разгона двигатель работал на всех передачах с наиболее высокой средней мощностью, диапазон угловых скоростей (частот вращения) коленчатого вала должен быть близок к угловой скорости (частоте вращения) при максимальной мощности  $\omega_{ep}$  ( $n_{ep}$ ). При этом рабочий диапазон двигателя (от  $\omega_{eT}$  – угловой скорости при максимальном крутящем моменте  $T_{e\ max}$  до  $\omega_{ep}$  – угловой скорости при максимальной мощности  $P_{e\ max}$ ) нужно разделить на несколько (не менее 5) интервалов. Для определения реализуемых при  $V_{cp}$  передач на график ВСХ  $P_e = f(\omega_e)$  и  $T_e = f(\omega_e)$  наносят зависимость  $V = f(\omega_e)$  по выражению (2.1) (рис. 2.13).

Таким образом, для определения среднего путевого расхода топлива конкретной модели автомобиля в условиях работы АТП без необходимости полного учёта условий эксплуатации (при работе АТС в однообразных условиях), т.е. без необходимости построения циклограммы расхода топлива, достаточно воспользоваться выражениями (2.46), (2.47), (2.48) и (2.49), (2.50). Для этого нужно произвести следующие расчёты:

1. Составить массив значений реализуемых скоростей движения  $V_i$  в всём диапазоне передаточных чисел КП и режимов работы двигателя по выражению (2.1).

2. Определить относительные пути движения  $k_i$  для всех передач КП и режимов работы двигателя по выражениям (2.18), (2.21), (2.22), (2.23). При этом, если эксплуатация АТС происходит, в основном, на загородных дорогах I и II категорий достаточно воспользоваться выражением (2.18).

3. Определить коэффициент выбора закона распределения скоростей  $\delta_i$  согласно выражению (2.30) для всех передач КП автомобиля, либо по выражению  $\delta_i = V_{ci}/V_i$ .

4. Определить значение средней скорости движения  $V_{cj}^S$ , км/ч, по выражению (2.46) с учётом выбранных транспортных условий движения. При этом весомость влияния выбранных дорожных и транспортных условий эксплуатации на среднюю скорость учитывается через частоту  $W_j$ .

5. Определить среднюю скорость движения АТС на заданном маршруте по выражению (2.48).

6. С использованием массива скоростей и ВСХ двигателя построить диаграмму разгона автомобиля (рис. 2.13) и определить те передачи (несколько либо единственную), на которых реализуется средняя скорость  $V_{cp}$  движения автомобиля.

7. Определить среднее значение расхода топлива  $Q_s^j$ , л/100 км на каждом участке маршрута, по выражению (2.48), используя величины  $k_E^S$ ,  $k_{и\psi j i} V_{cp}$ ,  $m_{\psi}$  определяемые как среднее значения для тех передач и режимов работы двигателя, при которых реализуется  $V_{cp}$ .

8. Определить средний путевой расход топлива  $Q_{s\ cp}$  на заданном маршруте по выражению (2.50).

Рассчитанное значение  $Q_{s\ cp}$  будет наиболее вероятным расходом топлива АТС в заданных условиях эксплуатации и будет тем ближе к фактическому расходу топлива, чем точнее учтены условия эксплуатации и техническое состояние АТС. Полученное значение среднего путевого расхода топлива можно нормировать в условиях работы конкретных АТП.

Более полное представление об изменении расхода топлива при колебаниях условий эксплуатации возможно с помощью циклограммы расхода топлива, что дает широкие возможности в нормировании расхода топлива в случае изменения условий эксплуатации конкретных АТС в АТП.

#### **2.4 Алгоритм вероятностно-аналитической методики прогнозирования расхода автомобильных топлив**

Пошаговое описание предлагаемой вероятностно-аналитической методики прогнозирования расхода автомобильных топлив на примере седельных автопоездов представлено в табл. 2.1.

**Последовательность расчёта прогнозного значения среднего путевого расхода топлива с использованием вероятностно-аналитической методики**

**I. Определение средней скорости  $V_{cp}$  движения по маршруту**

1. Разделить рабочий диапазон двигателя (от ЧВКВ  $n_e$  при максимальном крутящем моменте до ЧВКВ при максимальной мощности – по ВСХ) на несколько участков (не менее 4).
2. Задать значение КПД трансмиссии из традиционного интервала 0,85-0,93.
3. Определить значения мощности  $P_e^S$  для расчётных режимов работы двигателя по ВСХ.
4. Определить значения крутящего момента  $T_e^S$  для расчётных режимов по ВСХ.
5. Определить значения силы тяги на ведущих колесах  $F_T = (T_e^S i_{тр} \eta_{тр}) / r_d$  в рабочем диапазоне двигателя и передаточных чисел КП ( $i_{тр} = i_{кп} i_0$  – общее передаточное число трансмиссии;  $r_d \approx r_c = d/2 + B_{ш} \Delta_{ш} \lambda_z$  – динамический радиус ведущего колеса, м;  $d$  – посадочный диаметр колеса, м;  $B_{ш}$  – ширина профиля шины, м;  $\Delta_{ш}$  – отношение высоты к ширине профиля шины;  $\lambda_z = 0,9$  – коэффициент вертикальной деформации шины).
6. Определить значения скоростей движения  $V_i$  автомобиля на передачах КП в рабочем диапазоне двигателя (выражение 1). Обязательное ограничение по ЧВКВ:  $V_i \leq V_{пр} = 86$  км/ч.
7. Определить значения силы аэродинамического сопротивления  $F_w = (W V_i^2) / 12,96$  в рабочем диапазоне двигателя и передаточных чисел КП ( $W = (c_x \rho_T F) / 2$  – фактор обтекаемости;  $c_x = 0,5-0,9$  – коэффициент обтекаемости (выбирается по типу конструкции кабины АТС);  $\rho_T = 1,225$  кг/м<sup>3</sup> – плотность воздуха;  $F = B_k H$  – площадь миделева сечения;  $B_k$  – колея автомобиля, м;  $H$  – высота автомобиля, м).
8. Определить значения динамического фактора  $D = (F_T - F_w) / G_{атс}$  в рабочем диапазоне двигателя и передаточных чисел КП.
9. Построить динамическую характеристику автомобиля  $D = f(V)$ .
10. Разделить маршрут на участки городского, пригородного и загородного движения и рассчитать их частоты  $W_j = S_j / S_{общ}$ .
11. Определить значения коэффициента сопротивления качению  $f = f_0 (1 + A V_i)$  в рабочем диапазоне двигателя и передаточных чисел КП при движении по различным участкам маршрута ( $f_0$  – номинальное значение  $f$ , определяемое по табличным данным;  $A$  – коэффициент учёта скорости движения ( $A = 0,006$  – для грузовых автомобилей)). При однородности дорожного покрытия по всему маршруту значения  $f_0$  рекомендуется взять равными границам соответствующего диапазона для разных участков маршрута.
12. Определить значения математического ожидания дорожного сопротивления  $\psi$  при движении по различным участкам маршрута, в рабочем диапазоне двигателя и передаточных чисел КП  $m_\psi = m_\alpha (a - fb) + f$  ( $m_\alpha$  – математическое ожидание дорожных уклонов;  $a = 0,0172$  и  $b = 0,0034$  – коэффициенты, заменяющие  $\cos$  и  $\sin$  дорожных уклонов).
13. Определить значения среднего квадратического отклонения дорожного сопротивления  $\psi$  при движении по различным участкам маршрута, в рабочем диапазоне двигателя и передаточных чисел КП  $\sigma_\psi = \sigma_\alpha (a - fb)$  ( $\sigma_\alpha = 1,5$  град. – среднее квадратическое отклонение дорожных уклонов для равнинной местности).
14. Определить значения относительного пути движения автомобиля  $k_i$  при движении по различным участкам маршрута, в рабочем диапазоне двигателя и передаточных чисел КП (выражение на стр. 8).
15. Определить значения коэффициента  $\delta_i$  в рабочем диапазоне двигателя и передаточных чисел КП (выражение на стр. 8).
16. Определить значения скоростей движения по участкам маршрута  $V_{cj}^S$  по выражению (2) для расчётных режимов работы двигателя.
17. Определить значение средней скорости движения  $V_{cpj}^S$  на участках маршрута по выражению

$V_{cpj}^s = \sum V_{cj}^s / s$ ( $s$ – количество расчётных режимов работы двигателя). 18. Определить среднюю скорость движения автомобиля по маршруту $V_{cp} = \sum_{j=1}^m V_{cpj}^s W_j$ .
<b>II. Построение топливно-экономической характеристики</b>
1. Определить значения степени использования угловой скорости КВ $E_s = \omega_e^s / \omega_{ep}$ для расчётных режимов работы двигателя ( $\omega_e^s = 0,105n_e$ – угловая скорость КВ на выбранном режиме, $c^{-1}$ ; $\omega_{ep}$ – угловая скорость КВ при максимальной эффективной мощности, $c^{-1}$ ). 2. Определить коэффициент $k_E^s$ , учитывающий влияние степени приближения угловой скорости КВ расчетного режима к угловой скорости при максимальной мощности: $k_E^s = 1,25 - 0,99E_s + 0,98E_s^2 - 0,24E_s^3$ . 3. Определить значения мощности двигателя, затрачиваемой на преодоление суммарного дорожного сопротивления при движении по различным участкам маршрута, в рабочем диапазоне двигателя и передаточных чисел КП $P_{\psi ij}^s = m_{\psi} G_{arc}(V_i/3,6)$ , кВт. 4. Определить значения мощности двигателя, затрачиваемой на преодоление аэродинамического сопротивления в рабочем диапазоне двигателя и передаточных чисел КП $P_{wi}^s = W(V_i/3,6)^3$ , кВт. 5. Определить значения степени использования мощности двигателя при движении по различным участкам маршрута, в рабочем диапазоне двигателя и передаточных чисел КП $I_{ij} = (P_{\psi ij}^s + P_{wi}^s) / (P_e^s \eta_{тр})$ . 6. Определить значения коэффициента $k_{Iij}^s$ , степени использования мощности двигателя при движении по различным участкам маршрута, в рабочем диапазоне двигателя и передаточных чисел КП $k_{Iij}^s = 3,52 - 17,24I_{ij} + 44,85I_{ij}^2 - 55,28I_{ij}^3 + 31,23I_{ij}^4 - 6,08I_{ij}^5$ . 7. Определить значения удельного эффективного расхода топлива при движении по различным участкам маршрута, в рабочем диапазоне двигателя и передаточных чисел КП $g_{eij} = g_{ep} k_E^s k_{Iij}^s$ , где $g_{ep}$ определяется по ВСХ двигателя. 8. Определить линейный расход топлива автомобиля при движении по различным участкам маршрута, в рабочем диапазоне двигателя и передаточных чисел КП $Q_{sij}^s = \frac{g_{eij}(P_{\psi ij}^s + P_{wi}^s)}{10\rho_T \eta_{тр} V_i}$ , л/100 км ( $\rho_T = 0,82$ кг/л – плотность дизтоплива). 9. Построить топливно-экономическую характеристику автомобиля $Q_s = f(V_i; \psi)$ .
<b>III. Построение циклограммы расхода топлива</b>
1. Совместить динамическую (I-ый квадрант) и топливно-экономическую (II квадрант) характеристики автомобиля, как показано на рис. 1. 2. На оси абсцисс отметить значение $V_{cp}$ движения автомобиля. 3. Проекция скорости во II-ой квадрант даёт вероятный диапазон расхода топлива в заданных условиях эксплуатации (рис. 1). 4. При изменении дорожных ( $\psi$ или $D$ ) или транспортных ( $V_{cp}$ ) условий эксплуатации получить изменённый диапазон расхода топлива смещением соответствующей (-их) координат.
<b>IV. Определение расхода топлива <math>Q_{scp}</math> автомобиля на маршруте</b>
1. Определить значения среднего линейного расхода топлива $Q_s^j$ при движении по различным участкам маршрута на передачах КП и ЧВКВ двигателя, соответствующих значениям $V_{cpj}^s$ по выражению (3). 2. Определить средний (наиболее вероятный) расход топлива на маршруте $Q_{scp} = \sum_{j=1}^m Q_s^j W_j$ .

## 2.5 Выводы по разделу 2

1. Разработана методика определения средних скоростей движения АТС по участкам маршрутов с учётом наиболее вероятных их значений для последующего прогнозирования расходов топлива:

– предложено выражение (2.1) для расчёта реализуемой скорости движения автомобиля на соответствующей передаче;

– приведено теоретическое обоснование о применимости отличных от нормального (выражение 2.18) законов распределения случайных величин при учёте дорожных и транспортных условий эксплуатации;

– приведены аналитические выражения для определения коэффициентов учёта дорожных (выражения 2.21, 2.22 и 2.23) и транспортных условий (выражение 2.31) эксплуатации;

– сокращено число шагов алгоритма и использованы научные достижения для расчёта средней скорости;

– предложены выражения (2.46-2.48) для определения средней скорости движения на заданных маршрутах.

2. Усовершенствована существующая методика построения топливно-экономической характеристики АТС введением операции построения циклограммы расхода топлива при вариации условий эксплуатации:

– использованы современные научные достижения для расчёта коэффициента учёта степени использования мощности двигателя;

– предложены выражения (2.49) и (2.50) для определения наиболее вероятного значения линейного расхода топлива с учётом средней скорости на маршруте.

– предложена циклограмма расхода автомобильных топлив для оперативного планирования расхода топлива в условиях АТП.

3. Разработана вероятностно-аналитическая методика прогнозирования расхода топлива автомобилями с учётом средних скоростей их движения.

### **РАЗДЕЛ 3 РАСЧЁТНАЯ ОЦЕНКА АДЕКВАТНОСТИ МЕТОДИКИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАСХОДА АВТОМОБИЛЬНЫХ ТОПЛИВ**

Разработанная вероятностно-аналитическая методика прогнозирования расхода топлива предлагается вместо действующей методики нормирования топлива на АТ (Нормы), поэтому необходимо произвести расчёты по определению нормы расхода топлива, получаемой по этим двум методикам и сравнение результатов на примере какого-либо АТС. В качестве такого примера приняты автопоезда в составе седельных тягачей и тентовых полуприцепов, поскольку именно на данном виде техники перевозится большинство грузов с участием АТ, особенно на международных перевозках, и затраты на топливо этими АТС значительны.

Вместе с самой методикой, адекватность которой требует проверки, следует произвести проверку гипотезы о применении отличных от нормального законов распределения реальных скоростей движения в городских и загородных условиях эксплуатации. Для проверки выдвинутой гипотезы необходимо произвести оценку фактических распределений скоростей движения в указанных условиях.

Полученное по Нормам значение расхода топлива будет сравнено с двумя значениями: полученному по методике (предполагающей использование нормального закона распределения скоростей) и полученному по методике на основе экспериментальной проверки фактического распределения скоростей. Численные значения этих расходов будут сравнены с фактическими эксплуатационными расходами, данные о которых получены экспериментально, а также по информации АТП Н.Новгорода, эксплуатирующих подобную технику. Результаты данного сравнения будут использованы для определения экономического эффекта.

### 3.1 Нормирование расхода автомобильных топлив согласно действующим нормативам

В целях определения и нормирования расхода топлива выбран автопоезд в составе седельного тягача *Iveco EuroStar Cursor 430* и тентового полуприцепа *Krone SDP 27*, перевозящего 20 т груза по маршруту Н.Новгород – Екатеринбург. Данные по техническим характеристикам АТС приведены в Приложении I, карта маршрута представлена в Приложении II.

Нормируемое значение расхода топлива для автопоездов, согласно Нормам расхода топлив и ГСМ, рассчитывается по выражению [16,48,110,136,145] (1.1):

$$Q_H = 0,01 \cdot (H_{\text{смп}} \cdot S + H_w \cdot W) \cdot (1 + 0,01 \cdot D),$$

где  $H_{\text{смп}} = H_s + H_d \cdot G_{\text{пп}} = 16,9 + 1,3 \cdot 8,29 = 27,68$  л/100 км – норма расхода топлива автопоезда;  $H_s = 16,9$  л/100 км – линейная норма расхода топлива седельного тягача [19];  $H_d = 1,3$  л/(т·100 км) – норма расхода топлива на дополнительную массу полуприцепа;  $G_{\text{пп}} = 8,29$  т – снаряженная масса полуприцепа [П.1];  $S = 1460$  км – общий пробег автопоезда по маршруту Н.Новгород-Екатеринбург;  $H_w = 1,3$  л/(т·100 км) – норма расхода топлива на транспортную работу;  $W = G_{\text{гр}} \cdot S_{\text{гр}} = 20,0 \cdot 1460 = 29200$  т·км – объем транспортной работы за езду;  $G_{\text{гр}} = 20,0$  т – принятая масса перевозимого груза (наиболее часто предлагаемая к перевозке на рынке транспортных услуг);  $S_{\text{гр}} = 1460$  км – общий пробег с грузом;  $D$  – суммарный поправочный коэффициент.

К данному маршруту перевозки могут быть применены следующие корректирующие коэффициенты [16]:

- работа АТС в городах с населением от 1 до 3 млн. человек – до 20%;
- при использовании кондиционера или установки «климат-контроль» при движении автомобиля – до 7% от базовой нормы;

– при работе на дорогах общего пользования I, II и III категорий за пределами пригородной зоны на равнинной слабохолмистой местности (высота над уровнем моря до 300 м) – до -15%.

Для правильного начисления вышеперечисленных надбавок необходимо весь маршрут разбить на участки: городское, пригородное и загородное движение: 1460 = 35 + 200 + 1225 км [П.И]. При этом значения суммарных поправочных будут следующие:

1. Город:  $D = 27\%$ .
2. Пригород:  $D = 7\%$ .
3. Загород:  $D = -8\%$ .

Значения нормируемого расхода топлива по выражению (1.1) следующие:

$$1. \quad Q_{н1} = 0,01 \cdot (27,68 \cdot 35 + 1,3 \cdot 700) \cdot (1 + 0,01 \cdot 27) = 23,86 \text{ л}$$

или 68,17 л/100 км.

$$2. \quad Q_{н2} = 0,01 \cdot (27,68 \cdot 200 + 1,3 \cdot 4000) \cdot (1 + 0,01 \cdot 7) = 114,87 \text{ л}$$

или 57,44 л/100 км.

$$3. \quad Q_{н3} = 0,01 \cdot (27,68 \cdot 1225 + 1,3 \cdot 24500) \cdot (1 + 0,01 \cdot (-8)) =$$

$$= 604,94 \text{ л}$$

или 49,38 л/100 км.

Суммарная норма расхода топлива по маршруту Н. Новгород-Екатеринбург составляет 743,67 л, что в приведении к линейному расходу составляет 50,94 л/100 км. Следует отметить, что данная норма будет минимальной, поскольку в зависимости от реальных условий можно применить следующие надбавки: зимняя надбавка (10%), надбавка за возраст АТС (5-10%) (либо на обкатку нового 10%), использование кондиционера или установки «климат-контроль» на стоянке (1 ч простоя с включенным кондиционером равен расходу топлива за 10 км), которые заметно увеличат линейную норму расхода.

Для возможности сравнения результатов нормирования с расчётными и экспериментальными значениями расхода топлива с учётом массы перевозимого груза произведен расчёт нормируемого значения при порожнем пробеге и пере-

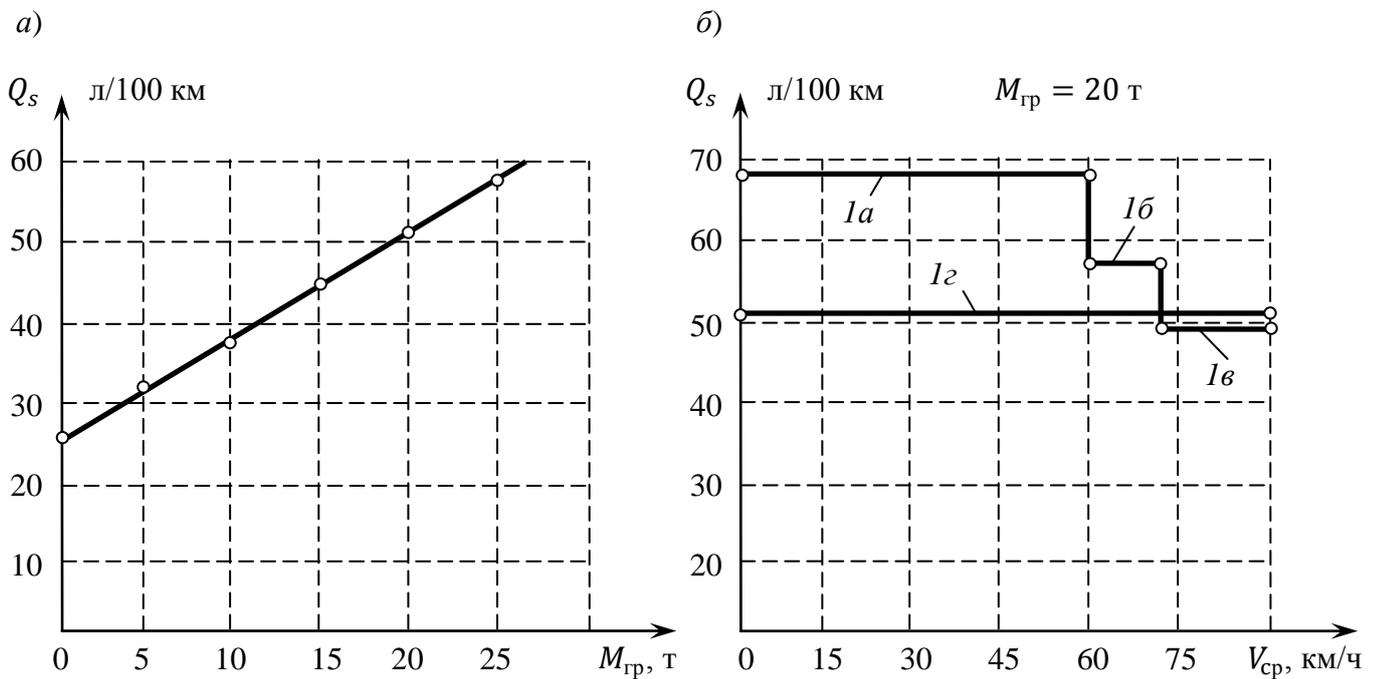
возке 5, 10, 15, 20 и 25 т для построения соответствующей зависимости (табл. 3.1 и рис. 3.1).

Для сравнения результатов производить расчёт с учётом средней скорости движения не нужно, поскольку действующие Нормы не учитывают скорость движения АТС для целей нормирования расхода топлива.

Таблица 3.1.

**Значения расходов топлива по участкам маршрута и по маршруту в целом**

Масса груза, т	Расход на участке 1, л	Расход на участке 2, л	Расход на участке 3, л	Расход на маршруте, л	Линейный расход, л/100 км
0,0	12,30	59,23	311,92	383,45	26,26
5,0	15,19	73,14	385,17	473,51	32,43
10,0	18,08	87,05	458,43	563,56	38,60
15,0	20,97	100,96	531,68	653,61	44,77
<b>20,0</b>	<b>23,86</b>	<b>114,87</b>	<b>604,94</b>	<b>743,67</b>	<b>50,94</b>
25,0	26,75	128,78	678,19	833,72	57,10



**Рис. 3.1. Изменение нормативного линейного расхода топлива в зависимости от:**

*а)* – массы перевозимого груза; *б)* – средней скорости движения АТС;

*I* – нормативное значение (*Ia*-город, *Iб*-пригород, *Iв*-загород, *Iг*-среднее по маршруту)

### 3.2 Определение расхода автомобильных топлив согласно последовательности вероятностно-аналитической методики и оценка результатов расчёта

Исходные данные для расчёта представлены в Приложениях 3, 4. ВСХ двигателя *F3BE0681* (рис. 3.2), устанавливаемого на автомобиле *Iveco EuroStar Cursor 430*, предоставляет требуемые в соответствии с рис. 2.5 данные для проведения дальнейших расчётов: диапазон ЧВКВ двигателя от максимального крутящего момента до максимальной эффективной мощности (в нашем случае 1050-2000 мин<sup>-1</sup>); значения максимального крутящего момента  $T_e^{max}$  и момента при максимальной мощности  $T_e^P$  (1900 Н·м и 1420 Н·м соответственно); значения максимальной эффективной мощности  $P_e^{max}$  и мощности при максимальном крутящем моменте  $P_e^T$  (316 кВт и 200 кВт соответственно); а также промежуточные значения соответствующих показателей двигателя [8].

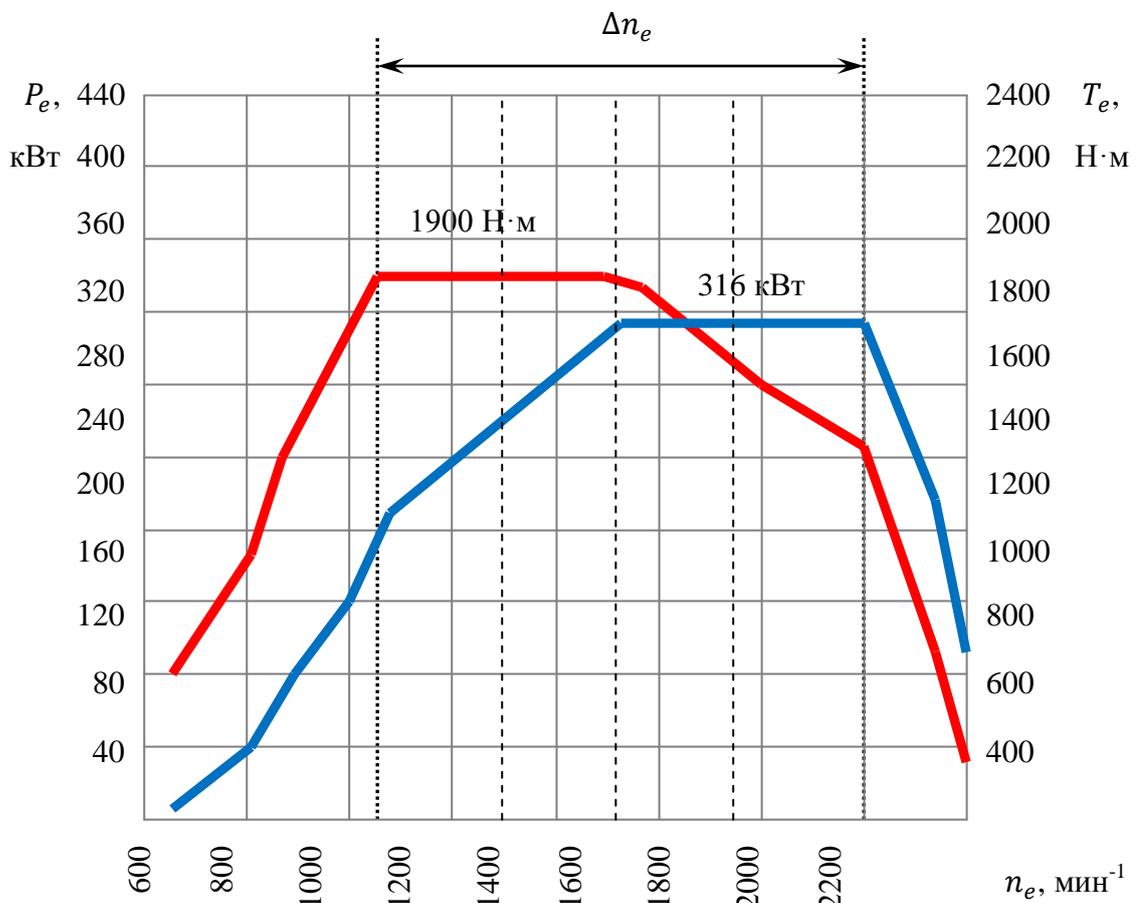


Рис. 3.2. Внешняя скоростная характеристика двигателя *F3BE0681*

Данные показателей двигателя по ВСХ (рис. 3.2) приведены в табл. 3.2.

Таблица 3.2.

Исходные данные по ВСХ двигателя

$P_e, T_e$	ЧВКВ двигателя, мин <sup>-1</sup>				
	1050	1280	1520	1760	2000
$\omega_e, \text{с}^{-1}$	110,25	134,40	159,60	184,80	210,00
$P_e, \text{кВт}$	200	260	316	316	316
$T_e, \text{Н}\cdot\text{м}$	1900	1900	1900	1760	1420

В соответствии с алгоритмом вероятностно-аналитической методики прогнозирования расхода топлива (табл. 2.1) расчёт будет показан на примере одной (наивысшей) передачи автомобиля *Iveco EuroStar Cursor 430*. Условно номера передач обозначены по порядку от 1 до 16, на автомобиле установлены КП фирмы ZF модель 16S 221, имеющей две ползущие (*crawler*) передачи и 7 ступеней с демультпликатором, имеющим два диапазона. Итоговые значения для других передач представлены в соответствующих таблицах.

### Шаг 1. Массив скоростей для построения динамической характеристики.

1.1. Сила тяги на ведущих колесах на наивысшей передаче:

$$F_T^{16} = \frac{T_e^{P_e^{max}} i_{тр} \eta_{тр}}{r_d} = \frac{1420 \cdot 1,00 \cdot 3,07 \cdot 0,85}{0,4982} = 7437,76 \text{ Н},$$

где  $T_e^{P_e^{max}} = 1420 \text{ Н}\cdot\text{м}$  – крутящий момент при максимальной эффективной мощности;  $i_{тр} = i_{кп} \cdot i_0 = 1,00 \cdot 3,07$  – передаточное число трансмиссии на 16-ой передаче;  $r_d \approx r_c = \frac{d}{2} + B_{ш} \cdot \Delta_{ш} \cdot \lambda_z = \frac{22,5 \cdot 0,0254}{2} + 0,295 \cdot 0,8 \cdot 0,9 = 0,4982 \text{ м}$ .

Массив значений сил тяги на ведущих колесах в зависимости от значений крутящего момента в диапазоне ЧВКВ двигателя (табл. 3.2.) и передаточных чисел КП (П.1.) приведен в табл. 3.3.

Массив значений сил тяги

№ пп	$i_{кп}$	Силы тяги, Н при ЧВКВ двигателя, мин <sup>-1</sup>				
		1050	1280	1520	1760	2000
1	16,41	163 311,12	163 311,12	163 311,12	151 277,67	122 053,57
2	13,80	137 336,59	137 336,59	137 336,59	127 217,05	102 641,03
3	11,28	112 257,74	112 257,74	112 257,74	103 986,11	83 897,89
4	9,49	94 443,79	94 443,79	94 443,79	87 484,77	70 584,30
5	7,76	77 226,95	77 226,95	77 226,95	71 536,55	57 716,99
6	6,53	64 986,08	64 986,08	64 986,08	60 197,63	48 568,55
7	5,43	54 038,96	54 038,96	54 038,96	50 057,14	40 387,01
8	4,57	45 480,31	45 480,31	45 480,31	42 129,13	33 990,54
9	3,59	35 727,42	35 727,42	35 727,42	33 094,87	26 701,54
10	3,02	30 054,82	30 054,82	30 054,82	27 840,25	22 462,02
11	2,47	24 581,26	24 581,26	24 581,26	22 770,01	18 371,26
12	2,08	20 700,01	20 700,01	20 700,01	19 174,74	15 470,53
13	1,70	16 918,28	16 918,28	16 918,28	15 671,67	12 644,19
14	1,43	14 231,26	14 231,26	14 231,26	13 182,64	10 635,99
15	1,19	11 842,79	11 842,79	11 842,79	10 970,17	8 850,93
16	1,00	9 951,93	9 951,93	9 951,93	9 218,63	7 437,76

1.2. Максимальная реализуемая скорость на наивысшей передаче:

$$V_{16} = 3,6\eta_{тр} \frac{P_e^{\max}}{F_T} = 3,6 \cdot 0,85 \cdot \frac{316000}{7437,76} = 130,01 \text{ км/ч.}$$

Массив значений реализуемых скоростей в зависимости от значений мощности в диапазоне ЧВКВ двигателя (табл. 3.2.) и передаточных чисел КП (П.І.) приведен в табл. 3.4.

Как видно из табл. 3.4 (выделены жирным шрифтом) для передач 14, 15 и 16 полученное значение максимальной реализуемой скорости выше предельной скорости  $V_{пр} = 86 \text{ км/ч}$  согласно ограничителю оборотов коленчатого вала двигателя, поэтому все эти значения установлены 86 км/ч.

Минимальная скорость на выбранной передаче ограничивается исходя из необходимости обеспечения устойчивости работы двигателя на малых оборотах. Соответственно, в качестве границы устойчивости установим минимальную частоту вращения при максимальном крутящем моменте, поскольку в области более низких значений частот вращения происходит резкое снижение крутящего момента, что приводит к неустойчивости работы двигателя и высокой вероятности

его остановки. Минимальное устойчивое значение частоты вращения коленчатого вала (ЧВКВ) двигателя определяется по ВСХ двигателя, составляет  $n_{e \min}^{\text{уст}} = 1050 \text{ мин}^{-1}$ . Минимальная реализуемая скорость – 3,75 км/ч.

Таблица 3.4.

## Массив значений скоростей

№ пп	$i_{kn}$	Скорость на передаче, км/ч при ЧВКВ двигателя, $\text{мин}^{-1}$				
		1050	1280	1520	1760	2000
1	16,41	3,75	4,87	5,92	6,39	7,92
2	13,80	4,46	5,79	7,04	7,60	9,42
3	11,28	5,45	7,09	8,61	9,30	11,53
4	9,49	6,48	8,42	10,24	11,05	13,70
5	7,76	7,92	10,30	12,52	13,52	16,75
6	6,53	9,42	12,24	14,88	16,06	19,91
7	5,43	11,33	14,72	17,89	19,32	23,94
8	4,57	13,46	17,49	21,26	22,95	28,45
9	3,59	17,13	22,27	27,06	29,22	36,21
10	3,02	20,36	26,47	32,17	34,73	43,05
11	2,47	24,90	32,37	39,34	42,47	52,63
12	2,08	29,57	38,43	46,71	50,43	62,50
13	1,70	36,17	47,03	57,15	61,70	76,47
14	1,43	43,00	55,91	67,95	73,35	<b>90,91 (86)</b>
15	1,19	51,68	67,18	81,65	<b>88,14 (86)</b>	<b>109,25 (86)</b>
16	1,00	61,50	79,94	<b>97,16 (86)</b>	<b>104,89 (86)</b>	<b>130,01 (86)</b>

## Шаг 2. Построение динамической характеристики.

2.1. Сила аэродинамического сопротивления при заданной скорости определяется из выражения (2.2), соответственно для наивысшей передачи:

$$F_w^{16} = \frac{W \cdot V_{16}^2}{12,96} = \frac{4,317 \cdot 86^2}{12,96} = 2463,62 \text{ Н},$$

где  $W = \frac{c_x \cdot \rho_v \cdot F}{2} = \frac{0,86 \cdot 1,225 \cdot 8,196}{2} = 4,317$  – фактор обтекаемости;  $c_x = c_{x0} + k_\beta \cdot \beta = 0,50 + 0,018 \cdot 20 = 0,86$  – коэффициент обтекаемости;  $c_{x0} = 0,5$  – коэффициент обтекаемости при нулевом угле натекания воздушного потока (табл. 2.1);  $k_\beta = 0,018$  – коэффициент учёта угла натекания воздушного потока (табл. 2.1);  $\beta = 20^\circ$  – угол натекания воздушного потока (взят максимальным для умеренной климатической зоны);  $\rho_v = 1,225 \text{ кг/м}^3$  – плотность воздуха;

$F = B_k \cdot H = 2,049 \cdot 4,0 = 8,196 \text{ м}^2$  – площадь миделева сечения;  $B_k = 2,049 \text{ м}$  – колея передней оси тягача;  $H = 4,0 \text{ м}$  – высота АТС.

Массив значений сил аэродинамического сопротивления в зависимости от значений мощности в диапазоне ЧВКВ двигателя (табл. 3.2.) и передаточных чисел КП (П.І.) приведен в табл. 3.5. Значения, выделенные жирным шрифтом соответствуют предельной скорости движения  $V_{пр} = 86 \text{ км/ч}$ .

Таблица 3.5.

**Массив значений сил аэродинамического сопротивления**

№ пп	$i_{кп}$	Сила аэродинамич. сопротивления, Н при ЧВКВ двигателя, мин <sup>-1</sup>				
		1050	1280	1520	1760	2000
1	16,41	4,68	7,91	11,68	13,61	20,91
2	13,80	6,61	11,18	16,51	19,24	29,56
3	11,28	9,90	16,73	24,72	28,80	44,25
4	9,49	13,99	23,64	34,92	40,69	62,51
5	7,76	20,92	35,35	52,22	60,86	93,49
6	6,53	29,54	49,93	73,75	85,95	132,03
7	5,43	42,72	72,20	106,65	124,30	190,95
8	4,57	60,32	101,93	150,57	175,48	269,57
9	3,59	97,74	165,18	244,00	284,36	436,84
10	3,02	138,12	233,42	344,80	401,83	617,30
11	2,47	206,48	348,95	515,45	600,71	922,82
12	2,08	291,16	492,07	726,86	847,10	1 301,32
13	1,70	435,88	736,64	1 088,13	1 268,13	1 948,11
14	1,43	616,02	1 041,07	1 537,83	1 792,21	<b>2 463,62</b>
15	1,19	889,55	1 503,34	2 220,68	<b>2 463,62</b>	<b>2 463,62</b>
16	1,00	1 259,70	2 128,89	<b>2 463,62</b>	<b>2 463,62</b>	<b>2 463,62</b>

Полный вес автопоезда  $G_{атс} = (15358 + 20000) \cdot 9,81 = 346861,98 \text{ Н}$ . При этом масса АТС складывается из снаряжённой массы автопоезда, расчётной массы водителя и его багажа:  $m_{атс} = 6970 + 8290 + 75 + 23 = 15358 \text{ кг}$ ; 6970 кг – снаряжённая масса тягача; 8290 кг – снаряжённая масса полуприцепа; 75 кг – расчётная масса водителя по ГОСТ Р 52389-2005 для грузового АТС; 23 кг – расчётная масса багажа для международных перевозок по ГОСТ Р 52389-2005; 20000 кг – масса груза.

2.2. Динамический фактор для наивысшей передачи:

$$D_{16} = \frac{F_T^{16} - F_W^{16}}{G_{атс}} = \frac{7437,76 - 2463,62}{346861,98} = 0,0143.$$

Массив значений динамических факторов в зависимости от значений мощности в диапазоне ЧВКВ двигателя (табл. 3.2.) и передаточных чисел КП (П.І.) приведён в табл. 3.6.

Таблица 3.6.

Массив значений динамических факторов

№ пп	$i_{кп}$	Динамический фактор при ЧВКВ двигателя, мин <sup>-1</sup>				
		1050	1280	1520	1760	2000
1	16,41	0,4708	0,4708	0,4708	0,4361	0,3518
2	13,80	0,3959	0,3959	0,3959	0,3667	0,2958
3	11,28	0,3236	0,3236	0,3236	0,2997	0,2417
4	9,49	0,2722	0,2722	0,2722	0,2521	0,2033
5	7,76	0,2226	0,2225	0,2225	0,2061	0,1661
6	6,53	0,1873	0,1872	0,1871	0,1733	0,1396
7	5,43	0,1557	0,1556	0,1555	0,1440	0,1159
8	4,57	0,1309	0,1308	0,1307	0,1210	0,0972
9	3,59	0,1027	0,1025	0,1023	0,0946	0,0757
10	3,02	0,0862	0,0860	0,0857	0,0791	0,0630
11	2,47	0,0703	0,0699	0,0694	0,0639	0,0503
12	2,08	0,0588	0,0583	0,0576	0,0528	0,0408
13	1,70	0,0475	0,0467	0,0456	0,0415	0,0308
14	1,43	0,0393	0,0380	0,0366	0,0328	0,0236
15	1,19	0,0316	0,0298	0,0277	0,0245	0,0184
16	1,00	0,0251	0,0226	0,0216	0,0195	0,0143

Динамическая характеристика заданного автопоезда приведена на рис. 3.3. и составляет I квадрант циклограммы расхода топлива.

Тем не менее, при разовом использовании методики для определения нормы расхода топлива строить динамическую характеристику не обязательно. Достаточно определить значения вышерассчитанных величин:  $F_{Ti}$ ,  $V_i$ ,  $F_{Wi}$ ,  $D_i$  при ЧВКВ двигателя, соответствующей максимальной эффективной мощности двигателя  $P_e^{max}$  (в нашем случае это последние столбцы соответствующих таблиц при ЧВКВ двигателя  $n_{P_e^{max}} = 2000$  мин<sup>-1</sup>).

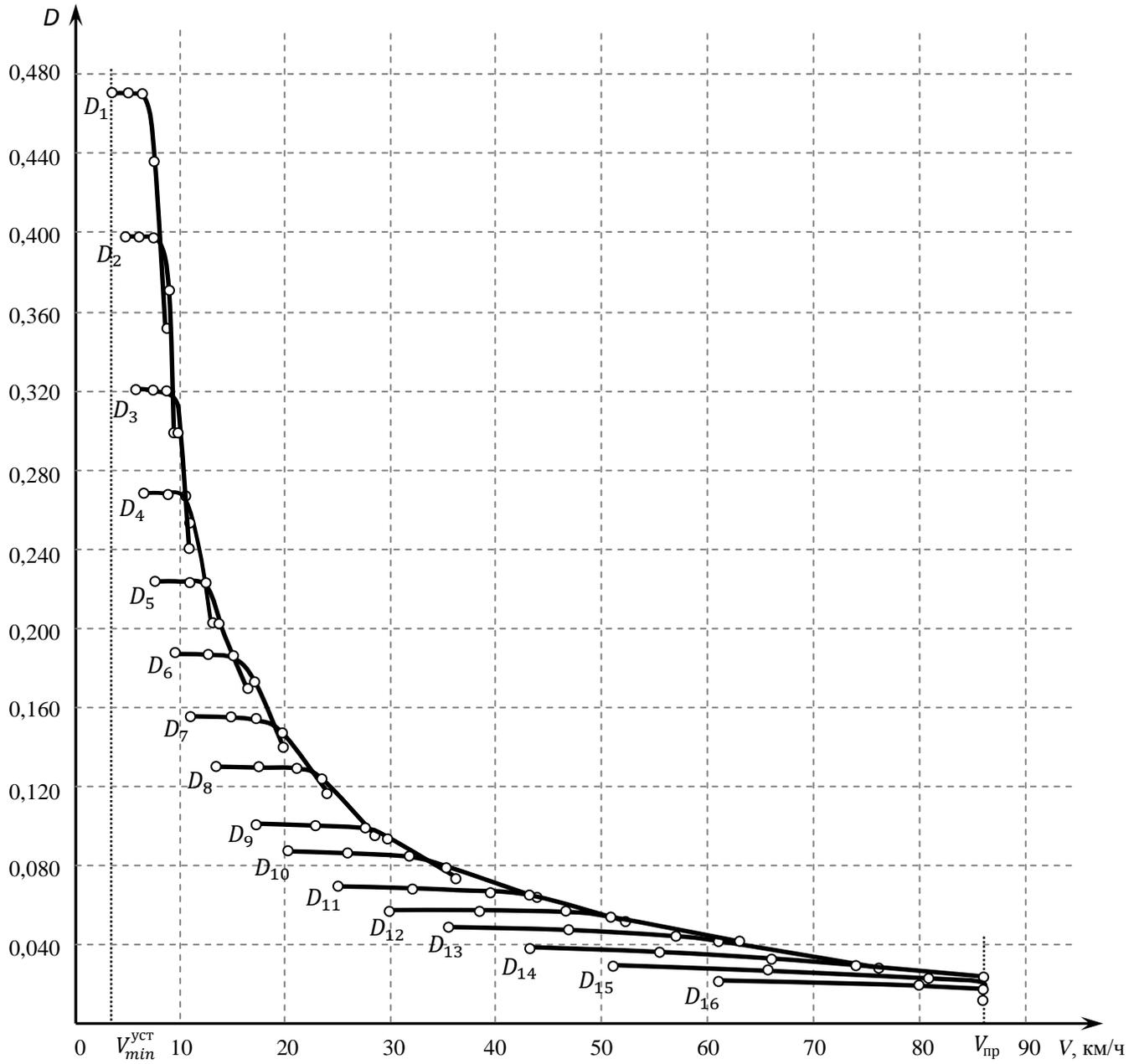


Рис. 3.3. Динамическая характеристика автопоезда *Iveco EuroStar - Krone*

Для обеспечения точности дальнейших расчётов на рис. 3.4 приведён детализированный фрагмент динамической характеристики в области высоких значений скоростей.

Расчитанные значения динамических факторов позволяют перейти непосредственно к определению средней скорости движения на маршруте.

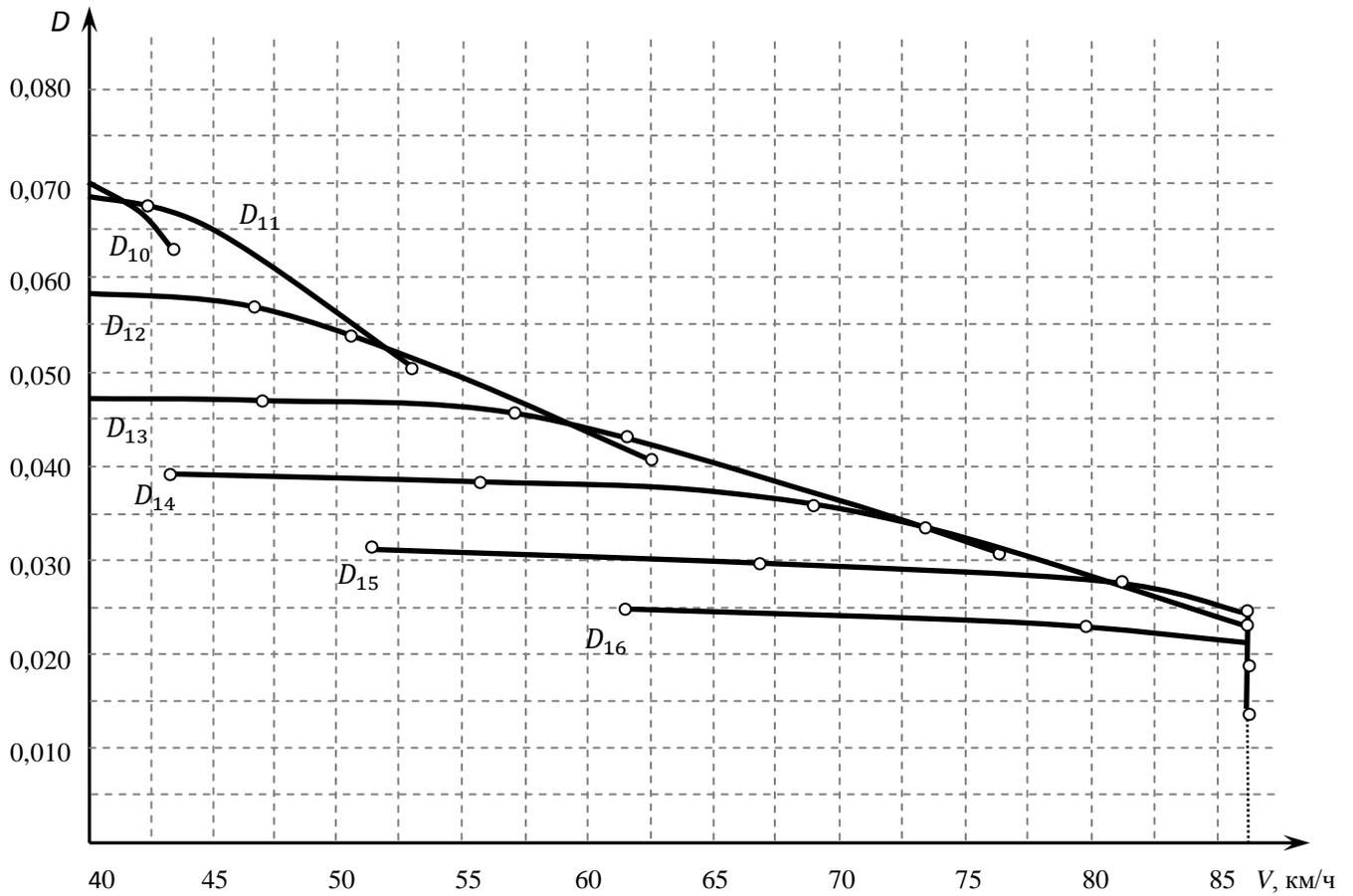


Рис. 3.4. Детализированный фрагмент динамической характеристики

### Шаг 3. *Определение относительного пути движения на каждой передаче $k_i$ .*

С целью учёта дорожных условий эксплуатации весь маршрут движения разделяется на участки с различным коэффициентом сопротивления качения  $f$ . В соответствии с поставленными целями и выдвинутой гипотезой маршрут движения Н. Новгород – Екатеринбург делится на два участка: 1-й участок – движение в городских условиях – общее расстояние 35 км, коэффициент  $f=0,015$  (табл. П.2.2); 2-й участок – движение за пределами городов – общее расстояние 1425 км,  $f=0,008$  (табл. П.2.2).

В соответствии с выражением (2.8) коэффициент сопротивления качению не остается постоянным с изменением скорости, соответствующие значения при движении на высшей передаче составят:

$$f_1 = f_0 (1 + A \cdot V_a) = 0,015(1 + 0,0006 \cdot 86) = 0,0162;$$

$$f_2 = 0,008(1 + 0,0006 \cdot 86) = 0,0086.$$

Массив значений коэффициентов сопротивления качению при движении со скоростями, соответствующими ЧВКВ двигателя (табл. 3.2.) и передаточных чисел КП (П.І.) приведён в табл. 3.7.

Таблица 3.7.

Массив значений коэффициентов сопротивления качению

№ пп	$i_{кп}$	$f$ при движении со скоростью, соответствующей ЧВКВ двигателя, мин <sup>-1</sup>									
		1050		1280		1520		1760		2000	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	16,41	0,0150	0,0080	0,0150	0,0080	0,0151	0,0080	0,0151	0,0080	0,0151	0,0080
2	13,80	0,0150	0,0080	0,0151	0,0080	0,0151	0,0080	0,0151	0,0080	0,0151	0,0080
3	11,28	0,0150	0,0080	0,0151	0,0080	0,0151	0,0080	0,0151	0,0080	0,0151	0,0081
4	9,49	0,0151	0,0080	0,0151	0,0080	0,0151	0,0080	0,0151	0,0081	0,0151	0,0081
5	7,76	0,0151	0,0080	0,0151	0,0080	0,0151	0,0081	0,0151	0,0081	0,0152	0,0081
6	6,53	0,0151	0,0080	0,0151	0,0081	0,0151	0,0081	0,0151	0,0081	0,0152	0,0081
7	5,43	0,0151	0,0081	0,0151	0,0081	0,0152	0,0081	0,0152	0,0081	0,0152	0,0081
8	4,57	0,0151	0,0081	0,0152	0,0081	0,0152	0,0081	0,0152	0,0081	0,0153	0,0081
9	3,59	0,0152	0,0081	0,0152	0,0081	0,0152	0,0081	0,0153	0,0081	0,0153	0,0082
10	3,02	0,0152	0,0081	0,0152	0,0081	0,0153	0,0082	0,0153	0,0082	0,0154	0,0082
11	2,47	0,0152	0,0081	0,0153	0,0082	0,0154	0,0082	0,0154	0,0082	0,0155	0,0083
12	2,08	0,0153	0,0081	0,0153	0,0082	0,0154	0,0082	0,0155	0,0082	0,0156	0,0083
13	1,70	0,0153	0,0082	0,0154	0,0082	0,0155	0,0083	0,0156	0,0083	0,0157	0,0084
14	1,43	0,0154	0,0082	0,0155	0,0083	0,0156	0,0083	0,0157	0,0084	0,0158	0,0084
15	1,19	0,0155	0,0082	0,0156	0,0083	0,0157	0,0084	0,0158	0,0084	0,0160	0,0085
16	1,00	0,0156	0,0083	0,0157	0,0084	0,0159	0,0085	0,0159	0,0085	0,0162	0,0086

В соответствии с выражением (2.19) математическое ожидание дорожного движения для 2-х участков маршрута составит:  $m_{\psi 1} = m_{\alpha}(a - fb) + f = 0,0162$  и  $m_{\psi 2} = 0,0086$ . При этом для маятниковых маршрутов  $m_{\alpha} = 0$ , в этом случае массив математических ожиданий будет соответствовать массиву коэффициентов сопротивления качению (табл. 3.7).

В соответствии с выражением (2.20) среднеквадратическое отклонение дорожного сопротивления для двух участков маршрута при движении на высшей передаче составит:

$$\sigma_{\psi 1} = \sigma_{\alpha}(a - fb) = 1,5 \cdot (0,0172 - 0,0162 \cdot 0,0034) = 0,025718;$$

$$\sigma_{\psi 2} = 1,5 \cdot (0,0172 - 0,0086 \cdot 0,0034) = 0,025756.$$

Массив значений среднеквадратических отклонений дорожного сопротивления при движении со скоростями, соответствующими ЧВКВ двигателя (табл. 3.2.) и передаточных чисел КП (П.І.) приведён в табл. 3.8.

Массив значений среднеквадратических отклонений

№ пп	$i_{кп}$	$\sigma_{\psi}$ при движении со скоростью, соответствующей ЧВКВ двигателя, мин <sup>-1</sup>									
		1050		1280		1520		1760		2000	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	16,41	0,025723	0,025759	0,025723	0,025759	0,025723	0,025759	0,025723	0,025759	0,025723	0,025759
2	13,80	0,025723	0,025759	0,025723	0,025759	0,025723	0,025759	0,025723	0,025759	0,025723	0,025759
3	11,28	0,025723	0,025759	0,025723	0,025759	0,025723	0,025759	0,025723	0,025759	0,025723	0,025759
4	9,49	0,025723	0,025759	0,025723	0,025759	0,025723	0,025759	0,025723	0,025759	0,025723	0,025759
5	7,76	0,025723	0,025759	0,025723	0,025759	0,025723	0,025759	0,025723	0,025759	0,025723	0,025759
6	6,53	0,025723	0,025759	0,025723	0,025759	0,025723	0,025759	0,025723	0,025759	0,025723	0,025759
7	5,43	0,025723	0,025759	0,025723	0,025759	0,025723	0,025759	0,025723	0,025759	0,025722	0,025759
8	4,57	0,025723	0,025759	0,025723	0,025759	0,025723	0,025759	0,025722	0,025759	0,025722	0,025759
9	3,59	0,025723	0,025759	0,025722	0,025759	0,025722	0,025759	0,025722	0,025758	0,025722	0,025758
10	3,02	0,025723	0,025759	0,025722	0,025759	0,025722	0,025758	0,025722	0,025758	0,025722	0,025758
11	2,47	0,025722	0,025759	0,025722	0,025758	0,025722	0,025758	0,025722	0,025758	0,025721	0,025758
12	2,08	0,025722	0,025758	0,025722	0,025758	0,025721	0,025758	0,025721	0,025758	0,025721	0,025758
13	1,70	0,025722	0,025758	0,025721	0,025758	0,025721	0,025758	0,025721	0,025758	0,025720	0,025757
14	1,43	0,025722	0,025758	0,025721	0,025758	0,025720	0,025758	0,025720	0,025757	0,025719	0,025757
15	1,19	0,025721	0,025758	0,025720	0,025758	0,025720	0,025757	0,025719	0,025757	0,025718	0,025757
16	1,00	0,025721	0,025758	0,025720	0,025757	0,025719	0,025757	0,025719	0,025757	0,025718	0,025756

При нормальном распределении дорожного сопротивления по участкам маршрута относительный путь движения, согласно выражению (2.18) на высшей передаче для двух участков дорог составит:

$$k_{16}^{\psi_1} = \Phi\left(\frac{0,0143 - 0,0162}{0,025718}\right) = \Phi(-0,0711) = 0,4716;$$

$$k_{16}^{\psi_2} = \Phi\left(\frac{0,0143 - 0,0086}{0,025756}\right) = \Phi(0,2219) = 0,5878.$$

Массив значений аргументов нормированной функции  $\frac{D_i - m_{\psi}}{\sigma_{\psi}} = z$ , значений нормированной функции  $\Phi(z)$  и значений относительных путей движения  $k_i$  на разных передачах и режимах работы двигателя приведены в табл. 3.9, 3.10, 3.11 соответственно.

Таблица 3.9.

## Массив значений аргументов нормированной функции

№ пп	$i_{кп}$	$z$ при движении со скоростью, соответствующей ЧВКВ двигателя, мин <sup>-1</sup>									
		1050		1280		1520		1760		2000	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	16,41	17,7184	17,9662	17,7177	17,9656	17,7170	17,9650	16,3679	16,6179	13,0912	13,3461
2	13,80	14,8069	15,0588	14,8059	15,0580	14,8049	15,0572	13,6702	13,9242	10,9141	11,1721
3	11,28	11,9954	12,2514	11,9941	12,2503	11,9927	12,2491	11,0649	11,3228	8,8110	9,0724
4	9,49	9,9981	10,2569	9,9963	10,2555	9,9945	10,2539	9,2136	9,4743	7,3161	7,5798
5	7,76	8,0672	8,3290	8,0648	8,3269	8,0621	8,3247	7,4230	7,6866	5,8694	6,1357
6	6,53	6,6938	6,9577	6,6905	6,9549	6,6870	6,9518	6,1485	6,4143	4,8387	5,1069
7	5,43	5,4647	5,7307	5,4603	5,7268	5,4553	5,7223	5,0066	5,2745	3,9137	4,1838
8	4,57	4,5028	4,7704	4,4967	4,7650	4,4900	4,7589	4,1110	4,3807	3,1864	3,4583
9	3,59	3,4042	3,6740	3,3949	3,6655	3,3844	3,6558	3,0841	3,3563	2,3480	2,6223
10	3,02	2,7628	3,0340	2,7500	3,0222	2,7356	3,0087	2,4801	2,7540	1,8502	2,1264
11	2,47	2,1401	2,4129	2,1215	2,3956	2,1005	2,3757	1,8868	2,1628	1,3541	1,6325
12	2,08	1,6940	1,9682	1,6684	1,9440	1,6392	1,9162	1,4535	1,7314	0,9831	1,2637
13	1,70	1,2516	1,5275	1,2141	1,4918	1,1712	1,4506	1,0097	1,2901	0,5890	0,8724
14	1,43	0,9278	1,2053	0,8757	1,1553	0,8158	1,0975	0,6679	0,9507	0,3010	0,5872
15	1,19	0,6265	0,9057	0,5522	0,8342	0,4668	0,7512	0,3395	0,6251	0,0945	0,3840
16	1,00	0,3696	0,6509	0,2657	0,5501	0,2222	0,5095	0,1373	0,4260	-0,0711	0,2219

Таблица 3.10.

## Массив значений нормированной функции

№ пп	$i_{кп}$	$\Phi(z)$ при движении со скоростью, соответствующей ЧВКВ двигателя, мин <sup>-1</sup>									
		1050		1280		1520		1760		2000	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	16,41	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
2	13,80	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
3	11,28	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
4	9,49	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
5	7,76	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
6	6,53	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
7	5,43	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
8	4,57	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,9993	0,9997
9	3,59	0,9997	0,9999	0,9997	0,9999	0,9996	0,9999	0,9990	0,9996	0,9906	0,9956
10	3,02	0,9971	0,9988	0,9970	0,9987	0,9969	0,9987	0,9934	0,9971	0,9679	0,9833
11	2,47	0,9838	0,9921	0,9831	0,9917	0,9822	0,9912	0,9704	0,9847	0,9122	0,9487
12	2,08	0,9549	0,9755	0,9524	0,9741	0,9494	0,9723	0,9270	0,9583	0,8372	0,8968
13	1,70	0,8946	0,9367	0,8876	0,9321	0,8792	0,9266	0,8437	0,9015	0,7221	0,8085
14	1,43	0,8233	0,8860	0,8094	0,8760	0,7927	0,8638	0,7479	0,8291	0,6183	0,7215
15	1,19	0,7345	0,8175	0,7096	0,7979	0,6797	0,7737	0,6329	0,7341	0,5377	0,6495
16	1,00	0,6442	0,7424	0,6048	0,7089	0,5879	0,6948	0,5546	0,6649	0,4716	0,5878

Массив значений относительного пути движения

№ пп	$i_{кп}$	$k_i$ при движении со скоростью, соответствующей ЧВКВ двигателя, мин <sup>-1</sup>									
		1050		1280		1520		1760		2000	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	16,41	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	13,80	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3	11,28	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
4	9,49	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
5	7,76	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
6	6,53	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
7	5,43	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0007	0,0003
8	4,57	0,0003	0,0001	0,0003	0,0001	0,0004	0,0001	0,0010	0,0004	0,0087	0,0041
9	3,59	0,0025	0,0011	0,0026	0,0011	0,0028	0,0012	0,0055	0,0025	0,0227	0,0124
10	3,02	0,0133	0,0067	0,0140	0,0070	0,0147	0,0074	0,0230	0,0123	0,0557	0,0345
11	2,47	0,0290	0,0166	0,0307	0,0176	0,0327	0,0189	0,0435	0,0264	0,0749	0,0519
12	2,08	0,0602	0,0388	0,0647	0,0419	0,0702	0,0458	0,0833	0,0568	0,1152	0,0883
13	1,70	0,0714	0,0507	0,0782	0,0561	0,0865	0,0628	0,0958	0,0724	0,1038	0,0870
14	1,43	0,0888	0,0685	0,0998	0,0781	0,1130	0,0901	0,1150	0,0951	0,0807	0,0720
15	1,19	0,0903	0,0750	0,1048	0,0890	0,0918	0,0789	0,0783	0,0691	0,0660	0,0617
16	1,00	0,6442	0,7424	0,6048	0,7089	0,5879	0,6948	0,5546	0,6649	0,4716	0,5878

Шаг 4. *Определение относительного времени движения на каждой передаче.*

Коэффициент выбора закона распределения скоростей  $\delta_i$  учитывает показатель геометрической прогрессии  $q = V_i/V_{i-1}$ , по которой подобраны передаточные числа КП и определяет смещение средней скорости движения АТС на выбранной передаче  $V_{ci}$  от среднего значения скорости в диапазоне от  $V_{i-1}$  до  $V_i$ . В соответствии представленными в п. 2.1. заключениями и выражением (2.30)  $\delta_i$  для высшей передачи составит:

$$\delta_i = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{V_{i-1}}{V_i} \right) = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{86}{86} \right) = 1,00.$$

Коэффициент отношения скоростей для высшей передачи составит  $d_i = V_{пр}/V_i = 86/86 = 1,00$ .

Массив значений коэффициента выбора закона распределения скоростей и коэффициента отношения скоростей для других передач КП АТС и различных режимов работы двигателя представлен в табл. 3.12 и 3.13 соответственно.

Таблица 3.12.

## Массив значений коэффициента выбора закона распределения скоростей

№ пп	$i_{кп}$	$\delta_i$ при ЧВКВ двигателя, мин <sup>-1</sup>				
		1050	1280	1520	1760	2000
1	16,41	1,0000	0,8846	0,8165	0,7931	0,7365
2	13,80	0,9205	0,9205	0,9205	0,9205	0,9205
3	11,28	0,9087	0,9087	0,9087	0,9087	0,9087
4	9,49	0,9207	0,9207	0,9207	0,9207	0,9207
5	7,76	0,9089	0,9089	0,9089	0,9089	0,9089
6	6,53	0,9207	0,9207	0,9207	0,9207	0,9207
7	5,43	0,9158	0,9158	0,9158	0,9158	0,9158
8	4,57	0,9208	0,9208	0,9208	0,9208	0,9208
9	3,59	0,8928	0,8928	0,8928	0,8928	0,8928
10	3,02	0,9206	0,9206	0,9206	0,9206	0,9206
11	2,47	0,9089	0,9089	0,9089	0,9089	0,9089
12	2,08	0,9211	0,9211	0,9211	0,9211	0,9211
13	1,70	0,9087	0,9087	0,9087	0,9087	0,9087
14	1,43	0,9206	0,9206	0,9206	0,9206	0,9446
15	1,19	0,9161	0,9161	0,9161	0,9265	1,0000
16	1,00	0,9202	0,9202	0,9747	1,0000	1,0000

Таблица 3.13.

## Массив значений коэффициента отношения скоростей

№ пп	$i_{кп}$	$d_i$ при ЧВКВ двигателя, мин <sup>-1</sup>				
		1050	1280	1520	1760	2000
1	16,41	22,9489	17,6530	14,5247	13,4544	10,8553
2	13,80	19,2989	14,8453	12,2145	11,3145	9,1287
3	11,28	15,7748	12,1344	9,9840	9,2484	7,4618
4	9,49	13,2715	10,2089	8,3997	7,7808	6,2777
5	7,76	10,8522	8,3478	6,8685	6,3624	5,1333
6	6,53	9,1320	7,0246	5,7798	5,3539	4,3196
7	5,43	7,5937	5,8413	4,8061	4,4520	3,5920
8	4,57	6,3910	4,9162	4,0450	3,7469	3,0231
9	3,59	5,0205	3,8619	3,1775	2,9434	2,3748
10	3,02	4,2234	3,2488	2,6730	2,4761	1,9977
11	2,47	3,4542	2,6571	2,1862	2,0251	1,6339
12	2,08	2,9088	2,2376	1,8410	1,7054	1,3759
13	1,70	2,3774	1,8288	1,5047	1,3938	1,1246
14	1,43	1,9998	1,5383	1,2657	1,1724	1,0000
15	1,19	1,6642	1,2801	1,0533	1,0000	1,0000
16	1,00	1,3985	1,0757	1,0000	1,0000	1,0000

Для простоты расчёта относительного времени движения на передачах  $\gamma_i$  по выражению (2.34) сначала рассчитаем соотношение  $\frac{k_i d_i}{\delta_i}$  для каждой передачи, режима работы двигателя и установленных участков маршрута и соответствующие им суммы. Результаты приведены в табл. 3.14.

Таблица 3.14.

Массив значений соотношения  $\frac{k_i d_i}{\delta_i}$  для участков маршрута

№ пп	$i_{кп}$	$\frac{k_i d_i}{\delta_i}$ при ЧВКВ двигателя, мин <sup>-1</sup>									
		1050		1280		1520		1760		2000	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	16,41	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	13,80	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3	11,28	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
4	9,49	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
5	7,76	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
6	6,53	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0002	0,0001
7	5,43	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0026	0,0010
8	4,57	0,0023	0,0008	0,0018	0,0007	0,0016	0,0006	0,0041	0,0016	0,0286	0,0134
9	3,59	0,0142	0,0061	0,0114	0,0049	0,0098	0,0042	0,0183	0,0084	0,0604	0,0329
10	3,02	0,0611	0,0308	0,0493	0,0249	0,0428	0,0216	0,0619	0,0332	0,1209	0,0750
11	2,47	0,1101	0,0631	0,0897	0,0516	0,0788	0,0455	0,0968	0,0589	0,1347	0,0933
12	2,08	0,1902	0,1225	0,1573	0,1019	0,1403	0,0915	0,1542	0,1052	0,1721	0,1320
13	1,70	0,1868	0,1327	0,1575	0,1129	0,1433	0,1039	0,1469	0,1110	0,1284	0,1077
14	1,43	0,1928	0,1488	0,1668	0,1305	0,1554	0,1238	0,1465	0,1211	0,0854	0,0762
15	1,19	0,1641	0,1363	0,1465	0,1244	0,1055	0,0908	0,0845	0,0746	0,0660	0,0617
16	1,00	0,9790	1,1283	0,7070	0,8287	0,6032	0,7128	0,5546	0,6649	0,4716	0,5878
<b>Σ</b>	–	<b>1,9006</b>	<b>1,7695</b>	<b>1,4872</b>	<b>1,3804</b>	<b>1,2805</b>	<b>1,1947</b>	<b>1,2679</b>	<b>1,1789</b>	<b>1,2709</b>	<b>1,1810</b>

Соответственно выражению (2.34) относительное время движения на высшей передаче для двух участков маршрута составит:

$$\gamma_{16}^{\psi_1} = \frac{k_i d_i}{\delta_i \sum_{i=1}^n \frac{k_i d_i}{\delta_i}} = \frac{0,4716 \cdot 1,0}{1,0 \cdot 1,2709} = 0,3711;$$

$$\gamma_{16}^{\psi_2} = \frac{k_i d_i}{\delta_i \sum_{i=1}^n \frac{k_i d_i}{\delta_i}} = \frac{0,5878 \cdot 1,0}{1,0 \cdot 1,1810} = 0,4977.$$

Массив значений относительного времени движения для различных передач КП, режимов движения и участков маршрута приведён в табл. 3.15.

Массив значений относительного времени движения

№ пп	$i_{кп}$	$\gamma_i$ при ЧВКВ двигателя, мин <sup>-1</sup>									
		1050		1280		1520		1760		2000	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	16,41	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	13,80	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3	11,28	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
4	9,49	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
5	7,76	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
6	6,53	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0002	0,0001
7	5,43	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0021	0,0009
8	4,57	0,0012	0,0005	0,0012	0,0005	0,0012	0,0005	0,0032	0,0013	0,0225	0,0114
9	3,59	0,0075	0,0035	0,0077	0,0035	0,0077	0,0035	0,0144	0,0071	0,0475	0,0279
10	3,02	0,0321	0,0174	0,0331	0,0180	0,0334	0,0181	0,0488	0,0281	0,0951	0,0635
11	2,47	0,0579	0,0357	0,0603	0,0374	0,0615	0,0381	0,0764	0,0499	0,1060	0,0790
12	2,08	0,1001	0,0692	0,1057	0,0738	0,1095	0,0766	0,1216	0,0892	0,1354	0,1117
13	1,70	0,0983	0,0750	0,1059	0,0818	0,1119	0,0870	0,1159	0,0942	0,1010	0,0912
14	1,43	0,1015	0,0841	0,1121	0,0946	0,1214	0,1036	0,1155	0,1027	0,0672	0,0645
15	1,19	0,0863	0,0770	0,0985	0,0901	0,0824	0,0760	0,0666	0,0633	0,0519	0,0522
16	1,00	0,5151	0,6377	0,4754	0,6003	0,4710	0,5966	0,4374	0,5640	0,3711	0,4977

**Шаг 5. Определение средних скоростей движения АТС на участках маршрута и в целом на маршруте.**

Средняя скорость движения на передаче определяется по выражению (2.32). Для удобства расчёта средних скоростей движения на участках маршрута в зависимости от выбранного водителем режима работы двигателя и передачи КП в табл. 3.16 представлены произведения  $\delta_i \cdot V_i \cdot \gamma_i$ , представляющие собой долю средней скорости движения для данной передачи и режима работы двигателя. Средняя скорость движения на маршруте в зависимости от выбранного водителем режима работы двигателя представляет собой сумму значений указанных произведений по столбцам табл. 3.16.

Как видно из табл. 3.16 средние скорости движения согласно заданным режимам работы двигателя (соответствующим значениям ЧВКВ двигателя 1050, 1280, 1520, 1760 и 2000 мин<sup>-1</sup>) имеют следующие значения:

- 1-й участок (городское движение): 45,25; 57,83; 67,16; 67,83 и 67,67 км/ч;
- 2-й участок (загородное движение): 48,6; 62,30; 71,98; 72,95 и 72,82 км/ч.

Таблица 3.16.

**Значения средних скоростей движения на участках маршрута  
в зависимости от выбранного режима работы двигателя**

№ ПП	$i_{kn}$	$\delta_i \cdot V_i \cdot \gamma_i$ при ЧВКВ двигателя, мин <sup>-1</sup>									
		1050		1280		1520		1760		2000	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	16,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	13,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	11,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	9,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	7,76	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	6,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	5,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,02
8	4,57	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,07	0,03	0,59	0,30
9	3,59	0,11	0,05	0,15	0,07	0,19	0,09	0,38	0,19	1,54	0,90
10	3,02	0,60	0,33	0,81	0,44	0,99	0,54	1,56	0,90	3,77	2,52
11	2,47	1,31	0,81	1,77	1,10	2,20	1,36	2,95	1,93	5,07	3,78
12	2,08	2,73	1,89	3,74	2,61	4,71	3,30	5,65	4,15	7,79	6,43
13	1,70	3,23	2,47	4,52	3,50	5,81	4,52	6,50	5,28	7,02	6,34
14	1,43	4,02	3,33	5,77	4,87	7,59	6,48	7,80	6,93	5,46	5,24
15	1,19	4,09	3,65	6,06	5,55	6,16	5,68	5,31	5,04	4,47	4,49
16	1,00	29,15	36,08	34,97	44,16	39,48	50,01	37,62	48,51	31,91	42,80
$\Sigma$	$V_{cj}$ , км/ч	<b>45,25</b>	<b>48,60</b>	<b>57,83</b>	<b>62,30</b>	67,16 <b>(60)</b>	<b>71,98</b>	67,83 <b>(60)</b>	<b>72,95</b>	67,67 <b>(60)</b>	<b>72,82</b>

Следует заметить, что для городского движения некоторые теоретические значения средних скоростей движения выше установленных ПДД (обусловлено это конструктивными и техническими возможностями АТС и выбранными дорожными условиями), поэтому данные значения будут скорректированы согласно нормативам БДД – до 60 км/ч (табл. 3.16).

При учёте работы двигателя только в режиме полной нагрузки (как предполагается существующей методикой расчёта средней скорости [122]) соответствующие значения средних скоростей движения на участках маршрута составляют  $V_{c1}^{max} = 60$  км/ч и  $V_{c2}^{max} = 72,82$  км/ч. В реальной эксплуатации режим полной нагрузки реализуется достаточно редко, поскольку водители при движении выбирают скорость исходя из дорожно-транспортной обстановки, обеспечения безопасности движения и множества других факторов. В соответствии с этим средние

скорости движения на участках маршрута представляются случайной величиной, оцениваемой различными законами распределения случайных величин.

В случае применения для оценки средних скоростей движения нормального закона распределения при равновероятном выборе водителем различных режимов работы двигателя (в диапазоне ЧВКВ от  $T_e^{max}$  до  $P_e^{max}$ ) средневзвешенное значение средней скорости движения на данном участке маршрута стремится к среднему значению. Соответственно данным табл. 3.16 средние значения скоростей на участках маршрута составляют:

- 1-й участок (городское движение):  $V_{cp1} = 56,62$  км/ч;
- 2-й участок (загородное движение):  $V_{cp2} = 65,73$  км/ч.

Подтверждение гипотезы о применении отличных от нормального законов распределения средних скоростей на участках маршрута будет приведено в гл. 4.

Согласно заданного маршрута движения частота городского движения составляет  $W_1 = S_1/S_{общ} = 35/1460 = 0,023973$  ; загородного –  $W_2 = 1425/1460 = 0,976027$ . Соответственно выражению (1.9) средняя скорость движения АТС в составе седельного тягача *Iveco EuroStar Cursor 430* и тентового полуприцепа *Krone SDP 27* на маршруте Н.Новгород – Екатеринбург составляет:

$$V_{cp} = \sum_{j=1}^m V_{cj} W_j = 56,62 \cdot 0,023973 + 65,73 \cdot 0,976027 = 65,51 \frac{\text{км}}{\text{ч}}.$$

Рассчитанное значение средней скорости будет использовано при прогнозировании расхода топлива.

**Шаг 6. *Определение степени использования мощности двигателя для заданных режимов работы двигателя при движении на каждой передаче.***

Мощность двигателя, затрачиваемая на преодоление суммарного дорожного сопротивления согласно выражению (2.40) и на высшей передаче для двух участков маршрута составит:

$$P_{\psi_{116}} = \psi_1 \cdot G_{амс} \cdot V_{16} = 0,0162 \cdot 346861,98 \cdot \frac{86}{3,6} = 133,99 \text{ кВт};$$

$$P_{\psi_{216}} = \psi_2 \cdot G_{амс} \cdot V_{16} = 0,0105 \cdot 346861,98 \cdot \frac{86}{3,6} = 71,46 \text{ кВт}.$$

При этом значения скоростей приведены в м/с. Значения мощностей, затрачиваемых на дорожное сопротивление на других передачах и режимах движения приведены в табл. 3.17.

Таблица 3.17.

## Значения мощностей, затрачиваемых на дорожное сопротивление

№ пп	$i_{кп}$	$P_{\psi_{ji}} = \psi_j \cdot G_{амс} \cdot V_i$ , кВт, при ЧВКВ двигателя, мин <sup>-1</sup>									
		1050		1280		1520		1760		2000	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	16,41	5,43	2,90	7,06	3,77	8,59	4,58	9,27	4,95	11,50	6,14
2	13,80	6,46	3,44	8,40	4,48	10,22	5,45	11,04	5,89	13,69	7,30
3	11,28	7,90	4,22	10,29	5,49	12,51	6,67	13,51	7,21	16,77	8,95
4	9,49	9,40	5,01	12,24	6,53	14,89	7,94	16,08	8,58	19,96	10,65
5	7,76	11,51	6,14	14,98	7,99	18,23	9,72	19,69	10,50	24,46	13,04
6	6,53	13,69	7,30	17,82	9,51	21,70	11,57	23,44	12,50	29,12	15,53
7	5,43	16,48	8,79	21,47	11,45	26,14	13,94	28,24	15,06	35,10	18,72
8	4,57	19,60	10,46	25,55	13,63	31,12	16,60	33,63	17,94	41,82	22,30
9	3,59	25,01	13,34	32,61	17,39	39,75	21,20	42,97	22,92	53,48	28,52
10	3,02	29,79	15,89	38,87	20,73	47,40	25,28	51,24	27,33	63,82	34,04
11	2,47	36,52	19,48	47,69	25,43	58,19	31,04	62,94	33,57	78,47	41,85
12	2,08	43,49	23,19	56,83	30,31	69,40	37,02	75,09	40,05	93,72	49,98
13	1,70	53,42	28,49	69,88	37,27	85,44	45,57	92,48	49,32	115,60	61,65
14	1,43	63,76	34,00	83,51	44,54	102,20	54,51	110,68	59,03	131,07	69,91
15	1,19	77,00	41,07	101,01	53,87	123,79	66,02	130,87	69,79	132,44	70,63
16	1,00	92,16	49,15	121,08	64,58	131,54	70,15	132,11	70,46	133,99	71,46

Мощность, затрачиваемая на преодоление аэродинамического сопротивления согласно выражению (2.41) и на высшей передаче составит:

$$P_{w16} = W \cdot V_{16}^3 = 4,317 \cdot \left(\frac{86}{3,6}\right)^3 = 58,85 \text{ кВт}.$$

Значения мощностей, затрачиваемых на аэродинамическое сопротивление на других передачах и режимах движения, приведены в табл. 3.18.

Значения мощностей, затрачиваемых на аэродинамическое сопротивление

№ пп	$i_{кп}$	$P_{wi} = W \cdot V_i^3$ , кВт, при ЧВКВ двигателя, мин <sup>-1</sup>				
		1050	1280	1520	1760	2000
1	16,41	0,005	0,01	0,02	0,02	0,05
2	13,80	0,01	0,02	0,03	0,04	0,08
3	11,28	0,01	0,03	0,06	0,07	0,14
4	9,49	0,03	0,06	0,10	0,12	0,24
5	7,76	0,05	0,10	0,18	0,23	0,44
6	6,53	0,08	0,17	0,30	0,38	0,73
7	5,43	0,13	0,30	0,53	0,67	1,27
8	4,57	0,23	0,50	0,89	1,12	2,13
9	3,59	0,47	1,02	1,83	2,31	4,39
10	3,02	0,78	1,72	3,08	3,88	7,38
11	2,47	1,43	3,14	5,63	7,09	13,49
12	2,08	2,39	5,25	9,43	11,87	22,59
13	1,70	4,38	9,62	17,28	21,73	41,38
14	1,43	7,36	16,17	29,02	36,52	58,85
15	1,19	12,77	28,05	50,37	58,85	58,85
16	1,00	21,52	47,28	58,85	58,85	58,85

Степень использования мощности двигателя определяется согласно выражению (2.39) и на высшей передаче для двух участков маршрута составит:

$$I_{\psi_{116}} = \frac{P_{\psi_{116}} + P_{w16}}{P_{e \max} \cdot \eta} = \frac{133,99 + 58,85}{316 \cdot 0,85} = 0,7179.$$

$$I_{\psi_{216}} = \frac{P_{\psi_{216}} + P_{w16}}{P_{e \max} \cdot \eta} = \frac{71,46 + 58,85}{316 \cdot 0,85} = 0,4852.$$

Значения степени использования мощности двигателя на других передачах и режимах движения приведены в табл. 3.19.

**Шаг 7. Определение удельного эффективного расхода топлива двигателем при движении на каждой передаче по заданным типам дорог.**

Коэффициент  $k_E$ , учитывающий влияние степени приближения угловой скорости коленчатого вала расчётного режима  $\omega_i$  к угловой скорости при максимальной мощности  $\omega_p$ , определяемый по выражению (2.43) составит:

$$k_{E1} = 1,25 - 0,99E_1 + 0,98E_1^2 - 0,24E_1^3 = 0,9656;$$

$$k_{E2} = 0,9549; k_{E3} = 0,9583; k_{E4} = 0,9742; k_{E5} = 1,0,$$

где:  $E_1 = \omega_{e1}/\omega_{ep} = 110,25/210 = 0,525$  – степень использования угловой скорости коленчатого вала двигателя при 1050 мин<sup>-1</sup>;  $E_2 = 0,64$  – при 1280 мин<sup>-1</sup>;  $E_3 = 0,76$  – при 1520 мин<sup>-1</sup>;  $E_4 = 0,88$  – при 1760 мин<sup>-1</sup>;  $E_5 = 1$  – при 2000 мин<sup>-1</sup>.

Таблица 3.19.

## Значения степени использования мощности

№ пп	$i_{кп}$	$I_{\Psi j i}$ , при ЧВКВ двигателя, мин <sup>-1</sup>									
		1050		1280		1520		1760		2000	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	16,41	0,0320	0,0171	0,0320	0,0171	0,0320	0,0171	0,0346	0,0185	0,0430	0,0230
2	13,80	0,0380	0,0203	0,0381	0,0204	0,0382	0,0204	0,0412	0,0221	0,0513	0,0275
3	11,28	0,0466	0,0249	0,0467	0,0250	0,0468	0,0251	0,0506	0,0271	0,0630	0,0338
4	9,49	0,0555	0,0296	0,0556	0,0298	0,0558	0,0299	0,0603	0,0324	0,0752	0,0405
5	7,76	0,0680	0,0364	0,0682	0,0366	0,0686	0,0369	0,0742	0,0400	0,0927	0,0502
6	6,53	0,0810	0,0434	0,0814	0,0438	0,0819	0,0442	0,0887	0,0480	0,1111	0,0605
7	5,43	0,0977	0,0525	0,0985	0,0531	0,0993	0,0539	0,1076	0,0586	0,1354	0,0744
8	4,57	0,1166	0,0628	0,1178	0,0639	0,1192	0,0651	0,1294	0,0709	0,1636	0,0910
9	3,59	0,1499	0,0812	0,1522	0,0833	0,1548	0,0858	0,1686	0,0939	0,2154	0,1225
10	3,02	0,1798	0,0981	0,1836	0,1016	0,1879	0,1056	0,2052	0,1162	0,2651	0,1542
11	2,47	0,2232	0,1230	0,2300	0,1293	0,2376	0,1365	0,2607	0,1514	0,3424	0,2060
12	2,08	0,2699	0,1505	0,2809	0,1609	0,2935	0,1729	0,3237	0,1933	0,4330	0,2702
13	1,70	0,3400	0,1933	0,3598	0,2122	0,3824	0,2340	0,4252	0,2645	0,5844	0,3836
14	1,43	0,4183	0,2433	0,4510	0,2747	0,4886	0,3110	0,5480	0,3557	0,7071	0,4794
15	1,19	0,5281	0,3167	0,5840	0,3707	0,6484	0,4333	0,7063	0,4790	0,7122	0,4821
16	1,00	0,6687	0,4157	0,7618	0,5061	0,7088	0,4803	0,7110	0,4814	0,7179	0,4852

Коэффициент  $k_{I\Psi j i}$ , учитывающий степень использования мощности двигателя при движении по заданным типам дорог определяемый по выражению (2.44):

$$k_{I\Psi j i 16} = 3,52 - 17,24 \cdot 0,7179 + 44,85 \cdot 0,7179^2 - 55,28 \cdot 0,7179^3 + 31,23 \cdot 0,7179^4 - 6,08 \cdot 0,7179^5 = 0,9409;$$

$$k_{I\Psi j i 216} = 3,52 - 17,24 \cdot 0,4852 + 44,85 \cdot 0,4852^2 - 55,28 \cdot 0,4852^3 + 31,23 \cdot 0,4852^4 - 6,08 \cdot 0,4852^5 = 0,9667.$$

Значения коэффициента, учитывающего степень использования мощности двигателя на других передачах и режимах движения, приведены в табл. 3.20.

## Значения коэффициента, учитывающего степень использования мощности двигателя

№ ПП	$i_{кп}$	$k_{и}$ , при ЧВКВ двигателя, мин <sup>-1</sup>									
		1050		1280		1520		1760		2000	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	16,41	3,0131	3,2387	3,0125	3,2382	3,0118	3,2377	2,9747	3,2160	2,8573	3,1463
2	13,80	2,9262	3,1879	2,9253	3,1872	2,9244	3,1863	2,8816	3,1609	2,7468	3,0790
3	11,28	2,8087	3,1179	2,8073	3,1166	2,8058	3,1152	2,7556	3,0845	2,5989	2,9860
4	9,49	2,6928	3,0469	2,6907	3,0449	2,6884	3,0427	2,6314	3,0067	2,4546	2,8915
5	7,76	2,5388	2,9497	2,5354	2,9463	2,5318	2,9425	2,4664	2,8993	2,2658	2,7610
6	6,53	2,3901	2,8519	2,3852	2,8466	2,3798	2,8407	2,3071	2,7903	2,0869	2,6289
7	5,43	2,2147	2,7309	2,2074	2,7225	2,1993	2,7130	2,1192	2,6535	1,8809	2,4635
8	4,57	2,0371	2,6006	2,0266	2,5876	2,0150	2,5730	1,9292	2,5038	1,6795	2,2834
9	3,59	1,7729	2,3875	1,7564	2,3643	1,7382	2,3382	1,6480	2,2531	1,3991	1,9860
10	3,02	1,5802	2,2115	1,5585	2,1770	1,5347	2,1385	1,4463	2,0413	1,2180	1,7424
11	2,47	1,3657	1,9824	1,3384	1,9299	1,3091	1,8722	1,2312	1,7623	1,0567	1,4423
12	2,08	1,2043	1,7684	1,1747	1,6971	1,1444	1,6211	1,0851	1,5062	0,9814	1,2033
13	1,70	1,0601	1,5058	1,0351	1,4138	1,0128	1,3229	0,9849	1,2197	0,9573	1,0117
14	1,43	0,9883	1,2885	0,9748	1,1910	0,9661	1,1079	0,9598	1,0397	0,9427	0,9677
15	1,19	0,9613	1,0974	0,9573	1,0235	0,9513	0,9813	0,9429	0,9678	0,9419	0,9672
16	1,00	0,9487	0,9897	0,9335	0,9636	0,9425	0,9676	0,9421	0,9673	0,9409	0,9667

Удельный эффективный расход топлива при движении на высшей передаче по заданным типам дорог согласно выражению (2.42) составит:

$$g_{e\psi_{16}} = g_{ep} \cdot k_{Ei} \cdot k_{и\psi_{1i}} = 217 \cdot 1,0 \cdot 0,9409 = 204,18 \text{ г/кВт} \cdot \text{ч};$$

$$g_{e\psi_{216}} = g_{ep} \cdot k_{Ei} \cdot k_{и\psi_{1i}} = 217 \cdot 1,0 \cdot 0,9667 = 209,77 \text{ г/кВт} \cdot \text{ч},$$

где:  $g_{ep} = 217 \text{ г/кВт} \cdot \text{ч}$  – удельный эффективный расход топлива двигателем автомобиля *Iveco* при максимальной мощности (по данным производителя [87,88]).

Значения удельного эффективного расхода топлива при движении на других передачах и режимах движения приведены в табл. 3.21.

Значения удельного эффективного расхода топлива

№ ПП	$i_{кп}$	$g_{e\psi_j i}$ , г/кВт·ч, при ЧВКВ двигателя, мин <sup>-1</sup>									
		1050		1280		1520		1760		2000	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	16,41	631,36	678,64	624,22	670,99	626,31	673,27	628,83	679,84	620,03	682,75
2	13,80	613,16	668,01	606,16	660,42	608,12	662,60	609,14	668,19	596,06	668,15
3	11,28	588,55	653,33	581,71	645,79	583,46	647,80	582,52	652,04	563,96	647,96
4	9,49	564,25	638,46	557,54	630,95	559,05	632,73	556,26	635,60	532,65	627,44
5	7,76	531,98	618,08	525,37	610,50	526,48	611,89	521,38	612,90	491,67	599,14
6	6,53	500,83	597,60	494,24	589,86	494,87	590,73	487,70	589,85	452,85	570,47
7	5,43	464,08	572,24	457,40	564,13	457,34	564,17	447,99	560,93	408,16	534,58
8	4,57	426,87	544,94	419,95	536,19	419,03	535,06	407,81	529,28	364,44	495,50
9	3,59	371,50	500,29	363,95	489,92	361,45	486,22	348,37	476,30	303,61	430,97
10	3,02	331,12	463,40	322,94	451,11	319,14	444,69	305,74	431,51	264,31	378,10
11	2,47	286,18	415,39	277,33	399,90	272,22	389,32	260,27	372,54	229,31	312,98
12	2,08	252,35	370,55	243,41	351,66	237,98	337,10	229,38	318,39	212,97	261,13
13	1,70	222,13	315,53	214,48	292,95	210,60	275,09	208,20	257,83	207,74	219,55
14	1,43	207,10	269,99	202,00	246,80	200,90	230,40	202,89	219,79	204,58	210,00
15	1,19	201,44	229,94	198,37	212,08	197,83	204,06	199,32	204,59	204,39	209,89
16	1,00	198,79	207,39	193,43	199,67	195,98	201,20	199,15	204,49	204,18	209,77

## Шаг 8. Построение топливно-экономической характеристики АТС.

Линейный расход топлива  $Q_s = f(V_a, \psi)$  при движении автомобиля с  $V_a = V_{cp} = \text{const}$ , при  $a_x = 0$  (частота и интенсивность разгонов) и при отсутствии буксования колес ( $r_k = r_d$ ) согласно выражению (2.43) на высшей передаче по заданным типам дорог и при максимальных оборотах составит:

$$Q_{s_{16}} = \frac{g_{e\psi_{16}} \cdot (P_{\psi_{16}} + P_{w_{16}})}{10 \cdot \rho_T \cdot V_{16} \cdot \eta_{TP}} = \frac{204,18 \cdot (133,99 + 58,85)}{10 \cdot 0,82 \cdot 86 \cdot 0,85} = 65,69 \frac{\text{л}}{100} \text{ км};$$

$$Q_{s_{216}} = \frac{g_{e\psi_{216}} \cdot (P_{\psi_{216}} + P_{w_{16}})}{10 \cdot \rho_T \cdot V_{16} \cdot \eta_{TP}} = \frac{209,77 \cdot (71,46 + 58,85)}{10 \cdot 0,82 \cdot 86 \cdot 0,85} = 45,60 \frac{\text{л}}{100} \text{ км},$$

где  $\rho_T$  – плотность топлива, кг/л (для дизельных топлив  $\rho_T = 0,82$  кг/л).

Значения линейного расхода топлива при движении на других передачах и режимах движения приведены в табл. 3.22.

## Значения линейного расхода топлива

№ ПП	$i_{кп}$	$Q_s$ , л/100 км, при ЧВКВ двигателя, мин <sup>-1</sup>									
		1050		1280		1520		1760		2000	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	16,41	131,33	75,35	130,01	74,63	130,62	75,03	131,23	75,84	129,69	76,43
2	13,80	127,64	74,25	126,40	73,58	127,03	74,02	127,35	74,74	125,00	75,10
3	11,28	122,67	72,74	121,52	72,15	122,18	72,65	122,13	73,26	118,74	73,30
4	9,49	117,77	71,24	116,72	70,72	117,41	71,28	117,01	71,79	112,68	71,52
5	7,76	111,28	69,19	110,35	68,79	111,08	69,45	110,25	69,82	104,81	69,16
6	6,53	105,03	67,16	104,22	66,88	104,98	67,65	103,77	67,88	97,40	66,84
7	5,43	97,67	64,69	97,00	64,56	97,79	65,46	96,19	65,53	88,95	64,04
8	4,57	90,25	62,06	89,70	62,10	90,51	63,14	88,58	63,04	80,77	61,06
9	3,59	79,27	57,84	78,87	58,13	79,68	59,37	77,45	58,99	69,61	56,20
10	3,02	71,32	54,42	71,03	54,88	71,84	56,24	69,61	55,63	62,72	52,20
11	2,47	62,58	50,04	62,48	50,64	63,37	52,07	61,57	51,17	57,48	47,22
12	2,08	56,18	46,01	56,41	46,68	57,62	48,09	56,75	47,02	56,86	43,50
13	1,70	50,92	41,13	52,02	41,91	54,30	43,39	55,29	42,60	61,18	42,44
14	1,43	49,14	37,26	51,67	38,45	55,67	40,64	58,41	41,08	64,82	45,11
15	1,19	50,21	34,37	54,68	37,11	60,54	41,73	63,08	43,91	65,23	45,34
16	1,00	52,72	34,19	58,44	40,08	62,25	43,30	63,45	44,11	65,69	45,60

Для простоты графического восприятия топливно-экономическая характеристика автопоезда  $Q_s = f(V_a, \psi)$  (рис. 3.5) построена только для режима движения за городом, как наиболее продолжительного. При этом значения скоростей, которым соответствуют линейные расходы (табл. 3.22, столбцы 2) представлены в табл. (3.4). Заштрихованная на рис. 3.5. область – это зона возможных значений расхода топлива для заданных условий эксплуатации АТС.

Для обеспечения точности дальнейших расчетов на рис. 3.5 приведён детализированный фрагмент топливно-экономической характеристики в области высоких значений скоростей.

Как видно из табл. 3.4 и рис. 3.3 и 3.4 средняя скорость движения АТС по участкам может быть реализована:

- 1-й участок (городское движение) – 56,62 км/ч: 12 – 15 передачах;
- 2-й участок (загородное движение) – 65,73 км/ч: 13 – 16 передачах;

и в общем для маршрута – 65,51 км/ч – на 13 – 16 передачах.

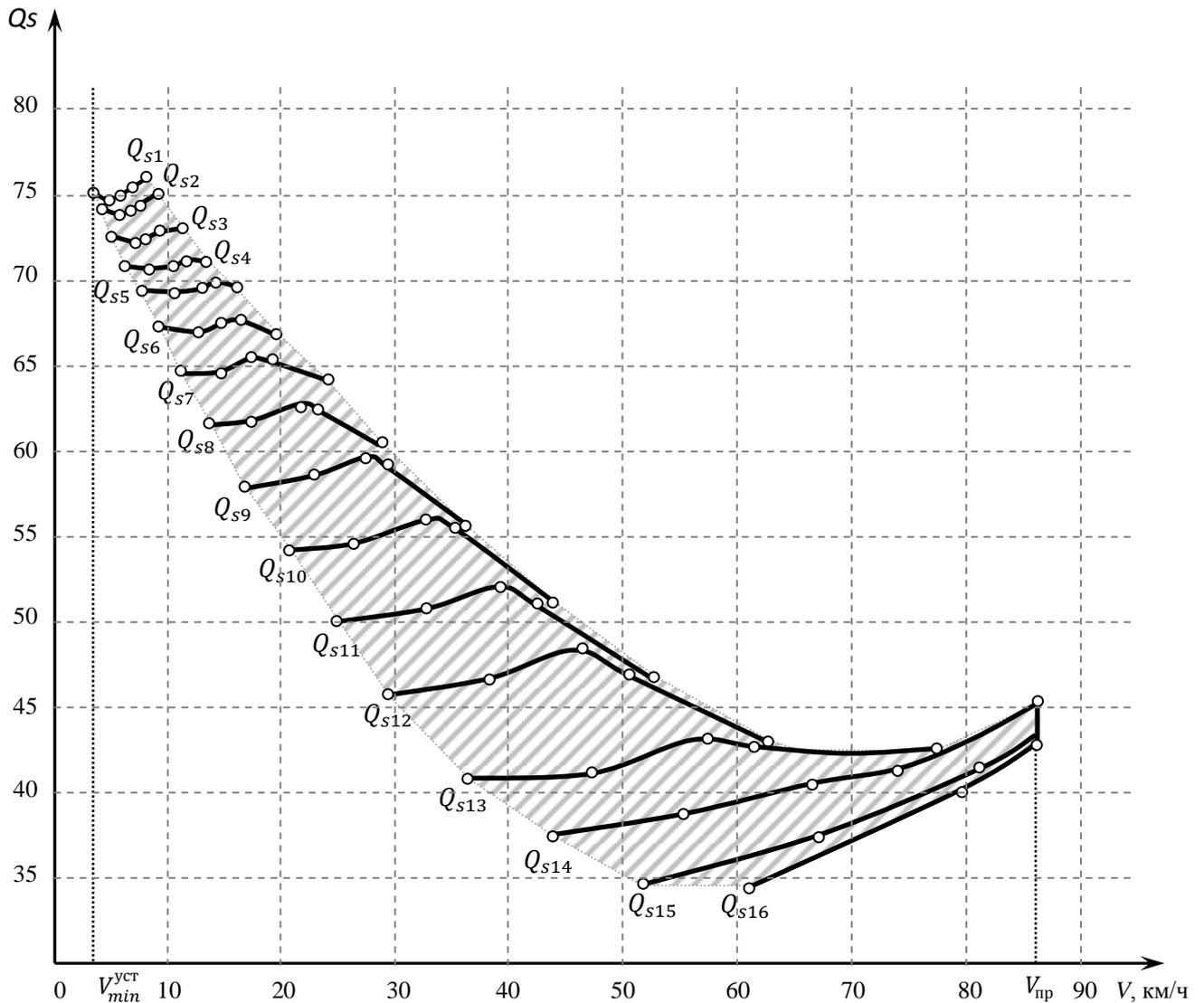
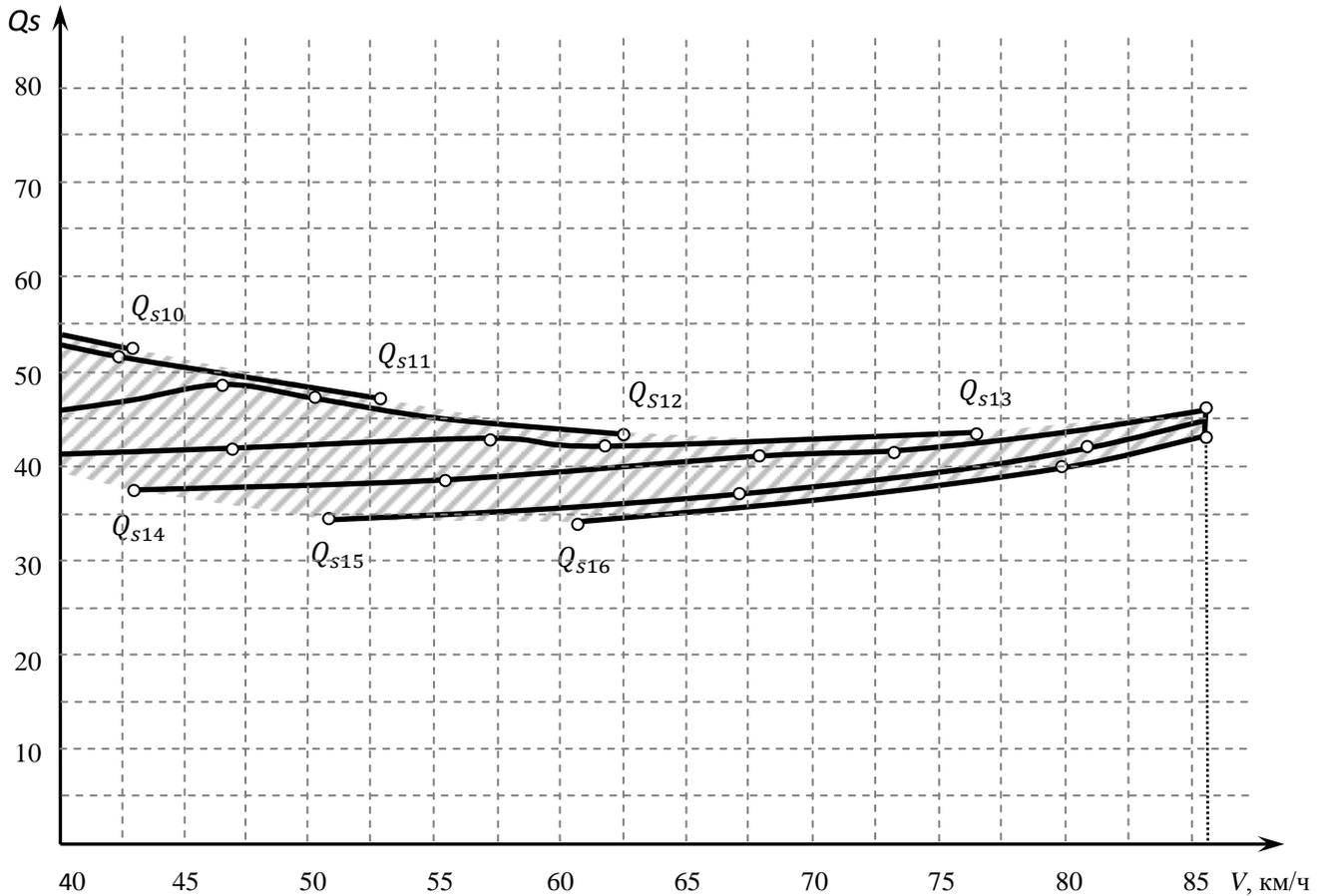


Рис. 3.5. Топливо-экономическая характеристика автопоезда *Iveco EuroStar - Krone*

Как видно из табл. 3.22 и рис. 3.5 и 3.6 для указанных выше средних скоростей движения и соответствующим им передач КП значения линейных расходов топлива согласно заданным режимам работы двигателя (соответствующим значениям ЧВКВ двигателя 1050, 1280, 1520, 1760 и 2000 мин<sup>-1</sup>) составляют:

– 1-й участок (городское движение): 56,75; 56,86; 50,92; 52,02; 54,30; 55,29; 61,18; 49,14; 51,67; 55,67; 58,41; 64,82; 50,21 л/100 км;

– 2-й участок (загородное движение): 42,44; 37,26; 38,45; 40,64; 41,08; 45,11; 34,37; 37,11; 41,73; 43,91; 45,34; 34,19 л/100 км.



**Рис. 3.6.** Детализированный фрагмент топливно-экономической характеристики

Соответствующие средневзвешенные значения расхода топлива по участкам маршрута составляют:

- 1-й участок (городское движение,  $V_{cp} = 56,62$  км/ч) – 55,17 л/100 км;
- 2-й участок (загородное движение  $V_{cp} = 65,73$  км/ч) – 40,13 л/100 км;

и в общем для всего маршрута ( $V_{cp} = 65,51$  км/ч), с учетом длительности участков, средний расход топлива составляет:

$$Q_{cp} = \sum_{j=1}^m Q_{cpj} W_j = 55,17 \cdot 0,023973 + 40,13 \cdot 0,976027 = 40,50 \frac{\text{л}}{100 \text{ км}}.$$

Таким образом, с использованием последовательности вероятностно-аналитической методики, для перевозки 20 т груза по маршруту Н. Новгород - Екатеринбург АТС в составе двухосных тягачей и трёхосных полуприцепов получены следующие основные результаты:  $V_{cp} = 65,5$  км/ч;  $Q_{cp} = 40,5$  л/100 км. Срав-

нение данных расчётных результатов с экспериментальными будет проведено в следующем разделе.

Остается необходимым проверить расчётом адекватность предлагаемых теоретических зависимостей для определения средней скорости движения  $V_{ср}$  по выражениям (2.46), (2.47), (2.48) и расхода топлива по выражениям (2.49), (2.50). Для полноты анализа в конце раздела будет построена циклограмма расхода топлива.

### 3.3. Последовательность расчёта среднего путевого расхода топлива для АТП

Итак, средняя скорость движения АТС при выбранном режиме работы ( $s$ ) двигателя, в соответствии с выражением (2.46) определяется как:

$$V_{cj}^s = \frac{3,6P_e^s r_d}{T_{ep}^s i_0} \sum_{i=1}^n \frac{k_i}{\sum_{i=1}^n \frac{k_i i_{кп}}{\delta_i}}$$

В данном случае режим работы определяется 5-ю значениями ЧВКВ в рабочем диапазоне двигателя (табл. 3.2).

Расчёт производится в следующем порядке:

1. Определение постоянной части  $\frac{3,6P_e^s r_d}{T_{ep}^s i_0}$  для выбранных режимов работы двигателя, характеризующей скорость при реализации конкретного режима. Для удобства восприятия данное отношение обозначим через  $A_s$ .

2. Определение отношений  $\frac{k_i i_{кп}}{\delta_i}$  и соответствующих им сумм  $\sum_{i=1}^n \frac{k_i i_{кп}}{\delta_i}$  во всём диапазоне  $i_{кп}$  и режимов работы двигателя.

3. Определение отношений  $\frac{k_i}{\sum_{i=1}^n \frac{k_i i_{кп}}{\delta_i}}$  и соответствующих им сумм  $\sum_{i=1}^n \frac{k_i}{\sum_{i=1}^n \frac{k_i i_{кп}}{\delta_i}}$  во всём диапазоне  $i_{кп}$  и режимов работы двигателя.

4. Определение произведений  $W_j \cdot \sum_{i=1}^n \frac{k_i}{\sum_{i=1}^n \frac{k_i i_{кп}}{\delta_i}}$  во всём диапазоне режимов работы двигателя и выделенных участков маршрута.

5. Определение произведений  $A_s \cdot W_j \cdot \sum_{i=1}^n \frac{k_i}{\sum_{i=1}^n \frac{k_i i_{кп}}{\delta_i}}$  во всём диапазоне режимов работы двигателя и выделенных участков маршрута и, на основе этого, определение средних скоростей движения  $V_{срj}^s$  для заданных режимов работы двигателя.

6. Определение средней скорости движения АТС на заданном маршруте, представляющей среднее значение  $V_{срj}^s$  для заданных режимов работы двигателя.

Расчёты будут показаны для режима работы двигателя при максимальной мощности  $P_e^{max} = 316$  кВт и ЧВКВ  $n = 2000$  мин<sup>-1</sup>, т.е.  $s = 5$ ) высшей (прямой) передачи КП ( $i = 16$ ,  $i_{кп} = 1,0$ ) и загородного участка маршрута ( $j = 2$ ). Расчётные значения для других режимов, передач КП и участков маршрута будут сведены в таблицы.

Пункт 1. **Определение постоянной части**  $A_s = \frac{3,6P_e^s r_d}{T_{eP}^s i_0}$ .

Исходные данные для расчёта величины  $A_s$  приведены на рис. 3.2, табл. 3.2 и приложениях П.1 и П.2.

$$A_5 = \frac{3,6P_e^s r_d}{T_{eP}^s i_0} = \frac{3,6 \cdot 316000 \cdot 0,4982}{1420 \cdot 3,07} = 130,01 \text{ (86) } \frac{\text{км}}{\text{ч}};$$

$$A_1 = 61,50 \frac{\text{км}}{\text{ч}}; A_2 = 79,94 \frac{\text{км}}{\text{ч}}; A_3 = 97,16 \text{ (86) } \frac{\text{км}}{\text{ч}}; A_4 = 104,89 \text{ (86) } \frac{\text{км}}{\text{ч}}.$$

При этом требуется произвести корректировку значений  $A_s$  в соответствии с предельной скоростью по ограничителю ЧВКВ (86 км/ч), поскольку значения выше предельной скорости не могут быть реализованы при движении.

Пункт 2. **Определение отношений**  $\frac{k_i i_{кп}}{\delta_i}$  и их сумм.

Расчётные значения коэффициентов  $k_i$  и  $\delta_i$ , представляющих собой влияние дорожных и транспортных условий эксплуатации АТС на среднюю скорость дви-

жения приведены в табл. 3.11 и 3.12 соответственно. Расчёты отношений сведены в табл. 3.23.

$$\frac{k_{16}i_{16}}{\delta_{16}} = \frac{0,5878 \cdot 1,0}{1,0} = 0,5878.$$

Таблица 3.23.

**Значения отношений  $k_i \cdot i_{\text{кп}} / \delta_i$**

№ пп	$i_{\text{кп}}$	$\frac{k_i i_{\text{кп}}}{\delta_i}$ при ЧВКВ двигателя, мин <sup>-1</sup>									
		1050		1280		1520		1760		2000	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	16,41	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	13,80	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3	11,28	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
4	9,49	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
5	7,76	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
6	6,53	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0003	0,0001
7	5,43	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0040	0,0015
8	4,57	0,0016	0,0006	0,0017	0,0006	0,0018	0,0006	0,0050	0,0019	0,0433	0,0203
9	3,59	0,0102	0,0044	0,0106	0,0045	0,0111	0,0048	0,0223	0,0102	0,0913	0,0497
10	3,02	0,0437	0,0220	0,0458	0,0231	0,0483	0,0244	0,0755	0,0405	0,1827	0,1133
11	2,47	0,0787	0,0451	0,0834	0,0480	0,0890	0,0514	0,1181	0,0718	0,2036	0,1410
12	2,08	0,1360	0,0876	0,1462	0,0947	0,1585	0,1034	0,1881	0,1283	0,2601	0,1995
13	1,70	0,1336	0,0949	0,1464	0,1050	0,1619	0,1174	0,1792	0,1354	0,1941	0,1628
14	1,43	0,1379	0,1064	0,1550	0,1213	0,1756	0,1399	0,1787	0,1477	0,1221	0,1089
15	1,19	0,1173	0,0975	0,1362	0,1156	0,1192	0,1025	0,1005	0,0888	0,0786	0,0734
16	1,00	0,7000	0,8068	0,6572	0,7704	0,6032	0,7128	0,5546	0,6649	0,4716	0,5878
<b>Σ</b>	-	<b>1,3590</b>	<b>1,2653</b>	<b>1,3825</b>	<b>1,2832</b>	<b>1,3685</b>	<b>1,2573</b>	<b>1,4221</b>	<b>1,2896</b>	<b>1,6517</b>	<b>1,4585</b>

**Пункт 3. Определение отношений  $\frac{k_i}{\sum_{i=1}^n \frac{k_i i_{\text{кп}}}{\delta_i}}$  и их сумм.**

Исходные данные приведены в табл. 3.11 и 3.23. Расчёты сведены в табл.3.24.

$$\frac{k_{16}}{\sum_{i=1}^{16} \frac{k_{16} i_{16}}{\delta_{16}}} = \frac{0,5878}{1,4585} = 0,4030.$$

**Пункт 4. Определение произведений  $W_j \cdot \sum_{i=1}^n \frac{k_i}{\sum_{i=1}^n \frac{k_i i_{\text{кп}}}{\delta_i}}$ .**

Частоты встречи того или иного участка пути рассчитаны ранее и составляют:  $W_1 = 0,023973$ ;  $W_2 = 0,97603$ . Суммы отношений  $\sum_{i=1}^n \frac{k_i}{\sum_{i=1}^n \frac{k_i i_{\text{кп}}}{\delta_i}}$  пред-

ставлены в табл. 3.24. Результаты сведены в табл. 3.25.

$$W_2 \cdot \sum_{i=1}^{16} \frac{k_{16}}{\sum_{i=1}^{16} \frac{k_{16} i_{16}}{\delta_{16}}} = 0,97603 \cdot 0,6856 = 0,669204.$$

Таблица 3.24.

Значения отношений  $\frac{k_i}{\sum_{i=1}^n \frac{k_i i_{\text{КП}}}{\delta_i}}$

№ пп	$i_{\text{КП}}$	$\frac{k_i}{\sum_{i=1}^n \frac{k_i i_{\text{КП}}}{\delta_i}}$ при ЧВКВ двигателя, мин <sup>-1</sup>									
		1050		1280		1520		1760		2000	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	16,41	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	13,80	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3	11,28	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
4	9,49	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
5	7,76	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
6	6,53	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
7	5,43	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0004	0,0002
8	4,57	0,0002	0,0001	0,0002	0,0001	0,0003	0,0001	0,0007	0,0003	0,0053	0,0028
9	3,59	0,0019	0,0009	0,0019	0,0009	0,0020	0,0009	0,0039	0,0020	0,0137	0,0085
10	3,02	0,0098	0,0053	0,0101	0,0055	0,0108	0,0059	0,0162	0,0096	0,0337	0,0237
11	2,47	0,0213	0,0131	0,0222	0,0138	0,0239	0,0150	0,0306	0,0205	0,0454	0,0356
12	2,08	0,0443	0,0307	0,0468	0,0327	0,0513	0,0364	0,0586	0,0441	0,0697	0,0606
13	1,70	0,0525	0,0401	0,0566	0,0437	0,0632	0,0499	0,0674	0,0561	0,0628	0,0597
14	1,43	0,0653	0,0541	0,0722	0,0609	0,0826	0,0716	0,0809	0,0737	0,0488	0,0493
15	1,19	0,0665	0,0593	0,0758	0,0694	0,0671	0,0628	0,0550	0,0536	0,0400	0,0423
16	1,00	0,4740	0,5868	0,4375	0,5524	0,4296	0,5526	0,3900	0,5156	0,2855	0,4030
$\Sigma$	-	<b>0,7358</b>	<b>0,7903</b>	<b>0,7233</b>	<b>0,7793</b>	<b>0,7307</b>	<b>0,7954</b>	<b>0,7032</b>	<b>0,7755</b>	<b>0,6054</b>	<b>0,6856</b>

Таблица 3.25.

Значения произведений  $W_j \cdot \sum_{i=1}^n \frac{k_i}{\sum_{i=1}^n \frac{k_i i_{\text{КП}}}{\delta_i}}$

режим $W_j \cdot \Sigma$	ЧВКВ двигателя, мин <sup>-1</sup>				
	1050	1280	1520	1760	2000
$W_1 \cdot \Sigma$ (город)	0,01764	0,01734	0,017518	0,0169	0,014514
$W_2 \cdot \Sigma$ (загород)	0,771366	0,760595	0,776304	0,75687	0,669204

Пункт 5. Определение произведений  $A_s \cdot W_j \cdot \sum_{i=1}^n \frac{k_i}{\sum_{i=1}^n \frac{k_i i_{\text{КП}}}{\delta_i}}$  и средних скоростей движения  $V_{\text{ср}}^S$ .

Указанные произведения представляют собой доли средних скоростей движения на конкретных участках маршрута и режимах движения. Исходные данные приведены в п.1 настоящего расчета и табл. 3.25. Для удобства восприятия обо-

значим эти произведения как  $C_j^S$ , причем их суммы будут представлять собой  $V_{\text{ср}}^S$ . Результаты сведены в табл. 3.26.

$$C_2^5 = A_5 \cdot W_2 \cdot \sum_{i=1}^{16} \frac{k_{16}}{\sum_{i=1}^{16} \frac{k_{16} i_{16}}{\delta_{16}}} = 86 \cdot 0,97603 \cdot 0,669204 = 57,55 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$$

$$V_{\text{ср}}^5 = \sum_{j=1}^2 \frac{3,6 P_e^5 r_D}{T_{eP}^5 t_0} \cdot W_j \cdot \sum_{i=1}^n \frac{k_i}{\sum_{i=1}^n \frac{k_i i_{\text{КП}}}{\delta_i}} = C_1^5 + C_2^5 = 1,89 + 57,55 = 59,44 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$$

Значения  $V_{\text{ср}}^S$  представляют собой средние скорости движения на заданном маршруте при конкретных реализуемых режимах работы двигателя.

Таблица 3.26.

		Значения $V_{\text{ср}}^S$				
		ЧВКВ двигателя, мин <sup>-1</sup>				
$A_S, C_j^S, V_{\text{ср}}^S$	режим S	1050	1280	1520	1760	2000
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
$A_S$ , км/ч		<b>61,50</b>	<b>79,94</b>	<b>86</b>	<b>86</b>	<b>86</b>
$C_j^S$ (1 - город), км/ч		1,08	1,39	1,70	1,77	1,89
$C_j^S$ (2 - загород), км/ч		47,44	60,81	66,76	65,09	57,55
$V_{\text{ср}}^S$ (маршрут), км/ч		<b>48,52</b>	<b>62,20</b>	<b>68,46</b>	<b>66,86</b>	<b>59,44</b>

Анализ табл. 3.26 показывает, что максимальные возможные скорости движения при заданном режиме работы двигателя представляют собой значения  $A_S$ . Практически реализуются, с учётом вариации дорожных и транспортных условий эксплуатации, при заданном режиме работы двигателя только значения  $V_{\text{ср}}^S$ . Оценка их расхождения показывает, что практически реализуемые скорости движения ниже возможных на 20 – 30%.

#### Пункт 6. Определение средней скорости движения АТС на маршруте.

Средняя скорость движения АТС на заданном маршруте при равновероятном использовании водителем различных режимов работы двигателя в зависимости от конкретных дорожных и транспортных условий определится как среднее значение  $V_{\text{ср}}^S$  в рабочем диапазоне работы двигателя:

$$V_{cp} = \frac{(\sum_{s=1}^{r=5} V_{cp}^s)}{r} = 61,10 \frac{\text{км}}{\text{ч}}.$$

Как видно, наблюдается некоторое расхождение между значением скорости, полученной с использованием полной методики определения средней скорости (65,51 км/ч) и значением по предложенному выражению (2.47).

Погрешность расчёта по методике и выражению (2.47) составляет 6,7%, что для эксплуатационных расчётов можно считать допустимым. Объяснить это можно несколько упрощенным порядком расчёта средней скорости по выражению (2.47), усреднением промежуточных расчетных значений, а также погрешностью округления расчётных значений.

Вместе с тем, определение скоростей движения по предлагаемой методике и предлагаемому выражению (2.48) позволяет изучать тягово-скоростные свойства конкретных АТС с различных ракурсов оценки.

Теперь перейдём к оценке адекватности выражений (2.49) и (2.50) для определения среднего путевого расхода топлива на маршруте.

Итак, средний путевой расход топлива на заданных режимах, согласно выражению (2.49) определяется как:

$$Q_s^j = \frac{g_{ep} \cdot k_E^s \cdot k_{и\psi_{ji} V_{cp}}}{10000 \cdot \rho_T \cdot \eta_{тр}} \cdot (0,278 \cdot m_{\psi} \cdot G_{атс} + 0,02143 \cdot W \cdot V_{cpj}^2), \quad V_{cp} \text{ в } \frac{\text{км}}{\text{ч}}.$$

Расчёт производится в следующем порядке:

1. Построение диаграммы разгона АТС для определения номера(ов) передач, на которых реализуется средняя (наиболее вероятная в заданных условиях) скорость движения  $V_{cp}$ , рассчитанная по выражению (2.48).

2. Определение средних значений  $k_E^s$ ;  $k_{и\psi_{ji} V_{cp}}$  и  $m_{\psi}$  при движении на передачах и режимах работы двигателя, на которых реализуется средняя скорость  $V_{cp}$  движения автомобиля.

3. Определение значений расхода топлива  $Q_s^j$  для реализуемых при  $V_{cp}$  режимов работы двигателя по выражению (2.49).

4. Определение среднего (наиболее вероятного в заданных условиях) значения путевого расхода топлива  $Q_{s\text{ ср}}$  по выражению (2.50).

Расчёты будут показаны для той (тех) передачи и режима(ов) работы двигателя, на которой(ых) реализуется средняя скорость движения согласно диаграммы разгона АТС, на загородном участке маршрута ( $j = 2$ ).

### Пункт 1. Построение диаграммы разгона.

Исходные данные для построения диаграммы разгона представлены на рис. 3.2. и табл. 3.2 и 3.4. Диаграмма разгона представлена на рис. 3.7. [105,126,126, 142].

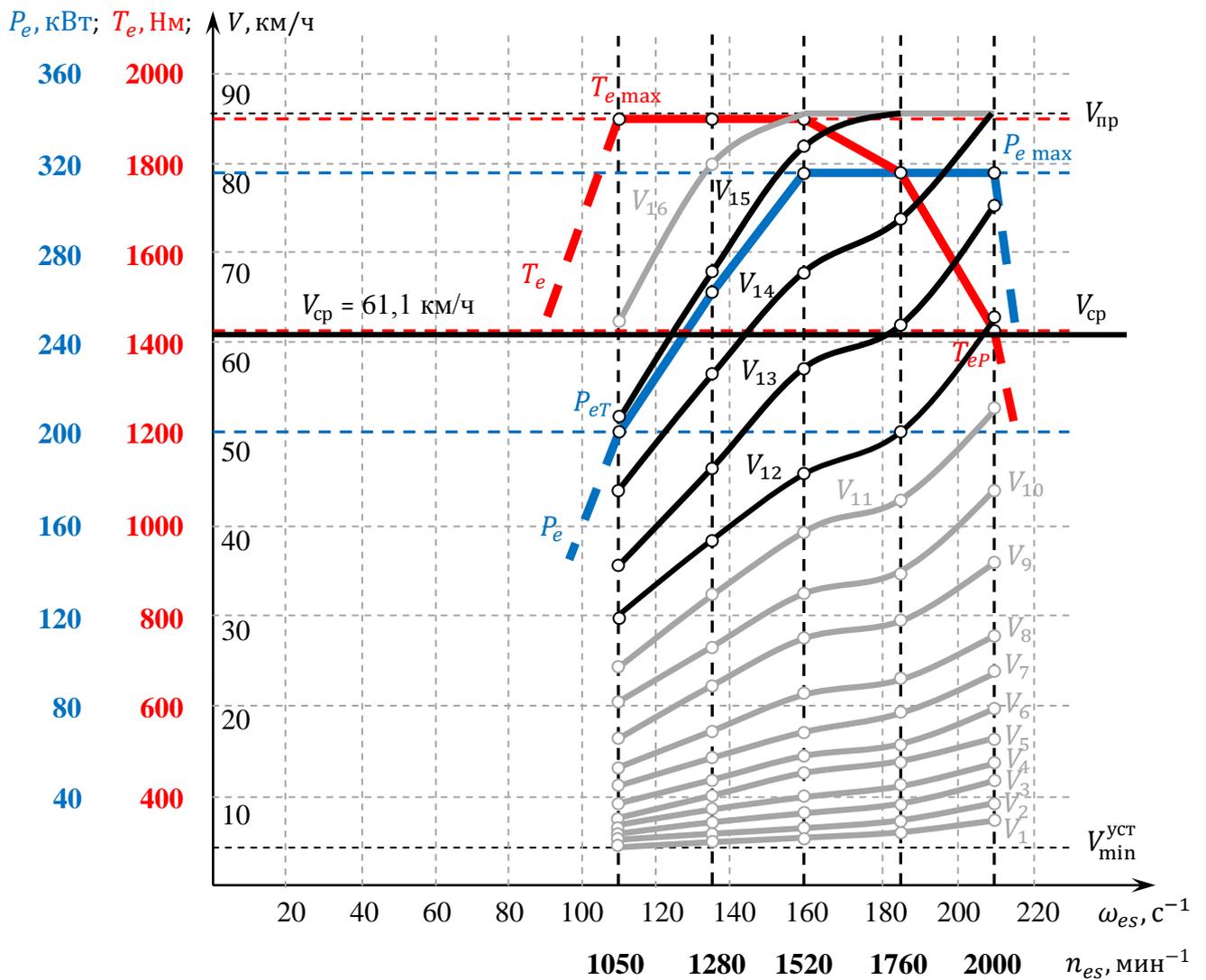


Рис. 3.7. Диаграмма разгона АТС

Как следует из рис. 3.7 средняя скорость движения АТС на маршруте  $V_{cp} = 61,1$  км/ч реализуется на 12-ой (режим  $s = 5$ ), 13-ой (режим  $s = 4$ ), 14-ой (режим  $s = 2, 3$ ) и 15-ой (режим  $s = 1, 2$ ), передачах.

**Пункт 2. Определение значений  $k_E^s$ ;  $k_{И\Psi_j i V_{cp}}$  и  $\Psi_j$  ср.**

Расчётные значения  $k_E^s$ ;  $k_{И\Psi_j i V_{cp}}$  и  $m_{\Psi}$  приведены выше, в табл. 3.20 и 3.7 соответственно. Для удобства восприятия эти значения сведены в табл. 3.27.

**Таблица 3.27.**

режим $s$ значения		Сводные значения для расчета $Q_s^j$ ЧВКВ двигателя, мин <sup>-1</sup>									
		1050 (1)		1280 (2)		1520 (3)		1760 (4)		2000 (5)	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
$k_E^s$		0,9656		0,9549		0,9583		0,9742		1,0	
$k_{И\Psi_j i V_{cp}}$		0,9613	1,0974	0,9748	1,1910	0,9661	1,1079	0,9849	1,2197	0,9814	1,2033
$\Psi_j$ ср		0,0155	0,0082	0,0155	0,0083	0,0156	0,0083	0,0156	0,0083	0,0156	0,0083

При расчётах  $Q_s^j$ , как говорилось выше, будут использованы средние значения величин из табл. 3.27:

$$k_{E\text{ ср}}^s = 0,9706; k_{И V_{cp}1} = 0,9737; k_{И V_{cp}2} = 1,1639; \Psi_{1\text{ ср}} = 0,0155; \Psi_{2\text{ ср}} = 0,0083.$$

**Пункт 3. Определение  $Q_s^j$  для реализуемых режимов работы двигателя.**

Для определения  $Q_s^j$  воспользуемся выражением (2.48) при подстановке значения  $V_{cp}$  в км/ч:

$$\begin{aligned} Q_s^1 &= \frac{217 \cdot 0,9706 \cdot 0,9737}{10000 \cdot 0,82 \cdot 0,85} \cdot (0,278 \cdot 0,0155 \cdot 346862 + 0,02143 \cdot 4,137 \cdot 61,1^2) = \\ &= \frac{205,085}{6970} \cdot 1842,61 = 54,22 \frac{\text{л}}{100 \text{ км}}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_s^2 &= \frac{217 \cdot 0,9706 \cdot 1,1639}{10000 \cdot 0,82 \cdot 0,85} \cdot (0,278 \cdot 0,0083 \cdot 346862 + 0,02143 \cdot 4,137 \cdot 61,1^2) = \\ &= \frac{245,134}{6970} \cdot 1143,90 = 40,23 \frac{\text{л}}{100 \text{ км}}. \end{aligned}$$

**Пункт 4. Определение среднего путевого расхода топлива  $Q_s$  ср.**

$$Q_{s \text{ ср}} = \sum_{j=1}^m Q_s^j \cdot W_j = 54,22 \cdot 0,02397 + 40,23 \cdot 0,97603 = 40,57 \frac{\text{л}}{100 \text{ км}}.$$

Как видно, наблюдается небольшое расхождение между значением расхода топлива, полученного с использованием полной методики определения расхода топлива (40,50 л/100 км) и значением по предложенному выражению (2.49).

Погрешность расчёта по методике и выражению (2.50) составляет 0,2%, чем в эксплуатационных расчетах можно пренебречь.

Таким образом, доказана адекватность предложенных аналитических выражений для расчёта средней скорости движения АТС на заданном маршруте и среднего путевого расхода топлива. Используя выражения (2.46 – 2.50) определим зависимость изменения расхода топлива от массы перевозимого груза и средней скорости движения. Данные для построения графиков (рис. 3.8 а и б) указанных зависимостей сведены в табл. 3.28, 3.29 соответственно.

Таблица 3.28.

Расчетные данные для рис. 3.28 а ( $V_{\text{ср}} = 61,1$  км/ч)

№ пп	Снаряж. Масса, кг	Масса груза, кг	Вес АТС, Н	$Q_s^1$ , л/100 км	$Q_s^2$ , л/100 км	$Q_{s \text{ ср}}$ , л/100 км
1	15358	0	150662	29,30	24,35	<b>24,46</b>
2	15358	5000	199712	35,53	28,32	<b>28,49</b>
3	15358	10000	248762	41,76	32,29	<b>32,52</b>
4	15358	15000	297812	47,99	36,26	<b>36,54</b>
5	15358	20000	346862	54,22	40,23	<b>40,57</b>
6	15358	25000	395912	60,45	44,20	<b>44,59</b>

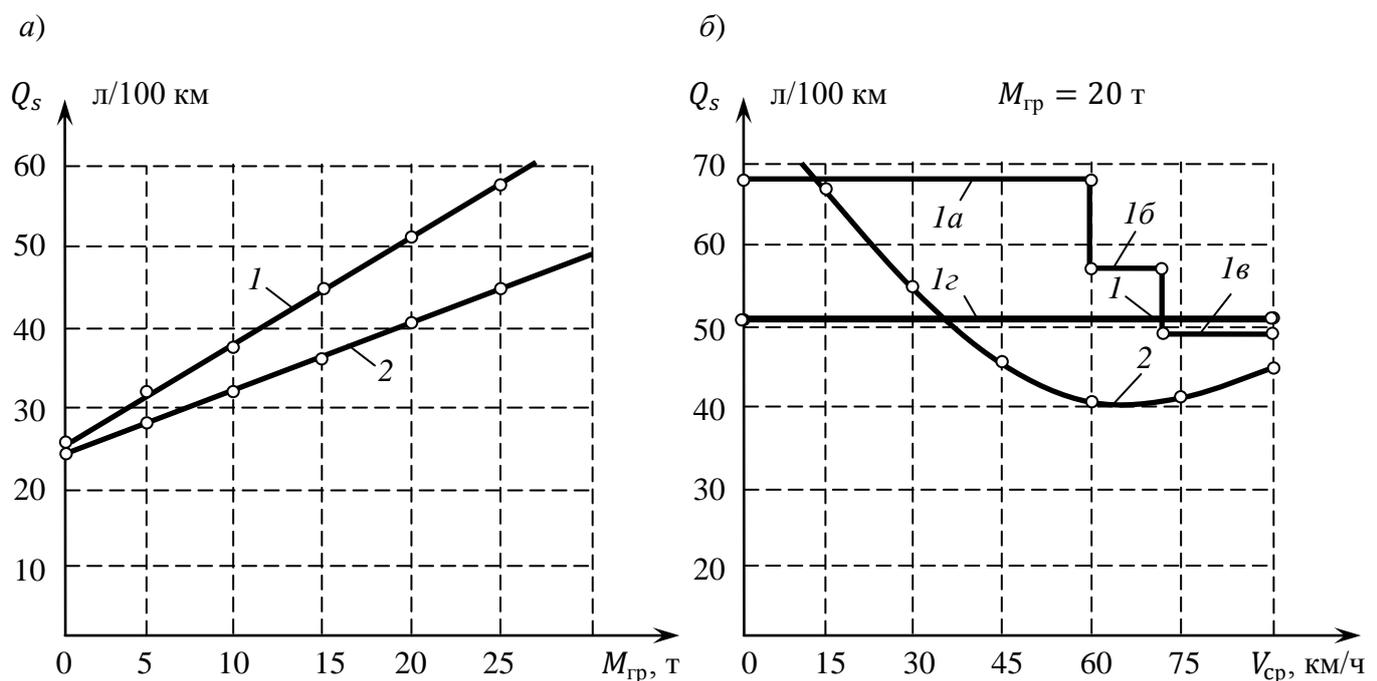
Таблица 3.29.

Расчетные данные для рис. 3.28 б ( $m_{\text{гр}} = 20$  т)

№ пп	Средняя скорость	$\Psi_{j \text{ ср}}$		$k_{и v_{срj}}$		$Q_s^1$ , л/100 км	$Q_s^2$ , л/100 км	$Q_{s \text{ ср}}$ , л/100 км
		1	2	1	2			
1	15	0,0151	0,0081	2,2727	2,7658	101,35	66,97	<b>67,79</b>
2	30	0,0153	0,0081	1,5199	2,1246	71,53	55,45	<b>55,84</b>
3	45	0,0154	0,0082	1,0998	1,5214	55,54	44,94	<b>45,19</b>
4	60	0,0155	0,0083	0,9737	1,1639	54,22	40,23	<b>40,57</b>
5	75	0,0157	0,0084	0,9519	1,0016	58,48	40,25	<b>40,69</b>
6	86	0,0158	0,0084	0,9427	0,9677	62,86	43,68	<b>44,14</b>

Расчётные результаты табл. 3.28 предполагают перевозки в аналогичных рассматриваемым условиях при изменении только массы перевозимого груза (от 0

до 25 т). При составлении расчётных данных табл. 3.29 учитывалось изменение не только скорости движения (от 15 до 86 км/ч), но и как следствие, изменение режимов работы двигателя, передач КП, суммарного дорожного сопротивления  $\psi$  и коэффициента использования мощности  $k_{и}$ , средние значения которых определены по табл. 3.7 и 3.20 для тех передач и режимов, при которых реализуется изменяемая средняя скорость. Соответствующие передачи и режимы определены по диаграмме разгона (рис. 3.7.). Для наглядности, полученные зависимости наложены на графики изменения нормативного расхода топлива (рис. 3.1).



**Рис. 3.8. Изменение линейного расхода топлива в зависимости от:**

*а)* – массы перевозимого груза; *б)* – средней скорости движения АТС

*1* – нормативный расход топлива (*1а*-город, *1б*-пригород, *1в*-загород, *1г*-среднее по маршруту);

*2* – расчётный расход топлива.

Анализ графиков показывает:

– значения расхода топлива в зависимости от изменения массы перевозимого груза ниже нормативных во всем диапазоне, причём, чем больше масса груза, тем больше разница значений расхода топлива (от 7 до 22%), что показывает несовершенство действующей методики нормирования расхода топлива. Кроме того, относительная близость значений нормативного и расчётного расхода топлива

(26,26 и 24,46 л/100 км, разница около 7%) при езде без груза доказывает состоятельность методики определения базового линейного расхода топлива (для АТС снаряженной массы), разработанного в 1996 году НИИАТ;

– значения расхода топлива в зависимости от изменения скорости движения при значениях скорости выше 35 км/ч ниже нормативных значений, причём минимум расчётных значений приходится на значения средних скоростей в диапазоне от 60 до 75 км/ч (разница составляет около 20%). Следует также отметить, что среднее значение расчётного расхода топлива составляет 49,03 л/100 км (разница с нормативным значением 50,94 л/100 км составляет около 4%), что при отсутствии учёта средних скоростей движения при нормировании расхода топлива, в некоторой степени оправдывает использование действующей методики нормирования. С другой стороны отсутствие учёта скорости при нормировании расхода топлива в современных условиях эксплуатации недопустимо, поскольку приводит к значительным искажениям в нормировании расхода топлива (разница расчётных значений достигает 40%). Таким образом, использование действующей методики нормирования расхода топлива оправдано только при средних скоростях движения АТС до 35 км/ч.

Итак, математически доказаны состоятельность предлагаемой вероятностно-аналитической методики прогнозирования расхода топлива и предлагаемых аналитических выражений для расчёта средней скорости движения и среднего путевого расхода топлива. Для полноты анализа в конце данного раздела будет построена и описана циклограмма расхода топлива.

### **3.4 Построение циклограммы расхода автомобильных топлив**

Принципы построения циклограммы расхода топлива и основные теоретические положения анализа циклограммы описаны в разделе 2, п. 2.3 (рис. 2.11, 2.12). Для удобства восприятия будет построена основная часть циклограммы для значений средних скоростей движения выше 40 км/ч (рис. 3.9).

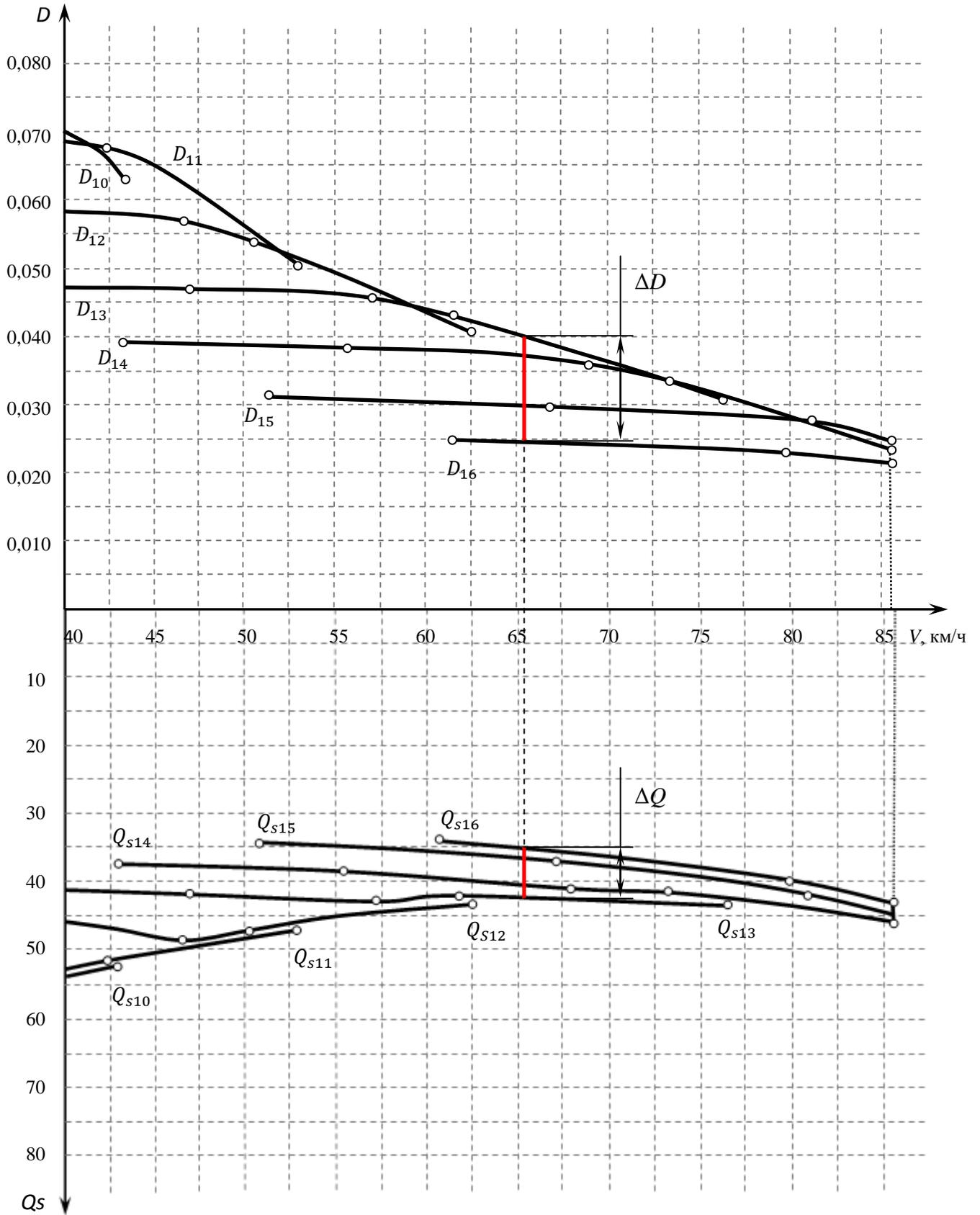


Рис. 3.9. Циклограмма расхода топлива

Анализ циклограммы расхода топлива (рис. 3.9) показывает:

– тяговые возможности АТС в заданных условиях эксплуатации при движении со средней скоростью 65,5 км/ч находятся в диапазоне 0,025 – 0,04, что определяет диапазон возможных дорожных условий эксплуатации;

– диапазон вероятных значений линейного расхода топлива при движении АТС со средней скоростью 65,5 км/ч, составляет 35,0-42,5 л/100 км, при этом наиболее вероятное значение расхода топлива, определенное по выражениям (2.49, 2.50) составляет 40,57 л/100 км и находится в том же диапазоне.

В практике работы АТП можно нормировать любое значение расхода топлива в полученном диапазоне, но с учётом найденного значения наиболее вероятного расхода топлива, в заданных условиях эксплуатации можно установить норму расхода топлива на уровне 40,6 л/100 км.

Различие фактических расходов топлива в заданных однотипных условиях эксплуатации будет определяться, в первую очередь, опытом водителей, а также техническим состоянием АТС, поэтому нижний уровень диапазона (35 л/100 км) можно использовать для стимулирования (мотивации, либо других мер социальной политики АТП) водительского состава АТП в части экономии топлива. Превышение же верхнего предела диапазона расхода топлива (42,5 л/100 км) можно использовать в качестве оценки работы водителей и принятия соответствующих решений в рамках социальной политики АТП.

В заключении следует отметить, что расход топлива составляет основную статью затрат АТП, поэтому применение вероятностно-аналитической методики прогнозирования расхода топлива (либо упрощенного порядка с использованием диаграммы разгона и выражений 2.46 – 2.50) позволит существенно упростить порядок учёта расхода топлива, а государственным органам обеспечит дополнительный приток налоговых отчислений.

### 3.5 Выводы по разделу 3

1. Доказана состоятельность вероятностно-аналитической методики прогнозирования расхода автомобильных топлив:

- доказано определяющее влияние средней скорости движения АТС в заданных условиях эксплуатации для целей определения расхода топлива;
- получены адекватные значения линейного расхода топлива АТС в заданных условиях эксплуатации с использованием алгоритма вероятностно-аналитической методики прогнозирования расхода топлива (табл. 2.1).

2. Доказана состоятельность упрощенного порядка определения наиболее вероятных значений средней скорости движения и среднего путевого расхода топлива в заданных условиях эксплуатации:

- доказана состоятельность предложенных выражений (2.46-2.48) для расчета наиболее вероятного значения средней скорости движения АТС (разница со значением, полученным по методике, составляет около 6,7%);
- доказана состоятельность предложенных выражений (2.49, 2.50) для расчета наиболее вероятного значения путевого расхода топлива (разница со значением, полученным по методике, составляет 0,2%);
- подтверждена состоятельность методики определения базовых линейных норм расхода топлива, разработанных НИИАТ (разница со значением, полученным по предложенным выражениям, составляет 7%);
- подтверждена несостоятельность действующей методики нормирования расхода топлив (разница с расчётными значениями достигает 40%). При этом показана сходимость нормативного расхода топлива и среднего значения расхода топлива во всем возможном диапазоне изменения скоростей движения АТС (от 15 до 86 км/ч) (разница со значением, полученным по предложенным выражениям, составляет 4%), но при этом показана недопустимость неучёта средней скорости движения для целей нормирования;

3. Показаны преимущества использования циклограммы расхода топлива в практике работы АТП.

## **РАЗДЕЛ 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЁТА И ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ МЕТОДИКИ**

В данном разделе приведены проверка гипотезы о неприменимости нормального закона распределения для расчёта средней скорости движения в городских и загородных условиях движения в целях прогнозирования расхода топлива, экспериментальная проверка результатов расчёта линейного расхода топлива АТС в заданных условиях эксплуатации и практические рекомендации по использованию вероятностно-аналитической методики прогнозирования расхода автомобильных топлив в условиях работы АТП.

Гипотеза о неприменимости нормального закона распределения скоростей включает в себя: построение гистограмм фактического распределения скоростей движения АТС в городских и загородных условиях эксплуатации; подтверждение о невозможности описания их нормальным законом распределения; предложение по виду гистограмм каких-либо законов распределения; проверка предложенных законов по критерию  $\chi^2$  (критерий Пирсона).

Сравнение фактических расходов топлив произведено по выявленным зависимостям нормативного и расчётного расхода топлива при изменении массы перевозимого груза и средней скорости движения АТС на реальных маршрутах. Данные по фактическим расходам топлива получены в результате контрольного замера и обобщены с данными, предоставленными АТП г. Н. Новгорода, эксплуатирующими АТС, подобные исследуемым.

Практические рекомендации по использованию методики включают в себя адаптацию данной методики применительно к эксплуатации различных видов транспорта и перевозке пассажиров. В конце раздела приведены рекомендации по развитию предложенной методики прогнозирования расхода топлива.

#### **4.1 Проверка гипотезы о неприменимости нормального закона распределения для расчёта средней скорости движения в целях прогнозирования расхода топлива**

Оценка фактического распределения скоростей движения различных марок пятиосных автопоездов в составе седельных тягачей и трёхосных полуприцепов произведено с применением математического анализа для различных транспортных условий эксплуатации (загородные дороги и городское движение) на асфальтовых покрытиях дорог I – II категорий.

Данные по значениям скоростей движения и фактическим значениям расхода топлива для математической обработки были получены с применением прикладного программного комплекса «АвтоГРАФ», использующего средства спутниковой навигации *GPS* («ГЛОНАСС») [171].

##### *Краткое описание системы.*

Контроллеры серии «АвтоГРАФ», установленные на АТС, постоянно получают кодовые сигналы со спутников систем *GPS* (*NAVSTAR*) и ГЛОНАСС, на основании которых вычисляются координаты точного местоположения АТС. Полученные координаты, с заданной периодичностью или адаптивно (по мере их изменения), записываются во внутреннюю энергонезависимую память контроллера. Кроме координат в память контроллера записываются состояния различных датчиков и внешних устройств, подключенных к контроллеру или к шинам данных, а также другие параметры, предусмотренные микропрограммой контроллера.

С заданной периодичностью, по команде, либо при наступлении запрограммированного события, накопленные данные передаются на специальный сервер «АвтоГРАФ» через сеть Интернет посредством услуги *GPRS* сети сотовой связи *GSM*. Сервер представляет из себя компьютер под управлением ОС *MS Windows Server*, постоянно подключенный к сети Интернет по выделенному каналу и обладающий надежным устройством хранения данных. В задачу сервера входит приём данных с контроллеров АвтоГРАФ – *GSM*, их хранение и передача по запросу на диспетчерские места.

Диспетчерские рабочие места представляют из себя персональные компьютеры или ноутбуки с установленной диспетчерской программой «АвтоГРАФ», имеющие доступ к сети Интернет либо подключенные к серверу по локальной сети. Принцип работы системы показан на рис. 4.1.

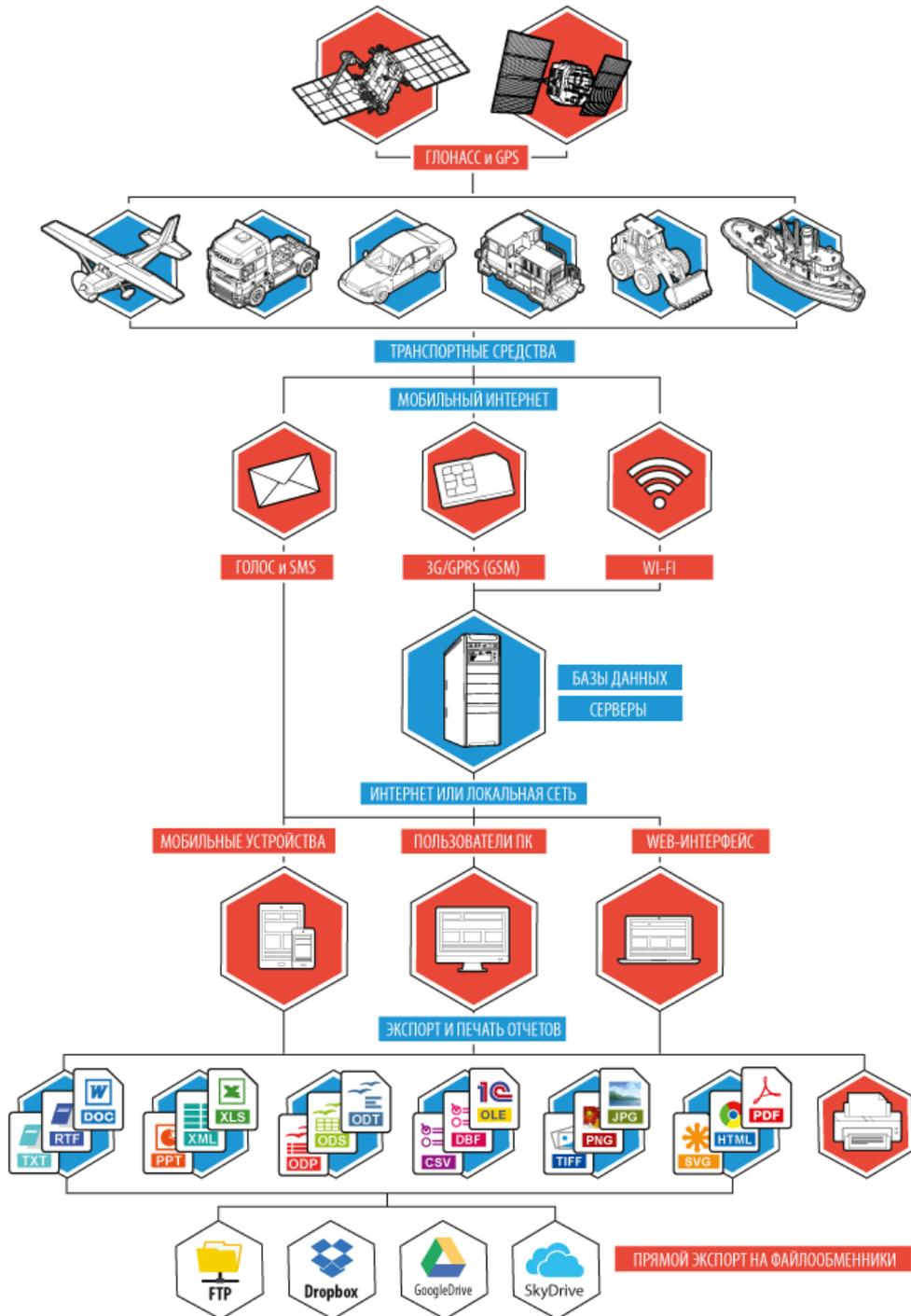


Рис. 4.1. Принцип работы системы АвтоГРАФ

Система спутникового мониторинга и контроля транспорта «АвтоГРАФ», а также навигационное и измерительное оборудование имеет все необходимые сертификаты для использования на территории РФ [171].

С помощью программного комплекса «АвтоГРАФ» для пятиосных автопоездов в составе седельных тягачей *Iveco EuroStar Cursor 430* и тентовых полуприцепов *Krone SDP 27*, эксплуатируемых ООО «КАПИТАЛ-ЛОГИСТИК», (г. Н.Новгород) и выполняющих междугородные перевозки, были выделены статистические данные об их местонахождении, а также дополнительные данные о скоростном режиме и уровне топлива в баке.

Внешний вид диалогового окна программы показан на рис. 4.2.

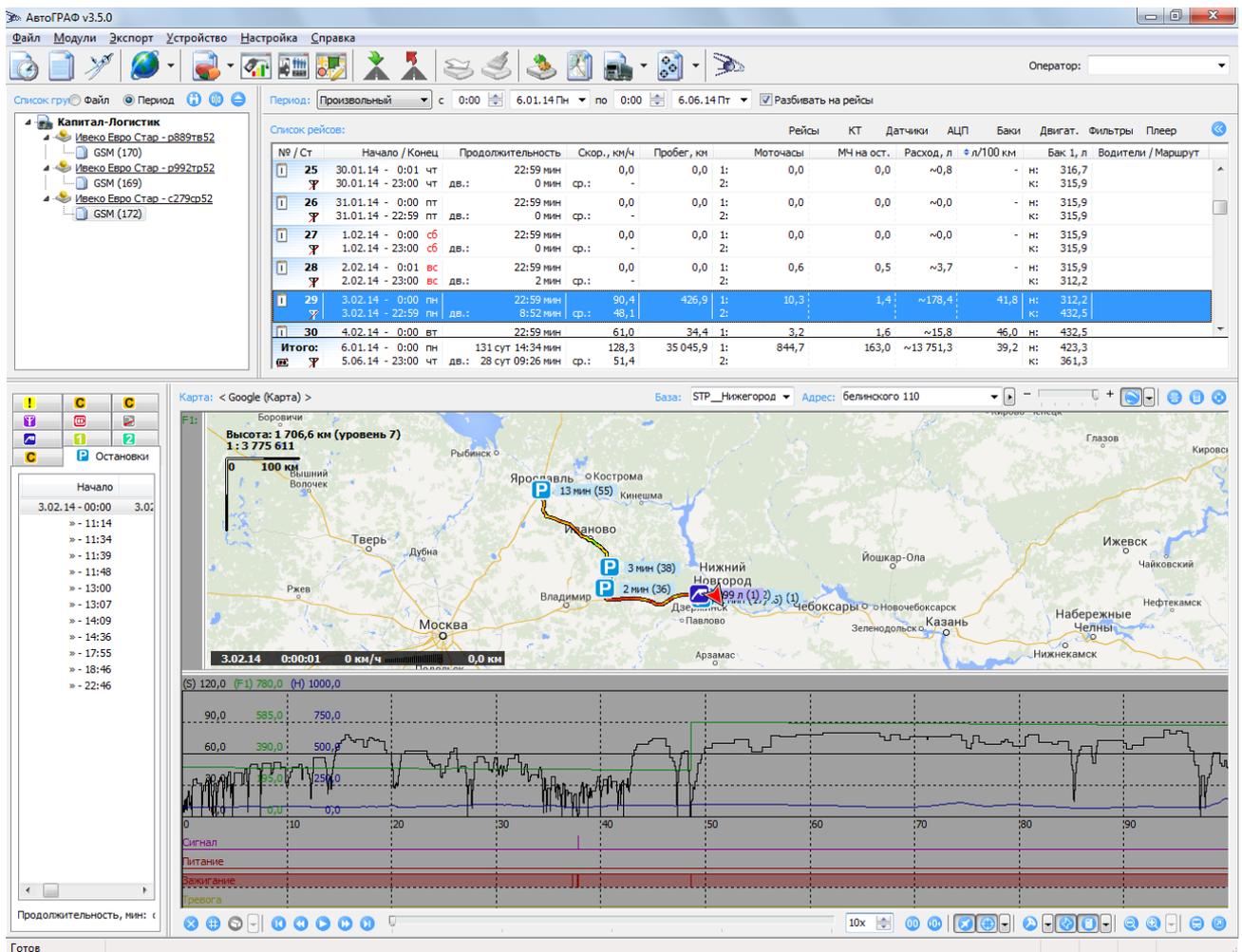


Рис. 4.2. Диалоговое окно программы «Автограф»

Общий объем базы данных значений скоростей соответствует периоду эксплуатации АТС в течение 1,5 лет (с 06.01.14 г. по 14.07.15 г., 280 перевозок грузов). Значения скоростей фиксировались адаптивно, т.е. при их фактическом изменении (диапазон съема данных от 2 до 15 с). Общее количество значений скоростей за указанный временной период составляет около 400 тыс. (391357 значений). Следует отметить, что были зафиксированы случаи превышения максимальной допустимой скорости движения (86 км/ч) до 90 км/ч, обусловленной особенностями конструкции ограничителей при полной подаче топлива при движении под уклон (возможно увеличение максимальной скорости до 4,8 км/ч (3 мили/ч)), а также случаи нарушения ПДД в части скоростного режима движения в городе (60 км/ч) и за городом (70 км/ч), но для чистоты статистической обработки в целях реальной оценки скоростей данные значения были оставлены для обработки.

Разделение всего массива скоростей на городское и загородное движение производилось на основе зафиксированных координат АТС с использованием навигационных карт с обозначенными границами городов. Статистические данные по значениям скоростей отражают объективную картину движения АТС, совершающих междугородные перевозки грузов с географией перевозок от Н. Новгорода до Санкт Петербурга, Екатеринбургa и Челябинска в пределах указанных временных рамок. При этом данные по городскому движению содержат обобщённую информацию по всем крупным городам в указанных географических рамках. Здесь следует отметить, что в навигационных картах, используемых в программном комплексе «АвтоГРАФ», отсутствуют границы пригородных зон (от 5 до 50 км в зависимости от численности населения городов), что делает невозможным учёт пригородного движения при оценке средних скоростей движения. В этой связи, в качестве допущения было принято решение об исключении всех значений скоростей в пределах 25 км от черты города из загородного движения. Также, из статистической выборки исключены значения скоростей зафиксированных при движении в плотных городских транспортных потоках – «пробках», поскольку на данных скоростных режимах определяющее влияние на расход топлива имеет не значение скорости, а часовой расход топлива двигателя.

Кроме того, согласно обработанным заявкам на перевозки за указанный временной период, масса перевозимого груза составила от 16,5 до 21,5 тонн.

Вся выборка статистических данных значений скоростей (391357 значений) была разделена на равное  $k = 8$  число интервалов для городского и загородного движения (среднее число интервалов по выражениям  $k = 1 + 3,222 \cdot \lg N$  и  $k = 2\sqrt[4]{N}$ , где  $N$  – количество данных в выборке (114,734 и 276,623 тыс. значений для городского и загородного движения соответственно) составляет около 8). Диапазон данных значений скоростей установлен от 10 до 90 км/ч, соответственно шаг интервала равен 10 км/ч.

Исходные данные для статистической обработки [3,76] представлены в табл. 4.1, рис. 4.3 и 4.4.

*Таблица 4.1.*

**Исходные данные для статистической обработки**

число попаданий, тыс. знач.	Интервалы скоростей, км/ч							
	10 - 20	20 - 30	30 - 40	40 - 50	50 - 60	60 - 70	70 - 80	80 - 90
город	39,514	21,913	17,821	13,554	9,115	5,866	4,239	2,712
загород	1,937	6,521	14,338	27,469	44,765	58,726	69,114	53,753
всего	41,451	28,434	32,159	41,023	53,880	64,592	73,353	56,465

Для удобства восприятия статистических данных приведены их гистограммы (рис. 4.3). Внешний вид общей гистограммы распределения скоростей (рис. 4.3. а) за весь период наблюдения не позволяет предложить ни один известный закон распределения случайных величин, что доказывает обоснованность разделения всех значений скоростей по условиям движения (городское и загородное). В результате по внешнему виду гистограммы городского движения (рис. 4.3 б) выдвинута гипотеза о применимости экспоненциального (с отрицательной степенью), а в общем случае – показательного, закона распределения скоростей.

Для загородного движения (рис. 4.3. в) явного закона также не наблюдается, подробный анализ будет приведен ниже.



**Рис. 4.3. Гистограммы статистических данных**

### Городское движение.

Как было указано выше, из массива скоростей городского движения исключены значения, соответствующие движению в «пробках», поскольку определяющее влияние на расход топлива в этом случае оказывает часовой расход топлива двигателем и неравномерность движения (высокие значения ускорений и замедлений). Исходя из целей работы, рассматривается именно устойчивое движение АТС, поэтому в качестве нижней границы было выбрано значение 3,75 км/ч (см. гл. 3). В связи с малым временем разгона АТС до скоростей 10 км/ч и временем съема значений фактических скоростей от 2 до 15 с все же было зафиксировано некоторое количество значений скоростей в диапазоне от 3,75 до 10 км/ч, а именно 442 значения. При этом в диапазоне 10 – 20 км/ч зафиксировано 39072 значения. Таким образом частоты попаданий значений скоростей в интервалы от 0 до 10 и от 10 до 20 км/ч составляют 0,442 и 39,072 соответственно. Используя правила сглаживания (объединения) при значениях частот  $n_i$  ниже 5 указанные интервалы объединяются в один (от 0 (3,75) до 20 км/ч) с частотой попадания в интервал 39,514. Значения частот для других интервалов приведены в табл. 4.1.

I. Производим первичную статистическую обработку [31,68,76,139].

1. Сначала переходим от интервального ряда к вариационному. В качестве варианта разряда  $v_i$  взято среднее арифметическое значение интервала.

2. Далее переходим к нормированной варианте  $\hat{v}_i = \frac{v_i - \Delta}{\delta}$ , где  $\Delta = 15$  – мода вариационного ряда,  $\delta = 10$  – величина интервала. Результаты статистической обработки приведены в табл. 4.2.

3. Рассчитываем среднее нормированной варианты:

$$\bar{\hat{v}} = \frac{\sum n_i \cdot \hat{v}_i}{n} = \frac{208,425}{114,734} = 1,8166, \text{ где } n = \sum n_i = 114,734.$$

4. Рассчитываем среднее значение случайной величины  $v_i$ :

$$\bar{v}_i = m(v) = \delta \bar{\hat{v}} + \Delta = 10 \cdot 1,8166 + 15 = 33,1659 \text{ км/ч.}$$

5. Рассчитываем выборочную дисперсию нормированной варианты:

$$\sigma_{\hat{v}}^2 = \frac{\sum n_i \cdot \hat{v}_i^2}{n} - \bar{\hat{v}}^2 = \frac{793,165}{114,734} - (1,8166)^2 = 3,6131.$$

6. Рассчитываем выборочную дисперсию и выборочное отклонение случайной величины:

$$\sigma_v^2 = \delta^2 S_{\hat{v}}^2 = 100 \cdot 3,6131 = 361,31.$$

$$\Sigma_v = \sqrt{361,31} = 19,01.$$

Таблица 4.2.

### Результаты статистической обработки

$v$	$n_i$	$v_i$	$\hat{v}_i$	$n_i \cdot \hat{v}_i$	$\hat{v}_i^2$	$n_i \cdot \hat{v}_i^2$
10-20	39,514	15	0	0	0	0
20-30	21,913	25	1	21,913	1	21,913
30-40	17,821	35	2	35,642	4	71,284
40-50	13,554	45	3	40,662	9	121,986
50-60	9,115	55	4	36,46	16	145,84
60-70	5,866	65	5	29,33	25	146,65
70-80	4,239	75	6	25,434	36	152,604
80-90	2,712	85	7	18,984	49	132,888
$\Sigma$	114,734	-	-	208,425	-	793,165

II. Производим проверку применимости нормального закона распределения.

Результаты расчётов приведены в табл. 4.3.

Таблица 4.3.

### Проверка нормальности распределения

$v$	$n_i$	$v_i^{\max}$	$v_i^{\max} - \bar{v}$	$v'_i$	$\Phi(v'_i)$	$p_i$	$n_i^m$	$n_i^2$	$n_i^2/n_i^m$
0-20	39,514	20	-13,1659	-0,6926	-0,2557	0,2443	28,0255	1561,3562	55,7120
20-30	21,913	30	-3,1659	-0,1666	-0,0661	0,1896	21,7529	480,1796	22,0742
30-40	17,821	40	6,8341	0,3595	0,1404	0,2065	23,6975	317,5880	13,4017
40-50	13,554	50	16,8341	0,8856	0,3121	0,1717	19,6985	183,7109	9,3261
50-60	9,115	60	26,8341	1,4117	0,4210	0,1089	12,4937	83,0832	6,6500
60-70	5,866	70	36,8341	1,9378	0,4737	0,0527	6,0457	34,4100	5,6916
70-80	4,239	80	46,8341	2,4639	0,4931	0,0195	2,2317	17,9691	8,0516
80-90	2,712	90	56,8341	2,9900	0,4986	0,0055	0,6284	7,3549	11,7048
$\Sigma$	114,734					1,00		13163,89	132,6123

Пояснения к табл. 4.3.

Среднее значение случайной величины  $\bar{v} = 33,1659$  км/ч.  $v'_i = \frac{v_i^{\max} - \bar{v}}{\sigma_v}$  – теоретические значения случайной величины.  $\Phi(v'_i)$  – функция Лапласа.  $p_i^m$  – теоретическая вероятность попадания случайной величины в интервал  $(v_i^{\min}; v_i^{\max})$ , определяется по выражению  $p_i^m = \Phi(v'_i) - \Phi(v'_{i-1})$  кроме первого и последнего интервалов. Для первого интервала  $p_1^m = 0,5 + \Phi(v'_i)$ , для последнего  $p_k^m = 1 - \sum_{i=1}^{k-1} p_i^m$ .  $n_i^m = np_i^m$  – теоретические значения частот.

Проверим применимость нормального закона распределения по критерию  $\chi^2$  (Пирсона). Наблюдаемое значение критерия  $\chi^2 = \sum \frac{n_i^2}{n_i^m} - n = 132,6123 - 114,734 = 17,88$ .

По таблицам распределения  $\chi^2$  для числа степеней свободы  $r = 8 - 2 - 1 = 5$ , где 8 – число интервалов, 2 – количество оцениваемых параметров ( $\bar{v}$  и  $\sigma_v$ ), при заданном уровне значимости (0,05, т.е. доверительная вероятность  $P_d = 95\%$ ) находим  $\chi_{\text{крит}}^2 = 11,07$ , что меньше чем наблюдаемое значение. Следовательно, изучаемое распределение нельзя считать нормальным.

III. Производим проверку применимости показательного закона распределения (в данном случае – экспоненциального с плотностью вероятности вида  $f(v) = \lambda e^{-\lambda v}$ ).

7. Среднее значение случайной величины составляет  $\bar{v} = \frac{n_i x_i}{n_i} = \frac{3681,7788}{114,734} = 32,0897$  км/ч. Находим оценку параметра предполагаемого (экспоненциального) распределения  $\lambda = \frac{1}{\bar{v}} = 0,0312$ . Таким образом, дифференциальная функция имеет вид:

$$f(v) = 0,0312 e^{-0,0312 v}. \quad (4.1)$$

2. Находим вероятности попадания в интервалы  $p_i = P(v_i < v < v_{i+1}) = e^{-\lambda v_i} - e^{-\lambda v_{i+1}}$ .

3. Находим теоретические значения частот  $n_i^T = np_i$ .

4. Сравниваем эмпирические  $n_i$  и теоретические  $n_i^T$  частоты с помощью критерия Пирсона  $\chi^2 = \frac{(n_i - n_i^T)^2}{n_i^T}$ . Результаты промежуточных расчетов приведены в табл. 4.4.

Таблица 4.4.

## Проверка гипотезы об экспоненциальном распределении

$v$	$n_i$	$x_i$	$n_i x_i$	$v_i$	$v_{i+1}$	$e^{-\lambda v_i}$	$e^{-\lambda v_{i+1}}$	$p_i$	$n_i^T$	$n_i - n_i^T$	$(n_i - n_i^T)^2$	$\frac{(n_i - n_i^T)^2}{n_i^T}$
0-20	39,5140	11,88	469,2288	3,75	20	0,8897	0,5362	0,3535	40,5599	-1,0459	1,0939	0,0270
20-30	21,9130	25,00	547,8250	20	30	0,5362	0,3926	0,1436	16,4717	5,4413	29,6078	1,7975
30-40	17,8210	35,00	623,7350	30	40	0,3926	0,2875	0,1051	12,0615	5,7595	33,1721	2,7503
40-50	13,5540	45,00	609,9300	40	50	0,2875	0,2105	0,0770	8,8321	4,7219	22,2966	2,5245
50-60	9,1150	55,00	501,3250	50	60	0,2105	0,1542	0,0564	6,4673	2,6477	7,0101	1,0839
60-70	5,8660	65,00	381,2900	60	70	0,1542	0,1129	0,0413	4,7357	1,1303	1,2775	0,2698
70-80	4,2390	75,00	317,9250	70	80	0,1129	0,0827	0,0302	3,4678	0,7712	0,5948	0,1715
80-90	2,7120	85,00	230,5200	80	90	0,0827	0,0605	0,0221	2,5393	0,1727	0,0298	0,0117
$\Sigma$	114,7340		3681,7788									<b>8,6362</b>

Наблюдаемое значение критерия  $\chi^2 = \sum \frac{(n_i - n_i^T)^2}{n_i^T} = 8,64$  (табл. 4.4).

По таблицам распределения  $\chi^2$  для числа степеней свободы  $r = 8 - 1 - 1 = 6$ , где 8 – число интервалов, 1 – количество оцениваемых параметров ( $\lambda$ ), при заданном уровне значимости (0,05) находим  $\chi_{\text{крит}}^2 = 12,59$ , что больше чем наблюдаемое значение. Следовательно, изучаемое распределение можно считать экспоненциальным.

Таким образом, доказана гипотеза о применимости экспоненциального закона распределения скоростей в городских условиях движения. Для последующей оценки расхода топлива средняя скорость движения в городских условиях принимается 32,09 км/ч (вместо используемого ранее значения 56,62 км/ч). Значение скорости движения в 32,09 км/ч соответствует усредненному значению по многим городам центрального региона РФ. Причем такие города как Москва и Санкт-Петербург имеют меньшие значения средних скоростей, остальные (Н.Новгород,

Чебоксары, Самара, Екатеринбург и др.) – несколько большие. Зафиксированные средние скорости по конкретным городам находятся в диапазоне 28-35 км/ч.

Теперь переходим к оценке распределения скоростей в загородных условиях движения АТС.

### Загородное движение.

Как было указано выше, из выборки загородного движения исключения значения скоростей в пределах 25 км от черты города. Исходные данные для математического анализа загородного движения приведены в табл. 4.1 и рис. 4.3 в.

I. Производим первичную статистическую обработку [31,68,76,139].

1. Сначала переходим от интервального ряда к вариационному. В качестве варианта разряда  $v_i$  взято среднее арифметическое значение интервала.

2. Далее переходим к нормированной варианте  $\hat{v}_i = \frac{v_i - \Delta}{\delta}$ , где  $\Delta = 75$  – мода вариационного ряда,  $\delta = 10$  величина интервала. Результаты статистической обработки приведены в табл. 4.5.

3. Рассчитываем среднее нормированной варианты:

$$\bar{\hat{v}} = \frac{\sum n_i \cdot \hat{v}_i}{n} = \frac{-278,489}{276,623} = -1,0067, \text{ где } n = \sum n_i = 276,623.$$

8. Рассчитываем среднее значение случайной величины  $v_i$ :

$$\bar{v}_i = m(v) = \delta \bar{\hat{v}} + \Delta = 10 \cdot (-1,0067) + 75 = 64,9325 \text{ км/ч.}$$

9. Рассчитываем выборочную дисперсию нормированной варианты:

$$\sigma_{\hat{v}}^2 = \frac{\sum n_i \cdot \hat{v}_i^2}{n} - \bar{\hat{v}}^2 = \frac{1000,925}{276,623} - (-1,0067)^2 = 2,6048.$$

10. Рассчитываем выборочную дисперсию и выборочное отклонение случайной величины:

$$\sigma_v^2 = \delta^2 S_{\hat{v}}^2 = 100 \cdot 2,6048 = 260,4836.$$

$$\Sigma_v = \sqrt{260,4836} = 16,1395.$$



Пояснения к табл. 4.6.

Среднее значение случайной величины  $\bar{v} = 64,9325$  км/ч.  $v'_i = \frac{v_i^{\max} - \bar{v}}{\sigma_v}$  – теоретические значения случайной величины.  $\Phi(v'_i)$  – функция Лапласа.  $p_i^m$  – теоретическая вероятность попадания случайной величины в интервал  $(v_i^{\min}; v_i^{\max})$ , определяется по выражению  $p_i^m = \Phi(v'_i) - \Phi(v'_{i-1})$  кроме первого и последнего интервалов. Для первого интервала  $p_1^m = 0,5 + \Phi(v'_i)$ , для последнего  $p_k^m = 1 - \sum_{i=1}^{k-1} p_i^m$ .  $n_i^m = np_i^m$  – теоретические значения частот.

Проверим применимость нормального закона распределения по критерию  $\chi^2$  (Пирсона). Наблюдаемое значение критерия  $\chi^2 = \sum \frac{n_i^2}{n_i^m} - n = 320,4329 - 276,623 = 43,81$ .

По таблицам распределения  $\chi^2$  для числа степеней свободы  $r = 8 - 2 - 1 = 5$ , где 8 – число интервалов, 2 – количество оцениваемых параметров ( $\bar{v}$  и  $\sigma_v$ ), при заданном уровне значимости (0,05, т.е. доверительная вероятность  $P_d = 95\%$ ) находим  $\chi_{\text{крит}}^2 = 11,07$ , что меньше чем наблюдаемое значение. Следовательно, изучаемое распределение нельзя считать нормальным.

III. Производим проверку применимости других законов распределения.

По виду гистограммы опытного распределения скоростей при загородном движении предположить какой-либо закон распределения не представляется возможным. Была проведена проверка всех основных законов распределения, применяющихся для оценки случайных величин на АТ по критерию  $\chi^2$  (Пирсона) (гамма-распределение, Вейбулла-Гнеденко, логарифмически нормальное, показательное, равномерное и др.). Результаты проверки выявили, что ни нормальным законом, ни какими-либо другими известными законами распределения опытное распределение не может быть оценено.

Тем не менее, по виду гистограммы, было предположено, что опытное распределение все же похоже на нормальное в некотором «урезанном» варианте (если достроить функцию плотности распределения в область повышенных скоростей движения – более 90 км/ч – график окажется симметричным и совпадает с нормальным распределением).

В соответствии с вышеизложенным вид искомой функции плотности распределения предположительно взят в соответствии с нормальным с тремя неизвестными параметрами: некоторая постоянная  $c$ , определяющая «растянутость» графика по оси ординат,  $\sigma$  – среднеквадратическое отклонение, определяющее «растянутость» графика по оси абсцисс и  $a$  – некоторая величина, заменяющая собой математическое ожидание случайной величины:

$$f(v) = \frac{c}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(v-a)^2}{2\sigma^2}}, \quad (4.2)$$

при этом по условию нормировки:  $\int_0^{a+\delta} f(v)dv = 1$ , где  $\delta = 10$  – длина интервала.

В качестве величины  $a$ , заменяющей математическое ожидание, взята мода опытного распределения, т.е.  $a = 75$ . Для последующего интегрирования была осуществлена замена аргумента  $v$  на  $t$ :  $\frac{v-a}{\sigma} = t$ ;  $v = a + \sigma t$ ;  $dv = \sigma dt$ . Соответственно при  $v = 0 \rightarrow t = -\frac{a}{\sigma}$ , при  $v = a + \delta \rightarrow t = \frac{\delta}{\sigma}$ . Таким образом:

$$\begin{aligned} \int_0^{a+\delta} \frac{c}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(v-a)^2}{2\sigma^2}} dv &= \frac{c}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\frac{a}{\sigma}}^{\frac{\delta}{\sigma}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt = c \left( \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\frac{a}{\sigma}}^0 e^{-\frac{t^2}{2}} dt + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\frac{\delta}{\sigma}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \right) = \\ &= c \left( -\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\frac{a}{\sigma}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\frac{\delta}{\sigma}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \right) = c \left( -\Phi\left(-\frac{a}{\sigma}\right) + \Phi\left(\frac{\delta}{\sigma}\right) \right) = \\ &= c \left( \Phi\left(\frac{\delta}{\sigma}\right) - \Phi\left(-\frac{a}{\sigma}\right) \right) = 1. \end{aligned}$$

Итак, получено выражение для определения константы  $c$ :

$$c = \frac{1}{\Phi\left(\frac{\delta}{\sigma}\right) + \Phi\left(\frac{a}{\sigma}\right)}, \quad (4.3)$$

где  $\Phi\left(\frac{\delta}{\sigma}\right)$  и  $\Phi\left(\frac{a}{\sigma}\right)$  – функция Лапласа.

Далее выведено выражение для математического ожидания:

$$\begin{aligned} m(v) &= \int_0^{a+\delta} v \cdot \frac{c}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(v-a)^2}{2\sigma^2}} dv = \frac{c}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\frac{a}{\sigma}}^{\frac{\delta}{\sigma}} (\sigma t + a) e^{-\frac{t^2}{2}} dt = \\ &= \frac{c}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\frac{a}{\sigma}}^{\frac{\delta}{\sigma}} t e^{-\frac{t^2}{2}} dt + \frac{ac}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\frac{a}{\sigma}}^{\frac{\delta}{\sigma}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt = -\frac{c}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} \Big|_{-\frac{a}{\sigma}}^{\frac{\delta}{\sigma}} + \\ &+ \frac{ac}{\sigma} \left( -\int_0^{-\frac{a}{\sigma}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt + \int_0^{\frac{\delta}{\sigma}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \right) = -\frac{c}{\sqrt{2\pi}} \left( e^{-\frac{\delta^2}{2\sigma^2}} - e^{-\frac{a^2}{2\sigma^2}} \right) + \frac{ac}{\sigma} \left( \Phi\left(\frac{\delta}{\sigma}\right) + \Phi\left(\frac{a}{\sigma}\right) \right). \end{aligned}$$

Таким образом, математическое ожидание для исходной функции (4.2) имеет вид:

$$m(v) = \frac{e^{-\frac{a^2}{2\sigma^2}} - e^{-\frac{\delta^2}{2\sigma^2}}}{\sqrt{2\pi} \left( \Phi\left(\frac{\delta}{\sigma}\right) + \Phi\left(\frac{a}{\sigma}\right) \right)} + \frac{a}{\sigma}, \quad (4.4)$$

и при известных значениях  $a$  и  $\delta$ , представляет собой функцию одного аргумента  $\sigma$ , т.е.  $m(v) = f(\sigma)$ .

Далее, с помощью прикладного программного комплекса *Maple 6.0* на ЭВМ было подобрано значение  $\sigma$ , при известных  $a = 75$  км/ч и  $\delta = 10$  км/ч, при котором функция (4.2) дает максимальное подобие с опытным распределением (рис. 4.3 в) в диапазоне значений скоростей от 10 до 90 км/ч.

Итак, распределение скоростей при загородном движении АТС описывается функцией  $f(v)$  вида (4.5) с параметрами  $c = 1,35$ ;  $\sigma = 23$ ;  $a = 75$ :

$$f(v) = \frac{1,35}{23\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(v-75)^2}{1058}} = 0,0234 e^{-\frac{(v-75)^2}{1058}}. \quad (4.5)$$

Для функции (4.5) математическое ожидание, т.е. среднее значение скорости движения АТС за городом составляет  $m(v) = v_{\text{ср}}^3 = 65,21$  км/ч.

Таким образом, скорости движения АТС в городе описываются экспоненциальным законом распределения с функцией плотности вида (4.1) и мат. ожиданием  $v_{\text{ср}}^{\Gamma} = 32,09$  км/ч; скорости движения АТС за городом описываются распределением с функцией плотности вида (4.5) и мат. ожиданием  $v_{\text{ср}}^3 = 65,21$  км/ч.

Для уточнённых значений средних скоростей движения в городских и загородных условиях движения будет определено новое (уточнённое) значение среднего путевого расхода топлива и результат будет сравнён со значениями нормативного и расчётного расхода топлива (рис. 3.8).

## **4.2 Экспериментальная проверка результатов расчёта расхода топлива АТС в заданных условиях эксплуатации**

При использовании нормального закона для описания случайного изменения дорожных и транспортных условий эксплуатации при движении АТС в городе и загородом по выражениям (2.46) и (2.47) получено наиболее вероятное значение средней скорости движения  $V_{\text{ср}} = 61,10$  км/ч, которому соответствует наиболее вероятное значение среднего путевого расхода топлива  $Q_{\text{ср}} = 40,57$  л/100 км. Вместе с тем, в п. 4.1. была доказана недопустимость использования нормаль-

ного закона для описания распределения скоростей движения как в городе, так и за городом. В соответствии с этим были получены выражения функции плотности вероятности распределения скоростей в городе (4.1) и за городом (4.5), согласно которым уточнены значения средних скоростей движения на данных участках. В итоге, уточнённое значение средней скорости движения на рассматриваемом маршруте по выражению (1.9) составляет:

$$V_{\text{ср}} = \sum_{j=1}^m V_{\text{с}j} W_j = 32,09 \cdot 0,024 + 65,21 \cdot 0,976 = 64,42 \frac{\text{км}}{\text{ч}}.$$

Далее по диаграмме разгона (рис. 3.7) при средней скорости в 64,42 км/ч были определены режимы работы двигателя, при которых реализуется средняя скорость движения, и по приведенному в п. 3.2 алгоритму были уточнены значения среднего путевого расхода топлива в городских и загородных условиях эксплуатации. В итоге, уточненное значение среднего путевого расхода топлива на рассматриваемом маршруте по выражению (2.49) составляет:

$$Q_{s \text{ ср}} = \sum_{j=1}^m Q_s^j \cdot W_j = 66,23 \cdot 0,024 + 39,40 \cdot 0,976 = 40,04 \frac{\text{л}}{100 \text{ км}}.$$

Таким образом, уточнённое с учетом реального распределения скоростей значение наиболее вероятного среднего путевого расхода топлива меньше расчетного на 0,53 л/100 км при аналогичных условиях. Кроме этого, уточнённый расход топлива меньше нормативного (50,94 л/100 км) на 10,9 л/100 км.

Для оценки экономического эффекта от внедрения разработанной вероятностно-аналитической методики определения расхода автомобильных топлив необходимо получить экспериментальные значения расхода топлива на рассматриваемом маршруте (Н. Новгород – Екатеринбург).

С помощью прикладного программного комплекса «АвтоГРАФ», фиксировались не только координаты АТС по навигационным картам и значения скоростей, но и, кроме многих других статистических данных, значения мгновенных и

средних расходов топлива. В результате, с использованием программного комплекса *Excel*, получены значения средних расходов топлива по характерным точкам (рис. 3.8) при изменении массы перевозимого груза от 16,5 до 21,5 тонн, а также без груза, и средней скорости движения  $V_{ср} \approx 65$  км/ч. Значения расходов топлива при других значениях скоростей получены путём усреднения фактических расходов топлива, зафиксированных топливным датчиком комплекса «АвтоГРАФ», при соответствующих значениях скоростей (от 15 до 90 км/ч с шагом 15 км/ч). Итоговые данные для сравнения нормативного, расчётного, уточнённого и экспериментального путевого расхода топлива приведены в табл. 4.7.

Таблица 4.7.

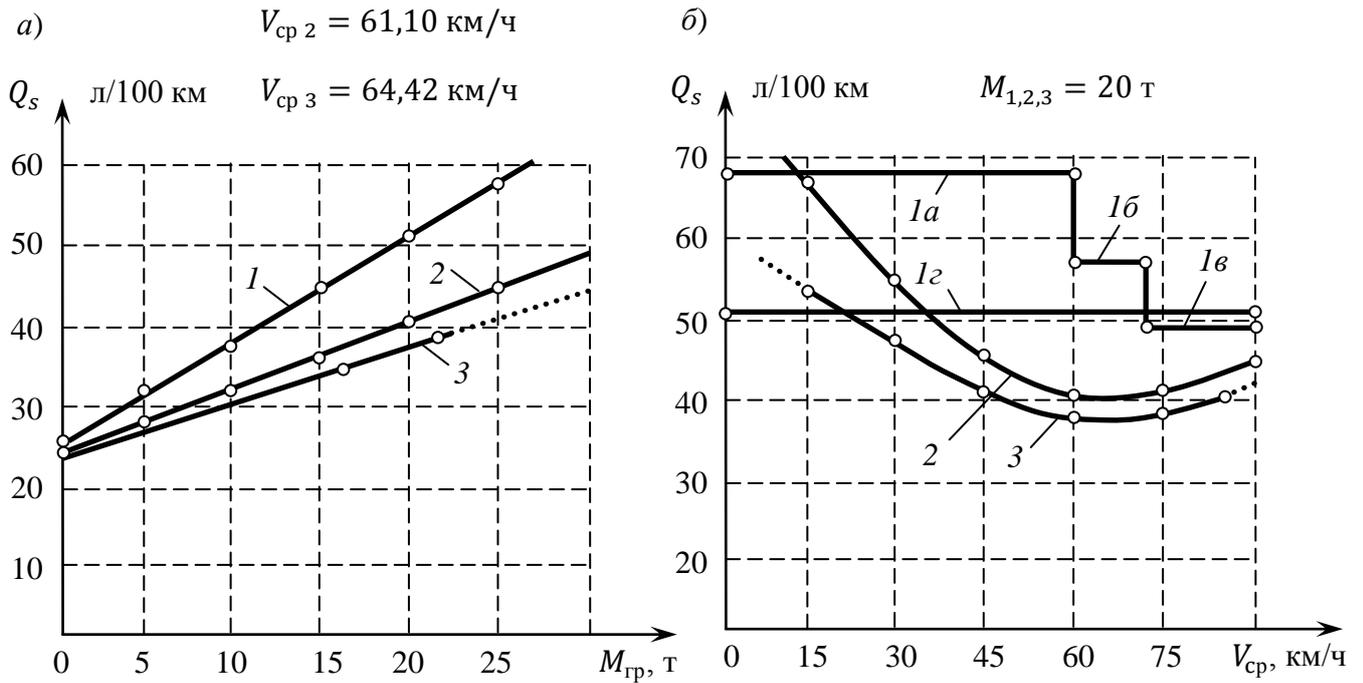
**Исходные данные для сравнения величин расходов топлива**

показатель	масса груза, т			скорость движения, км/ч					
	0,0	16,5	21,5	15	30	45	60	75	85
$Q_s$	23,5	34,5	39,4	53,2	48,0	41,3	38,5	39,1	40,5

Опытные значения  $Q_s$ , полученные с помощью программно-аппаратного комплекса «АвтоГРАФ» наложены на полученные зависимости расхода топлива от массы перевозимого груза и скорости движения (рис. 3.8) и представлены на рис. 4.4.

Для проверки правильности построения зависимости экспериментального расхода топлива от массы перевозимого груза (20 т) был произведён контрольный замер расхода топлива по маршруту Н. Новгород, ул. Дьяконова, 2 – Чувашская республика, с. Хыркасы, расстояние 223 км (акт контрольного замера расхода топлива, П.5), согласно требованиям [2]. Общая длительность ездки составила 3 часа 25 минут (3,42 часа) Средняя техническая скорость составила 65,2 км/ч.

Замер расхода топлива осуществлялся весовым способом и составил 38,10 л/100 км, что согласуется с данными экспериментов с помощью расходомеров [40,43,50,93,100]. Дозаправки и сливы во время движения не производились. Таким образом, доказана состоятельность экспериментальной зависимости расхода топлива от массы перевозимого груза и средней скорости движения (рис. 4.4).



**Рис. 4.4. Изменение линейного расхода топлива в зависимости от:**

а) – массы перевозимого груза; б) – средней скорости движения АТС

$1$  – нормативный расход топлива ( $1a$ -город,  $1б$ -пригород,  $1в$ -загород,  $1г$ -среднее по маршруту);

$2$  – расчётный расход топлива;

$3$  – экспериментальный расход топлива.

Итак, норма расхода топлива при перевозке 20 т груза по маршруту Н.Новгород – Екатеринбург составляет 50,94 л/100 км. Расчётный расход топлива по методике составляет 40,57 л/100 км. Уточнённый с учётом реального распределения скоростей в городских и загородных условиях движения расход топлива составляет 40,04 л/100 км. Экспериментальный расход топлива составляет 38,10 л/100 км. Расхождение расчётного и экспериментального расхода топлива составляет 2,47 л/100 км или 6,09%, уточнённого и экспериментального – 1,94 л/100 км или 4,85%, нормативного и экспериментального – 12,84 л/100 км или 25,21%.

Таким образом, доказана состоятельность разработанной методики определения расхода топлива в целом и доказана необходимость учёта фактического распределения скоростей для целей прогнозирования расхода топлива.

По оценке АТП, осуществляющих междугородные и международные перевозки грузов среднегодовой пробег АТС составляет 100 тыс. км. Таким образом,

действующие Нормы позволяют списывать на себестоимость перевозок до 12840 л в год больше топлива, чем фактически было затрачено на одно АТС. Средняя стоимость дизельного топлива в РФ за 2015 год по официальным источникам составила 35,60 руб./л, т.е. налогооблагаемая база ежегодно на каждое АТС может быть снижена до 457,104 тыс. руб. Таким образом, предприятия, определяющие норму расхода топлива АТС в соответствии с действующими Нормами и оплачивающие в бюджет налог на прибыль (20 % от балансовой прибыли), недоплачивают налогов в бюджет на сумму до 91,421 тыс. руб. в год на каждое АТС.

Применение разработанной методики вместо действующих Норм на государственном уровне позволит увеличить приток налоговых отчислений до  $(12840-1940) \cdot 35,6 \cdot 0,2 = 77,608$  тыс. руб. на 1 АТС в год при их эксплуатации в идентичных рассматриваемым условиях. Это и составляет экономический эффект от использования методики. Для предприятий, работающих по налоговой системе ЕНВД (единый налог на вмененный доход), выразить экономический эффект не представляется возможным в силу фиксирования (вменения) доходов предприятия для целей налогообложения.

Для самих предприятий, использование методики позволит получить объективную оценку фактических расходов топлива при изменении условий эксплуатации АТС без необходимости проведения контрольных замеров.

### **4.3 Практические рекомендации по использованию вероятностно-аналитической методики прогнозирования расхода автомобильных топлив**

Приведённая в настоящей работе вероятностно-аналитическая методика прогнозирования расхода автомобильных топлив адаптирована под крупнотоннажные многоосные автопоезда, имеющие ступенчатые (механические) КП, совершающие междугородные и международные перевозки грузов. Данный выбор обусловлен тем, что подавляющее количество грузов, перевозимых автомобильным транспортом, перевозится именно автопоездами в составе седельных тягачей и полуприцепов, эксплуатируемых коммерческими предприятиями РФ. Кроме то-

го, количество таких грузовых АТС, зарегистрированных на территории РФ, также велико. И, конечно же, в современных условиях затраты на топливо являются преобладающей статьёй затрат АТП, особенно на международных перевозках, где стоимость топлива по странам намного выше, чем в среднем по РФ.

Применение в повседневной работе предложенной методики представляет интерес как государственным органам, так и коммерческим предприятиям. С одной стороны, АТП имеют возможность объективно оценивать предполагаемый расход топлива на маршруте, извлекая из оборота меньшие средства для осуществления перевозок, а также контролировать водителей в части приписок и перерасходов топлива. С другой стороны, рассчитанные значения расхода топлива могут быть приняты в качестве нормативных в целях налогообложения применительно к тем предприятиям, которые отчитываются не по фактическому объёму израсходованного топлива, а вычисляют данное значение согласно методике, приведенной в «Нормах». Как показывают расчёты, фактический и рассчитанный по предлагаемой методике расход топлива до 40 % ниже, чем рассчитанный по «Нормам». Исключение составляют АТС, эксплуатируемые в городах со средними скоростями движения ниже 30 км/ч.

Как показано в разделах 2 и 3 предлагаемая вероятностно-аналитическая методика может быть реализована двумя способами. С одной стороны, это полный и подробный расчёт для заданного вида АТС и условий эксплуатации, в результате которого будут получены значения наиболее вероятной средней скорости движения и среднего путевого расхода топлива. С другой стороны можно использовать предлагаемые аналитические выражения и, используя упрощенный порядок получить близкие к наиболее вероятным значения средних скоростей и расходов топлива. Именно второй способ, как более простой, рекомендован для предприятий, не стремящихся к полной оценке топливной экономичности АТС в заданных условиях эксплуатации.

Итак, для успешного применения методики в условиях работы конкретных АТП, последовательность расчётов должна соответствовать порядку, приведён-

ному в конце п. 3.2 (проверка выражений 2.46 – 2.50, с построением диаграммы разгона АТС).

#### **4.4 Рекомендации по развитию вероятностно-аналитической методики прогнозирования расхода автомобильных топлив**

Приведённая в настоящей работе методика определения расхода автомобильных топлив разработана и проверена на состоятельность для грузовой автомобильной техники, в частности автопоездов в составе седельных тягачей и тентовых полуприцепов. Данный выбор основан на статистических данных Минтранса РФ и АСМАП (Ассоциация международных автомобильных перевозчиков), показывающих подавляющий объём грузов, перевезённых указанным типом АТС. В целом, данная методика пригодна к использованию для прогнозирования расхода топлива любых АТС, предназначенных для перевозки грузов и имеющих в своей конструкции механические КП, в том числе с демультипликатором. Учитывая различия в конструкции современных АТС и, в первую очередь, их двигателей и трансмиссии, данная методика требует адаптации к наиболее распространённым типам конструкции, отличных от исследованных.

Во-вторых, данная методика адаптирована к условиям эксплуатации центральной части РФ (от западных границ до Уральского региона РФ), в частности к рельефу местности вплоть до холмистого с характерными углами продольных уклонов и умеренному климатическому району с характерными среднегодовыми температурами и розой ветров. Для учёта отличных от указанных условий эксплуатации итоговые значения линейного расхода топлива следует скорректировать с помощью соответствующих коэффициентов, указанных в разделе 1 или других источниках, имеющих научное и практическое подтверждение.

Наконец, в качестве основного фактора, влияющего на линейный расход топлива и имеющего случайный характер при движении, выбрана (и доказана состоятельность такого выбора) средняя эксплуатационная скорость на заданном маршруте. В соответствии с этим, для более точного расчёта средней скорости в

заданных географических рамках и, как следствие, более точного расчёта и прогнозирования расхода топлива на маршрутах рекомендуется адаптировать данную методику при эксплуатации АТС в других дорожных условиях.

В целях дальнейшего развития и большей универсальности разработанной методики все вышеописанное сводится к выполнению следующих рекомендаций:

1. Адаптировать разработанную методику для АТС, имеющих в своей конструкции автоматические коробки передач (АКП) и гидромеханические передачи (ГМП). Для выполнения этой рекомендации следует использовать положения теории автомобиля, применительно к современным конструкциям трансмиссии автомобилей и адаптировать их к алгоритму разработанной методики.

2. Адаптировать разработанную методику для АТС, перевозящих пассажиров либо выполняющих другую транспортную работу, предполагающей наличие в конструкции коробок отбора мощности (КОМ). Для АТС, перевозящих пассажиров (в частности для автобусов), требуется учёт номинальной и предельной пассажировместимости и, соответственно получить диапазон средней скорости движения и среднего путевого расхода топлива в заданных условиях. Для АТС, выполняющих другую транспортную работу, требуется учесть дополнительный расход топлива на выполнение этих работ при допущении, что в период выполнения этих работ АТС движется с постоянной (установленной, регламентированной) средней скоростью.

3. Как известно, внешняя скоростная характеристика двигателя (ВСХ) построена для режима полной нагрузки (подачи топлива в цилиндры двигателя) при изменении частоты вращения коленчатого вала двигателя (ЧВКВ). Указанная методика учитывает равновероятное изменение ЧВКВ двигателя в рабочем диапазоне (от оборотов максимального эффективного крутящего момента до оборотов максимальной эффективной мощности), но не учитывает вариацию другого показателя режима работы двигателя – нагрузку на двигатель, учитываемую через среднее эффективное давление газов в цилиндрах двигателя или опосредованно через подачу топлива в цилиндры. Данное обстоятельство является основной причиной несколько завышенного, по сравнению с реальным, теоретического

значения линейного расхода топлива на заданном маршруте. Соответственно, требуется построение и учёт для целей прогнозирования расхода топлива в заданных условиях эксплуатации частичных скоростных (нагрузочных) характеристик двигателя либо экспериментально определить наиболее вероятные режимы работы двигателей в различных условиях эксплуатации. Для этих целей требуется получить опытные массивы данных по реальным распределениям оборотов двигателя и подачи топлива в цилиндры в различных условиях эксплуатации с помощью современного измерительного оборудования, например, используемого в настоящей работе программного комплекса «АвтоГРАФ». Для целей обеспечения точности определения расхода топлива данная задача представляется основной для различных видов АТС.

4. Экспериментально проверить и апробировать предложенные в гл. 2 выражения для определения относительного пути движения АТС либо выявить зависимости влияния отличных от изученных дорожных покрытий (в частности,  $D_3$ ,  $D_4$  и  $D_5$ ) на среднюю скорость движения однотипных АТС для целей прогнозирования расхода топлива. Для этого требуется экспериментально определить силы сопротивления качению и учесть влияние изменения продольного и поперечного профиля конкретных дорог на среднюю скорость движения.

5. В силу указанных в п. 4.1. ограничений пригородный режим движения «размыт» между условиями движения в городе и загородом. Для более точного расчёта средней скорости и прогнозирования расхода топлива требуется изучить пригородный режим движения. Для этого требуется получить оценку скоростей движения от границ городов на расстояние, соответствующей пригородной зоне в зависимости от численности населения города.

#### **4.5 Выводы по разделу 4**

1. Произведена экспериментальная оценка распределения скоростей при эксплуатации в городских и загородных условиях движения:

– доказана неприменимость нормального закона распределения скоростей при движении АТС в городах и загородных участках дорог I и II категорий;

– доказана возможность применения экспоненциального закона распределения для оценки скоростей движения АТС в городских условиях с функцией плотности вероятности вида (4.1);

– определена закономерность изменения скоростей движения АТС в загородных условиях движения с функцией плотности вероятности вида (4.5);

– уточнены значения средних скоростей движения в городских и загородных условиях движения с учётом их фактического распределения.

2. Произведена экспериментальная оценка фактических расходов топлива в городских и загородных условиях движения:

– нормативный расход топлива выше экспериментально полученного до 25,21% в аналогичных условиях эксплуатации;

– расчётный расход топлива, полученный по методике, выше экспериментально полученного на 6,09% в аналогичных условиях эксплуатации;

– уточнённый с учётом реального распределения скоростей движения расчётный расход топлива выше экспериментально полученного на 4,85% в аналогичных условиях эксплуатации.

3. Доказана состоятельность применения разработанной вероятностно-аналитической методики и предложенных выражений (2.46 – 2.50) для целей прогнозирования расхода топлива:

– экономический эффект от использования методики составил до 77,608 тыс. руб. на 1 АТС в год при годовом пробеге в 100 тыс. км для целей налогообложения.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. На основе теоретических и экспериментальных исследований в области оптимизация планирования, организации и управления перевозками пассажиров и грузов и ресурсосбережения в автотранспортном комплексе автором предложены:

- математическая модель для определения средних скоростей движения автопоездов по маршрутам, отличающиеся учётом вариативности условий эксплуатации;

- математическая модель и методика для определения расхода топлива автопоездами на маршрутах, отличающаяся учётом вероятных значений средних скоростей движения и законов распределения скоростей на участках маршрутов;

- методика построения топливно-экономической характеристики автотранспортных средств, отличающаяся дополнительной операцией определения циклограмм расхода топлива при вариации условий эксплуатации.

2. Предложенные модели и методики положены в основу разработанной вероятностно-аналитической методики прогнозирования расхода топлива автопоездами, обеспечивающей повышенную точность расчётов средних скоростей движения на маршруте и требуемых объёмов топлив для осуществления транспортной работы автопредприятиями.

3. Произведенная оценка степени соответствия нормативных (по методическим рекомендациям N АМ-23-р), расчётных (по предложенной методике) и экспериментальных значений расходов топлива автопоездами при фактических распределениях скоростей движения по участкам маршрутов, позволила установить, что:

- нормативные значения расхода топлива в зависимости от условий эксплуатации превышают фактические значения на 18...26 %;

- отклонение фактических значений расходов топлива (данные ГЛОНАСС и контрольные замеры) от расчётных (по предложенной вероятностно-аналитической методике) составляет 4,85 %.

4. Вероятностно-аналитическая методика прогнозирования расхода топлива

автопоездами базируется на использовании общедоступного программного обеспечения и не требует высокой квалификации инженерно-технического персонала автопредприятий; в связи с повышенной точностью прогнозирования рекомендуется для практического использования при нормировании расходов топлива автопоездами.

5. Основные результаты исследований одобрены и приняты к внедрению Министерством транспорта и автомобильных дорог Нижегородской области, внедрены в автопредприятиях ООО «Параллель» и ООО «Капитал-Логистик», в учебный процесс НГТУ им. Р.Е. Алексеева. Экономический эффект от внедрения вероятностно-аналитической методики прогнозирования расхода топлива составил 77608 руб. в год на один автопоезд (при среднегодовом пробеге 100 тыс. км).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ведомственные строительные нормы ВСН 417-81 «Инструкция по нормированию расхода дизельного топлива, бензина и электроэнергии на работу строительного-монтажных машин и механизмов» (утверждена Приказом Минмонтажспецстроя СССР от 27.02.1981).
2. ГОСТ 8.207-76. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдения. – М.: Издательство стандартов, 1977. – 8 с.
3. ГОСТ 19.701-90 Единая система программной документации. Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Условные обозначения и правила выполнения- М.: Издательство стандартов, 1990. – 25 с.
4. ГОСТ 20306-90. Автотранспортные средства. Топливная экономичность. Методы испытаний. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 24 с.
5. ГОСТ 22576-90. Автотранспортные средства. Скоростные испытания. Методы испытаний. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 10 с.
6. ГОСТ Р 41.83-2004, Правила ЕЭК ООН № 83 Единообразные предписания, касающиеся сертификации транспортных средств в зависимости от топлива. - М.: Издательство стандартов, 2004. – 165 с.
7. ГОСТ Р 52389-2005. Транспортные средства колесные. Массы и размеры. Технические требования и методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2006.
8. ГОСТ Р 54120-2010. Двигатели автомобильные. Пусковые качества. Технические требования. – М.: Стандартинформ, 2011. – 11 с.
9. Заключение Минэкономразвития РФ от 20.04.2012 «По итогам экспертизы на распоряжение Минтранса РФ от 14.03.2008 № АМ-23-р «О введении в действие методических рекомендаций «Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте».
10. Методика определения базовых норм расхода топлива на автомобильном транспорте Р 03112134-0367-97 (утверждена НИИАТ 24.09.1996).

11. Методические указания по нормированию расхода жидкого топлива на работу спецмашин коммунального назначения, утв. Приказом Минжилкомхоза РСФСР от 21 января 1986 г. № 38.

12. Методические указания по расчету норм расхода бензина и дизельного топлива на работу строительного-дорожных машин, утв. Госстройкомитетом СССР 20.07.1988 г. № 32-Д.

13. Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте: Руководящий документ Р3112199-0295-93 (утверждены Департаментом автомобильного транспорта Минтранса РФ 26.08.1993).

14. Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте: Руководящий документ Р 3112194-0366-97. (утверждены Минтрансом РФ 29.04.1997).

15. Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте: Руководящий документ Р 3112194-0366-03 (утверждены Минтрансом РФ 29.04.2003).

16. Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте: Распоряжение Минтранса РФ № АМ-23-р от 14.03.08. - М., 2008. - 64 с.

17. Письмо Минавтотранса РСФСР от 28.03.1989 № ВЕ-14/385 «Об утверждении и введении в действие линейных норм расхода топлива для автомобильного транспорта».

18. Постановление Совмина СССР от 05.03.1960 № 252 «О нормах расхода жидкого топлива для автомобилей».

19. Постановление Совмина РСФСР от 15.08.1967 № 608 «Об утверждении норм расхода жидкого топлива для строительных, дорожных и других машин и механизмов».

20. Постановление Госплана РСФСР от 09.10.1975 № 111 «Временные линейные нормы расхода жидкого топлива для автомобильного транспорта».

21. Приказ Минтранса РСФСР от 26.10.1983 № 97 «О повышении эффективности использования автотранспортных средств в народном хозяйстве, усиле-

нии борьбы с приписками при перевозках грузов автомобильным транспортом и обеспечении сохранности горюче-смазочных материалов».

22. Приложение к Постановлению Госплана СССР от 17 июня 1983 г. № 171 «Линейные нормы расхода автомобильного бензина, дизельного топлива и сжиженного газа на 100 км пробега для автомобильного транспорта».

23. Распоряжение Минтранса РФ от 14.03.2008 N AM-23-р. «Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте».

24. Руководство по энергосбережению на автомобильном транспорте Р 3112199-0337-95 (утверждено 23.11.1994 Департаментом автомобильного транспорта Минтранса РФ).

25. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года. – М.: Минтранс, 2008. – 183 с. (утверждена распоряжением Правительства РФ № 1734-р от 22.11.2008).

26. **Абрамов, С.Н.** Совершенствование методов разработки нормативов расхода топлива на основе учета технологии движения на автобусных маршрутах. Дисс...канд. техн. наук. – Москва: НИИАТ, 1983 – 315 с.

27. **Авдонькин, Ф.** Топливо и экология / Ф. Авдонькин // Автомобильный транспорт. – 1991. - № 4/91. – 54 с.

28. **Аверичев, Л.В.** Планирование маршрутного расхода топлива при перевозке грузов в городских условиях. Автореферат дисс. ... канд. техн. наук. – Омск: СибАДИ, 1994 – 20 с.

29. **Азаматов, Р.** Экономичные режимы работы автомобилей / Р. Азаматов, В. Барун, Ю. Котиков, А. Борисенко, В. Череповский // Автомобильный транспорт. – 1985. - № 2/85. – с. 26-28.

30. **Азаматов, Р.** Экономичное вождение автопоездов / Р. Азаматов, В. Барун, А. Борисенко, Ю. Котиков, В. Масленников, О. Филиппов // Автомобильный транспорт. – 1985. - № 7/85. – с. 28-30.

31. **Айвазян, С.А.** Прикладная статистика: Основы моделирования и первичная обработка данных / Под ред. С.А. Айвазяна. – М.: Финансы и статистика, 1985. – 487 с.

32. **Алексеева, И.** МАН в Ганновере / И. Алексеева // Автомобильный транспорт. – 1995. - № 5/95. – с. 40-41.
33. **Антропов, Б.** Резервы повышения топливной экономичности / Б. Антропов // Автомобильный транспорт. – 1992. - № 07/92. – с. 21-22.
34. **Астапенко, А.В.** Улучшение топливной экономичности городского автобуса путем оптимизации параметров силового агрегата и режимов движения. Автореферат дисс. ... канд. техн. наук. – Москва: МАДИ, 1993 – 19 с.
35. **Артамонов, М.Д.** Теория автомобиля и автомобильного двигателя / Артамонов М.Д., Иларионов В.А., Морин М.М. - М.: Машиностроение, 1968. –263 с.
36. **Бабков В.Ф.** Дорожные условия и безопасность движения. – М.: Транспорт, 1970. – 132 с.
37. **Балабаева, И.** Супергрузовики из Швеции / И. Балабаева // Автомобильный транспорт. – 1994. - № 3/94. – с. 26-27.
38. **Балабаева, И.** Грузовые автомобили СИСУ / И. Балабаева // Автомобильный транспорт. – 1994. - № 1-2/94. – с. 44-45.
39. **Балабаева, И.** Перспективы внедрения более экономичных дизельных двигателей для тяжелых автомобилей Скания / И. Балабаева // Автомобильный транспорт. – 1993. - № 8/93. – с. 18-19.
40. **Банников, В.** Встроенные расходомеры / В. Банников // Автомобильный транспорт. – 1988. - № 8/88. – с. 55-57.
41. **Банников, В.** Измерение скорости автомобиля: проблемы и решения / В. Банников // Автомобильный транспорт. – 1990. - № 12/90. – с. 51-52.
42. **Безбородова, Г.Б.** Моделирование движения автомобиля / Безбородова Г.Б., Галушко В.Г.. - Киев: Вища школа, 1978 – 168 с.
43. **Безуглый, А.** Ядерно-магнитный расходомер / А. Безуглый, Е. Лавринович, И. Оробей, А. Пряхин, А. Файбышев // Автомобильный транспорт. – 1990. - № 07/90. – с. 36-37.
44. **Белов, А.Г.** Приспособленность автомобилей с дизельными двигателями к низкотемпературным условиям эксплуатации по расходу топлива. Автореферат дисс. ... канд. техн. наук. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2004 – 19 с.

45. **Беляев, Г.А.** Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения / Г.А. Беляев, И.И. Леонович // Автомобильные дороги. – 1991. - № 5/91. – с. 27-29.

46. **Борисенко, А.** Нормирование расхода топлива на маршрутах / А. Борисенко, А. Ваньков, А. Василовский, В. Лепешев // Автомобильный транспорт. – 1991. - № 4/91. – с. 36-37.

47. **Борисов Г.В.** Анализ коэффициента сопротивления качению и движению автомобиля: сб. науч. ст. XIII междунар. молодёжн. науч.-техн. конф. «Будущее технической науки» (Н.Новгород) / Г.В. Борисов, А.Н. Кузьмин, Д.А. Горина– Н.Новгород: НГТУ, 2014. – с. 174-176.

48. **Борисов Г.В.** Анализ существующего методического подхода в РФ по нормированию расхода топлива автомобилями: материалы 78-ой науч.-техн. конф. «Безопасность транспортных средств в эксплуатации» (Н.Новгород) / Г.В. Борисов, Н.А. Кузьмин. – Н.Новгород: НГТУ, 2010. – с. 140-142.

49. **Борисов, Г.В.** Аналитический подход к нормированию расхода автомобильных топлив / Г.В. Борисов, Н.А. Кузьмин, Л.Н. Ерофеева // Интеллект.Инновации.Инвестиции. – 2015. - №3. – с. 91-96.

50. **Борисов Г.В.** Влияние качества вождения автомобиля на долговечность двигателя: материалы 79-ой науч.-техн. конф. «Безопасность транспортных средств в эксплуатации» (Н.Новгород) /Н.А.Кузьмин, Г.В.Борисов, А.А. Пикулькин. – Н.Новгород: НГТУ, 2012. – с.181-183.

51. **Борисов, Г.В.** К вопросу о нормировании расхода жидких топлив на автомобильном транспорте / Г.В. Борисов, К.Я. Лелиовский, Н.А. Кузьмин // Автотранспортное предприятие. – 2015, № 2. – с. 51-55.

52. **Борисов Г.В.** Классификация процессов и прочие изменения технического состояния автомобиля в эксплуатации: сб. науч. ст. XIV междунар. молодёжн. науч.-техн. конф. «Будущее технической науки» (Н.Новгород) / А.Н. Кузьмин. Г.В. Борисов, Д.А. Горина – Н.Новгород: НГТУ, 2015. – с. 199-200.

53. **Борисов Г.В.** Нестационарные эксплуатационные режимы работы автомобильных двигателей: сб. науч. ст. VII междунар. молодёжн. науч.-техн. конф.

«Будущее технической науки» (Н.Новгород) / Г.В. Борисов, Н.А. Кузьмин. – Н. Новгород: НГТУ, 2008. – с. 109-110.

54. **Борисов, Г.В.** Нормирование расхода топлив на автомобильном транспорте / Г.В. Борисов, К.Я. Лелиовский, Г.В. Пачурин // *Фундаментальные исследования*. – 2015, № 3. – С. 28-35. URL: <http://www.rae.ru/>.

55. **Борисов Г.В.** Совершенствование системы корректирования нормативов ТЭА: сб. науч. ст. VIII междунар. молодёжн. науч.-техн. конф. «Будущее технической науки» (Н.Новгород) / Н.А. Кузьмин, Г.В. Борисов – Н.Новгород: НГТУ, 2009. – с. 162-164.

56. **Борисов, Г.В.** Уточнение технико-экономического метода определения оптимальной периодичности технического обслуживания автомобилей / Г.В. Борисов, Н.А. Кузьмин, Л.Н. Ерофеева // *Труды НГТУ*. – 2013. - № 4. – с. 37-43.

57. **Борисов Г.В.** Уточнение топливного баланса автомобиля: материалы 78-ой науч.-техн. конф. «Безопасность транспортных средств в эксплуатации» (Н.Новгород) / Н.А. Кузьмин, Г.В. Борисов.– Н.Новгород: НГТУ, 2010.–с. 138-140.

58. **Борисов Г.В.** Вероятностно-аналитическая методика прогнозирования расхода топлива автопоездами: материалы XVIII междунар. науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы эксплуатации автотранспортных средств» (Владимир) / Г.В. Борисов. – Владимир: ВлГУ, 2016. – С. 36-46.

59. **Васильев, А.П.** Производственная проверка комплексной оценки качества и состояния автомобильных дорог / А.П. Васильев, М.С. Коганзон, Е.В. Миненко // *Автомобильные дороги*. – 1991. - № 12/91. – с. 8-11.

60. **Васильев, А.П.** Принципы прогнозирования транспортно-эксплуатационного состояния дорог / А.П. Васильев, М.С. Коганзон, Ю.М. Яковлев // *Автомобильные дороги*. – 1993. - № 1/93. – с. 8-10.

61. **Великанов, Д.П.** Развитие автопоездов и их динамических качеств / Д.П. Великанов // *Автомобильная промышленность*. –1963. - № 12/63.– с. 25-29.

62. **Вельбовец, А.Ф.** Разработка методов оценки и повышения топливной экономичности прицепных автопоездов. Автореферат дисс. ... канд. техн. наук. – Киев: КАДИ, 1986 – 17 с.

63. **Вохминов, Д.Е.** Разработка расчетного метода совершенствования топливно-экологических параметров автомобиля. Дисс. ... канд. техн. наук. – Москва: НАМИ, 2004 – 121 с.
64. **Ву Туан Ань.** Методика расчета тягово-скоростных и топливно-экономических характеристик автобуса с двухпоточной гидромеханической передачей. Автореферат дисс. ... канд. техн. наук. – Москва: МАМИ, 2008 – 20 с.
65. **Высоцкий, М.С.** Топливная экономичность автомобилей и автопоездов / Высоцкий М.С., Беленький Ю.Ю., Московин В.В. – Мн.: Наука и техника, 1984. – 208 с.
66. **Гелашвили, О.Г.** Прогнозирование линейного расхода дизельного топлива автомобилями в автотранспортных предприятиях. Дисс. ... канд. техн. наук. – Москва: МАДИ, 1983.
67. **Гирявец, А.К.** Теория управления автомобильным бензиновым двигателем. - М.: Стройиздат, 1992 – 160 с.
68. **Гмурман, В.Е.** Теория вероятностей и математическая статистика. Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 1999. – 479 с.
69. **Говорущенко, Н.Я.** Нормирование скоростей движения грузового автотранспорта / Н.Я. Говорущенко, В. Назаров, А. Смеркус, Е. Хрущева // Автомобильный транспорт. – 1988. - № 2/88. – с. 13-15.
70. **Говорущенко, Н.Я.** Экономия топлива и снижение токсичности на автомобильном транспорте. – М.: Транспорт, 1990. – 135 с.
71. **Гостев, К.А.** Совершенствование аэродинамических свойств магистрального автопоезда. Автореферат дисс. ... канд. техн. наук. – Москва: МГИУ, 1997 – 22 с.
72. **Гринберг, Н.** Шероховатость дорожного покрытия и топливная экономичность / Н. Гринберг, М. Кузьминер, М. Немчинов, С. Ткачев // Автомобильный транспорт. – 1993. - № 11/88. – 32 с.
73. **Джаджанидзе, В.И.** Совершенствование нормирования расхода топлива на городских автобусных маршрутах. Автореферат дисс. ... канд. техн. наук. – Москва: МАДИ, 1986 – 18с .

74. **Евграфов, А.Н.** Влияние бокового ветра на аэродинамику автопоезда / А.Н. Евграфов // Автомобильный транспорт. – 1993. - № 4/93.– с. 16-17.
75. **Евграфов, А.Н.** Снижение аэродинамического сопротивления автопоездов за счет внешних устройств / А.Н. Евграфов // Автомобильный транспорт. – 1993. - № 5/93. – с. 21-22.
76. **Ерофеева, Л.Н.** Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике: учеб. пособие / Л.Н. Ерофеева, С.В. Лещева; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.С. Алексеева. – Н.Новгород, 2014. – 152 с.
77. **Жогов, Л.А.** Жаркий климат и топливная экономичность АТС / Л.А. Жогов, Ю.Л. Зеленин, В.И. Котляренко // Автомобильная промышленность. – 1990. - № 06/90. – с. 10.
78. **Жуков, С.** МАЗы завтрашнего дня / С. Жуков // Автомобильный транспорт. – 1996. - № 2/96. – с. 29-32.
79. **Закурдаев, К.** Покоритель километров под звездой удачи / К. Закурдаев // Автомобильный транспорт. – 1993. - № 1/96. – с. 28-30.
80. **Захаров, Д.А.** Влияние зимних условий эксплуатации автомобилей на топливную экономичность двигателей. Автореферат дисс. ... канд. техн. наук. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2000 – 17 с.
81. **Зеер, В.А.** Метод улучшения топливно-экономических и экологических показателей автомобилей в условиях эксплуатации. Автореферат дисс. ... канд. техн. наук. – Иркутск: ИрГТУ, 2008 – 20 с.
82. **Зимелев, Г.В.** Теория автомобиля / Г.В. Зимелев. – М.: Военгиз, 1951. – 399 с.
83. **Зимелев, Г.В.** Теория автомобиля / Г.В. Зимелев. – М.: Машгиз, 1959. – 312 с.
84. **Иванов, М.Ю.** Улучшение разгонных свойств и топливной экономичности городских автобусов с гидромеханической передачей. Автореферат дисс. ... канд. техн. наук. – Москва: МАДИ, 2009 – 25 с.

85. **Ивасик, Д.В.** Влияние зрительной плавности автомобильной дороги на количество дорожно-транспортных происшествий и скорость движения / Д.В. Ивасик // Автомобильные дороги. – 1992. - № 1/92. – с. 19-21.
86. **Ивлева, И.** Арктические испытания автопоездов / И. Ивлева // Автомобильный транспорт. – 1993. - № 10/95. –с. 41-43.
87. **Ивлева, И.** Седельный тягач нового поколения ИВЕКО Евростар / И. Ивлева // Автомобильный транспорт. – 1994. - № 7/94. – с. 29.
88. **Ивлева, И.** Автомобиль ИВЕКО Еврокарго 120-Е-23 / И. Ивлева // Автомобильный транспорт. – 1994. - № 7/94. – с. 23-25.
89. **Ивлева, И.** Скания хорошо катит с горы / И. Ивлева // Автомобильный транспорт. – 1994. - № 3/94. – с. 30-31.
90. **Ивлева, И.** «Скания обтекаемая» - взгляд снаружи и изнутри / И. Ивлева // Автомобильный транспорт. – 1991. - № 5/91. – с. 56-58.
91. **Извеков, Б.С.** Современный автомобиль. Автомобильные термины / Б.С. Извеков, Н.А. Кузьмин. – Н.Новгород.: ООО «РИГ АТИС», 2001. – 320 с.
92. **Исполатов, Б.Ю.** Разработка методики нормирования маршрутного расхода топлива автобуса ЛиАЗ-6212 в эксплуатации. Дисс. ... канд. техн. наук. – Москва: МГИУ, 2005 – 176 с.
93. **Итинская Н.И., Кузнецов Н.А.** Топлива, масла и технические жидкости: Справочник. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1989. – 304 с.
94. **Казакевич, А.** Нормирование расхода топлива для рефрижераторов / А. Казакевич, И. Карбанович // Автомобильный транспорт. – 1985. - № 7/85.– с. 20-21.
95. **Карабцев, В.С.** Улучшение топливной экономичности и тягово-скоростных свойств магистрального автопоезда совершенствованием методов и комплексного критерия оценки эксплуатационной эффективности на стадии проектирования и доводки. Автореферат дисс. ... канд. техн. наук. – Набережные Челны: Камская гос. инж.-экон. акад., 2009 – 18 с.

96. **Карташов, Г.** Нормирование технической скорости движения автомобилей при перевозках в горных условиях (на примере Средней Азии) / Г. Карташов // Автомобильный транспорт. – 1990. - № 12/90. – с. 28-30.
97. **Кислицин Н.М.** Долговечность автомобильных шин в различных режимах движения. – Н.Новгород.: Волго-Вятское кн. изд-во, 1992. – 232 с.
98. **Кнороз, В.И.** Работа автомобильной шины. – М.: Транспорт, 1976. – 238 с.
99. **Коноплев, В.Н.** Оценка однородности грузовых автомобилей массового производства при формировании и контроле их топливно-скоростных качеств. Дисс. ... канд. техн. наук. – Москва: Завод-ВТУЗ при ЗИЛ, 1984.
100. **Коровин, Н.В.** Общая химия: учебник для технических направлений и специальных вузов / Н.В. Коровин. – 12 изд. – М.: Высшая школа, 2010. – 557 с.
101. **Коршунов, В.И.** Асфальтобетон или цементобетон? / В.И. Коршунов, Ю.Г. Ланге // Автомобильные дороги. – 1995. - № 3-4/95. – с. 9-11.
102. **Корякин, А.А.** Разработка методики маршрутного нормирования расхода топлива для газодизельных автобусов. Дисс. ... канд. техн. наук. – Москва: МАДИ, 2000.
103. **Кочнев, Е.** Магистральные тягачи / Е. Кочнев // Автомобильный транспорт. – 1992. - № 5-6/92. – с. 40-44.
104. **Кравец, В.Н.** Испытания автомобильных шин / Кравец, В.Н., Кислицин, Н.М., Денисов, В.И. – Н.Новгород: НГТУ, 1976. – 56 с.
105. **Кравец, В.Н.** Теория автомобиля: учеб. пособие / В.Н. Кравец; НГТУ. – Н.Новгород, 2007. – 368 с.
106. **Кузьмин, Н.А.** Автомобильный справочник-энциклопедия / Н.А. Кузьмин, В.И. Песков. – М.: ФОРУМ, 2011. – 288 с.
107. **Кузьмин, Н.А.** Закономерности изменения работоспособности автомобилей: учеб. пособие / Н.А. Кузьмин, Г.В. Борисов; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева – Н.Новгород, 2014. – 249 с.

108. **Кузьмин, Н.А.** Научные основы процессов изменения технического состояния автомобилей: монография / Г.В. Борисов, Н.А. Кузьмин; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева – Н.Новгород, 2012. – 270 с.

109. **Кузьмин, Н.А.** Расчет осевых нагрузок для определения допустимой массы груза в кузове автотранспортных средств: Метод. указания к практ. занятиям по курсу «Международные автомобильные перевозки» для студ. спец. 190601 «Автомобили и автомобильное хозяйство» всех форм обучения: Н.Новгород; НГТУ, 2008.

110. **Кузьмин, Н. А.** Совершенствование системы корректирования нормативов технической эксплуатации двигателей автобусов / Н.А. Кузьмин, М.Г. Корчажкин // Автомобильный транспорт, 2004. – №5. – С. 49-51.

111. **Кузьмин, Н.А.** Техническая эксплуатация автомобилей: нормативы, показатели, управление: учебное пособие / Н.А. Кузьмин; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2010. – 158 с.

112. **Кузьмин, Н.А.** Техническая эксплуатация автомобилей: нормирование и управление: учебное пособие / Н.А. Кузьмин. – М.: ФОРУМ, 2011. – 224 с.

113. **Куприн, Е.** Три стратегических направления направления «Мерседес-Бенц» АГ / Е. Куприн // Автомобильный транспорт. – 1994. - № 12/94. – с. 24-30.

114. **Лазебников, М.Г.** Дорога и скорость / М.Г. Лазебников // Автомобильные дороги. – 1995. - № 12/95. – с. 32-34.

115. **Левитский, Н.И.** Теория механизмов и машин. - М.,: Наука, 1990. - 592 с.

116. **Ленин, И.М.** Системы топливоподачи автомобильных и тракторных двигателей / Ленин И.М., О.И. Малашкин, Г.И. Самоль и др. – М.: Машиностроение, 1976. – 287 с.

117. **Маняшин, С.А.** Методика разработки и использования городских ездовых циклов в условиях низких температур (на примере автомобилей с бензиновыми двигателями). Автореферат дисс. ... канд. техн. наук. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2011 – 24с .

118. **Маринина, И.** «Токио мотор шоу» показывает... / И. Маринина // Автомобильный транспорт. – 1995. - № 5/95. – с. 40-41.

119. **Московкин, В.В.** Система методов для исследования и расчета топливной экономичности и скоростных свойств автомобиля. Дисс. ... докт. техн. наук. – Москва: НАМИ, 1999 – 326 с.
120. **Надеждин, С.** Грузовые автомобили марки «Скания» / С. Надеждин // Автомобильный транспорт. – 1990. - № 5/90. – с. 59-61.
121. **Нарбут, А.Н.** Теория автомобиля: Учебное пособие: МАДИ (ГТУ). – Изд. 2. М., 2002. – 71 с.
122. **Новиков, О.А.** Вероятностные методы решения задач автомобильного транспорта / О.А. Новиков, В.Н. Уваров. М.: Транспорт, 1969. – 136 с.
123. **Нургалеев, А.В.** Приспособленность автомобилей к дорожным условиям эксплуатации по расходу топлива. Автореферат дисс. ... канд. техн. наук. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2011 – 23 с.
124. Основные положения по нормированию расхода топлива, тепловой и электрической энергии в народном хозяйстве. - М.: Атомиздат, 1980. – 16 с.
125. **Переверзев, С.Б.** Улучшение обтекаемости легкового автомобиля путем совершенствования параметров кузова. Автореферат дисс. ... канд. техн. наук. – Москва: МГИУ, 2005 – 19 с.
126. **Песков, В.И., Сердюк, В.И., Сердюк, А.Е.** Совершенствование эксплуатационных качеств автомобиля: монография / В.И. Песков, В.И. Сердюк, А.Е. Сердюк; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. – Н.Новгород, 2009. – 135с.
127. **Песков, В.И.** Теория автомобиля: учебное пособие / В.И. Песков; Нижегород. гос. техн. ун-т. – Нижний Новгород, 2006. – 176 с.
128. **Платонов, Е.М.** Об оценке экономичности автомобиля / Е.М. Платонов // Автомобильная и тракторная промышленность. – 1954. - № 10. – с. 33-36.
129. **Прокофьев, М.В.** Конструкция и эксплуатация автотранспортных средств. Технические стандарты ЕС, М.: АСМАП, 2000.
130. Расчет координат центра масс и реакций на колесах автомобиля: Метод. указания к выполнению лаб. работ / НГТУ; Сост.: В.С. Козлов, Н.А. Кузьмин. Н. Новгород, 2005.

131. **Резник, Л.Г.** Оценка топливной экономичности автомобилей в зимний период / Резник Л.Г., Виленский Л.И. // Автомобильный транспорт: Сб. науч. тр. / ТюмИИ - Тюмень, 1974. - № 41. - с. 116-125.
132. **Резник, Л.Г.** Эффективность использования автомобилей в различных условиях эксплуатации / Резник Л.Г., Ромалис Г.М.. – М.: Транспорт, 1989. – 127 с.
133. **Рубец, Д.А.** Системы питания автомобильных карбюраторных двигателей / Рубец Д.А., Шухов О.К.. – М.: Транспорт, 1974. -230 с.
134. **Рузский, А.В.** Влияние организации дорожного движения на расход топлива автомобилями в городских условиях. Автореферат дисс. ... канд. техн. наук. – Киев: КАДИ, 1986 – 18 с.
135. **Серов, А.** Сколько топлива можно экономить? / А. Серов // Автомобильный транспорт. – 1989. - № 4/89. – с. 28-29.
136. Совершенствование управления и экономической деятельности на автомобильном транспорте / Под ред. В.И. Кузнецова. Сб. научных трудов НИИАТ. – М.: 1985, – 204 с.
137. **Солнцев, А.** Экофильный мерседес /А. Солнцев // Авто. – 1996. - № 5-6/96. – с. 46-47.
138. **Солнцев, А.** Философия трех «Е» / А. Солнцев // Авто. – 1996. - № 5-6/96. – с. 38-43.
139. Справочник по прикладной статистике. Т.2: Пер. с англ. / под ред. Л. Ллойда, У. Ледермана, С.А. Айвазяна, Ю.Н. Тюрина. - М.: Финансы и статистика, 1990. – 526 с.
140. **Тарновский, В.Н.** и др. Автомобильные шины: Устройство, работа, эксплуатация, ремонт. – М.: Транспорт, 1990. – 272 с.
141. **Тарновский, В.Н.** Исследование влияния эксплуатационных и конструктивных параметров на износ протектора автомобильных шин. Дисс. ... канд. техн. наук. – Волгоград: ВПИ, 1976 – 289 с.
142. **Тедорадзе, Р.Г.** Исследование процесса разгона автомобиля с учетом работы двигателя на переменных режимах. - БелПИ. - Минск, 1986. – 120 с.

143. Техническая эксплуатация автомобилей: учебник для вузов / Под. ред. Г.В. Крамаренко. – М., «Транспорт», 1983. – 483 с.

144. Техническая эксплуатация автомобилей: учебник для вузов / Под ред. Е.С. Кузнецова. – 3-е изд., перераб. и доп.. – М.: Транспорт, 1991. – 413 с.

145. **Токарев, А.А.** Новый подход к нормированию расхода топлива / Токарев А.А, Шмидт А.Л, Шевченко Л.Б. // Автомобильный транспорт. – 1992. - №12. – 19 с.

146. Топливная экономичность автомобилей с бензиновыми двигателями / Т. У. Асмус, К. Боргнакке, С. К. Кларк и др.; Под ред. Д. Хиллиарда, Дж. С. Спрингера. —М.: Машиностроение, 1988. — 504 с.

147. **Трембовельский, Л.Г.** Прогнозирование тягово-скоростных и топливных свойств автотранспортных средств на основании дорожных и стендовых испытаний. Автореферат дисс. ... канд. техн. наук. – Москва: МАДИ, 1992 – 19 с.

148. **Трофименко, Ю.В.** Оценка токсичности и топливной экономичности автотранспортных средств в ездовых циклах / Трофименко Ю.В., Шелмаков С.В. // Транспорт: Наука, техника, управление. – 1994. №3. – с. 56-63.

149. **Файзуллаев, Э.З.** Повышение эффективности использования автопоезда по топливной экономичности и ресурсу двигателя. Дисс. ... канд. техн. наук. – Москва: МАДИ, 1984.

150. **Фалькевич, Б.С.** Теория автомобиля / Б.С. Фалькевич. – М.: Машгиз, 1963. – 239 с.

151. **Фалькевич, Б.С.** Тяговые качества автомобиля при неустановившемся режиме работы двигателя. Сб. Вопросы машиноведения изд. АН СССР, 1950. – 167 с.

152. **Фаробин, Я.Е.** Оценка эксплуатационных свойств автопоездов для междугородных перевозок / Фаробин Я.Е., Шупляков В.С.. –М.: Транспорт, 1983. – 199 с.

153. **Федорова, Г.С.** Приспособленность автомобилей по расходу топлива к повышенным скоростям движения при низких температурах окружающего воздуха. Дисс. ... канд. техн. наук. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2006.

154. Формулы и алгоритмы для решения задач по теории автомобиля: Метод. разработки для студентов специальностей 15.02 – «Автомобиле- и тракторостроение и 15.05 – «Автомобильное хозяйство» всех форм обучения / ГПИ; Сост.: Л.В. Барахтанов, В.В. Беляков, А.М. Грошев и др. Горький, 1990 – 57 с.

155. **Чайников, Д.А.** Приспособленность автомобилей к массе перевозимого груза по расходу топлива. Автореферат дисс. ... канд. техн. наук. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2010 – 23 с.

156. **Чистяков, А.Н.** Влияние неравномерности движения на расход топлива. Дисс. ... канд. техн. наук. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2006 – 158 с.

157. **Чудаков, Е.А.** Теория автомобиля. –М.: Машгиз, 1950. – 343 с.

158. **Чусов, В.** Шведская модель развития / В. Чусов // Авто. – 1996. - № 1-2/96. –с. 18-29.

159. **Шаталов, Г.И.** Расчет маршрутных норм расхода топлива / Г.И. Шаталов // Автомобильный транспорт. – 1989. - № 8/89. – с. 35-36.

160. **Шаталов, Г.И.** Управление расходом топлива в грузовом автотранспортном предприятии на основе маршрутного нормирования. Автореферат дисс. ... канд. техн. наук. – Москва: МАДИ, 1992 – 17 с.

161. **Шаша, И.К.** Совершенствование действующей системы нормирования расхода топлива грузовых автомобилей. Автореферат дисс. ... канд. техн. наук. – Харьков: ХАДИ, 1991 – 23 с.

162. **Шейнин, А.М.** Методы определения и поддержания надежности автомобилей в эксплуатации. – М.: Транспорт, 1968, – 168 с.

163. **Шейнин, А.М.** Нормы расхода жидкого топлива для автомобилей / А.М. Шейнин, М.И. Борисов. М.: Транспорт, 1964. – 208 с.

164. **Шуваева, И.М.** Снижение расхода топлива автомобилями в зимний период путем оптимизации режима прогрева и совершенствования норм. Автореферат дисс. ... канд. техн. наук. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2005 – 19 с.

165. E. Ericsson, Independent driving pattern factors and their influence on fuel-use and exhaust emission factors. Transportation Research D 6 (2001)[3]

166. E.Tzirakis, K. Pitsas, F. Zannikos. Vehicle emissions and driving cycles: comparison of the athens driving cycle (ADC) with ECE-15 and european driving cycle (EDC). Global NEST Journal, Vol 8, No 3, pp 282-290, 2006.

167. Jie Lin, D.A. Niemeier Regional driving characteristics, regional driving cycles. Transportation Research Part D 8 (2003). Transportation Research Part D 8 (2003) 361–381 pp 361–381.

168. M. Montazeri-Gh and M. Naghizadeh. Development of car drive cycle for simulation of emissions and fuel economy. Systems Simulation and Control Laboratory Department of Mechanical Engineering. Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran. -2007, p. 233

169. H. Christopher Frey and Junyu Zheng. Probabilistic Analysis of Driving Cycle-Based Highway Vehicle Emission Factors. Article. Environ. Sci. Technol., 2002, 36 (23), pp 5184–5191 DOI: 10.1021/es0114308 Publication Date (Web): October 30, 2002 [Electronic resource]. URL: <http://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/es0114308>

170. U.S. Environmental Protection Agency, Fuel Economy and Emission Control, November 1972. – p. 18.

171. [Электронный ресурс] ТехноКом – АвтоГРАФ: <http://www.tk-nav.ru/systemon>.

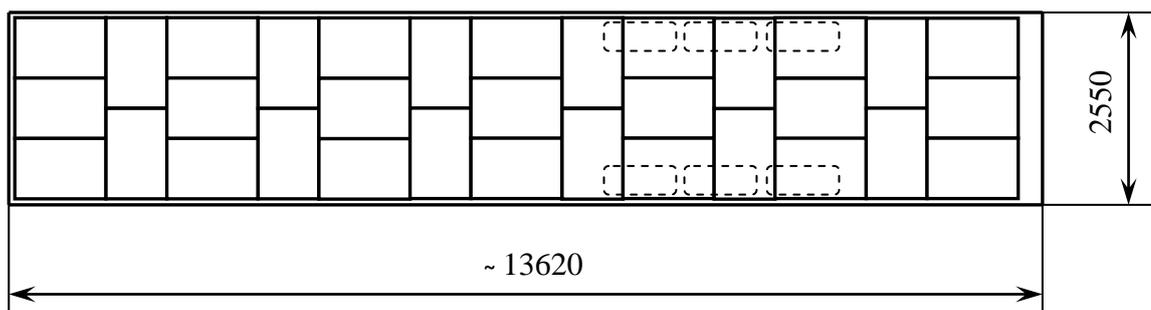
## **ПРИЛОЖЕНИЯ**

### Определение максимальной допустимой массы груза

Задача определения максимально допустимой массы перевозимого груза в грузовом помещении АТС решается как для повышения эффективности перевозок, так и для проверки соответствия осевых нагрузок и полных масс АТС действующим стандартам [6], что особенно актуально при выполнении перевозок грузовым АТ, в том числе прицепными и седельными автопоездами при международных перевозках грузов.

Перед началом решения указанной задачи, кроме наличия данных о весовых и габаритных параметрах АТС, необходимо определить расположение центра тяжести конкретного груза в грузовом помещении АТС [109].

Стандартная (равномерная) компоновка предполагает распределение 33 (34) европаллет по площади пола полуприцепа в зависимости от внутренней длины полуприцепа (рис. П.1.1). При этом предельно допустимая габаритная ширина полуприцепа – 2,55 м согласно Директивам ЕС с 26.07.96 (2,6 м - для рефрижераторных полуприцепов), габаритная длина полуприцепа – около 13,6 м при предельно допустимой габаритной длине седельного автопоезда – 16,5 м.



**Рис. П.1.1. Схема расположения грузовых мест на стандартных европаллетах в кузове полуприцепа**

Для осевого расчета загруженного транспортного средства нужна только одна координата – абсцисса центра тяжести. Исходные данные для её расчёта представлены на рис. П.1.2. При равномерном распределении груза на европоддоне центр тяжести 1-го ряда расположен ровно в центре объёма этой грузовой единицы. Абсцисса центра тяжести груза рассчитывается по выражению [130]:

$$x_{ц} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n m_i}, \quad (\text{П.1.1})$$

где:  $m_i$  - масса  $i$ -го ряда (как видно из рис. П.1.1 в первом ряду находятся 3 грузовых места, на втором - 2, на третьем - 3 и т.д.);  $x_i$  - координата (абсцисса) центра тяжести  $i$ -го ряда (как видно из рис. П.1.2, центр тяжести 2-го ряда сдвинут на 1 м относительно 1-го ряда, центр тяжести 3-го ряда сдвинут относительно 2-го также на 1 м, и т.д.);  $n$  - количество рядов.

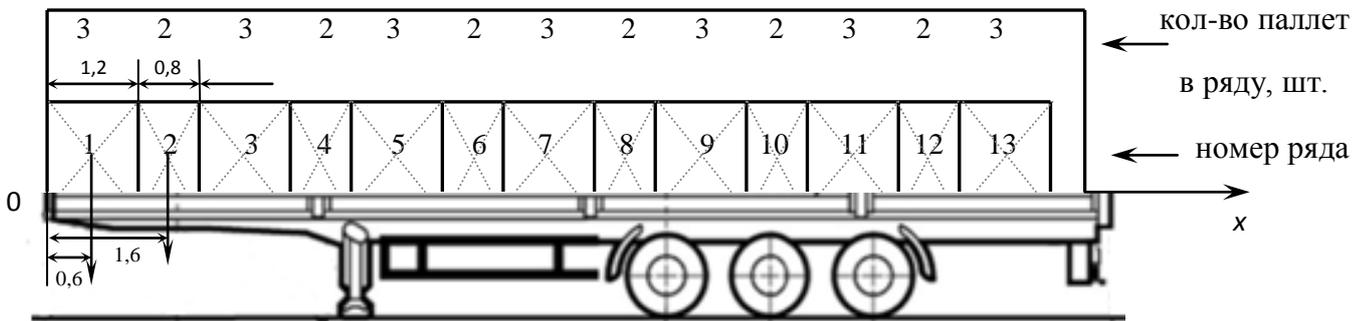


Рис. П.1.2. Схема определения центра тяжести груза

Расчёт осевых нагрузок загруженного транспортного средства производится на основе моментов действующих сил [109,129]. Для этого необходимо составить расчётную схему (рис. П.1.3).

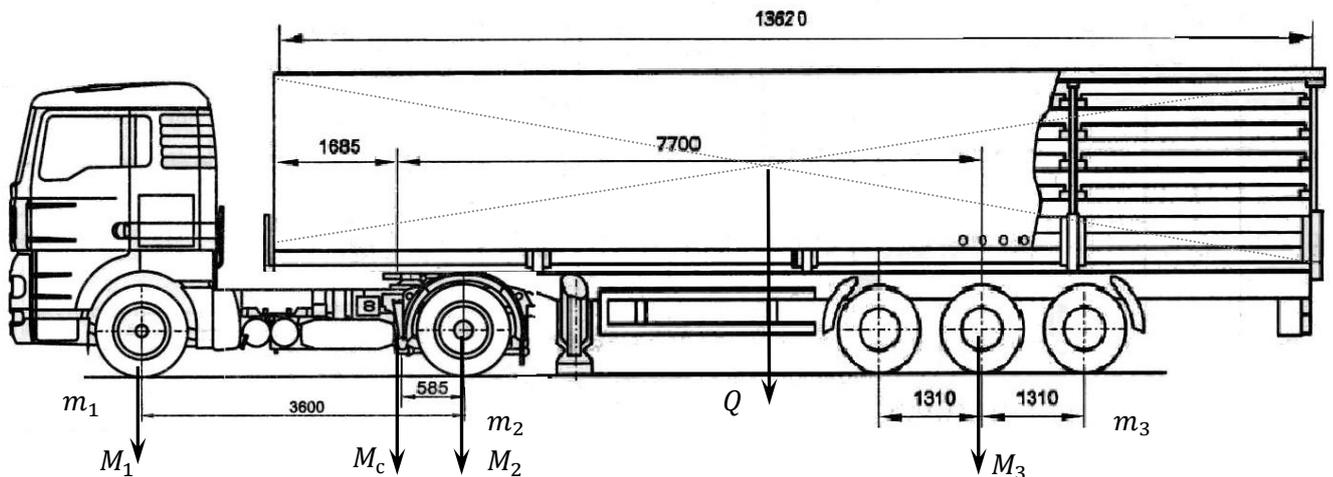


Рис. П.1.3. Схема для расчёта допускаемой массы груза в кузове автопоезда

Осевой расчёт производится в следующем порядке [109,129]:

1. Масса, приходящаяся на тележку полуприцепа:

$$M_3 = \frac{Q \cdot z}{S} + m_3 \leq M_3^{\text{доп}}, \quad (\text{П.1.2})$$

где:  $Q$ , т – масса груза, предлагаемая к перевозке;  $z = x_{\text{ц}} - a$ , м – расстояние от оси шкворня седельно-цепного устройства (ССУ) до центра тяжести груза;  $a$ , м – расстояние от передней стенки полуприцепа до оси шкворня ССУ;  $S$ , м – расстояние от оси шкворня ССУ до центра тележки полуприцепа;  $m_3$ , т – часть снаряжённой массы полуприцепа, приходящаяся на тележку.

2. Масса, приходящаяся на ССУ:

$$M_c = G_{\text{пп}} - M_3, \quad (\text{П.1.3})$$

где:  $G_{\text{пп}} = G_{0\text{п}} + Q$ , т – полная масса полуприцепа;  $G_{0\text{п}} = m_3 + m_c$ , т – снаряжённая масса полуприцепа;  $m_c$ , т – часть снаряжённой массы полуприцепа, приходящаяся на шкворень ССУ.

3. Масса, приходящаяся на заднюю ось тягача:

$$M_2 = \frac{M_c \cdot h}{L} + m_2 \leq M_2^{\text{доп}}, \quad (\text{П.1.4})$$

где:  $L$ , м – база тягача;  $h$ , м – расстояние от центра передней оси тягача до центра оси шкворня ССУ;  $m_2$ , т – часть снаряжённой массы тягача, приходящаяся на ведущую ось.

4. Масса, приходящаяся на переднюю ось тягача:

$$M_1 = M_c + G_{0\text{т}} - M_2 \leq M_1^{\text{доп}}, \quad (\text{П.1.5})$$

где:  $G_{0\text{т}} = m_1 + m_2$ , т – снаряжённая масса тягача;  $m_1$ , т – часть снаряжённой массы тягача, приходящаяся на переднюю ось.

Для повышения эффективности перевозок представляет интерес максимально возможная, с точки зрения конкретных весовых и габаритных параметров АТС, масса груза, которую, с учётом действующих нормативов, возможно перевести в данном АТС.

Допустимая масса груза при заданных осевых ограничениях ( $M_3^{\text{доп}}$ ;  $M_2^{\text{доп}}$ ):

$$Q_3^{\text{доп}} = \frac{M_3^{\text{доп}} - m_3}{z} \cdot S, \quad (\text{П.1.6})$$

$$Q_2^{\text{доп}} = \left[ \frac{(M_2^{\text{доп}} - m_2) \cdot L}{h} - m_c \right] \cdot \frac{S}{S - z}. \quad (\text{П.1.7})$$

Допустимая масса груза при заданных ограничениях по полной массе АТС:

$$Q_{\text{пм}}^{\text{доп}} = G_{\text{атс}}^{\text{норм}} - G_{\text{от}} - G_{\text{опп}}, \quad (\text{П.1.8})$$

где:  $G_{\text{атс}}^{\text{норм}}$ , т – норматив полной массы АТС, действующий на территории эксплуатации (для 5-осных автопоездов в РФ и в ряде стран за рубежом – 40 т).

В результате максимально допустимая масса груза для заданного типа АТС определится по выражению:

$$Q_{\text{доп}} = \min (Q_3^{\text{доп}}; Q_2^{\text{доп}}; Q_{\text{пм}}^{\text{доп}}) \quad (\text{П.1.9})$$

Зарубежные нормативы осевых нагрузок в отличие от отечественных, как правило, указываются в единицах силы (в кН), а не в единицах массы (т), поэтому для сравнения (учёта) указанных нормативов, значения, полученные по выражениям П.1.2 - П.1.7 необходимо домножить на  $g \cong 9,81 \text{ м/с}^2$ .

При необходимости учёта массы пассажиров, обслуживающего персонала и багажа при перевозках следует использовать расчётные значения масс, указанных в ГОСТ Р 52389-2005 [7,107,108]: для легковых автомобилей – 80 кг; для автобусов: городского – 68 кг; пригородного – 71 кг; сельского (местного) – 81 кг; междугородного – 91 кг; обслуживающий персонал автобусов (водитель, гид, кондуктор и др.), а также водитель и пассажиры в кабине грузового АТС – по 75 кг.

Общая масса пассажиров для автобусов рассчитывается для номинальной ( $0,2 \text{ м}^2$ ) и предельной ( $0,125 \text{ м}^2$ ) пассажироместности.

## Справочные таблицы к разделу 2

Таблица П.2.1

**Значения коэффициента учёта угла натекания воздушного потока  
для седельных автопоездов**

Уровень обтекаемости	Значения коэффициентов	
	$c_{x0}$ (при $\beta = 0^\circ$ )	$k_\beta$ (при $\beta = var$ )
Малообтекаемый	0,75 - 0,90	0,039
Умеренно обтекаемый	0,60 - 0,70	0,030
Хорошо обтекаемый	0,50 - 0,60	0,018
Обтекаемый	0,35 - 0,45	0,009

Таблица П.2.2

**Значения  $f_0$  для различных дорожных покрытий**

Тип дорожного покрытия	$f$
Асфальт или цементобетон	0,008 – 0,015
Гравий	0,020 – 0,025
Булыжное покрытие	0,025 – 0,030
Сухой грунт	0,025 – 0,030
Грунтовая дорога после дождя	0,050 – 0,150
Сухой песок	0,100 – 0,300
Влажный песок	0,060 – 0,150
Обледенелая дорога, лед	0,015 – 0,030
Укатанная снежная дорога	0,030 – 0,050
Рыхлый снег	0,100 – 0,300

Таблица П.2.3

**Нормированная функция нормального распределения**

$z$	0,0	-0,1	-0,2	-0,3	-0,4	-0,5	-0,6	-0,7	-0,8	-0,9
$\Phi(z)$	0,500	0,460	0,421	0,382	0,345	0,309	0,274	0,242	0,212	0,184
$z$	-1,0	-1,1	-1,2	-1,3	-1,4	-1,5	-1,6	-1,7	-1,8	-1,9
$\Phi(z)$	0,159	0,136	0,115	0,097	0,081	0,067	0,055	0,045	0,036	0,029
$z$	-2,0	-2,1	-2,2	-2,3	-2,4	-2,5	-2,6	-2,7	-2,8	-2,9
$\Phi(z)$	0,023	0,018	0,014	0,011	0,008	0,006	0,005	0,004	0,003	0,002
$z$	-3,0	-3,1	-3,2	-3,3	-3,4	-3,5	-3,6	-3,7	-3,8	-3,9
$\Phi(z)$	0,0013	0,0011	0,0007	0,0005	0,0003	0,0002	0,0002	0,0001	0,0001	0,0000
$z$	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
$\Phi(z)$	0,500	0,540	0,579	0,618	0,655	0,691	0,726	0,758	0,788	0,816
$z$	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
$\Phi(z)$	0,841	0,864	0,885	0,903	0,919	0,933	0,945	0,955	0,964	0,971
$z$	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9
$\Phi(z)$	0,977	0,982	0,986	0,989	0,992	0,994	0,995	0,996	0,997	0,998
$z$	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9
$\Phi(z)$	0,9987	0,9990	0,9993	0,9995	0,9997	0,9998	0,9998	0,9999	0,9999	1,0000

### Технико-эксплуатационные характеристики АТС

#### Седельный тягач Iveco EuroStar Cursor 430 [87,88]

Снаряжённая масса АТС с водителем и доп. оборудованием, т .....	15,358
Масса перевозимого груза, т .....	20,0
Максимальная мощность двигателя, л.с. (кВт), при 2000 мин <sup>-1</sup> .....	430 (316)
Максимальный крутящий момент, Н·м, при 1050 мин <sup>-1</sup> .....	1900
Динамический радиус шин 295/80R22,5 , м .....	0,4982
Колея тягача, м .....	2,049
Высота АТС с полуприцепом, м .....	4,0
Коэффициент обтекаемости кабины, .....	0,86
КПД трансмиссии, .....	0,85
Удельный эффективный расход топлива, г/кВт·ч .....	217

Таблица П.3.1

#### Передаточные числа 16-ступенчатой (14+2) коробки передач ZF 16S 221

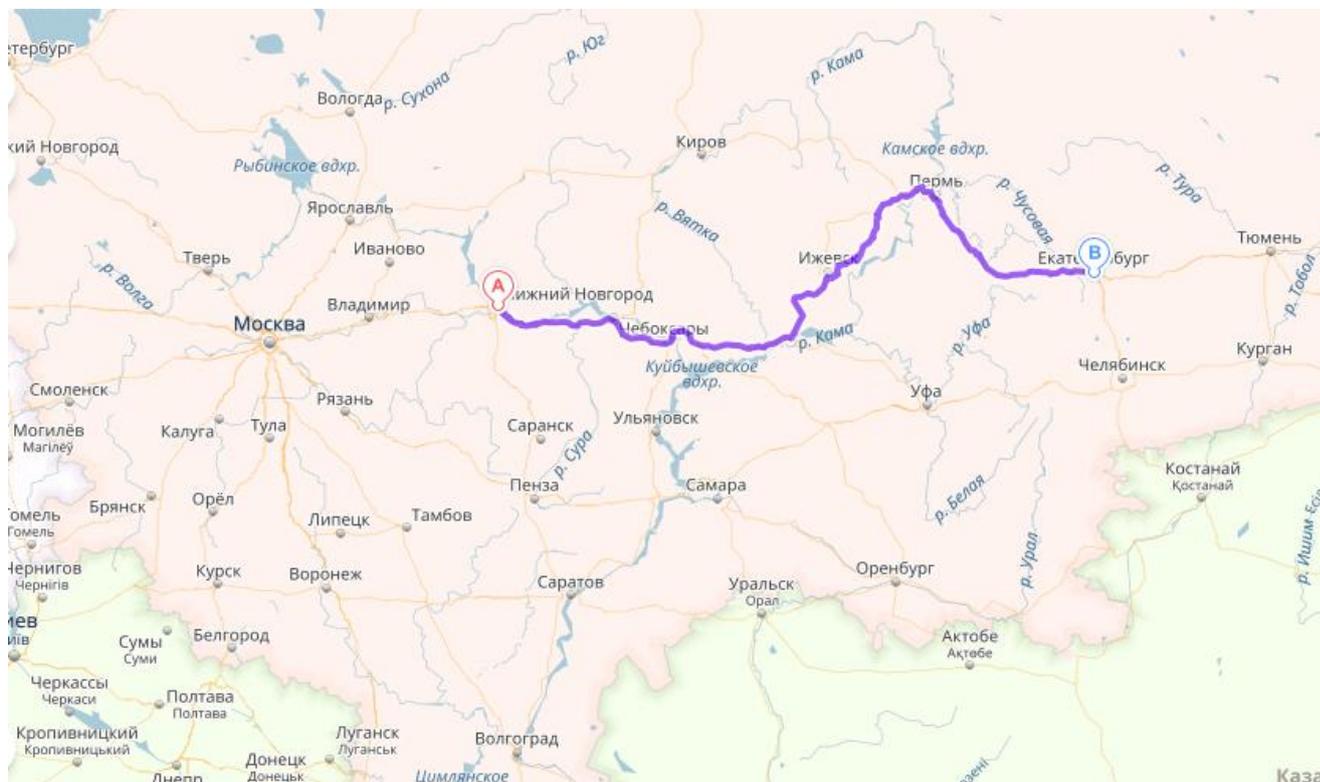
Передачи	Число	Передачи	Число
1 (С)	16,41	9	3,59
2 (С)	13,80	10	3,02
3	11,28	11	2,47
4	9,49	12	2,08
5	7,76	13	1,70
6	6,53	14	1,43
7	5,43	15	1,19
8	4,57	16	1,00

Главная передача (одноступенчатая, гипоидная) ..... 3,07

### Карта маршрута

Линейный маршрут движения:

Н.Новгород – Чебоксары – Казань – Ижевск – Пермь – Екатеринбург



**Рис. П.4.1. Схема маршрута:**

общее расстояние перевозки – 1460 км;

протяжённость городских участков движения – 35 км;

протяжённость пригородных участков движения – 200 км;

протяжённость загородных участков движения – 1225 км.

**ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ  
«КАПИТАЛ - ЛОГИСТИК»**

603006, г. Нижний Новгород, ул. Белинского, 110-182, тел./факс: (831) 275 – 40 -25  
ИНН 5260198070, КПП 526001001, ОГРН1075260018074  
р/счет 40702810810000000223 Филиал «Нижегородский»  
ЗАО «ГЛОБЭКСБАНК» г. Нижний Новгород  
к/счет 30101810600000000851 БИК 042202851



«Утверждаю»  
генеральный директор  
«ООО КАПИТАЛ-ЛОГИСТИК»  
Корчажкин Г.М.

**Акт контрольного замера**  
нормы расхода дизельного топлива  
для автомобиля ИВЕКО LD 440 Е 43

**Комиссия в составе:**

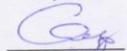
Генеральный директор Корчажкин Г.М., заместитель директора Солдунов М.С., водитель Минеев Ю.В., эксперт НГТУ им. Р.Е. Алексеева Борисов Г.В.  
**составила** настоящий акт о том, что ею 18 марта 2014 г. произведен контрольный замер расхода топлива на автомобиль ИВЕКО LD 440 Е 43, государственный номер Р 992 ТР/52 пробегом на расстояние 223 км по маршруту г.Н.Новгород, ул. Дьяконова, 2 – Чувашская республика, с. Хыркасы.

**В ходе замера установлено:**

На начало контрольного замера в баке было 780 (семьсот восемьдесят) литров дизельного топлива.  
На конец контрольного замера в баке осталось 695 (шестьсот девяносто пять) литров дизельного топлива.  
Дозаправки и сливания топлива в ходе замера не производились.  
Итого расход дизельного топлива за время замера составил 85 (восемьдесят пять) литров.  
Показания спидометра:  
На начало замера 293 657 (двести девяносто три тысячи шестьсот пятьдесят семь) км.  
На конец замера 293 880 (двести девяносто три тысячи восемьсот восемьдесят семь) км.  
Итого пробег во время замера составил 223 (двести двадцать три) км.  
В результате контрольного замера определен расход (при нормальных условиях) топлива на 1 км пробега **0,381** (ноль целых триста восемьдесят одна тысячная) литра и на 100 км пробега **38,1** (тридцать восемь целых одна десятая) литра.

18 марта 2014 г.

  
Корчажкин Г.М.

  
Солдунов М.С.

  
Минеев Ю.В.

  
Борисов Г.В.