



SCR-E/110623/C/SV/RU

Управление Дорогами
Северо-Запада России

Технический Отчет 5

Калибровка НДМ-4

Окончательная Версия

15 Июня, 2002

Опубликовано: Июнь 2002

Copyright © 2002 by Tacis services DG IA, European Commission.

Запросы на использование материалов посылать на адрес
Информационного Офиса Тасис
European Commission, Aarlenstraat 88 1/06 Rue d'Arlon, B-1040 Brussels.

Данный Отчет был подготовлен Консорциумом Finnroad Ltd, BCEOM и JP-Transplan Ltd. Все выводы, предположения и интерпретации в данном документе принадлежат только Консорциуму и никаким образом не отражают политики или мнения Европейской Комиссии.

Что такое Тасис?

Программа Тасис является инициативой Европейского Союза для Новых Независимых Государств и Монголии, которая благоприятствует развитию гармоничной и процветающей экономики и политическим связям между Европейским Союзом и этими странами - партнёрами. Её целью является поддержание инициатив стран-партнёров, по развитию общества основанного на политических свободах и экономическом процветании.

Делает это Тасис путём обеспечения финансовыми грантами для ноу-хау, чтобы поддержать процесс преобразования экономик этих стран в рыночные, а общества – в демократические

За первые шесть лет своей деятельности с 1991 по 1996 г.г., Тасис реализовал 2,807 миллионов ЕВРО, чтобы начать более чем 2,500 проектов.

Тасис работает в тесном сотрудничестве со странами-партнёрами при определении как и на что истратить фонды. Это обеспечивает гарантию в том, что финансирование по линии Тасис направляется каждой стране на её собственную политику реформирования и в соответствии с приоритетами. Тасис также работает в тесном сотрудничестве с другими донорами и международными организациями выполняя роль части более расширенных международных усилий.

Тасис обеспечивает партнёров ноу-хау из широкого ранга государственных и частных организаций, которые позволяют объединить опыт рыночных экономик и демократий с местными знаниями и опытом. Это ноу-хау поставляется через консультации по линии политических советов, исследований и обучения путём развития и реформирования правовых норм и правил, институтов и организаций, и путём создания партнёрства, сетей и показательных проектов, а также проектов-близнецов. Кроме того, Тасис является катализатором, для открытых фондов основных работодателей через предынвестиционную деятельность и технико-экономические обоснования.

Тасис обеспечивает понимание и признательность демократии и рыночно ориентированной социально-экономической системы путём культивирования связей и продолжительных отношений между организациями в странах-партнёрах и их контрпартнёрами в странах Европейского Союза.

Основными приоритетами для финансирования по линии Тасис являются государственные административные реформы, реструктуризация государственных предприятий и развитие частного сектора, транспортной и телекоммуникационной инфраструктур, энергетики, ядерной безопасности и охраны окружающей среды, строительства и эффективного производства пищевых продуктов, производственной и распределительной системы, развитие социальных услуг и образование. Поэтому, каждая страна выбирает приоритетные сектора в зависимости от её нужд.

Форма 1.2. ТИТУЛЬНАЯ СТРАНИЦА ОТЧЕТА

| | | |
|-------------------|--|--|
| Название проекта: | Управление дорогами Северо-Запада России | |
| Номер проекта: | SCR-E/110623/C/SV/RU | |
| Страна: | Российская Федерация | |
| | Местный партнер | Консультант ЕУ |
| Название: | Архавтодор | Финнроуд |
| Адрес : | Комсомольская 38-1 163045 Архангельск, Россия | Опастинсилта 12 Н 00521 Хельсинки Финляндия |
| Тел. : | +7 8182 229891 | +358 9 86898810 |
| Факс : | +7 8182 229176 | +358 9 86898820 |
| Телекс : | _____ | _____ |
| Контактное лицо : | Г-н Попов Сергей Иванович | Г-н Раймо Салланмаа |
| Подписи : | _____ | _____ |

Дата отчета : 15.06.2002

Название Отчета : Окончательный Отчет: Калибровка НДМ-4

Автор отчета : Консультанты ЕС (С. Данн / Д. Вортингтон)

| | | | |
|-------------------------|-------|-----------|--------|
| Мониторинг ЕС | _____ | _____ | |
| | _____ | _____ | _____ |
| | [имя] | [подпись] | [дата] |
| Делегация ЕС | _____ | _____ | |
| | _____ | _____ | _____ |
| | [имя] | [подпись] | [дата] |
| ТАСИС | _____ | _____ | |
| [управляющий проектами] | [имя] | [подпись] | [дата] |

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|-----------|
| ПРЕДИСЛОВИЕ | 1 |
| ГЛАВА 1 МОДЕЛЬ ВЛИЯНИЯ НА ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ДОРОГ (ВПД) | 2 |
| 1.1 ВВЕДЕНИЕ | 2 |
| 1.2 ПАРК ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ | 3 |
| 1.2.1 <i>Определение парка транспортных средств</i> | 3 |
| 1.2.2 <i>Определение репрезентативных типов транспортных средств</i> | 3 |
| 1.3 ВХОДНЫЕ ДАННЫЕ МОДЕЛИ ВЛИЯНИЯ НА ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ДОРОГ НДМ-4 | 5 |
| 1.3.1 <i>Окна описания</i> | 5 |
| 1.3.2 <i>Окна основных характеристик</i> | 8 |
| 1.3.2.1 Физические данные | 9 |
| 1.3.2.2 Данные о шинах | 10 |
| 1.3.2.3 Эксплуатационные данные | 10 |
| 1.3.2.4 Данные по нагрузке | 11 |
| 1.3.3 <i>Окно единичных экономических издержек</i> | 12 |
| 1.3.3.1 Ресурсы ТС | 13 |
| 1.3.3.2 Стоимость времени | 14 |
| 1.3.4 <i>Окна калибровки ТС</i> | 16 |
| 1.3.4.1 Обслуживание | 16 |
| 1.3.4.2 Усилия | 17 |
| 1.3.4.3 Скорость | 18 |
| 1.3.4.4 Топливо | 19 |
| 1.3.4.5 Эффект ускорения | 20 |
| 1.3.4.6 Шины | 21 |
| 1.3.4.7 Энергия | 21 |
| 1.3.4.8 Эмиссия | 22 |
| 1.3.4.9 Оптимальный срок службы | 22 |
| 1.4 МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТА ТРАНСПОРТНОЙ ПЕРЕГРУЖЕННОСТИ В НДМ-4 | 24 |
| 1.4.1 <i>Типы скоростных потоков</i> | 24 |
| 1.4.2 <i>Схемы транспортных потоков</i> | 26 |
| ГЛАВА 2 МОДЕЛЬ РАЗРУШЕНИЯ ДОРОГ И ВОЗДЕЙСТВИЯ ДОРОЖНЫХ РАБОТ (РДВР) | 28 |
| 2.1 ВВЕДЕНИЕ | 28 |
| 2.2 КАЛИБРОВКА ОСНОВНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ КОРРЕКТИРОВКИ | 29 |
| 2.2.1 <i>Коэффициент Калибровки Климатической Модели Ровности (K_{gm})</i> | 29 |
| 2.2.2 <i>Коэффициент Появления Трещин</i> | 30 |
| 2.2.3 <i>Коэффициент Корректировки Развития Трещин (K_{cp})</i> | 31 |
| 2.2.4 <i>Поперечные Температурные Трещины – Появление (K_{cit})</i> | 31 |
| 2.2.5 <i>Поперечные Температурные Трещины – Развитие ($K_{cрт}$)</i> | 31 |
| 2.2.6 <i>Коэффициенты Калибровки Развития Колейности</i> | 31 |
| 2.2.7 <i>Коэффициент Развития Общей Ровности (K_{gp})</i> | 32 |
| 2.2.8 <i>Коэффициенты Калибровки Появления и Развития Ямочности и Выкрашивания</i> | 32 |
| 2.2.9 <i>Остальные Коэффициенты Калибровки Появления и Развития Дефектов</i> | 32 |
| 2.3 <i>Сезонное Воздействие на Прочность Дорожной Одежды – Значения F и D_F</i> | 32 |
| 2.4 <i>Предлагаемая Процедура Использования Модели Разрушения НДМ-4 для Архангельска</i> | 33 |
| 2.5 <i>Корректировка Разницы в Транспортных Нагрузках между Зимним и Летним Периодами</i> | 33 |
| 2.6 <i>Коэффициент Водоотвода DF и Коэф. Калибровки KDDF</i> | 34 |
| 2.7 <i>Ограничения 1^{го} Уровня Калибровки</i> | 34 |
| 2.8 <i>Влияние Качества Строительства</i> | 34 |
| 2.9 <i>Сводка Коэффициентов Калибровки, Используемых в Модели Разрушения</i> | 35 |

| | | |
|----------------|---|-----------|
| ГЛАВА 3 | ЗАМЕЧАНИЯ ПО ЛОКАЛИЗАЦИИ И АДАПТАЦИИ НДМ-4 ДЛЯ АРХАНГЕЛЬСКА И РЕГИОНОВ С ПРОТЯЖЕННЫМ ПЕРИОДОМ ПРОМЕРЗАНИЯ ГРУНТОВ..... | 36 |
| 3.1 | ВВЕДЕНИЕ..... | 36 |
| 3.2 | ИМИТАЦИЯ СОСТОЯНИЯ ДОРОГ ПРОГРАММОЙ НДМ-4..... | 36 |
| 3.2.1 | <i>Под-модель Разрушения АБ Дорожных Одежд.....</i> | <i>37</i> |
| 3.3 | ЗАТРАТЫ РАЗЛИЧНОГО ТЕКУЩЕГО СОДЕРЖАНИЯ, В Т.Ч. ЗИМНЕГО | 38 |
| 3.4 | СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ РОВНОСТИ ПОКРЫТИЯ ИЗ-ЗА НАЛИЧИЯ СНЕЖНО-ЛЕДЯНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ НА ДОРОГАХ | 38 |
| 3.5 | ПРЕДЛАГАЕМАЯ МЕТОДИКА АНАЛИЗА ДОРОГ, ОСТАЮЩИХСЯ ПОКРЫТЫМИ СНЕГОМ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД..... | 39 |
| 3.5.1 | <i>“Снежный период”.....</i> | <i>39</i> |
| 3.5.2 | <i>“Обнаженный Период”.....</i> | <i>41</i> |
| 3.6 | ДОРОГИ, ПОКРЫТИЕ КОТОРЫХ СОДЕРЖИТСЯ ЧИСТЫМ ОТ СНЕГА | 42 |
| 3.7 | СУХОЙ И ВЛАЖНЫЙ СЕЗОНЫ (ПЕРИОДЫ) В НДМ-4..... | 43 |
| 3.7.1 | <i>Приблизительная Оценка Продолжительности Сухого Сезона.....</i> | <i>44</i> |
| 3.7.2 | <i>Расчет Соотношений Сезонных SNP и Корректированного Структурного Числа.....</i> | <i>45</i> |
| 3.7.3 | <i>Температурная Корректировка Прогибов, Измеренных УДН.....</i> | <i>45</i> |
| 3.8 | ЦБ ДОРОЖНЫЕ ОДЕЖДЫ | 46 |
| 3.9 | ВЫВОДЫ ПО АДАПТАЦИИ НДМ К УСЛОВИЯМ АРХАНГЕЛЬСКА | 47 |
| 3.9.1 | <i>Дороги, Остающиеся Покрытыми Снегом в Зимний Период.....</i> | <i>47</i> |
| 3.9.1.1 | <i>Период «Обнаженного» Покрытия.....</i> | <i>47</i> |
| 3.9.1.2 | <i>Период Снежного Наката.....</i> | <i>47</i> |
| 3.9.2 | <i>Дороги, Снег с Которых Убирается при Зимнем Содержании.....</i> | <i>48</i> |
| 3.9.3 | <i>Температурная Коррекция Прогибов, Измеренных УДН.....</i> | <i>48</i> |
| 3.9.4 | <i>ЦБ Плитные Дорожные Одежды.....</i> | <i>48</i> |
| | ПРИЛОЖЕНИЕ 1 – ПЕРЕЧЕНЬ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ МОДЕЛИ ВЛИЯНИЯ НА ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ДОРОГ | 49 |
| | ПРИЛОЖЕНИЕ 2 – ВОЗДЕЙСТВИЕ ХОЛОДНОГО КЛИМАТА НА РАЗРУШЕНИЕ ДОРОГИ..... | 57 |

Предисловие

Данный отчет представляет собой Технический Отчет №5 в рамках проекта Тасис «Управление Дорогами Северо-Запада России». Он связан с калибровкой данных, вводимых в модель HDM-4.

Глава 1 описывает калибровку Модели Влияния на Пользователей Дорог (ВПД) и то, каким образом данные, вводимые в модель ВПД были адаптированы и калиброваны, чтобы скорости транспортных средств (ТС) и эксплуатационные затраты были оценены точно настолько, насколько это возможно, в контексте сети дорог Архангельска. Типы ТС, выбранные как представители парка ТС, и значения характеристик были детально описаны по каждому основному окну ввода данных. Также описывается моделирование эффекта транспортной перегруженности в HDM-4. Перечень вводимых данных в модель ВПД приведен в Приложении 1.

Глава 2 описывает калибровку Модели Разрушения Дорог и Воздействия Дорожных Работ (РДВР). Описывается калибровка главных корректировочных коэффициентов для моделирования разрушения дороги и предложения по моделированию разрушения дорог в Архангельске. Обсуждаются сезонные влияния на прочность дорожной одежды и предложения по корректировке сезонных транспортных нагрузок. Рассмотрено влияние качества строительства на скорость разрушения и представлена сводная таблица коэффициентов калибровки модели разрушения.

Глава 3 посвящена локализации и адаптации HDM-4 для Архангельска и схожих регионов с протяженным периодом промерзания. Данная глава определяет проблему, которая может вызвать искажения любого анализа HDM-4 для дорог Архангельска. Для правильного выполнения анализа потребуется модификация программного обеспечения. Это выходит за рамки нынешней работы, но опыт работы Консультантов и их комментарии могут быть полезными для людей, ответственных за разработку следующей версии HDM-4, а также тех, кто будет использовать HDM-4 в Автодоре (как будущую версию, так и нынешнюю). В данной главе будут разобраны выявленные проблемы и показаны как их можно избежать, а также как можно адаптировать данные, вводимые в HDM-4, без редактирования программного кода, т.е. разрешить выполнение правильного экономического анализа. Глава 2 содержит дискуссию о влиянии холодного климата на разрушение дороги.

Глава 1 Модель Влияния на Пользователей Дорог (ВПД)

1.1 Введение

Глава 1 данного Технического Отчета связана с парком транспортных средств и данными по их эксплуатационным затратам, которые являются исходными данными для Модели Влияния на Пользователей Дорог (ВПД) для расчета общих затрат общества от использования автомобилями дороги или сети дорог в Архангельской области. При сравнении общих затрат варианта, когда выполняются только минимальные работы по содержанию («делай минимум»), и варианта применения определенного вида среднего или капитального ремонта, можно определить чистую экономическую выгоду в случае инвестирования в различные проекты по содержанию дорог.

Главная цель экономической оценки проекта заключается в определении экономических затрат и выгод с точки зрения влияния на Архангельскую область в целом, а также того, равнозначны ли чистые выгоды от реализации данного проекта тем, которые можно было бы получить в случае инвестирования в другие сферы. Экономическая оценка связана больше с экономическими затратами и выгодами, нежели финансовыми. Поэтому затраты и цены должны быть упорядочены для гарантии того, что они представляют фактическую стоимость ресурсов. В особенности, для расчета экономических затрат необходимо выполнить ценовую корректировку на ставку налогообложения. При определении экономических затрат налоговая составляющая всех цен должна быть удержана, поскольку эти налоги не отражают действительного спроса на ресурсы, но характеризуют перемещение покупательной способности от тех, кто получает выгоды от проекта, государству. Например, налог на ГСМ –это финансовые затраты тех, кто платит этот налог, но он необязательно отражает экономические затраты страны в целом, поскольку повышение ставки налога не означает больше ресурсов, которые требуется использовать для производства заданного объема горючего. Тем же образом, стоимость лицензии и таможенная пошлина должны быть исключены из расчета экономических затрат.

Наибольшие выгоды от реализации проектов по дорожному содержанию и капитальному ремонту в основном связаны с сокращением эксплуатационных затрат транспортного средства для пользователей улучшенных дорог. Это прямые выгоды, которые легко можно измерить в денежном выражении. Ресурсы, использованные в контексте эксплуатационных затрат транспортного средства, включают:

- Горючие материалы
- Шины
- Запасные части
- Техническое обслуживание (содержание)
- Смазочные материалы
- Экипаж (Команда водителей)
- Амортизация
- Норма процента
- Накладные расходы
- Время, затраченное пассажиром, и
- Время нахождения груза в пути

Модель HDM рассчитывает экономические затраты дорожных пользователей по каждому участку дороги за каждый год анализа. Вначале определяются количество потребляемых ресурсов и скорости движения транспортных средств, затем умножением на стоимость единицы измерения (ресурсов) получают общие эксплуатационные затраты и затраты времени в пути по каждому году анализа. Количество потребляемых ресурсов и скорости движения транспортных средств зависит от объема и состава движения, типа покрытия, геометрических параметров трассы и ровности дорожных покрытий.

В данном отчете рассматривается то, каким образом выполняется адаптация и калибровка входных данные модели ВПД для расчета скоростей и эксплуатационных затрат транспортных средств настолько точно, насколько это представляется возможным в контексте дорожной сети Архангельской области. Была выполнена калибровка I уровня (Основное применение), с определением величин требуемых основных входных параметров, значений по умолчанию, подвергая калибровке большинство чувствительных параметров с применением лучших расчетов, изучений, полевых исследований. Сбор дополнительных данных будет продолжен в 2002г.

1.2 Парк транспортных средств

1.2.1 Определение парка транспортных средств

Отправным пунктом при основании парка транспортных средств послужила существующая информация учета движения. ниже приведены семь категорий согласно Временной инструкции по учету интенсивности движения в Архангельской области:

1. Легковые автомобили
2. Легкие грузовые автомобили (грузоподъемность до 2 т).
3. Средние грузовые автомобили (грузоподъемность 2.1...6 т).
4. Тяжелые грузовые автомобили (грузоподъемность 6.1...8 т).
5. Очень тяжелые грузовые автомобили (грузоподъемность 8.1...14 т).
6. Сверхтяжелые грузовые автомобили (грузоподъемность свыше 14 т).
7. Автобусы

Возможно, колесные тракторы также отнесены к какой-то отдельной категории, но в годовых сводках они не выделены отдельной строкой. Автобусы и микроавтобусы в настоящий момент учитываются в одну категорию и, поскольку они имеют различную грузоподъемность и количество посадочных мест, Консультант рекомендует разделять их по двум различным категориям.

1.2.2 Определение репрезентативных типов транспортных средств

Консультанты, транспортные экономисты, изучили данные по эксплуатационным затратам транспортных средств, взятые из различных источников:

1. Проект Тасис по региональному транспортному развитию Северо- запада.
2. Данные предыдущего проекта Тасис, реализованного в Москве (данные "Duggin") – основаны на 7 типах транспортных средств.
3. Данные прочих проектов Тасис, реализованных на Украине.

4. Данные других проектов Tacis/Трасеса, реализованных на Кавказе

На данном этапе реализации проекта, цель заключается в обеспечении первоначального комплекта входных данных для модели ВПД, которые можно использовать для тестирования системы и определения тех аспектов, по которым в будущем необходимо провести исследования с тем, чтобы обозначить окончательные рекомендуемые входные параметры проекта.

В большинстве своем парк транспортных средств представлен автомобилями отечественного производства, и потому в качестве основных типов транспортных средств будут выбраны автомобили российских марок. Семь следующих категорий автомобилей предлагается использовать в качестве репрезентативных в части парка транспортных средств Архангельской области. Основные эксплуатационные характеристики основаны на спецификациях производителей.

Легковые автомобили

Консультант предлагает принять автомобиль Лада 2110 в качестве типового легкового автомобиля.

Легкие грузовые автомобили (грузоподъемность до 2 т)

Консультант предлагает принять автомобиль Газель в качестве типового автомобиля малой грузоподъемности.

Средние грузовые автомобили (грузоподъемность 2.1...6 т)

Консультант предлагает принять автомобиль ЗИЛ 130 в качестве типового автомобиля средней грузоподъемности.

Тяжелые грузовые автомобили (грузоподъемность 6.1...8 т)

Консультант предлагает принять автомобиль МАЗ 500 (2-х осный) в качестве типового тяжелого грузового автомобиля.

Очень тяжелые грузовые автомобили (грузоподъемность 8.1...14 т)

Консультант предлагает принять автомобиль КАМАЗ 5511 различных модификаций (3-х осный) в качестве типового очень тяжелого грузового автомобиля.

Сверхтяжелые грузовые автомобили (грузоподъемность свыше 14 т)

Консультант предлагает принять автомобиль КАМАЗ 5410 с трейлером (5-ти осный) в качестве типового сверхтяжелого грузового автомобиля.

Автобусы

Консультант предлагает принять автобус ЛАЗ 699 (2-х осный) в качестве типового автобуса данной категории.

1.3 Входные данные модели влияния на пользователей дорог HDM-4

В данной главе отчета отражены все входные параметры модели влияния на пользователей дорог HDM-4. Для каждого типа транспортных средств приведены атрибуты по трем окнам, а именно:

- Описание
- Основные характеристики
- Экономические затраты на единицу

Дополнительно к вышеуказанным атрибутам существует серия окон для адаптации факторов калибровки, оказывающих влияние на скорость транспортного средства и потребление ресурсов, что отражено в девяти окнах:

- Содержание (техобслуживание)
- Силы
- Скорость
- Топливо
- Эффект ускорения
- Шины
- Энергия
- Эмиссия (выбросы)
- Оптимальный срок службы

Эти атрибуты и входные параметры калибровки описаны и рассмотрены ниже. Полный перечень входных параметров модели ВПД по каждому типу транспортных средств приведен в Приложении 1.

1.3.1 Окна описания

VEH_NAME, CATEGORY, BASE_TYPE and CLASS

Применение репрезентативных транспортных средств в HDM-4 осуществляется в рамках трехуровневой иерархии:

- Категории – которые подразделяют транспорт на моторизованный и немоторизованный;
- Классы – группировка схожих транспортных средств, например, легковые автомобили, грузовые автомобили;
- Типы – индивидуальные репрезентативные типы транспортных средств, которые обеспечены рядом зависимостей ВПД.

Категории транспортных средств включают:

- 0 = моторизованный (МТ)
- 1 = немоторизованный (НМ)

Классы моторизованных транспортных средств включают:

- 0 = мотоциклы
- 1 = легковые автомобили
- 2 = фургоны
- 3 = грузовые автомобили

4 = автобусы

Основные типы моторизованных транспортных средств включают:

- 0 = мотоцикл
- 1 = микролитражный автомобиль
- 2 = легковой автомобиль среднего класса
- 3 = крупногабаритный автомобиль
- 4 = мини-фургон
- 5 = легкий грузовой фургон
- 6 = полноприводный автомобиль
- 7 = грузовой автомобиль малой грузоподъемности
- 8 = грузовой автомобиль средней грузоподъемности
- 9 = тяжелый грузовой автомобиль
- 10 = сочлененный грузовой автомобиль
- 11 = микроавтобус
- 12 = автобус малой вместимости
- 13 = автобус средней вместимости
- 14 = вместимости большой вместимости
- 15 = междугородный (туристский) автобус

При анализе HDM-4 в Архангельске Консультант предлагает учитывать только моторизованный транспорт. Из семи предложенных типов транспортных средств в анализ будут включены четыре класса, а именно легковые автомобили, фургоны, грузовые автомобили и автобусы.

LIFE_MODEL

В HDM-4 существует два метода определения срока службы транспортного средства:

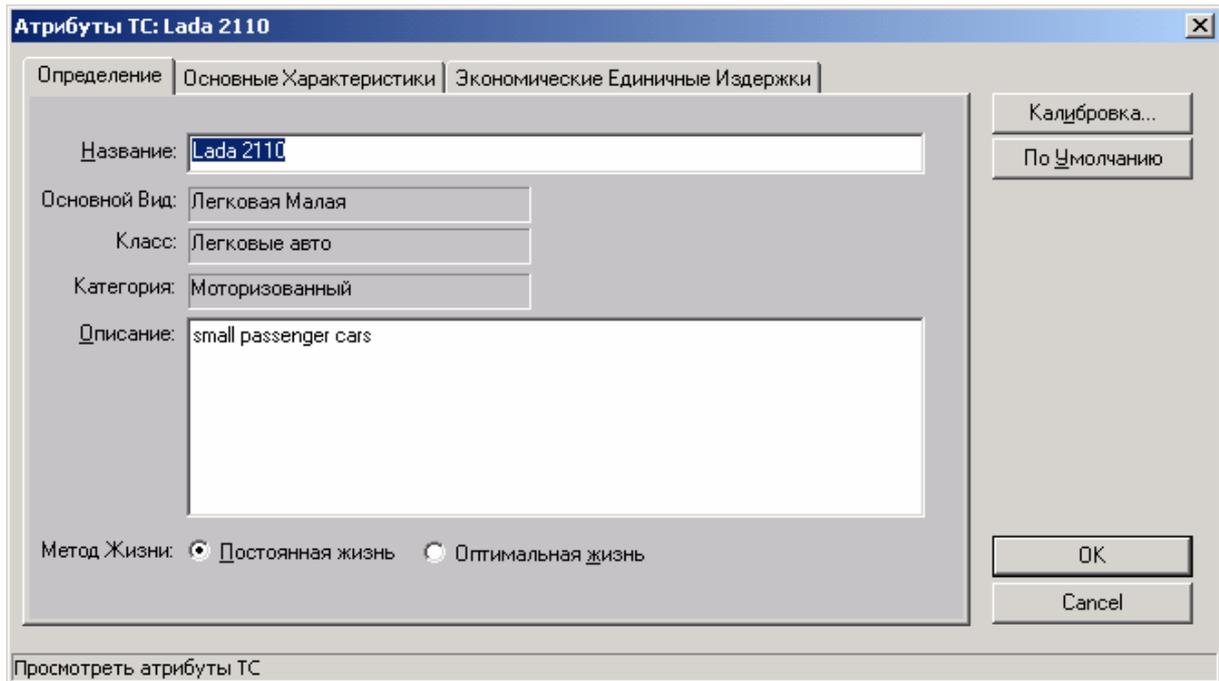
- (i) Метод постоянного срока службы
- (ii) Метод оптимального срока службы.

Пользователь может выбрать один из двух методов для расчета расхода запасных частей и моделирования капитальных затрат. Для легкового автомобиля рекомендуется применение метода постоянного срока службы. В данном методе используется равномерное начисление износа, при котором срок службы транспортного средства принимается постоянным вне зависимости от его скорости движения. Метод оптимального срока службы рекомендуется для всех остальных классов транспортных средств.

В нижеприведенной таблице представлены описательные данные парка транспортных средств по каждому из семи репрезентативных типов транспортных средств.

| Название ТС | Класс | Основной тип | Категория | Модель срока службы |
|-------------|----------|-----------------------------|----------------|---------------------|
| Лада 2110 | Легковые | Микролитражный автомобиль | Моторизованные | Постоянная |
| Газель | фургоны | Легкий грузовой фургон | Моторизованные | Оптимальная |
| ЗИЛ 130 | Грузовые | Легкий грузовой | Моторизованные | Оптимальная |
| МАЗ 500 | Грузовые | Средний грузовой | Моторизованные | Оптимальная |
| КАМАЗ 5511 | Грузовые | Тяжелый грузовой | Моторизованные | Оптимальная |
| КАМАЗ 5410р | Грузовые | Сочлененный грузовой | Моторизованные | Оптимальная |
| ЛАЗ 699 | Автобусы | Автобус большой вместимости | Моторизованные | Оптимальная |

Пример окна описания транспортного средства для автомобиля Лада 2110 приведен ниже.



1.3.2 Окна основных характеристик

Окно основных характеристик представляет собой четыре блока данных:

Физические данные

- Количество приведенных легковых транспортных средств (PCSE) – измеритель пространства, занимаемого ТС (используется при расчете влияния перегруженности на скорость движения, где транспортный поток в зависимости скорость/поток выражен в приведенных легковых ТС (PSCE))
- Количество колес
- Количество осей

Данные о шинах

- Тип шин (с радиальным расположением нитей корда, с диагональным расположением нитей корда, супер-одиночный)
- Базовое количество восстановлений протектора шины
- Затраты на восстановление протектора (в процентах от стоимости новой шины)

Эксплуатационные данные

- Ежегодный пробег
- Количество рабочих часов
- Средний срок службы транспортного средства
- Процент использования в частных поездках
- Количество пассажиров
- Процент использования в поездках, связанных с работой

Данные по нагрузке

- ESAL (Эквивалент 80 кН стандартной нагрузки на ось экспонента 4)
- Эксплуатационная масса (масса тары плюс нагрузка в тоннах)

1.3.2.1 Физические данные

PCSE (эквивалент пространства, занимаемого легковым автомобилем, приведенные ТС)

В модели перегруженности HDM-4 используется транспортный поток, выраженный в количестве ТС, приведенных к легковому автомобилю (PCSE – эквивалент пространства, занимаемого легковым автомобилем) вместо фактора PCE (эквивалент легкового автомобиля). Это обусловлено тем, что разность скоростей ТС и мощность ТС рассматриваются отдельно и применительно к разным условиям для каждого типа ТС. В результате факторы PCSE оказываются ниже, чем PCE, используемые для проведения анализа пропускной способности (такие как стандарт по СНиП 2.05.02-85, 1986). Деривация значений PCSE принимает во внимание длину ТС, расстояния безопасности до впереди идущего и следующего сзади ТС при движении в потоке. Кроме того, большие по габаритам ТС зачастую заезжают на смежные полосы, и потому основные факторы PCSE определены с учетом данного эффекта.

Рекомендуемое значение эквивалента PCSE применительно к парку транспортных средств Архангельской области приведено в таблице ниже.

| Тип транспортного средства | Средняя длина (м) | Расстояние безопасности, м | Общее простр-во (м) | основной PCSE | Рекомендуемое значение PCSE |
|--------------------------------------|-------------------|----------------------------|---------------------|---------------|-----------------------------|
| Легковой автомобиль | 4.0 | 32.0 | 36.0 | 1.0 | 1.0 |
| Фургон | 6.0 | 40.0 | 46.0 | 1.3 | 1.3 |
| Легкий 2-хосный грузовой автомобиль | 7.0 | 44.0 | 51.0 | 1.4 | 1.5 |
| Средний 2-хосный грузовой автомобиль | 7.0 | 44.0 | 51.0 | 1.4 | 1.5 |
| Тяжелый 3-хосный грузовой автомобиль | 7.5 | 48.0 | 55.5 | 1.6 | 1.8 |
| Сочлененный грузовой автомобиль | 13.0 | 50.0 | 63.0 | 1.8 | 2.2 |
| Автобус | 12.0 | 44.0 | 55.0 | 1.6 | 1.8 |

Источник: Расчеты Консультанта основаны на материалах «Экономического анализа Дорожных проектов по транспортной перегруженности», Hoban et al, мировой Банк, 1994г.

NUM_WHEELS and NUM_AXLES

Количество колес и осей для выбранных типовых транспортных средств представлены ниже:

| Тип ТС | Количество колес | Количество осей |
|--------------------------------------|------------------|-----------------|
| Легковой автомобиль | 4 | 2 |
| Фургон | 6 | 2 |
| Легкий 2-хосный грузовой автомобиль | 6 | 2 |
| Средний 2-хосный грузовой автомобиль | 6 | 2 |

| | | |
|--------------------------------------|----|---|
| Тяжелый 3-хосный грузовой автомобиль | 10 | 3 |
| Сочлененный грузовой автомобиль | 18 | 5 |
| Автобус | 6 | 2 |

1.3.2.2 Данные о шинах

TYRE TYPE, BASE NUMBER OF RECAPS AND RETREAD COST

По умолчанию для легковых автомобилей и utilities применяется тип с радиальным расположением нитей корда "Радиальный", а для грузовых автомобилей и автобусов – тип с диагональным расположением нитей корда "Диагональный". Количество восстановлений протекторов шин соответствует 1, и (основываясь на опыте в других странах NIS) стоимость восстановления протектора составляет 30% от стоимости новой шины. Рекомендуется вводить следующие данные:

| Тип ТС | Тип шин | Базовое кол-во восст-й | Стоимость восст-я |
|--------------------------------------|--------------|------------------------|-------------------|
| Легковой автомобиль | Радиальный | 1 | 30% |
| Фургон | Радиальный | 1 | 30% |
| Легкий 2-хосный грузовой автомобиль | Диагональный | 1 | 30% |
| Средний 2-хосный грузовой автомобиль | Диагональный | 1 | 30% |
| Тяжелый 3-хосный грузовой автомобиль | Диагональный | 1 | 30% |
| Сочлененный грузовой автомобиль | Диагональный | 1 | 30% |
| Автобус | Диагональный | 1 | 30% |

В дальнейшем Консультант рассмотрит существующие направления использования шин, качество шин, восстановление и стоимость восстановления протектора шины в Архангельске.

1.3.2.3 Эксплуатационные данные

В намерения Консультанта входит пересмотр эксплуатационных данных в рамках консультаций с операторами парка транспортных средств Архангельска – некоторые значения по умолчанию HDM-4 завышены относительно существующих данных об эксплуатации в странах СНГ. В HDM III адаптированная модель эксплуатации была основана на часах, проведенных в пути, в то время в HDM-4 применяется подход отработанных часов. Для тестирования рекомендуется применять следующие значения:

| Тип ТС | Годовой пробег, км | Рабочие часы | Средний срок службы | Испол-е в частных поездках | Кол-во пассажиров | % работы |
|--------------------------|--------------------|--------------|---------------------|----------------------------|-------------------|----------|
| Легковой автомобиль | 20000 | 550 | 10 | 100% | 2.5 | 25% |
| Фургон | 35000 | 1200 | 8 | 0% | 0 | 0% |
| Легкий 2-хосный грузовой | 30000 | 1300 | 8 | 0% | 0 | 0% |

| | | | | | | |
|--------------------------------------|-------|------|----|----|----|-----|
| автомобиль | | | | | | |
| Средний 2-хосный грузовой автомобиль | 40000 | 1200 | 12 | 0% | 0 | 0% |
| Тяжелый 3-хосный грузовой автомобиль | 45000 | 1800 | 12 | 0% | 0 | 0% |
| Сочлененный грузовой автомобиль | 70000 | 2000 | 12 | 0% | 0 | 0% |
| Автобус | 70000 | 1750 | 12 | 0% | 30 | 20% |

Следует отметить, что пассажиры грузовых автомобилей и производственных машин – это бригада, рабочие, но не пассажиры как таковые.

1.3.2.4 Данные по нагрузке

Консультант сделает подробный обзор характеристик осевой нагрузки транспортных средств парка Архангельской области. Часть данных предоставлена сотрудниками Весового контроля на федеральной трассе М8, но их трудно анализировать поскольку их нельзя сразу импортировать в программу среды Windows. Ожидается, что к июню 2002г. будет доставлено и установлено новое оборудование. Консультант выполнит анализ данных, полученных с использованием нового оборудования с момента начала его эксплуатации.

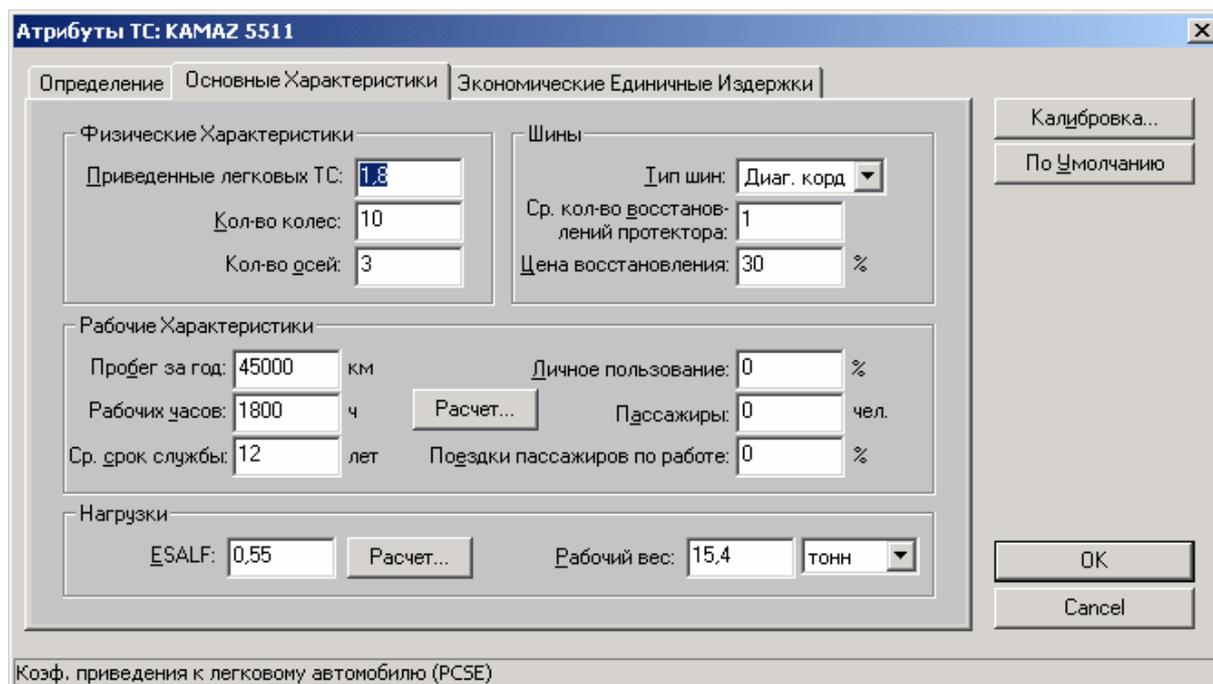
Показатель эквивалента стандартной нагрузки на ось, AF, определяется как количество воздействий 80 кН стандартной нагрузки на ось спаренного колеса, которая оказывает тот же ущерб, что и однократное воздействие рассматриваемой нагрузки. Эквивалент стандартной оси (ESA) рассчитывается как: $[\text{осевая нагрузка (т)/8.2}]^4$. Это формула применяется в HDM-4 для расчета относительной осевой нагрузки на дорожную одежду.

Необходимо отметить, что эксплуатационная масса является средней полной эксплуатационной массой автомобиля (не максимальной полной массой ТС), учитывая как нагруженные, так и порожние транспортные средства. Аналогичным образом, значения ESAL также должны быть средними показателями, учитывая как нагруженные, так и порожние транспортные средства. В целом, возможная перегрузка в большинстве стран CIS ограничена, и потому Консультант ожидает, что величины ESAL будут ниже, чем значения по умолчанию HDM4. Исключение могут составлять лесовозы, и Консультант уделит этому вопросу особое внимание. Руководство по сбору и анализу данных осевых нагрузок приведено в Техническом отчете №6. Для тестирования (основываясь на опыте стран СНГ), рекомендуется применять следующие значения:

| Тип ТС | ESAL | Эксплуатационная масса | Ед. изм. |
|--------------------------------------|------|------------------------|----------|
| Легковой автомобиль | 0.00 | 1.0 | т |
| Фургон | 0.01 | 2.2 | т |
| Легкий 2-хосный грузовой автомобиль | 0.25 | 7.3 | т |
| Средний 2-хосный грузовой автомобиль | 0.40 | 12.0 | т |

| | | | |
|--------------------------------------|------|------|---|
| Тяжелый 3-хосный грузовой автомобиль | 0.55 | 15.4 | т |
| Сочлененный грузовой автомобиль | 1.80 | 25.0 | т |
| Автобус | 0.33 | 8.72 | т |

Ниже приведен пример окна основных характеристик для тяжелого трехосного грузового автомобиля (КАМАЗ 5511), в котором указаны все физические данные, данные по шинам, эксплуатационные данные и осевая нагрузка.



1.3.3 Окно единичных экономических издержек

Окно единичных экономических издержек по каждому типу транспортных средств представляет собой экономические затраты ресурсов транспортных средств и экономическую стоимость времени, как показано ниже:

Ресурсы ТС

- Стоимость замены ТС
- Стоимость замены шины
- Стоимость 1 л горючих материалов
- Стоимость 1 л смазочных материалов
- Стоимость техобслуживания в час
- Часовая заработная плата crew
- Годовые накладные расходы
- Норма процента

Стоимость времени

- Стоимость рабочего времени пассажира

- Стоимость нерабочего времени пассажира
- Издержки, связанные с часовой задержкой груза в пути

При расчете экономической стоимости необходимо из всех цен исключить налоговую составляющую, так как налоги не отражают фактического спроса на ресурсы. Аналогично, необходимо исключить стоимость лицензии и таможенный сбор из расчета экономических затрат. Все экономические затраты выражены в долларовом эквиваленте (доллары США).

1.3.3.1 Ресурсы ТС

Для тестирования рекомендуемые экономические затраты выражены в долларовом эквиваленте.

| Тип ТС | Стоимость нового ТС (\$) | Стоимость новой шины (\$) | Стоимость 1 л топлива | Стоимость 1 л масла |
|--------------------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------|
| Легковой автомобиль | 5600 | 11.5 | 0.18 | 1.0 |
| Фургон | 6400 | 11.5 | 0.18 | 1.0 |
| Легкий 2-хосный грузовой автомобиль | 8300 | 39.2 | 0.15 | 1.0 |
| Средний 2-хосный грузовой автомобиль | 10000 | 50.0 | 0.15 | 1.0 |
| Тяжелый 3-хосный грузовой автомобиль | 20200 | 50.0 | 0.15 | 1.0 |
| Сочлененный грузовой автомобиль | 24600 | 50.0 | 0.15 | 1.0 |
| Автобус | 23300 | 60.0 | 0.18 | 1.0 |

| Тип ТС | Техобслуживание | Заработная плата экипажа | Накладные расходы в год | Норма процента |
|--------------------------------------|-----------------|--------------------------|-------------------------|----------------|
| Легковой автомобиль | 1.7 | 0.0 | 0.0 | 12% |
| Фургон | 2.0 | 1.4 | 0.0 | 12% |
| Легкий 2-хосный грузовой автомобиль | 2.0 | 1.4 | 0.0 | 12% |
| Средний 2-хосный грузовой автомобиль | 2.0 | 1.4 | 0.0 | 12% |
| Тяжелый 3-хосный грузовой автомобиль | 2.0 | 1.4 | 0.0 | 12% |
| Сочлененный грузовой автомобиль | 2.0 | 1.6 | 0.0 | 12% |
| Автобус | 2.0 | 1.6 | 0.0 | 12% |

Необходимо отметить, что в стоимость нового ТС входит стоимость шин, которая в HDM-4 рассматривается отдельно.

Стоимость 1 л горючих материалов зависит от вида топлива. Считается, что легковые автомобили, фургоны и автобусы имеют бензиновые двигатели, в то время как грузовые автомобили работают на дизельном топливе. В экономических затратах исключены НДС, акцизный сбор и таможенные пошлины, в основе лежат мировые экономические цены.

Стоимость смазочных материалов является сравнительно меньшей составляющей затрат. Для тестирования принята номинальная экономическая стоимость равная \$1.00/литр.

Затраты на техобслуживание должны отражать затраты труда, износ инструментов, накладные расходы мастерской. Поэтому нельзя основывать затраты только на заработной плате. Для тестирования Консультант принимает затраты на техобслуживание равными \$2.00 в час для грузовых автомобилей и автобусов и \$1.70 в час для легковых автомобилей.

Важно отметить, что заработная плата экипажа покрывает общие затраты всех членов экипажа включая водителя и кондуктора/ассистента. Немногим большие величины затрат сочлененных грузовых автомобилей и автобусов отражают большее количество членов обслуживающего персонала, так и сравнительно большие часовые ставки водителей данных транспортных средств.

Годовая норма процента при покупке нового транспортного средства должна быть назначена с учетом коэффициента дисконтирования, который для тестовой экономической оценки составляет 12%.

1.3.3.2 Стоимость времени

Считается, что определение стоимости времени пассажира является, возможно, одним из наиболее трудных расчетов. Хотя в некоторых исследованиях стоимость времени пассажира попросту не учитывали, это неверно, поскольку при таком подходе это исказит результаты реализации проектов с высокими транспортными издержками. И наоборот, нереально завышенная стоимость времени нахождения пассажира в пути может исказить результаты в пользу проектов со значительным повышением скоростей движения. Консультант сделает тщательный анализ этих значений для обеспечения гарантии того, что они представляют собой действительные величины стоимости времени для Архангельска.

Определение стоимости одного часа задержки пассажира в пути требует расчета ценности времени. Для этого обычно достаточно различить рабочее и нерабочее время. Стоимость рабочего времени напрямую зависит от часовой ставки заработной платы. Это означает, что ставка заработной платы является измерителем стоимости произведенного продукта в час, и все сэкономленное рабочее время может быть использовано рабочим для производства новой единицы продукции. Расчет стоимости рабочего времени для автомобилей (водителей и пассажиров) и автобусов (пассажиры) требует информации о распределении целей поездок пассажиров (распределение между рабочим и нерабочим временем), а также информации о распределении доходов пользователей автомобилей и автобусов.

Как упомянуто выше, на рабочее время приходится 25% времени пассажира автомобиля и 20% времени пассажиров автобуса. Для тестирования Консультант рекомендует принять стоимость 1 часа рабочего времени равным \$1.00 для пассажиров автомобилей и \$0.50 для пассажиров автобусов. Стоимость нерабочего времени обычно оценивается как доля стоимости рабочего времени. Для тестирования Консультант предлагает принять стоимость нерабочего времени равным 50% от стоимости рабочего.

Время нахождения груза в пути – это стоимость 1 часа задержки перевозимого груза в пути. Считается, что стоимость является низкой для сельскохозяйственной продукции, строительных материалов, продукции химической промышленности и прочих полуфабрикатов. Эту стоимость трудно определить, и принято считать, что стоимость экономии 1 часа, полученная вследствие движения на высоких скоростях, возможных в результате проведения дорожных улучшений, мала. Поэтому, на данном этапе не рекомендуется включать в расчет стоимость нахождения груза в пути.

Таким образом, для тестирования рекомендуется применять следующие величины стоимости времени:

| Тип ТС | Рабочее время пассажира, (\$) | Нерабочее время пассажира (\$) | Стоимость 1 часа нахождения груза в пути |
|--------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--|
| Легковой автомобиль | 1.00 | 0.50 | 0.0 |
| Фургон | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Легкий 2-хосный грузовой автомобиль | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Средний 2-хосный грузовой автомобиль | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Тяжелый 3-хосный грузовой автомобиль | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Сочлененный грузовой автомобиль | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Автобус | 0.50 | 0.25 | 0.0 |

Ниже приведен пример окна экономических издержек на единицу для тяжелого трехосного грузового автомобиля (КАМАЗ 5511) с указанием всех ресурсов транспортного средства и данных по стоимости времени.

Атрибуты ТС: КАМАЗ 5511

Определение | Основные Характеристики | Экономические Единичные Издержки

Затраты на ТС

| | | |
|-----------------|-----------------------|---------|
| Новое ТС: 20200 | Тех. обслуживание: 2 | в час |
| Шины: 50 | Зарплата экипажа: 1,4 | в час |
| Топливо: 0,15 | Накладные за год: 0 | за литр |
| Масло: 1 | Годовой процент: 12 | за литр |
| | | % |

Стоимость Времени

| | | | |
|------------------------------|-------|--------------------------|-------|
| Рабочее время пассажира: 0 | в час | Задержка груза в пути: 0 | в час |
| Нерабочее время пассажира: 0 | в час | | |

Все затраты должны быть выражены в валюте парка ТС - US Dollar

Калибровка...
По Умолчанию

OK
Cancel

Средняя цена покупки нового ТС данного типа

1.3.4 Окна калибровки ТС

Как рассмотрено выше, запрос соответствующего базового типа, класса и категории транспортного средства автоматически вызывает необходимость установки параметров значений по умолчанию, используемых в зависимостях для расчета Эксплуатационных затрат транспортного средства.

В окне атрибутов транспортных средств, щелкнув на клавишу "Калибровка..." Вы получаете доступ к девяти окнам калибровки по каждому отдельному ТС. В подпунктах ниже дано описание и обзор параметров, содержащихся в каждом из этих окон, с выделением тех параметров, которые оказывают значительное влияние на результаты, и которые необходимо адаптировать к местным условиям.

Далее даны примеры окон калибровки ТС для тяжелого трехосного грузового автомобиля (КАМАЗ 5511).

1.3.4.1 Обслуживание

Окно содержит параметры, определяющие расход запасных частей и трудозатраты по обслуживанию ТС. Исследования развития HDM-4 выявили слабые стороны моделей расхода запасных частей и трудозатрат HDM III, а именно завышение этих параметров. Поэтому параметры зависимостей были обновлены с учетом большей надежности современных запасных частей. Кроме того, был установлен меньший порог (ровность влияет на более низкий предел), ниже которого ровность уже не влияет на расход запасных частей. Пересмотренные параметры значений по умолчанию, определенные в рамках исследования HDM 4 были сохранены для целей тестирования.

Трудозатраты в часах рассчитываются как функция расхода запасных частей. Обновленные значения по умолчанию как постоянная составляющая и показатель расхода запасных частей приняты для тестирования.

Калибровка ТС: КАМАЗ 5511

| | | | | |
|------------|-------------------------|---------|-------------------|------|
| Усилия | Скорость | Топливо | Эффекты Ускорения | Шины |
| Содержание | Оптимальный Срок Службы | Выбросы | Энергия | |

Зап. части

| | | | |
|-----------------------------|------------------------------------|---------------------------|------------------------------------|
| Константа: | <input type="text" value="11,58"/> | Эффект старения: | <input type="text" value="0,371"/> |
| Эффект ровности: | <input type="text" value="2,96"/> | Козф. сглаживания кривой: | <input type="text" value="0,25"/> |
| Козф. вращения: | <input type="text" value="1"/> | Минимальная ровность: | <input type="text" value="3"/> |
| К поступательного движения: | <input type="text" value="0"/> | Козф. влияния "пробок": | <input type="text" value="0,1"/> |

Рабочее время

| | | | |
|------------------|-------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| Константа: | <input type="text" value="301,46"/> | Козф. вращения: | <input type="text" value="1"/> |
| Степень коэф-та: | <input type="text" value="0,52"/> | Козф. поступательного движения: | <input type="text" value="0"/> |

OK Cancel

Константа в модели износа деталей (масштаб - 10E-6)

1.3.4.2 Усилия

Калибровка ТС: КАМАЗ 5511

| | | | | |
|------------|-------------------------|---------|-------------------|------|
| Усилия | Скорость | Топливо | Эффекты Ускорения | Шины |
| Содержание | Оптимальный Срок Службы | Выбросы | Энергия | |

Аэродинамика

| | | |
|----------------------|-----------------------------------|----------------|
| Фронтальная Площадь: | <input type="text" value="8,5"/> | m ² |
| Козф. ЛС: | <input type="text" value="0,7"/> | |
| Множитель ЛС: | <input type="text" value="1,14"/> | |

Сопrotивление Качению

| | |
|---------------------------|------------------------------------|
| параметр a ₀ : | <input type="text" value="37"/> |
| параметр a ₁ : | <input type="text" value="0,064"/> |
| параметр a ₂ : | <input type="text" value="0,012"/> |

Усилия

| | | |
|---------------------------|----------------------------------|-----|
| Тяговое: | <input type="text" value="227"/> | кВт |
| Тормозное: | <input type="text" value="255"/> | кВт |
| Расч. Мощность Двигателя: | <input type="text" value="280"/> | кВт |

Проходимость по Грунтовым Дорогам

| | |
|--------|--------------------------------|
| EPLIM: | <input type="text" value="1"/> |
|--------|--------------------------------|

OK Cancel

Спроецированная фронтальная площадь ТС

Окно показывает параметры, влияющие на аэродинамическое сопротивление и сопротивление качению, а также мощность двигателя, фактор проежаемости по грунтовой дороге, находящейся в плохом состоянии.

Аэродинамическое сопротивление есть функция площади лобовой поверхности ТС (AF), коэффициента аэродинамического сопротивления (CD) и множитель CD (CDMULT), являющийся умножителем коэффициента аэродинамического сопротивления для учета влияния ветра. Значения AF можно получить из спецификаций производителей, а величины CD и CDMULT – значения по умолчанию HDM 4.

Значения по умолчанию параметров сопротивления качанию в HDM 4 составляют для всех транспортных средств:

$$a_0 = 37,$$

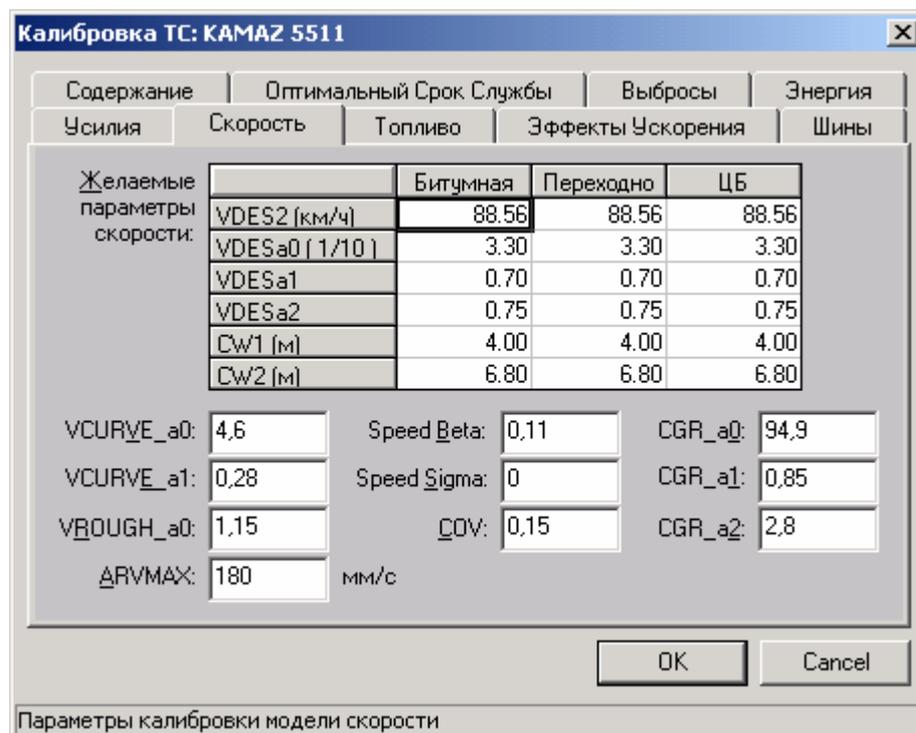
$$a_1 = 0.064, \text{ и}$$

$$a_2 = 0.012.$$

Максимальная мощность двигателя (HPDRIVE), максимальная эффективная (тормозная) мощность (HPBRAKE) и максимальная номинальная мощность двигателя (в кВт) могут быть взяты из спецификаций производителей ТС.

Коэффициент проезжаемости по грунтовым дорогам принимается равным 1, если дорога находится в проезжем состоянии, и равным 3 – в абсолютно непроезжем состоянии. Для всех ТС было принято значение равное 1.

1.3.4.3 Скорость



| Желаемые параметры скорости: | Скорость | | |
|------------------------------|----------|-----------|-------|
| | Битумная | Переходно | ЦБ |
| VDES2 (км/ч) | 88.56 | 88.56 | 88.56 |
| VDESa0 (1/10) | 3.30 | 3.30 | 3.30 |
| VDESa1 | 0.70 | 0.70 | 0.70 |
| VDESa2 | 0.75 | 0.75 | 0.75 |
| CW1 (м) | 4.00 | 4.00 | 4.00 |
| CW2 (м) | 6.80 | 6.80 | 6.80 |

| | | | | | |
|-------------|-----------------------------------|--------------|-----------------------------------|---------|-----------------------------------|
| VCURVE_a0: | <input type="text" value="4,6"/> | Speed_Beta: | <input type="text" value="0,11"/> | CGR_a0: | <input type="text" value="94,9"/> |
| VCURVE_a1: | <input type="text" value="0,28"/> | Speed_Sigma: | <input type="text" value="0"/> | CGR_a1: | <input type="text" value="0,85"/> |
| VROUGH_a0: | <input type="text" value="1,15"/> | COV: | <input type="text" value="0,15"/> | CGR_a2: | <input type="text" value="2,8"/> |
| DeltaRVMAX: | <input type="text" value="180"/> | мм/с | | | |

Окно содержит параметры, используемые для модели установившейся скорости.

Значение VDES2 это желаемая скорость в отсутствии каких-либо эксплуатационных ограничений. Эта скорость зависит от реакции водителя на широкий спектр психологических раздражителей, аспектов безопасности, экономических и прочих аспектов, и может значительно различаться в разных странах. Так, это не та величина,

которую можно измерить непосредственно. В отсутствии данных исследований скоростей первоначально применяются значения по умолчанию HDM 4.

К сожалению, не было информации отдельно по асфальтобетонным и грунтовым дорогам, и потому для каждого из этих типов покрытия применяются одинаковые значения. Остальные параметры скорости - значения по умолчанию HDM 4.

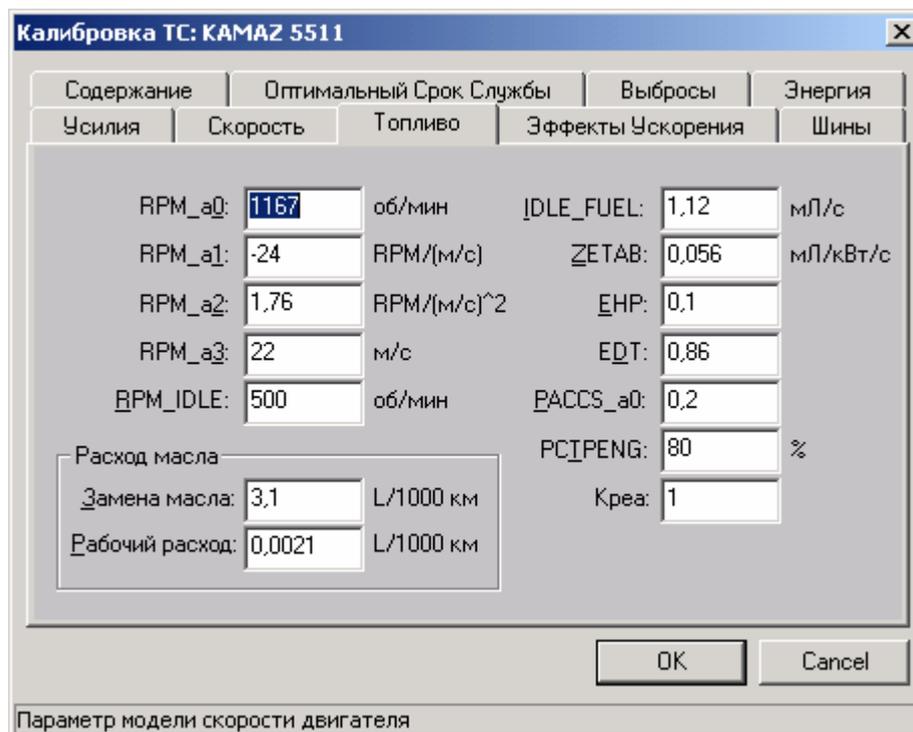
Консультант предлагает выполнить исследования скоростей движения в июне 2002г. хотя бы на участке асфальтобетонной дороги М8 с целью декалибровки значения рекомендуемой скорости для данного преобладающего типа дорог. В Техническом отчете №6 "Руководство по сбору данных по состоянию дорог и транспортных данных" описана соответствующая методология для проведения подобных обследований.

1.3.4.4 Топливо

Окно калибровки расхода топлива показывает все параметры, используемые в модели расхода топлива для расчета его потребления, а также параметры, используемые в модели потребления смазочных материалов.

Первая группа параметров связана с частотой вращения двигателя, а те, что входят во вторую группу зависят от потребления топлива и экономичности двигателя (эффективность расхода горючих материалов). Необходимо адаптировать RPM_a0 для калиброванной частоты вращения двигателя (составляет 75% от максимального количества оборотов двигателя), основываясь на спецификациях производителей ТС.

Величина расхода смазочных материалов рассчитывается как функция расхода топлива и учитывает потери масла по причине загрязнения масла и расход масла по эксплуатационным причинам. Расход смазочных материалов составляет сравнительно малую часть потребляемых ресурсов. Параметры расхода - все значения по умолчанию модели HDM 4.



Калибровка ТС: KAMAZ 5511

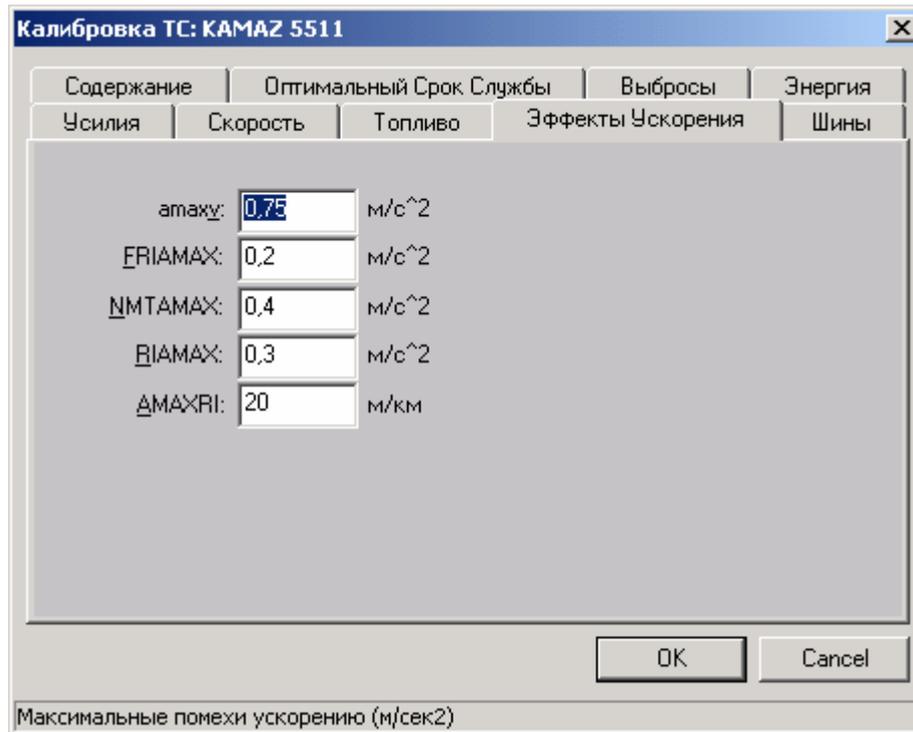
| Содержание | Оптимальный Срок Службы | Выбросы | Энергия | | |
|-----------------|-------------------------|-------------|-------------------|-------|----------|
| Усилия | Скорость | Топливо | Эффекты Ускорения | | |
| Усилия | Скорость | Топливо | Шины | | |
| RPM_a0: | 1167 | об/мин | IDLE_FUEL: | 1,12 | мл/с |
| RPM_a1: | -24 | RPM/(м/с) | ZETAB: | 0,056 | мл/кВт/с |
| RPM_a2: | 1,76 | RPM/(м/с)^2 | ENP: | 0,1 | |
| RPM_a3: | 22 | м/с | EDT: | 0,86 | |
| RPM_IDLE: | 500 | об/мин | PACCS_a0: | 0,2 | |
| Расход масла | | | PCIPENG: | 80 | % |
| Замена масла: | 3,1 | L/1000 км | Креа: | 1 | |
| Рабочий расход: | 0,0021 | L/1000 км | | | |

OK Cancel

Параметр модели скорости двигателя

1.3.4.5 Эффект ускорения

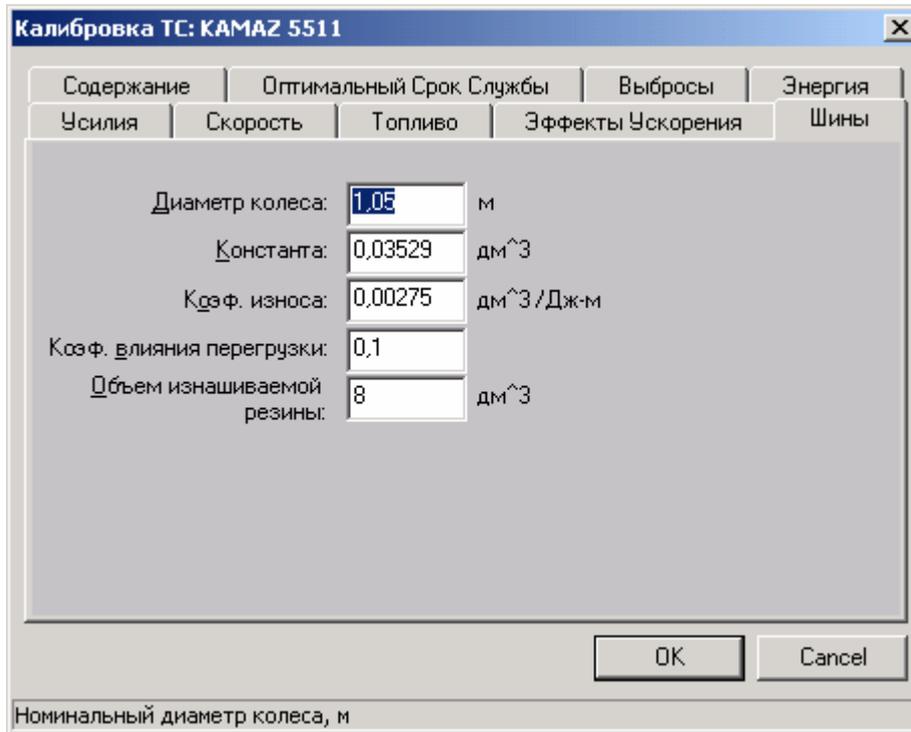
Окно эффекта ускорения показывает параметры, используемые для определения увеличения взаимодействий между транспортными средствами по причине перегруженности (транспортные пробки) и, как следствие, увеличения частоты циклов ускорения/торможения. Эффект ускорения/торможения приводит к увеличению потребления топлива. Все величины принимаются равными значениям по умолчанию HDM 4.



| Параметр | Значение | Единица измерения |
|------------------|----------|-------------------|
| a _{max} | 0,75 | м/с ² |
| FRIAMAX | 0,2 | м/с ² |
| NMTAMAX | 0,4 | м/с ² |
| RIAMAX | 0,3 | м/с ² |
| ΔMAXRI | 20 | м/км |

Максимальные помехи ускорению (м/сек²)

1.3.4.6 Шины



| Содержание | Оптимальный Срок Службы | Выбросы | Энергия |
|----------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------|
| Усилия | Скорость | Топливо | Эффекты Ускорения |
| Шины | | | |
| Диаметр колеса: | 1,05 | м | |
| Константа: | 0,03529 | дм ³ | |
| Кэф. износа: | 0,00275 | дм ³ /Дж·м | |
| Кэф. влияния перегрузки: | 0,1 | | |
| Объем изнашиваемой резины: | 8 | дм ³ | |

Номинальный диаметр колеса, м

Окно калибровки шин показывает параметры, используемые при калибровке расхода шин. Диаметр колеса и степень износа покрышек можно принять по классам транспортных средств, основываясь на спецификациях шин. Постоянная величина и коэффициент износа применяются равными значениям по умолчанию модели HDM 4.

1.3.4.7 Энергия

Окно калибровки энергии показывает параметры, используемые при анализе баланса энергии. Значения на экране являются значениями по умолчанию, и потому анализ баланса энергии предлагается не включать.

Калибровка ТС: КАМАЗ 5511

| | | | | |
|------------|-------------------------|---------|-------------------|------|
| Усилия | Скорость | Топливо | Эффекты Ускорения | Шины |
| Содержание | Оптимальный Срок Службы | Выбросы | Энергия | |

Использовано энергии при производстве ТС: ГДж

% частей выпущено в стране:

% ИС выпущено в стране:

Вес шины: кг

Вес дорожного ТС: тонн

OK Cancel

Общая энергия израсходования при производстве данного типа ТС, ГДж

1.3.4.8 Эмиссия

Калибровка ТС: КАМАЗ 5511

| | | | | |
|------------|-------------------------|---------|-------------------|------|
| Усилия | Скорость | Топливо | Эффекты Ускорения | Шины |
| Содержание | Оптимальный Срок Службы | Выбросы | Энергия | |

Коэффициенты Калибровки Модели

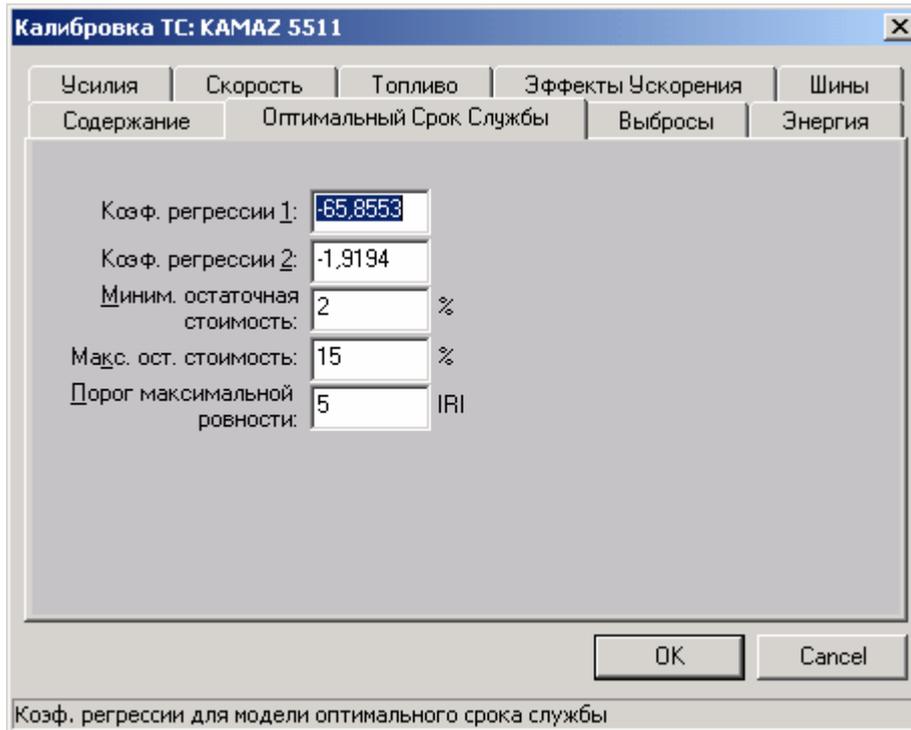
| | |
|---|--|
| Углерод k0: <input type="text" value="1"/> | Твердые частицы k0: <input type="text" value="1"/> |
| Углерод k1: <input type="text" value="1"/> | Твердые частицы k1: <input type="text" value="1"/> |
| Угарный газ k0: <input type="text" value="1"/> | Углекислый газ k0: <input type="text" value="1"/> |
| Угарный газ k1: <input type="text" value="1"/> | Сернистый газ k0: <input type="text" value="1"/> |
| Закись азота k0: <input type="text" value="1"/> | Свинец k0: <input type="text" value="1"/> |
| Закись азота k1: <input type="text" value="1"/> | |

OK Cancel

Коэф. калибровки модели выбросов углеводорода

Окно калибровки выбросов транспортных средств содержит параметры, используемые для калибровки модели эмиссии углеводородов. Показатели не были подвергнуты калибровке и потому принимаются равными 1.

1.3.4.9 Оптимальный срок службы



Кэф. регрессии 1: -65.8553

Кэф. регрессии 2: -1.9194

Миним. остаточная стоимость: 2 %

Макс. ост. стоимость: 15 %

Порог максимальной ровности: 5 IRI

OK Cancel

Кэф. регрессии для модели оптимального срока службы

Окно оптимального срока службы содержит параметры, которые определяют срок службы транспортного средства, когда выбран метод определения оптимального срока службы.

Для легковых автомобилей применяется метод константного срока службы, когда используется равномерное начисление износа, при котором срок службы ТС считается постоянным вне зависимости от скорости. Для всех остальных типов ТС применяется метод оптимального срока службы, в результате чего основной средний срок службы изменяется в зависимости от ровности дороги.

Значения по умолчанию регрессивных коэффициентов для всех ТС принимаются равными:

$$a_0 = -65.8553$$

$$a_1 = -1.9194$$

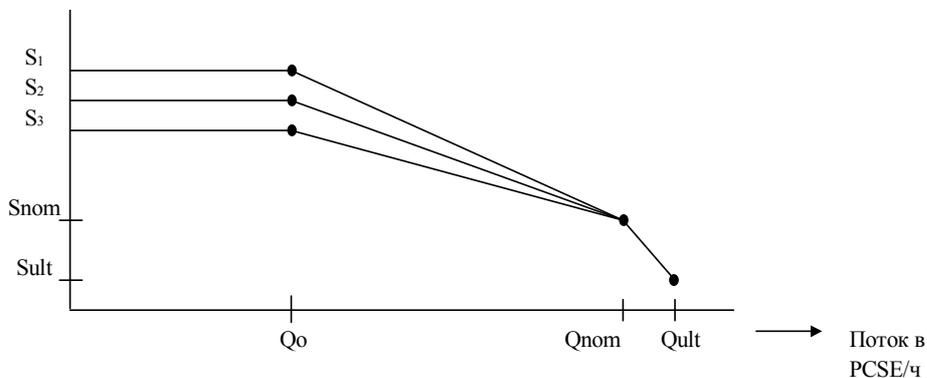
Остальные параметры зависят от минимальной и максимальной остаточной стоимости в процентах от стоимости приобретения нового ТС и максимальной средней ровности, ниже которой достигается максимальная остаточная стоимость.

1.4 Моделирование эффекта транспортной перегруженности в HDM-4

1.4.1 Типы скоростных потоков

Для транспортных средств, осуществляющих движение в одиночку характерна “скорость движения в свободном потоке”, которая зависит от характеристик дороги выбираемой водителем скорости. По мере увеличения автомобилей в потоке, транспортные средства начинают взаимодействовать друг с другом, что сказывается на снижении средних скоростей движения, а, следовательно, и на потреблении топлива, затратах времени поездки и других составляющих затрат пользователя дорог. Зависимость скорость/поток применяется в модели скоростных потоков HDM-4, как это показано на упрощенном графике внизу.

Модель скорость - поток



Qo - уровень интенсивности, ниже которого взаимодействие транспорта – незначительно (PCSE/час).

Qnom - нормативная пропускная способность дороги ((PCSE/час).).

Qult - предельная пропускная способность дороги ((PCSE/час).).

Snom - скорость при нормативной пропускной способности (км/ч).

Sult - скорость при предельной пропускной способности, известная также как скорость движения в пробке (км/ч)

S1, S2 и S3 - три скорости потока для разных типов ТС

Snom (нормативная скорость движения всех транспортных средств при достижении нормативной пропускной способности), - обычно принимается равной скорости 85% обеспеченности, т.е. 85% значения скорости в свободном потоке для самого медленного ТС в транспортном потоке.

Отношение **Qo** к **Qult** определяется как **XQ1** и имеет следующий вид:

$$XQ1 = \frac{Qo}{Qult}$$

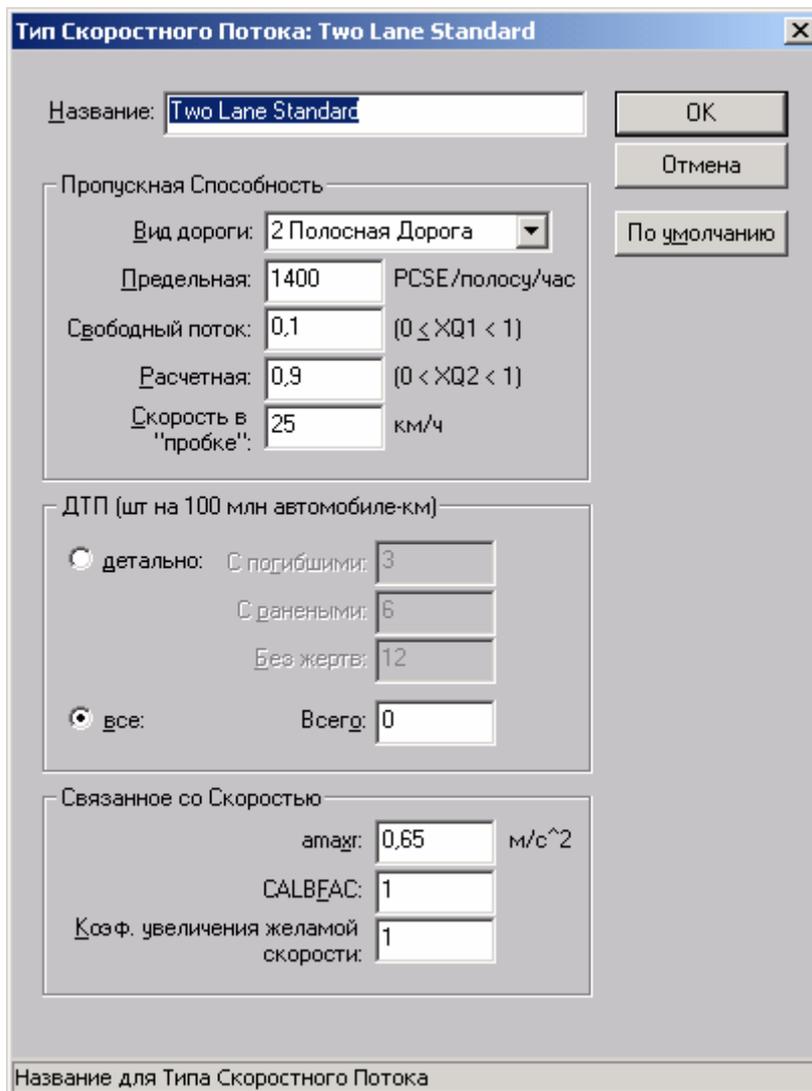
Отношение **Qnom** к **Qult** определяется как **XQ2** и имеет следующий вид:

$$XQ2 = \frac{Qnom}{Qult}$$

Кривая скоростных потоков применительно к любой конкретной дороге может быть получена в зависимости от значений параметров ***XQ1***, ***XQ2***, ***Qult*** и ***Sult***. Три скорости движения по каждому типу ТС зависят от геометрии трассы и скорости, выбранной водителем.

Кривые скоростных потоков для различных типов дорог в действительности определяются в окнах описаний "тип скоростного потока", являющихся под-директорией Каталога конфигураций HDM. Каталог содержит восемь типов скоростных потоков по умолчанию в зависимости от ширины дороги.

В нижеприведенном окне приведено описание кривой скоростных потоков для стандартной двухполосной дороги.



Тип Скоростного Потока: Two Lane Standard

Название:

Пропускная Способность

Вид дороги:

Предельная: PCSE/полосу/час

Свободный поток: ($0 \leq XQ1 < 1$)

Расчетная: ($0 < XQ2 < 1$)

Скорость в "пробке": км/ч

ДТП (шт на 100 млн автомобиле-км)

детально: С погибшими:
 С ранеными:
 Без жертв:

все: Всего:

Связанное со Скоростью

amax: м/с²

CALBFAC:

Кэф. увеличения желаемой скорости:

Название для Типа Скоростного Потока

В этом случае предельная пропускная способность (*Qult*) составляет 1400 PCSE для одной полосы в час; *XQ1* равен 0.1 (при значении меньше 140 PCSE для одной полосы в час не влияет на скорость ТС); *XQ2* равен 0.9 (все ТС будут следовать со скоростью *Snom* - 85% скорости наиболее медленного ТС, когда поток достигнет 90% от *Qult*, т.е. 1260 PCSE для одной полосы в час); скорость движения в пробке при достижении предельной пропускной способности составит для всех ТС 25 км/ч.

В окне также отображена информация о ДТП (включая уровень аварийности), а также дополнительные факторы калибровки для трех скоростей. Данные ДТП не учитываются в текущем анализе.

Аналогично, местные данные невозможно применить для параметров скоростей и потому повсеместно применяются значения по умолчанию.

Параметры кривой скоростных потоков для пяти типов дорог приведены в таблице ниже.

| Тип дороги | Ширина, м | XQ1 | XQ2 | Qult PCSE/ч | Sult kph |
|--------------------------|-------------|-----|------|-------------|----------|
| Однополосная | <5м | 0.0 | 0.70 | 1200 | 10 |
| Двухполосная узкая | 5–6.75 м | 0.0 | 0.70 | 2400 | 20 |
| Двухполосная стандартный | 6.75–7.75 м | 0.1 | 0.90 | 2800 | 25 |
| Двухполосная широкая | 7.75-13.80м | 0.2 | 0.90 | 3200 | 30 |
| Четырехполосная | > 13.80м | 0.4 | 0.95 | 8000 | 40 |

1.4.2 Схемы транспортных потоков

В вышеприведенном пункте описана зависимость скорости от типа транспортного потока, в основе которой лежит часовой поток, выраженный в PCSE в час. Тем не менее, транспортная перегруженность меняется в течение дня, на протяжении недели, года. Поэтому необходимо выполнить анализ перегруженности для числа репрезентативных уровней часовых транспортных потоков и обобщить результаты для получения годовых показателей.

Важным требованием является определение распределения часовых потоков за 8760 (365 x 24) часов в год, с тем, чтобы конвертировать данные по среднегодовой среднесуточной интенсивности движения (AADT) в часовые потоки.

Общепринята практика установления распределения поток-частота по среднему часовому объему движения против суммарного (кумулятивного) количества часов за год.

Схема Транспортного Потoka: Inter-urban

Определение

Название:

Дорога:

OK

Отмена

По умолчанию

Данные по распределению потока ТС

Выберете метод: HV PCNADT

| Период | Описание | Часов в год (HRYRp) | Часовая Интенс. (HVp) | % от AADT (PCNADTr) |
|--------|----------|---------------------|-----------------------|---------------------|
| 1 | Period 1 | 87.60 | 0.090 | 2.17 |
| 2 | Period 2 | 350.40 | 0.080 | 7.59 |
| 3 | Period 3 | 613.20 | 0.070 | 11.64 |
| 4 | Period 4 | 2978.40 | 0.050 | 40.24 |
| 5 | Period 5 | 4730.40 | 0.030 | 38.36 |
| | | 8760.00 | 1.013 | |

Добавить Период

Удалить Период

Прим.: HRYRp должно быть = 8760, и $\frac{(HRYRp * HVp)}{365}$ должно быть = 1.00 ± 0.05

Название для данной Схемы Транспортного Потoka

Для параметров распределения поток-частота для дорог междугороднего сообщения приняты значения по умолчанию HDM-4. Окно схем транспортных потоков представлено ниже.

Эти параметры определяют пять периодов “частоты потоков”, включая периоды ранжированных наибольших потоков. Для каждого периода приняты следующие параметры:

1. HRYRp – количество часов в году в данном периоде частоты потока
2. HVp – часовой объем движения в процентах от ССУД (AADT)
3. PCNADTr – процент общей годовой интенсивности движения в данном периоде

На основе информации о частоте потоков, можно прогнозировать объем потока за каждый час каждого года, используя для этого данные среднегодовой интенсивности движения. Например, в течение наиболее загруженных 87 часов в год поток будет составлять 9% от ССУД, в течение наиболее загруженных 350 часов в год поток будет составлять 8% от ССУД и т.д.

В будущем эти значения можно калибровать, но для этого потребуются длительный период автоматического учета интенсивности движения в течение всего года.

Глава 2 Модель Разрушения Дорог и Воздействия Дорожных Работ (РДВР)

2.1 Введение

Читатель данного отчета, который хочет лучше понять причины проведения калибровки HDM-4 и узнать методики, которые при этом могут быть использованы, должен предварительно ознакомиться с Руководством по HDM-4, Том 5 «Руководство по Калибровке и Адаптации». Процедуры, использующиеся при калибровке, описаны в нем достаточно детально и не будут повторяться в данном отчете.

Модель разрушения автомобильной дороги HDM прогнозирует то, как будет происходить процесс разрушения автомобильной дороги с течением лет. Наиболее значительными видами разрушений следует считать снижение ровности и образование трещин. Вследствие того, что величина транспортных затрат любого дорожного пользователя зависит во многом от ровности поверхности дорожного покрытия, для экономического анализа становится важным, чтобы модель достаточно точно прогнозировала разрушения в зависимости от их развития (увеличения) с каждым последующим годом. Поэтому необходимо удостовериться в том, что фактическая величина разрушений, полученная в ходе непосредственного обследования на дороге, достаточно точно моделируется в HDM. Это можно проверить только одним способом: выбрать несколько участков на сети дорог с твердым покрытием и проанализировать их поведение в течение прошлых лет. Если такой информации (хотя бы за последние несколько лет) нет, то о степени разрушений можно только догадываться, основываясь на наблюдениях инженеров-дорожников, занятых содержанием, и Консультанта. Последующий анализ HDM в подобном случае врядли можно считать достоверным.

Данный проект, в основном, нацелен на создание системы управления дорогами в Приморском районе с видами на развитие ее на всю Архангельскую область. Поэтому, важно, чтобы персонал Архангельскавтодора не только понимал как работать с HDM, но также и мог проводить самостоятельно калибровку моделей Воздействия на Пользователей Дорог (ВПД) и модели Разрушения Дорог и Воздействия Дорожных Работ (РДВР). Для получения наиболее надежных прогнозов и полезных результатов через несколько лет, необходимо создать систему проведения измерений и записи результатов, что приведет к достижению Уровня 3 – Адаптация с изменениями в исходном коде HDM-4 и точной настройки модели.

Ограничения по времени для завершения данного проекта дают возможность в начале выполнить калибровку Уровня 1и позднее, после сбора достаточных полевых данных, достичь Уровня 2 калибровки. Это позволит использовать HDM-4 с некоторой достоверностью для стратегического планирования, а также анализа проектов.

Калибровка 1-го Уровня была выполнена для того, чтобы дать возможность использовать HDM на основании данных, собранных в 2001 году в Приморском районе. В свете будущих исследований и обследований дорожной сети Консультантами, Уровень 1 калибровки был пересмотрен прежде, чем перейти далее к Уровню 2 для проведения анализов HDM-4 в 2002 году. Каждый из основных коэффициентов калибровки, который оказывает большое влияние на изменение ровности, рассмотрен в последующих главах.

2.2 Калибровка Основных Коэффициентов Корректировки

2.2.1 Коэффициент Калибровки Климатической Модели Ровности (K_{gm})

Данный коэффициент определяет величину ежегодной регрессии ровности, которая не зависит от структурных параметров, но с временной зависимостью. Он связан со средой окружения дорожной одежды и рассматривался разработчиками HDM как один из параметров исходных данных, а не как коэффициент калибровки. Ежегодное изменение ровности только из-за воздействия окружающей среды, независимо от транспортного движения, рассчитывается в HDM при помощи следующей формулы:

$$\Delta R_{te} = 0.023K_{gm} \cdot R_t \dots\dots\dots(1)$$

где K_{gm} – коэффициент климатической калибровки ровности
 R_t – ровность на начало года

Согласно Тому 5 Руководства по HDM, значение коэффициента климатической калибровки ровности вычисляется по следующей формуле:

$$K_{gm} = m \cdot k_m / 0.023$$

где m – климатический коэффициент, зависящий только от климатической классификации окружающей среды. Принимая для Архангельска полупересушливую зону, умеренную с продолжительными морозами, значение “ m ” должно равняться 0.06 (Таблица 7.4, Том 5).
 k_m – поправочный коэффициент, корректирующий качество строительства дороги и влияние водоотвода. Принимая во внимание различное качество материала (в особенности, верхних и нижних слоев основания), достаточно хорошие условия водоотвода и промерзания, наиболее подходящим значением будет $k_m = 1.2$ (Таблица 7.4, Том 5).

Тогда, значение коэффициента $K_{gm} = 3.1$

Тем не менее, Том 5 Руководства по HDM дает сбивающую с толку информацию об определении K_{gm} и о том, как HDM работает с “ m ” and K_{gm} . Предварительный вариант Тома 6 дает информацию, что значение “ m ” вводится напрямую в структурный компонент модели ровности, согласно выбранной климатической зоны. И очевидно, что программа именно так и работает.

Том 6 говорит, что снижение ровности выражается следующей формулой:

$$\Delta R_{te} = m K_{gm(new)} R_t \dots\dots\dots(2)$$

где “ m ” имеет значение, которое зависит от климатической зоны. Этот способ определения K_{gm} отличается от способа, описанного в Томе 5.

Сравнив формулу (1) с формулой (2), получаем:

$$0.023 K_{gm} = m K_{gm(new)}$$

Следовательно, $K_{gm(new)} = 0.023 / m * m k_m / 0.023 = k_m$

Когда k_m имеет значение 1.0, новое значение K_{gm} = значение по умолчанию 1.0

В сущности $K_{gm(new)} = K_{gm} \times k_m \times 0.023/m$

Данное новое значение K_{gm} может различаться для отдельных участков дорог, состояние которых отличается от среднего.

В предыдущем изучении, проходившем на Украине, компания "Ingeroute" использовала среднее значение K_{gm} и выявила, что HDM недооценивает степень снижения ровности слабых дорожных одежд ($E < 240$ МПа) и переоценивает ровность прочных дорожных одежд ($E > 240$ МПа). Также было выявлено, что в северных областях Украины, где климат холоднее в зимний период (СНГ Зона II), чем на побережье Черного моря, снижение ровности было переоценено. Изучение показало, что в данной Зоне II значение $K_{gm} = 1.8$ должно быть использовано для слабых дорожных одежд и $K_{gm} = 0.6$ – для прочных. Несомненно, зимние условия Архангельска более суровые, чем на Украине, и можно ожидать, что коэффициент калибровки климатической модели ровности будет выше, возможно 1.2 – для прочных дорожных одежд вместо 0.6. Целесообразно было бы начать подбирать значение K_{gm} от значения по умолчанию, равному 1.0.

2.2.2 Коэффициент Появления Трещин

Время, которое проходит до появления трещин, корректируется коэффициентом K_{ci} , который имеет значение 1.0, если качество используемого битума, окисляющий климат и качество строительства все вместе дают результат в усредненном поведении. Если климатические условия менее благоприятные, тогда K_{ci} будет меньше 1.0, что означает – время до появления первой трещины будет меньше среднего значения.

Таблица 7.5 Тома 5 используется для определения начального значения K_{ci} .

- Источники сырой нефти в России, очевидно, имеют высокое содержание парафина, хотя это предположение требуется дополнительно проверить.
- Климат Архангельска не благоприятен для окисления.
- Используется, обычно, битум 60/90 или 90/130, и оба кажутся слишком хрупкими при холодных температурах для сопротивления образованию температурных трещин. Таким образом, качество строительства оценивается от достаточного до низкого.

Основываясь на вышесказанном, Таблица 7.5 указывает, что K_{ci} должно иметь значение около 0.8. Однако, визуальные обследования дорог в Приморском районе показали, что наиболее распространенный тип трещин – поперечные температурные трещины. Т.к. структурные трещины, очевидно, появляются и развиваются медленнее температурных, для начала нужно будет использовать значение по умолчанию 1.0. Это значение необходимо применить как для K_{cia} “всех трещин”, так и K_{ciw} “широких трещин”.

2.2.3 Коэффициент Корректировки Развития Трещин (K_{cp})

Руководство по HDM рекомендует, что для 1 Уровня калибровки коэффициент развития должен быть обратен коэффициенту появления трещин, т.е.:

$$K_{cp} = 1 / K_{ci} = 1.0$$

Однако, данный коэффициент вновь должен будет учитываться на 2 Уровне калибровки в отношении ущерба от трещин, который возникает от зимнего пучения, циклов промерзания и оттаивания в осенний и весенний периоды, и суточных изменений температур. Также, коэффициент необходимо применить как для K_{cpa} "всех трещин", так и K_{cpw} "широких трещин".

2.2.4 Поперечные Температурные Трещины – Появление (K_{cit})

Т.к. температурные трещины появляются из-за низких морозных температур, период появления, вероятно, будет значительно короче, чем в регионах с умеренным неморозным климатом. Будем считать, что $K_{cit} = 0.5$.

2.2.5 Поперечные Температурные Трещины – Развитие (K_{cpt})

По тем же причинам можно полагать, что температурные трещины будут развиваться быстрее, чем в более мягком климате. Это подкрепляется высоким процентом температурных трещин на дорогах Приморского района. Будет полагать, что значение K_{cpt} – обратно значению K_{cit} (т.е. $K_{cpt} = 2.0$).

2.2.6 Коэффициенты Калибровки Развития Колейности

- Визуальное обследование сети дорог показало, что дороги не сильно "поражены" колейностью.
- Асфальбетонные смеси – жесткие и не подвержены пластическим деформациям в преобладающих температурах.
- Дорожные одежды, в основном, сооружены на насыпи из мелкого песка, которая имеет хорошую несую способность.
- Некоторые легковые автомобили используют шипованные шины в зимний период, хотя их доля в транспортном потоке не превышает 20%. Т.к. шипованные шины не применяются в летний период, коэффициент будет установлен в значение 0.1.

Следующие 4 фактора определяют развитие колейности на дорогах:

- **Начальное уплотнение:** нет причин изменять коэффициент K_{rid} по умолчанию
- **Структурное разрушение:** нет причин изменять коэффициент K_{rst} , заданный по умолчанию
- **Пластическая деформация:** пластические деформации – незначительны или отсутствуют; $K_{rpd} = 0$
- **Износ покрытия:** Предположим, что 20% транспортных средств используют шипованные шины; $K_{rsw} = 1.1$ (это вызовет незначительное увеличение колейности)

2.2.7 Коэффициент Развития Общей Ровности ($K_{гр}$)

Это – коэффициент, влияющий на скорость развития ровности под влиянием транспортного движения (независимо от природного разрушения). Руководство по HDM, Том 5 рекомендует не применять корректировку коэффициент развития ровности в обычных условиях. Однако, вопрос значительно усложняется в случае продолжительных морозных условий. В течение зимних месяцев, когда дороги – промерзшие и дорожная одежда – очень прочная, маловероятно, что движение транспорта, само по себе, вызовет большой ущерб дороге. С другой стороны, влияние транспорта в период весенней распутицы вызывает ускорение разрушения. Это ускорение обычно сдерживается установлением ограничения нагрузок на ось транспортного средства в весенний период. Предполагается, что средневзвешенная прочность дорожной одежды SNP делает поправку на вышеперечисленные эффекты, но сезонные изменения интенсивности могут внести ошибку в расчеты. На данный момент, для Уровня 1 калибровки примем значение по умолчанию $K_{гр} = 1.0$.

2.2.8 Коэффициенты Калибровки Появления и Развития Ямочности и Выкрашивания

Т.к. данные коэффициенты оказывают небольшое влияние на изменение ровности, у обоих коэффициентов можно оставить значение по умолчанию равное 1.0.

2.2.9 Остальные Коэффициенты Калибровки Появления и Развития Дефектов

Т.к. коэффициенты появления и развития других дефектов оказывают небольшое влияние на изменение ровности, оставляем значение по умолчанию равное 1.0.

2.3 Сезонное Воздействие на Прочность Дорожной Одежды – Значения f и D_f

HDM полагает, что прочность дорожной одежды изменяется от сезона к сезону. К сожалению, сезоны в HDM – это или влажный, или сухой, а период промерзания не принимается в расчет прочности дорожной одежды SNP. Среднегодовое откорректированное значение структурного числа SNP вычисляется исходя из SNP_d (прочность в сухой сезон), продолжительность сухого сезона (доля от всего года) и отношение прочности влажного сезона к прочности сухого.

Очевидно, что в Архангельске после весенней оттепели в земляном полотне имеется большое количество талой воды и оно находится в наислабейшем состоянии.

В течение лета избыток талой воды уходит из земляного полотна, что повышает ее прочность.

В следующий зимний период, когда дорожная одежда начинает промерзать, прочность земляного полотна увеличивается из-за промерзшего состояния. Несомненно, что большинство дорожных одежд обладают повышенной прочностью из-за промерзания примерно до Апреля; после этого весенняя распутица снова начинает сезонный цикл.

Очевидно, что наибольший ущерб дорожной одежде приносит весенняя распутица, но не известно ее размер относительно ущерба, возникающего в другие периоды года. Из-за слабости дорог с твердым покрытием весной, Архангельскавтодор устанавливает ограничение нагрузки на ось автомобилей на данный период.

2.4 Предлагаемая Процедура Использования Модели Разрушения HDM-4 для Архангельска

Прочность дорожной одежды может быть оценена, допуская, что зимний период промерзания – это сухой период (вода находится в твердом состоянии), а весна и лето – влажный период (вода – разморожена, а земляное полотно, в среднем, находится в наислабейшем состоянии).

Прочность дорожной одежды во "влажный период" может быть оценена при помощи измерений УДН в период с Июля по Сентябрь. Средневзвешенная репрезентативная прочность SNP может быть рассчитана по формуле 3.10 (стр. С2-14, Том 4), используя фиксированное отношение прочности влажного сезона к прочности сухого. Измерения прогибов УДН, проведенные в начале Мая 2001 года на участке дороги М-8 и снова в Июле показали, что отношение SNP Мая к SNP Июля равно 1.54. Хотя измерения прогибов в зимний период не производилось (из-за ограничения на использование оборудования при низких температурах), очевидно, что прочность зимних месяцев будет даже выше, чем в начале Мая. До получения более точной информации, можно предположить, что отношение зимней прочности к летней равно 2.0.

HDM не позволяет напрямую вводить значения прочности дорожной одежды влажного периода SNP_w или "f" – отношение SNP_w / SNP_d . Программа только требует значения SNP_d и K_f – коэффициента калибровки отношения SNP влажного сезона к SNP сухого. Чтобы получить значение $f = 0.5$ (как предлагалось ранее), необходимо использовать значение $K_f = 0.527$ в формуле 3.5 (стр. С2-12, Том 4), коэффициента водоотвода $DF_a = 1.0$ (смотри ниже) и всех остальных констант равными значениям по умолчанию, указанным в Таблице 3.3.

Будем полагать, что продолжительность зимнего периода – с Ноября по Апрель (6 месяцев), т.е. продолжительность сухого периода, как доли года, будет $d = 0.5$. Данный подход принимает во внимание ежегодные сезонные вариации прочности, хотя и не учитывает никакой значительной разницы между транспортными нагрузками в летний и зимний периоды.

2.5 Корректировка Разницы в Транспортных Нагрузках между Зимним и Летним Периодами

Размеры изменения интенсивности в течение сезонов, среднесуточные интенсивности некоторых классов транспортных средств ниже в зимний период, чем летом, в то время как у других – выше.

Также достаточно вероятно, что количество ESA на транспортное средство изменяется от лета к зиме. HDM полагает постоянную суточную интенсивность и ESA/автомобиль на всем протяжении года. Невозможно ввести напрямую два различных уровня интенсивности движения транспорта в один год. Однако, можно сделать корректировку вышеописанного коэффициента "d" таким образом, что модель будет правильно симулировать влияние сезонных изменений интенсивности. Значение откорректированного коэффициента "d" определяется формулой:

$$d_a = d \times (ESA_w) / \{ [d \times ESA_w] + [(1-d) \times ESA_s] \}$$

где ESA_w – общее суточное количество ESA в зимний период
 ESA_s – общее суточное количество ESA в летний период

В общем, вероятно, что прочность дорожной одежды будет наименьшей в несколько недель, следующих за весенней распутицей. Метод не принимает данный факт во внимание. Однако, если транспортные нагрузки снижаются из-за ограничения осевых нагрузок в это время, возможно, что степень разрушения дорог не будет сильно отличаться от летнего периода.

2.6 Коэффициент Водоотвода DF и Коэф. Калибровки Kddf

Т.к. большинство дорог сооружены на насыпях, то дополнительного дренажа не требуется и состояние водоотвода можно принять как отличное. Т.е. $DF = K_{ddf} = 1.0$. Это в меньшей степени подходит для некоторых Территориальных дорог, где водоотвод менее хорош. Коэффициенты могут корректироваться по отдельным участкам дорог.

2.7 Ограничения 1^{го} Уровня Калибровки

Очевидно, что вышеописанные процедуры приводят к ряду упрощающих предположений, которые могут не совсем правильно симулировать разрушение или обеспечивать очень достоверную оценку разрушения. Поэтому, важно провести всесторонние полевые калибровки разрушений и откорректировать коэффициенты появления и развития различных важных видов разрушений (в основном, ровности) таким образом, чтобы модель точно прогнозировала реальное разрушение дороги.

2.8 Влияние Качества Строительства

HDM-4 может принимать во расчеты влияние качества строительства на скорость разрушения. Индикаторы дефектов – следующие:

- CDS – для АБ покрытий
- CDP – для дефектов строительства основания
- COMP – относительный индекс уплотнения для всей дорожной одежды и земляного полотна на глубину до одного метра. Будем полагать, что если был проведен контроль качества конструкции дорожной одежды, то ее некоторые слои полностью соответствуют техническим требованиям. Это означает, что значение COMP будет 0.95. Если аналитик полагает, что дорожная одежда полностью соответствуют техническим требованиям, то можно установить значение 100%, а если нет, то значение необходимо подобрать в пределе от 85 до 95%.

Битум, используемый в Архангельске становится хрупким при низких температурах и подверженным температурному растрескиванию. В общем, возможно желательно установить $CDS = 0.5$. Конечно, аналитик может выбрать любое значение вплоть до 1.0, если, например, используется битум с высоким значением пенетрации и с низким пределом текучести при низких температурах в правильных пропорциях в смеси. Значения выше 1.0 – не желательны.

Коэффициент дефектов строительства CDB – непрерывная переменная от 0 до 1.5 и ее значение представляет сумму различных типов дефектов при строительстве основания. Т.к. в качестве заполнителя в основании обычно используется щебень смешанный с песком, смеси возможно будут профилированы с промежутками. Значение 1.0 предполагается, но выбор остается за аналитиком.

Что касается уплотнения слоев дорожной одежды, предполагается, что контроль качества проводится для всей конструкции дорожной одежды, и некоторые ее слои полностью соответствуют техническим требованиям. Это означает, что значение COMP будет 0.95. Если аналитик полагает, что дорожная одежда полностью соответствуют техническим требованиям, то можно установить значение 100%, а если нет, то значение необходимо подобрать в пределах от 85 до 95%.

2.9 Сводка Коэффициентов Калибровки, Используемых в Модели Разрушения

Следующая таблица предоставляет сводную таблицу коэффициентов калибровки, рассчитанных в пересмотренном Уровне 1 калибровки.

| Модель Разрушения | Коэффициент калибровки | Присвоенное значение |
|---|------------------------|----------------------|
| Отношение SNP Влажного/Сухого сезона | f | 0.5 |
| Козф. калибровки SNP Влажного/Сухого сезона | K_f | 0.527 |
| Продолжительность Сухого Сезона, как доля года | d | 0.5 |
| Коэффициенты Водоотвода | DF и K_{ddf} | 1.0 |
| Все Структурные Трещины – Появление | K_{cia} | 1.0 |
| Широкие Структурные Трещины – Появление | K_{riv} | 1.0 |
| Все Структурные Трещины – Развитие | K_{cra} | 1.0 |
| Широкие Структурные Трещины – Развитие | K_{cpw} | 1.0 |
| Поперечные Температурные Трещины – Появление | K_{cit} | 0.5 |
| Поперечные Температурные Трещины – Развитие | K_{cpt} | 2.0 |
| Колейность – Начальное Уплотнение | K_{rid} | 1.0 |
| Колейность – Структурная Деформация | K_{rst} | 1.0 |
| Колейность – Платическая Деформация | K_{rpd} | 0 |
| Колейность – Износ Покрытия | K_{rsw} | 1.1 |
| Выкрашивание – Появление | K_{vi} | 1.0 |
| Выкрашивание – Развитие | K_{vp} | 1.0 |
| Выбоины – Появление | K_{pi} | 1.0 |
| Выбоины – Развитие | K_{pp} | 1.0 |
| Разрушение Кромки Покрытия | K_{eb} | 1.0 |
| Ровность – Климатический Коэффициент | K_{gm} | 1.0 |
| Ровность – SNPК | K_{snpk} | 1.0 |
| Ровность – Развитие | K_{gp} | 1.0 |
| Шероховатость (Глубина Текстуры) – Развитие | K_{td} | 1.0 |
| Коэффициент Сцепления | K_{sfc} | 1.0 |
| Коэффициент Сцепления – Влияние Скорости | K_{stcs} | 1.0 |
| Индикатор дефектов строительства АБ покрытий | CDS | Полагаем 0.5 |
| Индикатор дефектов строительства основания | CDB | Полагаем 1.0 |
| Относительное уплотнение слоев ДО & зем.полотна | COMP | Полагаем 95% |

Глава 3 Замечания по Локализации и Адаптации HDM-4 для Архангельска и Регионов с Протяженным Периодом Промерзания Грунтов

3.1 Введение

Техническое задание требует, чтобы HDM-4 была использована и внедрена в Архангельскавтодоре для будущего применения в управлении дорожной сетью. Авторы Технического задания, возможно, не рассматривали очень детально можно или нет использовать HDM-4 для моделирования видов разрушения дорожных одежд или расчета годовых эксплуатационных затрат транспортных средств для сети дорог, на которую воздействует снег и заморозки в течении длительного периода.

Данная глава выявляет проблему, которая может привести к искажению в любом анализе HDM-4, примененном на дорогах Архангельской области или другого региона со сходными климатическими условиями. Для правильного выполнения анализа потребуется модификация программного обеспечения. Это выходит за рамки нынешней работы, но опыт работы Консультантов и их комментарии могут быть полезными для людей, ответственных за разработку следующей версии HDM-4, а также тех, кто будет использовать HDM-4 в Автодоре (как будущую версию, так и нынешнюю). В данной главе будут разобраны выявленные проблемы и показаны как их можно избежать, а также как можно адаптировать данные, вводимые в HDM-4, без редактирования программного кода, т.е. разрешить выполнение правильного экономического анализа.

Пример одной из наибольших трудностей – местные дороги покрыты снегом / льдом / снеговой кашей большую часть зимних месяцев. Маловероятно, что ровность покрытия дороги в течение данного времени будет такой же, как ровность измеренная на чистом покрытии (например, летом). Как же тогда высчитывать годовые эксплуатационные затраты транспортных средств (VOC)?

Очевидно, что разрушения на покрытиях АБ дорог, вызванные морозами, и деформации морозного пучения могут быть более опасны для некоторых дорог (особенно с низкой интенсивностью движения), чем структурные разрушения от транспортных нагрузок. Величина морозного пучения зависит от глубины промерзания и толщины непучинистых слоев дорожной одежды. Чем выше толщина дорожной одежды, тем, в общем, она более устойчива к морозному пучению. В HDM-4, коэффициент калибровки ровности по условиям окружающей среды K_{gm} рассматривается как постоянная величина для каждой климатической зоны, но не принимает во внимание тот факт, что окружающая среда может оказывать более явное разрушающее воздействие на слабые дорожные одежды, чем на более прочные. Как тогда использовать HDM-4 для прогнозирования уровней разрушения дорожных одежд? Более детальное обсуждение влияния мороза и морозного пучения находится в Приложении 1 к данному отчету.

3.2 Имитация Состояния Дорог Программой HDM-4

Модель HDM-4 выполняет имитацию физических и экономических условий на ежегодно увеличивающейся основе в течение периода анализа, для ряда

альтернативных вариантов и сценариев стратегий, задаваемых пользователем. Далее рассматривается под-модели, которые будут учитывать все условия северных стран.

3.2.1 Под-модель Разрушения АБ Дорожных Одежд

Модель имитирует разрушение от:

- воздействия транспортных нагрузок, вызывающих появление трещин, колеи, выпотевание битума, выкрашивание каменного материала и снижение ровности дорожной одежды заданной конструкции и прочности
- воздействия окружающей среды (погода)

Для каждого года анализа, HDM устанавливает прирастающее изменение, которое имеет место в течение данного года (период не может быть короче одного года). Также, для дорожной одежды заданного начального состояния, программа прогнозирует скорости движения транспорта и затраты пользователей дорог, включая эксплуатационные затраты транспортных средств (влияние ДТП, выбросов, шума и энергетический баланс также могут быть приняты во внимание). Эти прогнозы делаются по формулам, которые предполагают, что состояние дорог не может резко измениться в течение любого года.

Северные страны подвержены очень холодным зимам, сопровождаемым длительными морозами и значительными снегопадами, которые могут быть убраны с дороги при зимнем содержании, а могут и не убираться. Поэтому, очевидно, что состояние дорог не может оставаться постоянным.

Для дорог, которые **содержатся чистыми от снега и льда** при помощи постоянного и тщательного зимнего содержания, условия эксплуатации могут быть приняты как достаточно постоянные. Последствия могут быть следующие:

- увеличенные затраты на текущее содержание дорог из-за потребностей в зимнем содержании;
- увеличение количества ДТП (и возможно тяжести их последствий);
- промерзшее состояние дорожной одежды временно делает ее более прочной и жесткой, что позволяет пропускать транспорт с минимальным разрушающим эффектом;
- физическому состоянию дороги может быть нанесен ущерб большой глубиной промерзания, вызывающей морозное пучение зимой и ослабление дорожной одежды и земляного полотна следующей весной;
- зимние условия также снижают скорости движения транспорта (из-за более низкого коэффициента сцепления, меньшей видимости, ровности и сопротивления заносу);
- дополнительный ущерб покрытию дороги наносится шипованными шинами транспортных средств.

В Архангельске вышеприведенные условия могут быть применены для Федеральных и Территориальных дорог, которые имеют твердое покрытие. Политика зимнего содержания состоит в том, чтобы содержать все дороги с твердым покрытием чистыми от снега, причем Федеральные дороги имеют особый приоритет. При сильном снегопаде могут иметь место задержки в очистке менее важных дорог. В течение коротких периодов, когда на дороге присутствует снег, снеговая каша или лед, ее

ровность будет отличаться от ровности очищенной дороги, а сопротивление качению будет выше. Однако, HDM не принимает данные факторы во внимание.

На местных дорогах, где **снег не убирается** с покрытия, последствия могут быть следующие:

- повышенные затраты на содержание, по сравнению с летом;
- рыхлый или укатанный снег или лед на покрытии, в зависимости от стратегии содержания и распределения времени;
- изменение ровности покрытия и сопротивления качению из-за наличия снега и т.п.;
- зимние условия могут вызвать увеличение или понижение скоростей движения транспорта, в зависимости от условия вождения, созданных зимним содержанием;
- возможное увеличение количества ДТП;
- промерзание дорожной одежды, хотя и меньшее, чем если бы покрытие было очищено от снега и посыпано солью;
- временное увеличение прочности дорожной одежды из-за промерзшего состояния.

Это означает, что необходимо вносить изменения в переменные, влияющие на процесс имитации в HDM-4. На эксплуатационные затраты транспортных средств будут влиять измененная ровность и сопротивление качению, на затраты пользователей дорог – изменения в скоростях движения транспорта и ДТП. Все эти затраты тяжело оценить, т.к. они зависят от реально поддерживаемого стандарта содержания.

HDM предполагает, что ровность дороги остается постоянной в течение любого года анализа. Поэтому, даже если изменения в затратах можно будет оценить, то принять в расчет сезонные изменения состояния дорог в HDM невозможно.

3.3 Затраты Различного Текущего Содержания, в т.ч. Зимнего

Зимнее содержание вместе со всеми другими работами по текущему содержанию, упомянутые в Технической Документации к HDM-4 (стр. D2-17), должно быть назначено один раз в год и задано в показателях затрат на км в год для рассматриваемой категории дорог. Влияние зимнего содержания или его отсутствия не прогнозируется программой HDM и должно каким-либо образом быть оценено аналитиком, как будет рассмотрено ниже.

3.4 Сезонные Изменения Ровности Покрытия из-за Наличия Снежно-Ледяных Образований на Дорогах

Средняя ровность в течение зимних месяцев сильно зависит от стандарта зимнего содержания. На дорогах, которые содержатся очищенными от снега и льда, ровность может быть принята приблизительно равной ровности чистого покрытия, хотя необходимо признать, что может наблюдаться небольшое временное понижение ровности из-за случайной неспособности поддерживать дорогу полностью очищенной и из-за эффекта морозного пучения.

На всех других дорогах (с АБ, ЦБ, плитным покрытием или без твердого покрытия), где стратегия содержания **не предусматривает** очистку от снега, аналитик должен

сделать предположение о возможном воздействии содержания на среднюю ровность покрытия. Если ЦБ плитное покрытие содержится "в накате", то его ровность значительно улучшается, тогда как на дороге с твердым покрытием в хорошем состоянии наличие снега/льда, вероятно, понизит ровность. Необходимо упомянуть, что Консультанты рекомендовали содержать все дороги, исключая наиболее важные и дороги с большой интенсивностью, оставляя укатанный снег на покрытии ("в накате"). Данная рекомендация несколько отличается от норм¹, которые требуют полной очистки всех дорог с АБ покрытием.

В HDM только одно значение ровности может быть введено для заданого участка дороги, которое, обычно, должно представлять первоначальную ровность на начало анализируемого периода. HDM прогнозирует снижение ровности после каждого года, используя под-модели разрушения, постепенно добавляя ежегодное понижение ровности согласно увеличению возраста дорожной одежды.

3.5 Предлагаемая Методика Анализа Дорог, Остающихся Покрытыми Снегом в Зимний Период

Уплотненный снег на покрытии в зимний период – по сути это другой тип покрытия, чем весь остальной год ("обнаженный" период), т.е. другая дорога, как это рассматривает HDM. Поэтому, две "дороги" должны быть разделены по отдельности для надлежащего анализа. Это будет абсолютным отступлением от обычного использования HDM или существующих руководств.

На первый взгляд HDM не может иметь дело с дорогами покрытыми снегом. У него нет, что неудивительно, механизма прогнозирования их ровности. Они – сродни гравийным дорогам – их можно профилировать, как гравийные дороги, но материал покрытия таких дорог не выглядит практичным и целесообразным. Можно только очень примерно имитировать поведение дорог покрытых уплотненным снегом, и может действительно стоит попытаться сделать это. Даже если это не удастся сделать одному, другой сможет чему-то полезному из этого научиться, но т.к., к сожалению, еще не существует механизма введения таких результатов в HDM, другие методы оценки/прогнозирования ровности безусловно будут предпочтительней.

При данных обстоятельствах, когда HDM не может иметь дело с двумя различными покрытиями на одном участке, необходимо отрезать зимний период от остального года – "обнаженного" периода. *Это можно сделать, т.к. затраты и выгоды от содержания чистых от снега дорог не имеют ничего общего с зимними дорогами, с которыми нужно иметь дело достаточно отдельно.*

3.5.1 "Снежный период"

Необходимо установить период, когда на покрытии дороги присутствует снег, т.е. период, который нужно использовать как период для отдельной дороги. Это вызовет некоторые проблемы с промежуточными состояниями, но это не будет являться непреодолимой трудностью. Период снежного наката изменяется год от года. Может быть достаточно взять период в несколько месяцев, когда средняя температура – отрицательна. Регистрация температуры за последние 21 год показала, что в Ноябре средняя температура равна -5°C , в Апреле – 0°C . Можно предположить, что зимний период в Архангельске длится 5 месяцев (середина Ноября – середина Апреля).

¹ Временное руководство по оценке уровня содержания дорог, Москва, 1997

HDM-4 имеет один параметр, определяющий долю времени года, когда движение транспорта осуществляется по дорогам, покрытым снегом (Конфигурация – Климатические Зоны). Этот параметр необходимо установить равным нулю, т.к. он имеет очень незначительную важность в модели (параметр в модели расчета скоростей движения транспорта, влияющий на сопротивление качению). [Попутно, можно отметить, что авторы модели, очевидно, не слишком глубоко продумали данный момент, т.к. значение по умолчанию данного коэффициента для “умеренно-холодной” Климатической Зоны = 20%, что – слишком много и вызывает вопросы в отношении по какому же покрытию осуществляется движение в действительности, относительно ровности покрытия, или чего-то другого.]

Необходимо будет приблизительно оценить состав и интенсивность движения транспорта в зимний период, а также характеристики, который нужно использовать в модели содержания/разрушения дорог в период со снежным накатом (GVW – брутто-масса транспортного средства или ESA – эквивалент стандартных осей). Это будет электронная табличная модель, нацеленная на прогнозирование ровности в присутствии транспортного движения и проведении работ по содержанию (профилирование, возможно, уплотнение катками и т.п.). Необходимо подчеркнуть, что данная модель будет совершенно отдельной структурой, также как и другие модели, которые потребуются создать, если HDM не будет давать удовлетворительных результатов (например, модель для неармированного ЦБ покрытия со стандартным размером плиты, армированное ЦБ покрытие с небольшим размером плиты). Параметр ESA (эквивалент стандартных осей транспортного средства) должен быть оценен относительно транспортного движения в “обнаженный период” (а также, отдельно для зимнего периода, если будет принято решение использовать его для прогнозирования ровности в данный период).

Разумно полагать, что транспортное движение не окажет воздействия на покрытие дороги под снежным покровом, не только из-за самого снежного наста, но из-за (промерзшей) жесткости дорожной одежды. Тем не менее, необходимо будет спрогнозировать изменения в дорожной одежде, вызванные климатическими факторами, это нужно не для модели снежного периода, а для модели “обнаженного периода” (т.е. в HDM). Значительный ущерб покрытию дороги наносят наиболее низкие температуры, цикличность промерзания и оттаивания, а также напряжения, появляющиеся в дорожной одежде из-за морозного пучения. Более подробное описание влияния данных факторов, а также их анализ приведен в Приложении 1. Разрушения становятся заметными только, когда весенняя оттепель удаляет весь снег и воду с поверхности дороги. Причина разрушений – сугубо климатическая, но воздействие транспортных нагрузок на покрытие усугубляет разрушения (ущерб, причиняемый транспортным движением весной, по-видимому, имеет мало общего с суммарной прочностью дорожной одежды – нижняя часть покрытия остается промерзшей). Данный ущерб, возникающий в “обнаженный период”, может быть частично принят в расчеты в HDM при помощи Климатического Фактора K_{gm} и частично через коэффициенты калибровки появления и развития трещин, значения которых должны быть определены полевыми испытаниями для того, чтобы быть уверенными, что изменение ровности будет правильно оценено в программе HDM. Очень важно проводить различия между разрушениями, вызванными окружающей средой, и разрушениями от транспортных нагрузок (HDM не выглядит способным моделировать развитие трещин, появляющихся частично из-за климатических условия и частично из-за движения транспорта. Это означает, что скорее всего будет очень сложно оценить положительное воздействие установки ограничений на осевые нагрузки в весенний период).

3.5.2 “Обнаженный Период”

Теперь значения “AADT” (по типам транспортных средств), вводимые в HDM, - это не реальные среднегодовые суточные интенсивности движения (ССИД), а общая интенсивность в течение “обнаженного периода”, деленая на 365. Это необходимо, т.к. HDM полагает, что любой период имеет продолжительность кратную 365 дням. Если же ввести реальное значение AADT, это вызовет завышение значений VOC – эксплуатационных затрат транспортных средств (и таким образом, выгод), а также переоценку разрушения покрытия, вызванное транспортными нагрузками в течение “обнаженного периода”.

Ранее упоминалось, что необходимо производить прогноз разрушения покрытия в течение снежного периода. Это можно имитировать в HDM при помощи настройки климатических параметров. Тем не менее, необходимо признать, что HDM-4 совсем не принимает в расчет морозное пучение (под-модели для холодных климатических условий, о которых так много говорилось, так и не были созданы, несмотря на попытки специалистов из Швеции сделать это). Поэтому, при нашем изучении предпочтительней будет оценить ущерб от морозного пучения (дополнительное ухудшение ровности) отдельно для каждой дороги (групп дорог). Это, безусловно, необходимо сделать при анализе HDM “обнаженного периода”, т.к. именно транспорт данного периода будет испытывать на себе вознействие ухудшенной ровности. В Приложении 1 сделана первая попытка создать уравнения, которые экспериментально могут быть использованы для расчета значения Климатического Фактора K_{gm} , принимая во внимание эффект морозного пучения.

В программе HDM-III в уравнениях разрушения дорожной одежды по сути не использовались значения суточной интенсивности движения, все выражалось в показателях суммарной интенсивности (ESA, оси, тяжелые транспортные средства). Но в HDM-4, для дорог с твердым покрытием, AADT используется в двух аспектах: попадание колес в выбоины (интенсивность движения транспорта по отношению к ширине проезжей части) и разрушение кромки покрытия (аналогично, хотя и по отношению к использованию обочин). В этих двух случаях, что имеет значение, так это – суточная интенсивность, которая теперь эффективно была снижена.

В случае выбоин, предполагается линейная зависимость между интенсивностью движения и попаданием в выбоину, т.е. проблема на самом деле мнимая. Правильный ответ уже найден, также как и с ESA и подобными.

В случае разрушения кромки, использование обочин влечет за собой учет площади, используемой суточным транспортным движением. В этом случае, можно использовать коэффициент калибровки разрушения кромки покрытия. Однако, нельзя забывать делать поправку на исходное уменьшенное количество дней в “году”. На практике, разрушение кромки на тестовых участках дороги, очевидно, покажет их низкую важность. Разрушение кромки не выглядит как значительная проблема. В любом случае, коэффициент калибровки может быть изменен для принятия во внимание того факта, что транспорт будет разрушать кромки покрытия только в “обнаженный период”. Например, период со снежным накатом составляет 135 дней/год и ADT (среднесуточная интенсивность движения) в зимний период равна соответствующей интенсивности в летний период, тогда необходимо задать коэффициент (K_{eb}) равный $365/(365-135) = 1.59$, вместо 1.0 по умолчанию.

Расчет VOC (эксплуатационные затраты транспортных средств) также будет находиться под влиянием (из соображений перегруженности дорог). Хотя, вначале необходимо заметить, что все выбранные дороги в Архангельской области имеют низкую

интенсивность (маловероятно, что на них будут образовываться дорожные “пробки”), а там, где интенсивность – высокая, политика содержания предусматривает полную очистку покрытия от снега.

Также необходимо отметить, что HDM-4 (как и HDM-III) не знает что такое уширение одно-полосной АБ дороги. Т.е. вероятно, что занижение суточной интенсивности не будет существенным фактором для проблемы перегруженности дорог. Если же будут такие случаи, когда данное занижение будет существенным, тогда необходимо создавать специальные «Схемы Транспортных Поток», в которых вносятся изменения в распределение интенсивности в течение дня таким образом, чтобы поддерживать реальное (фактическое) воздействие на дорогу.

3.6 Дороги, Покрытие Которых Содержится Чистым от Снега

В результате однодневного обследования дорог Приморского района Консультантами в Ноябре 2001 года было выявлено, что большинство дорог с АБ покрытием были очищены от снега, который был сдвинут в валики на стороне. На покрытии присутствовал небольшой остаток снеговой каши и льда, но воздействие соли и движения транспорта на более важных дорогах приводило к их более чистому состоянию, чем состояние менее важных дорог. Скорее всего, приоритет при очистке отдается дорогам более высокой категории и снег быстро убирается с покрытия, и кажется, что даже очень быстро, чтобы игнорировать воздействие снега на покрытие дороги. Поэтому, такие дороги должны проходить через процедуру обычного анализа HDM.

Хотя существует проблема обращения с зимним периодом относительно SNP. Если присутствует четкий период весенней распутицы, тогда, по логике, необходимо иметь в анализе HDM три сезона: распутица (весна), лето/осень и зима. Но т.к. HDM работает только с двумя сезонами, наилучшим выходом будет назначить зимний период «сухим» сезоном, а остальной год – «влажным» (вводя составное значение SNP «влажного» сезона и подгоняя коэффициент K_f (смотри ниже) по необходимости).

На одном из участков дороги М-8 в различные месяцы 2000 года (с Апреля по Ноябрь) проводились испытания покрытия при помощи УДН, с целью выявить изменения жесткости покрытия в течение года. Средние значения прочности приведены на Рисунке 1. График показывает, что прочность покрытия, без учета поправки на температуру покрытия, имеет самое низкое значение в период Июль/Август. Очевидно, что даже в период весенней распутицы жесткость покрытия выше, чем летом. Объясняется это, возможно, тем, что весной, несмотря на то, что покрытие оттаивает, основание дорожной одежды все еще остается в промерзшем состоянии. Однако, это не означает, что транспортное движение не оказывает значительного ущерба покрытию весной; но это означает, что причиняемый ущерб, очевидно, не имеет отношения к измеренной прочности покрытия. Формулы модели разрушения в HDM связаны с отношением разрушения к коэффициенту ESA и суммарной прочности дорожной одежды SNP, и не имитируют очевидный феномен ущерба от весенней распутицы. Будет важно, провести еще одну серию тестов УДН на том же участке дороги М-8, чтобы подтвердить полученные результаты.

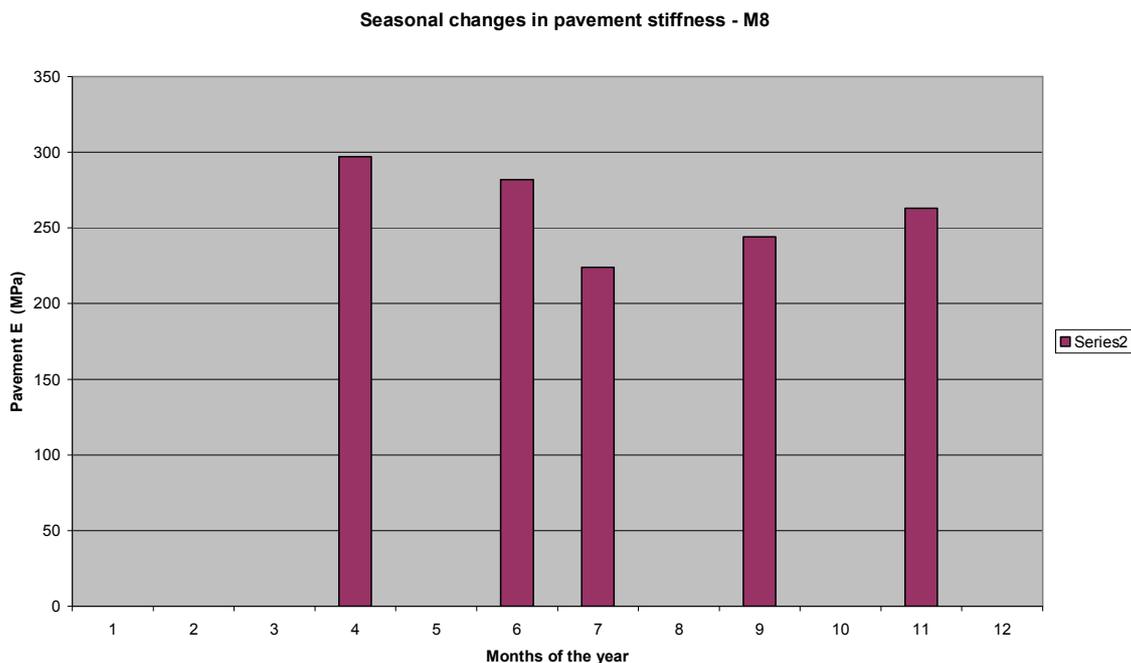


Рисунок 1. Сезонные Изменения Жесткости Дорожной Одежды на М-8

Несмотря на то, что логичным выглядит представлять весеннюю распутицу как период, отдельный от периодов лето/осень и зима, это пока – непрактичное решение. HDM воспринимает только два сезона (сухой и влажный). Т.к. прочность дорожной одежды в весеннюю распутицу – не ниже, чем летом, лучшим компромисом будет использовать период весна/лето/осень как влажный сезон со значением средневзвешенной жесткости этих периодов, а зимний период – как сухой период. К сожалению, таким образом мы игнорируем тот факт, что ограничение осевых нагрузок применяются примерно на 45 суток в весенний период и это, конечно же, должно снизить ущерб, причиняемый покрытию в данный период. Для определения влияния ограничения осевых нагрузок на степень разрушения дорожной одежды требуются дополнительные исследования.

В главе, посвященной калибровке HDM, предлагается допустить, что прочность дорожной одежды в зимний период в два раза превышает прочность в летний период, значение которой должно быть определено при помощи испытаний УДН в Июле или Августе.

3.7 Сухой и Влажный Сезоны (Периоды) в HDM-4

HDM-4 работает с двумя сезонами: влажным и сухим. В случае "обнаженного" периода для дорог, снег с которых зимой не убирается (период, для которого выполняется анализ HDM), влажный сезон, теоретически, означает период весенней распутицы и, соответственно, остальной год – сухой сезон (хотя понятие «год» не включает снежный период). [Эти данные заносятся в HDM-4 в меню Конфигурация – Климатические Зоны – "продолжительностьсухого сезона ... как часть года"]. Для "обнаженного" периода значение «год» – это "365 дней минус дни, когда снег находится на покрытии". Например, если снежный период составляет 135 дней, а влажный период (распутица) – 45 дней, тогда «продолжительность сухого сезона» составит 0,80. Очень важно

запомнить, что в данном случае знаменатель равен не 365, а периоду анализа, т.е. 230 (365-135 дней). Тогда, $(230-45)/230 = 0,80$.

С практической точки зрения, должно быть достаточно использовать прочность, измеренную летом, как прочность с весны до осени, как это обсуждалось ранее.

3.7.1 Приблизительная Оценка Продолжительности Сухого Сезона

“Продолжительность сухого сезона” является важным значением для HDM-4 при расчете SNP – структурного числа дорожной одежды [и больше ни для чего другого]. HDM-III оставлял за пользователем обязанность самому искать средневзвешенные значения SNC для сухого и влажного сезонов, чтобы позднее ввести окончательные значения в модель. HDM-4 рассчитывает их самостоятельно. Необходимо задать SNP сухого сезона (SNP_d) и SNP влажного сезона (SNP_w) – остальное программа сделает за пользователя. Проблема в том, что метод прогноза предполагает, что интенсивность движения транспорта – в данном случае суточного ESA – существует день за днем в течение года.

К счастью, решение проблемы – не слишком сложное. Нужно рассматривать «продолжительность сухого сезона» не как простой период времени, а как эффективный период времени. HDM полагает, что суточное значение ESA влажного сезона равно суточному значению ESA сухого; поэтому, например, если суточной ESA влажного сезона равен половине суточного ESA сухого, тогда значение «продолжительности сухого сезона» необходимо корректировать.

Рассмотрим случай, когда ESA/сутки в ESA_d сухого сезона отличается от ESA в ESA_w влажного сезона. Если t_d – это фактическая продолжительность сухого сезона (как доля года), то средняя величина ESA в день в течение года равна:

$$ESA_{av} = \{t_d \times ESA_d\} + \{(1-t_d) \times ESA_w\}$$

HDM полагает, что ESA_{av} применяется ежедневно в течение одного года анализа.

Суммарный ESA в течение сухого сезона равен:

$$365 \times t_d \times ESA_d$$

Эффективное время “d” для данного суммарного ESA сухого сезона, чтобы пройти по среднему отношению ESA_{av} /сутки будет равно:

$$t_d \times ESA_d / ESA_{av}$$

Точно также, эффективное время “w” для данного суммарного ESA влажного сезона, чтобы пройти по среднему отношению ESA_{av} /сутки будет равно:

$$t_w \times ESA_w / ESA_{av}$$

Например, если ESA в зимний период составляет 4000 осей в сутки, ESA в летний период – 2000 осей/сутки и продолжительность зимнего периода - 0.4 года, то получаем следующие значения эффективного времени “d” сухого периода и среднего ESA/сутки:

$$ESA_{av} = \{0.4 \times 4000\} + \{0.6 \times 2000\} = 2800 \text{ осей/сутки}$$

$$d = 0.4 \times 4000 / 2800 = 0.57 \text{ года}$$

Значение “d” важно, т.к. оно используется программой для вычисления среднегодового откорректированного структурного числа (смотри формулу 3.9, стр. С2-14, Том 4).

3.7.2 Расчет Соотношений Сезонных S_{np} и Корректированного Структурного Числа

Что касается расчета среднегодового откорректированного структурного числа S_{NP} , используя соотношение сезонный S_{NP} сухого и влажного сезонов (f), то достаточно очевидно, что HDM-4 – негибкий инструмент и достаточно туманный. Имеется возможность ввести в модель только один из них (S_{NP_d}) вместе со значением K_f , коэффициент калибровки S_{NP} влажного/сухого сезона и формула используются для расчета что можно, и даже необходимо, было ввести. HDM делает невозможным ввод двух значений S_{NP} . Вместо этого, программа использует формулу 3.5 (стр. С2-12) для расчета соотношения (f). Эта формула принимает во внимание среднемесячное количество осадков, условия водоотвода и площадь существующих трещин. Можно задать коэффициент калибровки равный $K_f = 1$ и использовать формулу для расчета значения (f). В случае Архангельска, прочность покрытия фактически была измерена во влажном сезоне и отношение (f) принято равным 2.0. Для того, чтобы получить его, необходимо прогрессивно корректировать значение K_f от 1.0 до тех пор, пока формула не выдаст требуемое значение 2.0.

3.7.3 Температурная Корректировка Прогибов, Измеренных УДН

HDM требует, чтобы прогиб на УДН, как мера прочности дорожной одежды, должен быть конвертирован в эквивалент прогиба Балкв Бенкельмана при температуре 30° С.

Если необходимо сравнить значения прогибов, измеренных в различное время и при различных температурных условиях, то имеет смысл откорректировать все значения по одной стандартной температуре. Однако, HDM пытается имитировать разрушение дорожной одежды при условиях, которые реально преобладают.

В тропических странах, где температура покрытия может варьироваться от +15° до 60°, приведение значений к значениям при стандартной температуре 30° может считаться обоснованным. Однако, в регионах, где средняя температура воздуха примерно от –25° до + 25°С, нереально приводить значения прогибов к температуре 30°, т.к. там может быть только несколько дней в году, когда температура покрытия достигает 30°. В случае, когда прогиб используется как единица измерения прочности покрытия, более логичным выглядит использовать измерения как они есть и не корректировать их совсем. Если же будет принято необходимым провести какую-либо корректировку, то приводить значения надо к средней температуре покрытия в месяц проведения измерений, вычисленной на основании многолетних данных.

Консультанты полагают, что в случае условий Архангельска, как минимум неуместно приводить значения прогибов к прогибам при температуре 30°. Наиболее логичной процедурой в целях проведения анализа HDM будет измерять прогиб УДН только в Июле-Августе и не делать никаких температурных коррекций, или, что еще лучше, провести специальные исследования температуры покрытия и выявить коэффициенты корректировки значений прогибов к прогибам при средней температуре покрытия в Июле-Августе. В любом случае, после проведения измерений УДН также важно определить температуру покрытия (при глубине около 35мм), чтобы можно было сделать корректировку в целях сравнения.

3.8 ЦБ Дорожные Одежды

В Приморском районе есть много участков дорог с двухполосной проезжей частью и ЦБ покрытием. Из можно подразделить на два типа дорожной одежды:

- На основных областных дорогах – две полосы движения с обычными ЦБ плитами шириной в одну полосу движения, имеющие штыревое соединение через интервал от 5 до 7 м. Это соответствует типу JPCP в программе HDM.
- На местных дорогах с меньшей интенсивностью – однополосные дороги, сооруженные из плит армированных стальными сетками, шириной один метр, уложенных в три примыкающих ряда, на гравийном основании. Т.к. между соседними плитами не предусматривается перенос нагрузки, имеется тенденция к вертикальному смещению плит относительно друг друга. Это делает такие дороги такими неровными, что скорость транспортных средств местами составляет менее 20 км/ч.

Основная проблема второго типа дорог – просадки, и скорость с которой увеличивается просадка плиты и, таким образом, ухудшается ровность зависят, в основном, от суммарной осевой нагрузки, модуля упругости и толщины нижнего слоя основания, а также от несущей способности (модуля реакции земполотна) земляного полотна и преобладающих условий водоотвода, выраженных коэффициентом водоотвода ASSHTO, и индекса промерзания.

Скалывание швов и растрескивание, которые также являются частыми видимыми дефектами, будут оказывать относительно малое влияние на ровность, по сравнению с просадками.

HDM имеет в наличии модель ровности для JPCP, но вызывает сомнения можно ли ее применять для дорог из сборных ЖБ плит (PRCS). Главным образом, сомнения возникают из-за того, что ровность существующих PRCS дорог находится в пределах от 6 до 10 IRI, тогда как диапазон ровности, описанный в Предварительной редакции Тома 6 Инструкций к HDM-4, – от 1.0 до 3.5 IRI (исключительно высокого стандарта).

Если потребуется применить модель ровности для JPCP (смотри формулу C5.2), тогда потребуется выполнить калибровку разрушений и определить коэффициент, необходимый для прогнозирования развития просадок. Т.к. коэффициент корректировки не предусмотрен в HDM-4, потребуется внешняя подгонка (настройка) скорости развития просадок.

Как уже упоминалось, в зимний период очень вероятно, что содержание ЦБ дорог в накате положительно скажется на ровности дороги. Данные сезонные вариации ровности делают менее вероятным, что HDM может использоваться для моделирования разрушений или Эксплуатационный Затрат TC (VOC).

Поэтому, Консультант предлагает не использовать модель HDM для ЦБ дорог в Автодоре до тех пор, пока она не будет доработана и основательно проверена.

Однако, системы управления дорожными одеждой должны иметь возможность работы со всей дорожной сетью, а не с ее частями. Если HDM-4 – недостоверен по отношению к ЦБ дорогам, то необходимо найти ему альтернативу. HDM на данный момент является наиболее продвинутым инструментом экономического анализа в мире. Единственная часть программы, которая не работает на ЦБ дорогах – это модель разрушения и именно ей необходимо найти ему подходящую альтернативу. ЦБ

дорожные одежды запроектированы на более долгий срок службы, чем АБ, и обычно разрушаются более медленно. Они, в основном, обладают высокой жесткостью и при использовании на дорогах с небольшой интенсивностью, разрушаются в большей степени от действия факторов окружающей среды, таких как увлажнение и высыхание, нагревание и охлаждение, промерзание и т.п., чем от воздействия транспортного движения. Предлагается рассматривать ЦБ плиты как жесткую дорожную одежду, имеющую сезонное SNP скажем 6.0, и запустить HDM анализ, используя все коэффициенты калибровки по умолчанию, кроме коэффициента окружающей среды K_{gm} , который необходимо установить, по крайней мере, в начальной стадии в то же значение, что и для АБ дорожных одежд. Если в намерения дорожной администрации входит замена ЦБ плит на гравийное или АБ покрытие в ближайшие несколько лет, тогда вышеприведенные предположения должны работать достаточно удовлетворительно, потому что ошибка в расчетах изменения ровности будет небольшой.

Подходящими стратегиями обработки могут быть:

- замена сильно треснувших или просевших плит
- покрытие гравийным слоем
- покрытие гравийным слоем с устройством двойной поверхностной обработки
- заливка швов с последующим перекрытием АБ слоем

Т.к. на большей части данных дорог снег не будет убираться в зимний период, анализ должен проходить по сценарию «обнаженного периода» как было описано выше.

3.9 Выводы по Адаптации HDM к Условиям Архангельска

3.9.1 Дороги, Остающиеся Покрытыми Снегом в Зимний Период

3.9.1.1 Период «Обнаженного» Покрытия

- Для анализа стратегий содержания необходимо рассматривать только период «обнаженного» покрытия и игнорировать «снежный» период;
- Для ввода значений AADT, рассчитать для каждого типа ТС общую интенсивность в течение «обнаженного периода» деленную на 365;
- При оценке K_{gm} попытаться принять во внимание возможное морозное пучение, также как климатические условия Архангельска таким образом, чтобы изменение ровности в течение всего года было корректно смоделировано;
- Для модели разрушения кромки задать коэффициент K_{eb} равным $365/(365 - \text{период с накатом}) = 1.59$ вместо 1.0.

3.9.1.2 Период Снежного Наката

Консультанты рекомендуют, чтобы все метсные дороги или дороги с небольшой интенсивностью движения содержались с наличием снежного наката на покрытии, что увеличит ровность покрытия. Если для периода снежного наката требуется анализ (обычно не требуется, кроме как для анализа стратегий зимнего содержания), тогда:

- Для дорог со снежным накатом, потребуются данные полевых испытаний, касающиеся влияния политик зимнего содержания и транспортного движения на ровность;

- Для прогнозирования ровности снежного наката при наличии транспортного движения и вмешательства по содержанию, использовать табличную модель расчетов, а не HDM;
- Прикинуть ESA на одно ТС для дорог со снежным накатом и ADT для зимнего периода отдельно от ADT «обнаженного» периода.

3.9.2 Дороги, Снег с Которых Убирается при Зимнем Содержании

- При анализе HDM дороги, снег с которых убирается, рассматриваются обычным способом, зимний период – это сухой сезон, а остальная часть года – влажный;
- Прочность дорожной одежды в зимний период (SNP_d) равна удвоенной прочности в летний период (SNP_w);
- Значение SNP_w должно быть определено при помощи тестов на прогиб, произведенных в Июле или Августе;
- Значение ESA в сутки для каждого типа ТС должно быть прикинуто отдельно для каждого из двух сезонов. Для Архангельска надо предположить, что зимний (сухой) период имеет продолжительность 5 месяцев (т.е. $t_d = 0.42$).
- Рассчитать эффективный зимний период “d” используя формулу:

$$d = t_d \times ESA_d / ESA_{av.}$$
- Для расчета требуемого значения “f”, прогрессивно корректировать значение K_f в формуле 3.5 (стр. C2-12, Том 4).

3.9.3 Температурная Коррекция Прогибов, Измеренных УДН

При измерении прогиба УДН для анализа HDM, тесты необходимо проводить в Июле или Августе; и или использовать значения без температурной коррекции, или корректировать прогибы по многолетней средней температуре покрытия в Приморском районе для Июля/Августа месяца.

3.9.4 ЦБ Плитные Дорожные Одежды

HDM-4 (жесткие дорожные одежды) не надо использовать. Принять ЦБ покрытие как очень жесткое АБ покрытие, которое разрушается медленнее. Установить ровность на реальное значение, но все дефекты покрытия – на нуль. Установить все коэффициенты калибровки равными единице, кроме K_{gm} . Принять подходящие стратегии обработки.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1 – Перечень Исходных Данных для Модели Влияния на Пользователей Дорог

- Тип 1 – Легковое ТС: Lada 2110
- Тип 2 – Легкий Минифургон : GAZel
- Тип 3 – Легкое Грузовое ТС : ZIL 130
- Тип 4 – Среднее Грузовое ТС: MAZ 500
- Тип 5 – Тяжелое Грузовое ТС : KAMAZ 5511
- Тип 6 – Автопоезд : KAMAZ 5410p
- Тип 7 – Тяжелый Автобус : LAZ 699

Lada 2110
Definition

Base type: Small Car
Category: Motorised

Info: small passenger cars
Life method: Constant life

Basic Characteristics

PCSE: 1.00
No. of wheels: 4
No. of axles: 2
Tyre type: Radial ply
Base no. of recaps: 1.00

Retread cost: 30%
ESALF: 0.00
Annual km: 20,000 km/year
Working hours: 550 hours
Average life: 10 years

Private use: 100%
Passengers: 3
Work related trips: 25%
Operating weight: 1.00 tonnes

Economic Unit Costs

New vehicle: 5,600
Replacement tyre: 11.50
Fuel: 0.18 per litre
Lubricating oil: 1.00 per litre

Maintenance labour: 1.70 per hour
Crew wages: 0
Annual overhead: 0
Annual interest: 12.00%

Passenger work time: 1.00 per hour
Non-work time: 0.50 per hour
Cargo delay time: 0

Forces

Frontal area: 1.80 m²
CD: 0.40
CD Multiplier: 1.10
Driving power: 26 kW

Braking power: 20 kW
Rated engine power: 60 kW
Rolling resistance a0: 37.00
Rolling resistance a1: 0.06

Rolling resistance a2: 0.01
FPLIM: 1.00

Speed

VCURVE_a0: 3.90
VCURVE_a1: 0.34
VROUGH_a0: 1.15
ARVMAX: 203 mm/s
Speed beta: 0.15
Speed sigma: 0.00
COV: 0.15
CGR_a0: 94.90
CGR_a1: 0.85
CGR_a2: 2.80

Bituminous VDES2: 144.36 km/h
Bituminous VDESa0: 0.00×10^{-3}
Bituminous VDESa1: 2.90
Bituminous VDESa2: 0.75
Bituminous CW1: 4.00
Bituminous CW2: 6.80
Unsealed VDES2: 144.36 km/h
Unsealed VDESa0: 0.00×10^{-3}
Unsealed VDESa1: 2.90
Unsealed VDESa2: 0.75

Unsealed CW1: 4.00m
Unsealed CW2: 6.80m
Concrete VDES2: 144.36 km/h
Concrete VDESa0: 0.00×10^{-3}
Concrete VDESa1: 2.90
Concrete VDESa2: 0.75
Concrete CW1: 4.00m
Concrete CW2: 6.80m

Fuel

RPM_a0: 2,280 RPM
RPM_a1: 17.00 RPM/(m/s)
RPM_a2: 0.83 RPM/(m/s)²
RPM_a3: 42.00 m/s
RPM_IDLE: 800 RPM

IDLE_FUEL: 0.25 mL/s
ZETAB: 0.067 mL/kW/s
EHP: 0.25
EDT: 0.90
PACCS_a0: 0.20

PCTPENG: 80.00%
Kpea: 1.00
Oil contam. losses: 0.40 L/1000km
Oil operation losses: 0.0028 L/1000km

Acceleration Effects

Sigma amaxv: 0.75 m/s²
FRIAMAX: 0.20 m/s²

NMTAMAX: 0.40 m/s²
RIAMAX: 0.30 m/s²

AMAXRI: 20.00 m/s²

Tyres

Wheel diameter: 0.60 m
Constant term: 0.02616 dm³

Wear coefficient: 0.00204 dm³/J-m
Congestion effects factor: 0.10

Wearable rubber volume: 1.40 dm³

Maintenance

Parts constant term: 36.94
Parts roughness effect: 6.20
Parts rotation factor: 1.00
Parts translation factor: 0.00

Parts age effect: 0.308
Parts smoothing factor: 0.25
Parts roughness limit: 6.20
Parts congestion factor: 0.10

Labour constant term: 77.14
Labour parts exponent: 0.550
Labour rotation factor: 1.00
Labour translation factor: 0.00

Optimal Life

Regression coeff. 1: -65.8553
Regression coeff. 2: -1.9194

Min residual value: 2.00%
Max residual value: 15.00%

Max roughness threshold: 5.00 IRI

Emissions

Hydrocarbon k0: 1.00
Hydrocarbon k1: 1.00
Carbon monoxide k0: 1.00
Carbon monoxide k1: 1.00

Nitrous oxide k0: 1.00
Nitrous oxide k1: 1.00
Particulates k0: 1.00
Particulates k1: 1.00

Carbon dioxide k0: 1.00
Sulphur dioxide k0: 1.00
Lead k0: 1.00

Energy

Used in production: 80 GJ
% parts made in country: 10.00%

% vehicle made in country: 10.00%
Tyre weight: 3.00 kg

Unladen vehicle weight: 0.80 tonnes

GAZel
Definition

Base type: Light Goods
Category: Motorised

Info: very light truck for carrying goods (4 tyres)
Life method: Optimal life

Basic Characteristics

| | | |
|--------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| PCSE: 1.30 | Retread cost: 30% | Private use: 0% |
| No. of wheels: 6 | ESALF: 0.01 | Passengers: 0 |
| No. of axles: 2 | Annual km: 35,000 km/year | Work related trips: 0% |
| Tyre type: Bias ply | Working hours: 1,200 hours | Operating weight: 2.20 tonnes |
| Base no. of recaps: 1.00 | Average life: 8 years | |

Economic Unit Costs

| | | |
|---------------------------------|-----------------------------------|------------------------|
| New vehicle: 6,400 | Maintenance labour: 2.00 per hour | Passenger work time: 0 |
| Replacement tyre: 11.50 | Crew wages: 1.40 per hour | Non-work time: 0 |
| Fuel: 0.18 per litre | Annual overhead: 0 | Cargo delay time: 0 |
| Lubricating oil: 1.00 per litre | Annual interest: 12.00% | |

Forces

| | | |
|-----------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| Frontal area: 2.80 m ² | Braking power: 20 kW | Rolling resistance a2: 0.01 |
| CD: 0.50 | Rated engine power: 55 kW | FPLIM: 1.00 |
| CD Multiplier: 1.11 | Rolling resistance a0: 37.00 | |
| Driving power: 40 kW | Rolling resistance a1: 0.06 | |

Speed

| | | |
|-------------------|--|--|
| VCURVE_a0: 3.90 | Bituminous VDES2: 144.00 km/h | Unsealed CW1: 4.00m |
| VCURVE_a1: 0.34 | Bituminous VDESa0: 0.00 × 10 ⁻³ | Unsealed CW2: 6.80m |
| VROUGH_a0: 1.15 | Bituminous VDESa1: 2.90 | Concrete VDES2: 144.00 km/h |
| ARVMAX: 200 mm/s | Bituminous VDESa2: 0.75 | Concrete VDESa0: 0.00 × 10 ⁻³ |
| Speed beta: 0.15 | Bituminous CW1: 4.00 | Concrete VDESa1: 2.90 |
| Speed sigma: 0.00 | Bituminous CW2: 6.80 | Concrete VDESa2: 0.75 |
| COV: 0.15 | Unsealed VDES2: 144.00 km/h | Concrete CW1: 4.00m |
| CGR_a0: 94.90 | Unsealed VDESa0: 0.00 × 10 ⁻³ | Concrete CW2: 6.80m |
| CGR_a1: 0.85 | Unsealed VDESa1: 2.90 | |
| CGR_a2: 2.80 | Unsealed VDESa2: 0.75 | |

Fuel

| | | |
|-------------------------------------|----------------------|---------------------------------------|
| RPM_a0: 2,574 RPM | IDLE_FUEL: 0.37 mL/s | PCTPENG: 80.00% |
| RPM_a1: -27.80 RPM/(m/s) | ZETAB: 0.067 mL/kW/s | Kpea: 1.00 |
| RPM_a2: 2.46 RPM/(m/s) ² | EHP: 0.25 | Oil contam. losses: 0.67 L/1000km |
| RPM_a3: 32.00 m/s | EDT: 0.90 | Oil operation losses: 0.0028 L/1000km |
| RPM_IDLE: 800 RPM | PACCS_a0: 0.20 | |

Acceleration Effects

| | | |
|------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Sigma amaxv: 0.75 m/s ² | NMTAMAX: 0.40 m/s ² | AMAXRI: 20.00 m/s ² |
| FRIAMAX: 0.20 m/s ² | RIAMAX: 0.30 m/s ² | |

Tyres

| | | |
|--|--|--|
| Wheel diameter: 0.70 m | Wear coefficient: 0.00187 dm ³ /J-m | Wearable rubber volume: 1.60 dm ³ |
| Constant term: 0.02400 dm ³ | Congestion effects factor: 0.10 | |

Maintenance

| | | |
|--------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| Parts constant term: 36.94 | Parts age effect: 0.308 | Labour constant term: 77.14 |
| Parts roughness effect: 6.20 | Parts smoothing factor: 0.25 | Labour parts exponent: 0.550 |
| Parts rotation factor: 1.00 | Parts roughness limit: 6.20 | Labour rotation factor: 1.00 |
| Parts translation factor: 0.00 | Parts congestion factor: 0.10 | Labour translation factor: 0.00 |

Optimal Life

| | | |
|-------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|
| Regression coeff. 1: -65.8553 | Min residual value: 2.00% | Max roughness threshold: 5.00 IRI |
| Regression coeff. 2: -1.9194 | Max residual value: 15.00% | |

Emissions

| | | |
|--------------------------|------------------------|--------------------------|
| Hydrocarbon k0: 1.00 | Nitrous oxide k0: 1.00 | Carbon dioxide k0: 1.00 |
| Hydrocarbon k1: 1.00 | Nitrous oxide k1: 1.00 | Sulphur dioxide k0: 1.00 |
| Carbon monoxide k0: 1.00 | Particulates k0: 1.00 | Lead k0: 1.00 |
| Carbon monoxide k1: 1.00 | Particulates k1: 1.00 | |

Energy

| | | |
|---------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| Used in production: 160 GJ | % vehicle made in country: 10.00% | Unladen vehicle weight: 0.90 tonnes |
| % parts made in country: 10.00% | Tyre weight: 4.00 kg | |

ZIL 130
Definition

Base type: Medium Truck

Category: Motorised

Info: medium two-axle rigid truck (> 3.5 tonnes)

Life method: Optimal life

Basic Characteristics

PCSE: 1.50

No. of wheels: 6

No. of axles: 2

Tyre type: Bias ply

Base no. of recaps: 1.00

Retread cost: 30%

ESALF: 0.25

Annual km: 30,000 km/year

Working hours: 1,300 hours

Average life: 8 years

Private use: 0%

Passengers: 0

Work related trips: 0%

Operating weight: 7.30 tonnes

Economic Unit Costs

New vehicle: 8,300

Replacement tyre: 39.20

Fuel: 0.15 per litre

Lubricating oil: 1.00 per litre

Maintenance labour: 2.00 per hour

Crew wages: 1.40 per hour

Annual overhead: 0

Annual interest: 12.00%

Passenger work time: 0

Non-work time: 0

Cargo delay time: 0

Forces

 Frontal area: 5.00 m²

CD: 0.60

CD Multiplier: 1.13

Driving power: 87 kW

Braking power: 70 kW

Rated engine power: 100 kW

Rolling resistance a0: 37.00

Rolling resistance a1: 0.06

Rolling resistance a2: 0.01

FPLIM: 1.00

Speed

VCURVE_a0: 4.80

VCURVE_a1: 0.29

VROUGH_a0: 1.15

ARVMAX: 200 mm/s

Speed beta: 0.16

Speed sigma: 0.00

COV: 0.15

CGR_a0: 94.90

CGR_a1: 0.85

CGR_a2: 2.80

Bituminous VDES2: 105.48 km/h

 Bituminous VDESa0: 0.00 × 10⁻³

Bituminous VDESa1: 0.70

Bituminous VDESa2: 0.75

Bituminous CW1: 4.00

Bituminous CW2: 6.80

Unsealed VDES2: 105.48 km/h

 Unsealed VDESa0: 0.00 × 10⁻³

Unsealed VDESa1: 0.70

Unsealed VDESa2: 0.75

Unsealed CW1: 4.00m

Unsealed CW2: 6.80m

Concrete VDES2: 105.48 km/h

 Concrete VDESa0: 0.00 × 10⁻³

Concrete VDESa1: 0.70

Concrete VDESa2: 0.75

Concrete CW1: 4.00m

Concrete CW2: 6.80m

Fuel

RPM_a0: 1,214 RPM

RPM_a1: 17.60 RPM/(m/s)

 RPM_a2: 2.32 RPM/(m/s)²

RPM_a3: 22.00 m/s

RPM_IDLE: 500 RPM

IDLE_FUEL: 0.37 mL/s

ZETAB: 0.057 mL/kW/s

EHP: 0.10

EDT: 0.86

PACCS_a0: 0.20

PCTPENG: 80.00%

Kpea: 1.00

Oil contam. losses: 1.56 L/1000km

Oil operation losses: 0.0021 L/1000km

Acceleration Effects

 Sigma amaxv: 0.75 m/s²

 FRIAMAX: 0.20 m/s²

 NMTAMAX: 0.40 m/s²

 RIAMAX: 0.30 m/s²

 AMAXRI: 20.00 m/s²
Tyres

Wheel diameter: 1.05 m

 Constant term: 0.02585 dm³

 Wear coefficient: 0.00201 dm³/J-m

Congestion effects factor: 0.10

 Wearable rubber volume: 6.00 dm³
Maintenance

Parts constant term: 11.58

Parts roughness effect: 2.96

Parts rotation factor: 1.00

Parts translation factor: 0.00

Parts age effect: 0.371

Parts smoothing factor: 0.25

Parts roughness limit: 2.96

Parts congestion factor: 0.10

Labour constant term: 242.03

Labour parts exponent: 0.520

Labour rotation factor: 1.00

Labour translation factor: 0.00

Optimal Life

Regression coeff. 1: -65.8553

Regression coeff. 2: -1.9194

Min residual value: 2.00%

Max residual value: 15.00%

Max roughness threshold: 5.00 IRI

Emissions

Hydrocarbon k0: 1.00

Hydrocarbon k1: 1.00

Carbon monoxide k0: 1.00

Carbon monoxide k1: 1.00

Nitrous oxide k0: 1.00

Nitrous oxide k1: 1.00

Particulates k0: 1.00

Particulates k1: 1.00

Carbon dioxide k0: 1.00

Sulphur dioxide k0: 1.00

Lead k0: 1.00

Energy

Used in production: 600 GJ

% parts made in country: 10.00%

% vehicle made in country: 10.00%

Tyre weight: 12.40 kg

Unladen vehicle weight: 4.50 tonnes

MAZ 500
Definition

Base type: Medium Truck
 Category: Motorised

Info: medium two-axle rigid truck (> 3.5 tonnes)
 Life method: Optimal life

Basic Characteristics

| | | |
|--------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| PCSE: 1.50 | Retread cost: 30% | Private use: 0% |
| No. of wheels: 6 | ESALF: 0.40 | Passengers: 0 |
| No. of axles: 2 | Annual km: 40,000 km/year | Work related trips: 0% |
| Tyre type: Bias ply | Working hours: 1,200 hours | Operating weight: 12.00 tonnes |
| Base no. of recaps: 1.00 | Average life: 12 years | |

Economic Unit Costs

| | | |
|---------------------------------|-----------------------------------|------------------------|
| New vehicle: 10,000 | Maintenance labour: 2.00 per hour | Passenger work time: 0 |
| Replacement tyre: 50.00 | Crew wages: 1.40 per hour | Non-work time: 0 |
| Fuel: 0.15 per litre | Annual overhead: 0 | Cargo delay time: 0 |
| Lubricating oil: 1.00 per litre | Annual interest: 12.00% | |

Forces

| | | |
|-----------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| Frontal area: 5.00 m ² | Braking power: 70 kW | Rolling resistance a2: 0.01 |
| CD: 0.60 | Rated engine power: 100 kW | FPLIM: 1.00 |
| CD Multiplier: 1.13 | Rolling resistance a0: 37.00 | |
| Driving power: 87 kW | Rolling resistance a1: 0.06 | |

Speed

| | | |
|-------------------|--|--|
| VCURVE_a0: 4.80 | Bituminous VDES2: 105.48 km/h | Unsealed CW1: 4.00m |
| VCURVE_a1: 0.29 | Bituminous VDESa0: 0.00 × 10 ⁻³ | Unsealed CW2: 6.80m |
| VROUGH_a0: 1.15 | Bituminous VDESa1: 0.70 | Concrete VDES2: 105.48 km/h |
| ARVMAX: 200 mm/s | Bituminous VDESa2: 0.75 | Concrete VDESa0: 0.00 × 10 ⁻³ |
| Speed beta: 0.16 | Bituminous CW1: 4.00 | Concrete VDESa1: 0.70 |
| Speed sigma: 0.00 | Bituminous CW2: 6.80 | Concrete VDESa2: 0.75 |
| COV: 0.15 | Unsealed VDES2: 105.48 km/h | Concrete CW1: 4.00m |
| CGR_a0: 94.90 | Unsealed VDESa0: 0.00 × 10 ⁻³ | Concrete CW2: 6.80m |
| CGR_a1: 0.85 | Unsealed VDESa1: 0.70 | |
| CGR_a2: 2.80 | Unsealed VDESa2: 0.75 | |

Fuel

| | | |
|-------------------------------------|----------------------|---------------------------------------|
| RPM_a0: 1,214 RPM | IDLE_FUEL: 0.37 mL/s | PCTPENG: 80.00% |
| RPM_a1: 17.60 RPM/(m/s) | ZETAB: 0.057 mL/kW/s | Kpea: 1.00 |
| RPM_a2: 2.32 RPM/(m/s) ² | EHP: 0.10 | Oil contam. losses: 1.56 L/1000km |
| RPM_a3: 22.00 m/s | EDT: 0.86 | Oil operation losses: 0.0021 L/1000km |
| RPM_IDLE: 500 RPM | PACCS_a0: 0.20 | |

Acceleration Effects

| | | |
|------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Sigma amaxv: 0.75 m/s ² | NMTAMAX: 0.40 m/s ² | AMAXRI: 20.00 m/s ² |
| FRIAMAX: 0.20 m/s ² | RIAMAX: 0.30 m/s ² | |

Tyres

| | | |
|--|--|--|
| Wheel diameter: 1.05 m | Wear coefficient: 0.00201 dm ³ /J-m | Wearable rubber volume: 6.00 dm ³ |
| Constant term: 0.02585 dm ³ | Congestion effects factor: 0.10 | |

Maintenance

| | | |
|--------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| Parts constant term: 11.58 | Parts age effect: 0.371 | Labour constant term: 242.03 |
| Parts roughness effect: 2.96 | Parts smoothing factor: 0.25 | Labour parts exponent: 0.520 |
| Parts rotation factor: 1.00 | Parts roughness limit: 2.96 | Labour rotation factor: 1.00 |
| Parts translation factor: 0.00 | Parts congestion factor: 0.10 | Labour translation factor: 0.00 |

Optimal Life

| | | |
|-------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|
| Regression coeff. 1: -65.8553 | Min residual value: 2.00% | Max roughness threshold: 5.00 IRI |
| Regression coeff. 2: -1.9194 | Max residual value: 15.00% | |

Emissions

| | | |
|--------------------------|------------------------|--------------------------|
| Hydrocarbon k0: 1.00 | Nitrous oxide k0: 1.00 | Carbon dioxide k0: 1.00 |
| Hydrocarbon k1: 1.00 | Nitrous oxide k1: 1.00 | Sulphur dioxide k0: 1.00 |
| Carbon monoxide k0: 1.00 | Particulates k0: 1.00 | Lead k0: 1.00 |
| Carbon monoxide k1: 1.00 | Particulates k1: 1.00 | |

Energy

| | | |
|---------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| Used in production: 600 GJ | % vehicle made in country: 10.00% | Unladen vehicle weight: 4.50 tonnes |
| % parts made in country: 10.00% | Tyre weight: 12.40 kg | |

KAMAZ 5511
Definition

Base type: Heavy Truck
Category: Motorised

Info: multi-axle rigid truck
Life method: Optimal life

Basic Characteristics

| | | |
|--------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| PCSE: 1.80 | Retread cost: 30% | Private use: 0% |
| No. of wheels: 10 | ESALF: 0.55 | Passengers: 0 |
| No. of axles: 3 | Annual km: 45,000 km/year | Work related trips: 0% |
| Tyre type: Bias ply | Working hours: 1,800 hours | Operating weight: 15.40 tonnes |
| Base no. of recaps: 1.00 | Average life: 12 years | |

Economic Unit Costs

| | | |
|---------------------------------|-----------------------------------|------------------------|
| New vehicle: 20,200 | Maintenance labour: 2.00 per hour | Passenger work time: 0 |
| Replacement tyre: 50.00 | Crew wages: 1.40 per hour | Non-work time: 0 |
| Fuel: 0.15 per litre | Annual overhead: 0 | Cargo delay time: 0 |
| Lubricating oil: 1.00 per litre | Annual interest: 12.00% | |

Forces

| | | |
|-----------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| Frontal area: 8.50 m ² | Braking power: 255 kW | Rolling resistance a2: 0.01 |
| CD: 0.70 | Rated engine power: 280 kW | FPLIM: 1.00 |
| CD Multiplier: 1.14 | Rolling resistance a0: 37.00 | |
| Driving power: 227 kW | Rolling resistance a1: 0.06 | |

Speed

| | | |
|-------------------|--|--|
| VCURVE_a0: 4.60 | Bituminous VDES2: 88.56 km/h | Unsealed CW1: 4.00m |
| VCURVE_a1: 0.28 | Bituminous VDESa0: 0.00 × 10 ⁻³ | Unsealed CW2: 6.80m |
| VROUGH_a0: 1.15 | Bituminous VDESa1: 0.70 | Concrete VDES2: 88.56 km/h |
| ARVMAX: 180 mm/s | Bituminous VDESa2: 0.75 | Concrete VDESa0: 0.00 × 10 ⁻³ |
| Speed beta: 0.11 | Bituminous CW1: 4.00 | Concrete VDESa1: 0.70 |
| Speed sigma: 0.00 | Bituminous CW2: 6.80 | Concrete VDESa2: 0.75 |
| COV: 0.15 | Unsealed VDES2: 88.56 km/h | Concrete CW1: 4.00m |
| CGR_a0: 94.90 | Unsealed VDESa0: 0.00 × 10 ⁻³ | Concrete CW2: 6.80m |
| CGR_a1: 0.85 | Unsealed VDESa1: 0.70 | |
| CGR_a2: 2.80 | Unsealed VDESa2: 0.75 | |

Fuel

| | | |
|-------------------------------------|----------------------|---------------------------------------|
| RPM_a0: 1,167 RPM | IDLE_FUEL: 1.12 mL/s | PCTPENG: 80.00% |
| RPM_a1: -24.00 RPM/(m/s) | ZETAB: 0.056 mL/kW/s | Kpea: 1.00 |
| RPM_a2: 1.76 RPM/(m/s) ² | EHP: 0.10 | Oil contam. losses: 3.10 L/1000km |
| RPM_a3: 22.00 m/s | EDT: 0.86 | Oil operation losses: 0.0021 L/1000km |
| RPM_IDLE: 500 RPM | PACCS_a0: 0.20 | |

Acceleration Effects

| | | |
|------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Sigma amaxv: 0.75 m/s ² | NMTAMAX: 0.40 m/s ² | AMAXRI: 20.00 m/s ² |
| FRIAMAX: 0.20 m/s ² | RIAMAX: 0.30 m/s ² | |

Tyres

| | | |
|--|--|--|
| Wheel diameter: 1.05 m | Wear coefficient: 0.00275 dm ³ /J-m | Wearable rubber volume: 8.00 dm ³ |
| Constant term: 0.03529 dm ³ | Congestion effects factor: 0.10 | |

Maintenance

| | | |
|--------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| Parts constant term: 11.58 | Parts age effect: 0.371 | Labour constant term: 301.46 |
| Parts roughness effect: 2.96 | Parts smoothing factor: 0.25 | Labour parts exponent: 0.520 |
| Parts rotation factor: 1.00 | Parts roughness limit: 2.96 | Labour rotation factor: 1.00 |
| Parts translation factor: 0.00 | Parts congestion factor: 0.10 | Labour translation factor: 0.00 |

Optimal Life

| | | |
|-------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|
| Regression coeff. 1: -65.8553 | Min residual value: 2.00% | Max roughness threshold: 5.00 IRI |
| Regression coeff. 2: -1.9194 | Max residual value: 15.00% | |

Emissions

| | | |
|--------------------------|------------------------|--------------------------|
| Hydrocarbon k0: 1.00 | Nitrous oxide k0: 1.00 | Carbon dioxide k0: 1.00 |
| Hydrocarbon k1: 1.00 | Nitrous oxide k1: 1.00 | Sulphur dioxide k0: 1.00 |
| Carbon monoxide k0: 1.00 | Particulates k0: 1.00 | Lead k0: 1.00 |
| Carbon monoxide k1: 1.00 | Particulates k1: 1.00 | |

Energy

| | | |
|---------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| Used in production: 1,000 GJ | % vehicle made in country: 10.00% | Unladen vehicle weight: 9.00 tonnes |
| % parts made in country: 10.00% | Tyre weight: 12.40 kg | |

KAMAZ 5410p
Definition

Base type: Articulated Truck
 Category: Motorised

Info: articulated truck or truck with drawbar trailer
 Life method: Optimal life

Basic Characteristics

PCSE: 2.20
 No. of wheels: 18
 No. of axles: 5
 Tyre type: Bias ply
 Base no. of recaps: 1.00

Retread cost: 30%
 ESALF: 1.80
 Annual km: 70,000 km/year
 Working hours: 2,000 hours
 Average life: 12 years

Private use: 0%
 Passengers: 0
 Work related trips: 0%
 Operating weight: 25.00 tonnes

Economic Unit Costs

New vehicle: 24,600
 Replacement tyre: 50.00
 Fuel: 0.15 per litre
 Lubricating oil: 1.00 per litre

Maintenance labour: 2.00 per hour
 Crew wages: 1.60 per hour
 Annual overhead: 0
 Annual interest: 12.00%

Passenger work time: 0
 Non-work time: 0
 Cargo delay time: 0

Forces

Frontal area: 9.00 m²
 CD: 0.80
 CD Multiplier: 1.22
 Driving power: 227 kW

Braking power: 255 kW
 Rated engine power: 300 kW
 Rolling resistance a0: 37.00
 Rolling resistance a1: 0.06

Rolling resistance a2: 0.01
 FPLIM: 1.00

Speed

VCURVE_a0: 4.20
 VCURVE_a1: 0.27
 VROUGH_a0: 1.15
 ARVMAX: 160 mm/s
 Speed beta: 0.11
 Speed sigma: 0.00
 COV: 0.15
 CGR_a0: 94.90
 CGR_a1: 0.85
 CGR_a2: 2.80

Bituminous VDES2: 104.76 km/h
 Bituminous VDESa0: 0.00 × 10⁻³
 Bituminous VDESa1: 0.70
 Bituminous VDESa2: 0.75
 Bituminous CW1: 4.00
 Bituminous CW2: 6.80
 Unsealed VDES2: 104.76 km/h
 Unsealed VDESa0: 0.00 × 10⁻³
 Unsealed VDESa1: 0.70
 Unsealed VDESa2: 0.75

Unsealed CW1: 4.00m
 Unsealed CW2: 6.80m
 Concrete VDES2: 104.76 km/h
 Concrete VDESa0: 0.00 × 10⁻³
 Concrete VDESa1: 0.70
 Concrete VDESa2: 0.75
 Concrete CW1: 4.00m
 Concrete CW2: 6.80m

Fuel

RPM_a0: 1,167 RPM
 RPM_a1: -24.00 RPM/(m/s)
 RPM_a2: 1.76 RPM/(m/s)²
 RPM_a3: 22.00 m/s
 RPM_IDLE: 500 RPM

IDLE_FUEL: 1.12 mL/s
 ZETAB: 0.055 mL/kW/s
 EHP: 0.10
 EDT: 0.86
 PACCS_a0: 0.20

PCTPENG: 80.00%
 K_{pea}: 1.00
 Oil contam. losses: 3.10 L/1000km
 Oil operation losses: 0.0021 L/1000km

Acceleration Effects

Sigma amaxv: 0.75 m/s²
 FRIAMAX: 0.20 m/s²

NMTAMAX: 0.40 m/s²
 RIAMAX: 0.30 m/s²

AMAXRI: 20.00 m/s²

Tyres

Wheel diameter: 1.05 m
 Constant term: 0.03988 dm³

Wear coefficient: 0.00311 dm³/J-m
 Congestion effects factor: 0.10

Wearable rubber volume: 8.00 dm³

Maintenance

Parts constant term: 13.58
 Parts roughness effect: 2.96
 Parts rotation factor: 1.00
 Parts translation factor: 0.00

Parts age effect: 0.371
 Parts smoothing factor: 0.25
 Parts roughness limit: 2.96
 Parts congestion factor: 0.10

Labour constant term: 301.46
 Labour parts exponent: 0.520
 Labour rotation factor: 1.00
 Labour translation factor: 0.00

Optimal Life

Regression coeff. 1: -65.8553
 Regression coeff. 2: -1.9194

Min residual value: 2.00%
 Max residual value: 15.00%

Max roughness threshold: 5.00 IRI

Emissions

Hydrocarbon k0: 1.00
 Hydrocarbon k1: 1.00
 Carbon monoxide k0: 1.00
 Carbon monoxide k1: 1.00

Nitrous oxide k0: 1.00
 Nitrous oxide k1: 1.00
 Particulates k0: 1.00
 Particulates k1: 1.00

Carbon dioxide k0: 1.00
 Sulphur dioxide k0: 1.00
 Lead k0: 1.00

Energy

Used in production: 1,500 GJ
 % parts made in country: 10.00%

% vehicle made in country: 10.00%
 Tyre weight: 13.70 kg

Unladen vehicle weight: 11.00 tonnes

LAZ 699
Definition

Base type: Medium Bus
Category: Motorised

Info: medium bus (3.5 - 8.0 tonnes)
Life method: Optimal life

Basic Characteristics

PCSE: 1.80
No. of wheels: 6
No. of axles: 2
Tyre type: Bias ply
Base no. of recaps: 1.00

Retread cost: 30%
ESALF: 0.33
Annual km: 70,000 km/year
Working hours: 1,750 hours
Average life: 12 years

Private use: 0%
Passengers: 30
Work related trips: 20%
Operating weight: 8.72 tonnes

Economic Unit Costs

New vehicle: 23,300
Replacement tyre: 60.00
Fuel: 0.18 per litre
Lubricating oil: 1.00 per litre

Maintenance labour: 2.00 per hour
Crew wages: 1.60 per hour
Annual overhead: 0
Annual interest: 12.00%

Passenger work time: 0.50 per hour
Non-work time: 0.25 per hour
Cargo delay time: 0

Forces

Frontal area: 5.00 m²
CD: 0.55
CD Multiplier: 1.14
Driving power: 65 kW

Braking power: 70 kW
Rated engine power: 100 kW
Rolling resistance a0: 37.00
Rolling resistance a1: 0.06

Rolling resistance a2: 0.01
FPLIM: 1.00

Speed

VCURVE_a0: 4.80
VCURVE_a1: 0.29
VROUGH_a0: 1.15
ARVMAX: 200 mm/s
Speed beta: 0.19
Speed sigma: 0.00
COV: 0.15
CGR_a0: 94.90
CGR_a1: 0.85
CGR_a2: 2.80

Bituminous VDES2: 141.84 km/h
Bituminous VDESa0: 0.00 × 10⁻³
Bituminous VDESa1: 0.60
Bituminous VDESa2: 0.75
Bituminous CW1: 4.00
Bituminous CW2: 6.80
Unsealed VDES2: 141.84 km/h
Unsealed VDESa0: 0.00 × 10⁻³
Unsealed VDESa1: 0.60
Unsealed VDESa2: 0.75

Unsealed CW1: 4.00m
Unsealed CW2: 6.80m
Concrete VDES2: 141.84 km/h
Concrete VDESa0: 0.00 × 10⁻³
Concrete VDESa1: 0.60
Concrete VDESa2: 0.75
Concrete CW1: 4.00m
Concrete CW2: 6.80m

Fuel

RPM_a0: 1,214 RPM
RPM_a1: 17.60 RPM/(m/s)
RPM_a2: 2.32 RPM/(m/s)²
RPM_a3: 22.00 m/s
RPM_IDLE: 500 RPM

IDLE_FUEL: 0.37 mL/s
ZETAB: 0.057 mL/kW/s
EHP: 0.10
EDT: 0.86
PACCS_a0: 0.20

PCTPENG: 80.00%
Kpea: 1.00
Oil contam. losses: 1.75 L/1000km
Oil operation losses: 0.0021 L/1000km

Acceleration Effects

Sigma amaxv: 0.75 m/s²
FRIAMAX: 0.20 m/s²

NMTAMAX: 0.40 m/s²
RIAMAX: 0.30 m/s²

AMAXRI: 20.00 m/s²

Tyres

Wheel diameter: 1.05 m
Constant term: 0.02663 dm³

Wear coefficient: 0.00207 dm³/J-m
Congestion effects factor: 0.10

Wearable rubber volume: 6.00 dm³

Maintenance

Parts constant term: 0.57
Parts roughness effect: 0.49
Parts rotation factor: 1.00
Parts translation factor: 0.00

Parts age effect: 0.483
Parts smoothing factor: 0.25
Parts roughness limit: 0.49
Parts congestion factor: 0.10

Labour constant term: 293.44
Labour parts exponent: 0.520
Labour rotation factor: 1.00
Labour translation factor: 0.00

Optimal Life

Regression coeff. 1: -65.8553
Regression coeff. 2: -1.9194

Min residual value: 2.00%
Max residual value: 15.00%

Max roughness threshold: 5.00 IRI

Emissions

Hydrocarbon k0: 1.00
Hydrocarbon k1: 1.00
Carbon monoxide k0: 1.00
Carbon monoxide k1: 1.00

Nitrous oxide k0: 1.00
Nitrous oxide k1: 1.00
Particulates k0: 1.00
Particulates k1: 1.00

Carbon dioxide k0: 1.00
Sulphur dioxide k0: 1.00
Lead k0: 1.00

Energy

Used in production: 700 GJ
% parts made in country: 10.00%

% vehicle made in country: 10.00%
Tyre weight: 9.80 kg

Unladen vehicle weight: 4.50 tonnes

ПРИЛОЖЕНИЕ 2 - Воздействие Холодного Климата на Разрушение Дороги

В данном приложении вкратце описано явление промерзания дорожной одежды и земляного полотна и связанные с этим возможные разрушения. Предварительные рекомендации даны относительно того, каким образом можно учесть воздействие промерзания в модели разрушения дорожных одежд в HDM-4.

Механизм Промерзания Дорожных Одежд

Покрытия автомобильных дорог, содержащиеся в течение зимних месяцев без наката, более подвержены тепловым потерям, нежели обочины, канавы, на которых допускается наличие снежного покрова. Снег, убраный с проезжей части и сброшенный в канавы, обеспечивает их теплоизоляцию, в то время как температура поверхности покрытия, предварительно обработанного солью для уменьшения величины снежно-ледяных образований, резко падает при понижении температуры воздуха, особенно, если поверхность еще и продувается холодным ветром.

Поперечные Температурные Трещины

Асфальтобетонные покрытия подвержены воздействию температурных напряжений и сжатий, что способствует образованию поперечных трещин. Это происходит по причине возникновения температурных напряжений, действующих в продольном направлении, которые сопротивляются сжатию асфальтобетона. Асфальтобетон, обычно используемый в Архангельске, не обладает достаточными характеристиками текучести, чтобы противостоять этим напряжениям. Трещины появляются с удивительной периодичностью (через равные промежутки), поскольку при низких температурах окружающего воздуха превышает предел прочности при растяжении асфальтобетона. Фактически, одной из основных характеристик поверхности асфальтобетонных дорог в Архангельской области является наличие многочисленных поперечных «температурных трещин». Этот вид разрушения широко распространен потому, что характеристики текучести битумных вяжущих, используемых при производстве асфальтобетонной смеси, недостаточны для предотвращения разрушений при самых низких температурах, зафиксированных в Архангельской области.

Эффект Старения

В результате наблюдений было выявлено, что за некоторый период времени количество поперечных трещин увеличилось, т.е. они стали располагаться на более близком расстоянии друг от друга. Считается, что это происходит по причине воздействия старения, приводящего к повышению жесткости битума (меньшей текучести), вследствие чего асфальтобетонное покрытие становятся еще менее способны ослаблять температурные напряжения, развивающиеся при низких температурах.

Влияние Циклов Замораживания/Оттаивания

В периоды промерзания и оттаивания (ранняя зима) вся вода, находящаяся рядом с дорогой, заполняет существующие и новые трещины, замерзает и, увеличиваясь в объеме, расширяет эти трещины. Температурные градиенты, установившиеся в дорожной одежде, приводят к различным сжатиям в слое покрытия и нижележащих

слоях, вызывая касательные напряжения (сдвига), которые могут привести к потере сцепления между ними. Поэтому, чем больше циклов "замораживание – оттаивание", тем больше раскрываются и развиваются существующие трещины.

Механизм Морозного Пучения

По мере увеличения холодных дней скорость, с которой тепло уходит из покрытия, превышает скорость, с которой тепло из нижележащих грунтов перемещается вверх к покрытию. Нулевая изотерма фронта промерзания опускается до низа дорожной конструкции, а затем (если морозы стоят в течение длительного периода времени) проникает в земляное полотно и дальше в подстилающие грунты. В случае, если грунты содержат пылеватые или глинистые частицы, т.е. обладают высокой адсорбционной способностью в тоже время оставаясь проницаемыми, то эти грунты будут морозочувствительными (пучиноопасными).

Это означает, что по мере того, как вода, находящаяся в порах грунта, начинает замерзать, другая вода под воздействием сил молекулярного притяжения (всасывание) будет притягиваться в поры грунта на фронте промерзания. И по мере того, как эта вода будет превращаться в лед (при пониженной температуре замерзания), процесс адсорбирования (поглощения воды) будет продолжаться и линзы льда начнут увеличиваться в толщине, разрушая структуру грунта. До тех пор, пока в грунте содержится свободная вода, и фронт промерзания продолжает продвигаться вглубь, одна за другой формируются линзы льда, толкая вверх дорожную конструкцию. Морозное пучение, величина которого может достигать 100 мм, обычно неравномерно, и это приводит к тому, что покрытие деформируется таким образом, что его поверхность становится более неровной, то есть ухудшаются показатели ровности покрытия. Разность в величине пучения по оси и кромкам покрытия может привести к поперечному увеличению ширины покрытия. Если комбинация изгибающих, растягивающих и температурных напряжений превышает предел сопротивления при растяжении, это приводит к появлению продольных трещин, которые обычно расширяются при ослаблении напряжений. Колебания морозных пучений по длине дороги приводят к формированию трещин в виде змеи.

Результаты Исследований Морозного Пучения на Дорогах в Архангельске

Консультанты были проинформированы о том, что в течение многих лет сотрудниками Архангельского государственного технического университета проводится научно-исследовательская работа по определению воздействия морозного пучения на дорожные конструкции. 21 ноября 2001г. Консультанты провели встречу с профессором университета Валентиной Алексеевной Лукиной, которая рассказала об исследованиях, проводимых на закрепленных участках дороги М8 Москва – Архангельск.

Профессор объяснила, что строительство автомобильной дороги Москва – Архангельск было начато в 1965 году и завершено в 1986. В ходе наблюдений за закрепленными участками, было выявлено, что первые трещины стали появляться уже на второй год открытия дороги. В течение трех последующих лет эти трещины продолжали расширяться.

Температурные датчики, заложенные на различной глубине от поверхности покрытия и в прилегающих грунтах, применялись для наблюдения за изменениями температуры в течение зимнего периода. Также проводились наблюдения за уровнем грунтовых вод, так как был сделан вывод о том, что величина морозного пучения зависит от наличия в грунте свободной воды. Нисходящая прогрессия нулевой изотермы, наблюдаемая в

течение зимы, сменялась отступлением фронта промерзания в период весеннего оттаивания (один фронт, идущий снизу, и один, продвигающийся от поверхности вглубь). Измерения показали, что величина глубины промерзания под очищенным дорожным покрытием была больше, чем на соседних участках, где земля была покрыта снегом. Средняя величина глубины промерзания составила 2.8 м, максимальная – достигла 3.2 м от поверхности покрытия.

Измерения проводились на нескольких участках поперечного профиля дороги. Средняя величина морозного пучения изменялась в пределах от 68 до 95 мм. Максимальная зафиксированная величина пучения составила 170 мм.

Среди наиболее важных полученных сведений были следующие:

- Воздействие морозного пучения завершается в Марте – начале Апреля, а лед под дорожной одеждой не тает почти до конца Июня.
- Измеренная величина пучения и последующие разрушения/деформации покрытия (отчетливо видны только после оттаивания) очевидно зависели от типов залегающих в зоне сезонного промерзания грунтов, содержания влаги в грунтах в период, предшествующий началу зимы, а также суровости зимы, что может быть измерено при помощи индекса промерзания.
- Типичная разность морозного пучения по ширине проезжей части составила 10 мм между закрепленными точками, расположенными на расстоянии 1.5 м друг от друга, изменения которой зависят от свойств грунтов и условий водоотвода.
- В период весеннего таяния записи температурных данных показали, что очищенная поверхность покрытия нагревается быстрее, чем обочины, которые были временно покрыты снежным покровом: нулевая изотерма была вогнутой, и ледяные образования ниже нее представляли собой непроницаемый барьер для талой воды, находящейся в покрытии и ниже него. Это губительно сказывается на прочности уже потрескавшихся асфальтобетонных слоев (а также на участках, где отсутствует вяжущее между слоями), а их сопротивление касательным напряжениям, вызванным проезжающими транспортными средствами, уменьшается.

Хотя большая часть сделанной работы была представлена в диссертации, ожидается, что профессор Лукина опубликует некоторые аспекты исследований в международном научном журнале.

Аналитический Подход к Определению Величины Морозного Пучения и Степени Разрушений

Величина деформаций вследствие воздействия морозного пучения зависит от неравномерности пучения (разницы градиентов морозного пучения), т.е. разности величины морозного пучения в двух точках на единицу расстояния между этими двумя точками. Предположительно, это связано со значением общей величины пучения.

Для того, чтобы оценить величину возможного разрушения в количественных показателях, необходимо определить возможную величину морозного пучения.

Для этого можно использовать экспериментальные зависимости между величиной морозного пучения и индексом промерзания для заданной толщины стабильных (неморозочувствительных) слоев дорожной конструкции и для заданного типа грунта земляного полотна с известной степенью пучинистости.

Д-р Саарелайнен² (исследовательский центр Финляндии) привел в своей работе ряд зависимостей измеренных величин морозного пучения и толщины стабильных слоев дорожных покрытий, индекса промерзания и морозочувствительности грунтов земляного полотна (потенциал сегрегации).

В исследовательском центре³ была выведена эмпирическая формула:

$$Z_o = 10 F^{1/2} - 50h/(SP + 1.8) \dots \dots \dots (1)$$

- где Z_o = толщина стабильных слоев дорожной конструкции, мм, включая толщину всех непучиноопасных грунтов под дорожной одеждой (например, песок насыпи).
 F = индекс промерзания, Кельвин-час
 h = средняя величина морозного пучения, мм
 SP = потенциал сегрегации льда (мм²/К-ч)

Для определения средней величины морозного пучения применяется следующая формула:

$$h = (10 F^{1/2} - Z_o)(SP + 1.8)/50 \dots \dots \dots (2)$$

Индекс промерзания показывает суммарный эффект интенсивности и продолжительности периода воздействия температур кристаллизации воздуха (<0°C). Индекс промерзания F в вышеприведенной формуле выражен в градус-часах и показывает разность между наивысшей и наименьшей точками на кривой зависимости суммарных градус-часов от времени (в течение одного периода промерзания).

В большинстве западных стран индекс промерзания чаще измеряется в градус-днях, нежели в градус-часах. Именно такая единица измерения принята и в программе HDM-4 для бетонных покрытий (см. определение в § 4.4, стр. с1-8, Сборник 4). По этой причине целесообразно использовать данную единицу измерения индекса промерзания (FI)

$$\text{Так, } FI = F/24 \text{ (градус-день)}$$

Таким образом, индекс промерзания в градус-днях показывает разность между средней дневной температурой воздуха и 0°C. Показатель принимает положительное значение, если средняя дневная температура ниже температуры замерзания.

Для Архангельска индекс промерзания, средний за 89-летний период наблюдений, составляет 1539 градус-дней. Тем не менее, данное значение колеблется от года к году, и может изменяться от 80 до 145% от среднего значения.

Тогда формула (2) имеет вид:

$$h = [10 (24FI)^{1/2} - Z_o](SP + 1.8)/50 \dots \dots \dots (2A)$$

² С. Саарелайнен (1996) "Проектирование дорожных одежд с учетом морозного пучения" Материалы восьмой Международной конференции «Инжиниринг в регионах с холодным климатом».

³ Консультации и подборка слайдов А. Руотойстенмяки с семинара ISOHDM в Университете Бирмингема, декабрь 1996г.

Поскольку данная формула является эмпирической, она не была опубликована и подвергнута экспертной оценке, то ее следует применять с осторожностью. Данные, на основании которых она получена, весьма ограничены, и потому применение формулы в других регионах с отличными грунтами и условиями водоотвода (особенно это касается грунтовых вод), может не дать достоверный прогноз. Тем не менее, она может послужить отправной точкой при определении деформаций, вызванных морозным пучением.

Определение Потенциала Сегрегации Грунтов

Сегрегационный потенциал SP есть отношение водозабора к фронту промерзания (мм³ на ед. площади в час) к температурному градиенту границы промерзания (С_о/мм). Это показатель морозочувствительности грунтов земляного полотна, который может быть измерен в ходе лабораторных испытаний. Как бы то ни было, подобные испытания следует проводить на образцах с ненарушенной структурой, (предварительно подвергнутых воздействию морозного пучения), что требует значительных трудозатрат и времени. Одним из наиболее часто применяемых методов измерения сегрегационного потенциала является осуществление мониторинга морозного пучения на нескольких участках (дорожная конструкция которых известна, а грунты земляного полотна однородны). Затем проводится расчет сегрегационного потенциала на каждом участке для определения величины морозного пучения в зависимости от индекса промерзания (для данного зимнего периода). Таким образом для района можно создать базу данных сегрегационных показателей грунтов.

На рисунке 1 показана зависимость величины морозного пучения от толщины стабильных слоев дорожной конструкции для показателей сегрегационного показателя грунтов земляного полотна 5 и 10 при индексе промерзания равном 1539 для Архангельска.

Неравномерность морозного пучения по длине дороги (по колею от колес) временно ухудшает показатели ровности дороги по сравнению с теми, что наблюдаются поздним летом. Величина этой разности не установлена, хотя считается, что она сравнительно невелика.

В период весеннего таяния, наступающего в Архангельске в Апреле – Мае, начинается таяние льда как на поверхности дороги и далее вглубь, так и снизу вверх, от уровня грунтовых вод. Это означает, что в течение некоторого времени под дорожной конструкцией остается слой промерзшего материала, который эффективно предотвращает дренаж воды от поверхности. Поскольку очищенная от снега поверхность покрытия нагревается быстрее, чем поверхность обочин, покрытых снегом, граница промерзшего слоя представляет собой вогнутую кривую. Это сильно замедляет процесс дренирования влаги, и в особенно влажный период создает «эффект водяного матраса». В таких условиях конструкционные слои дорожной одежды ослаблены, несущая способность дороги снижается, и под воздействием проходящего транспорта разрушение дороги ускоряется. По этой причине с целью уменьшения разрушений в наиболее критический момент времени в России вводится ограничение осевых нагрузок автомобилей.

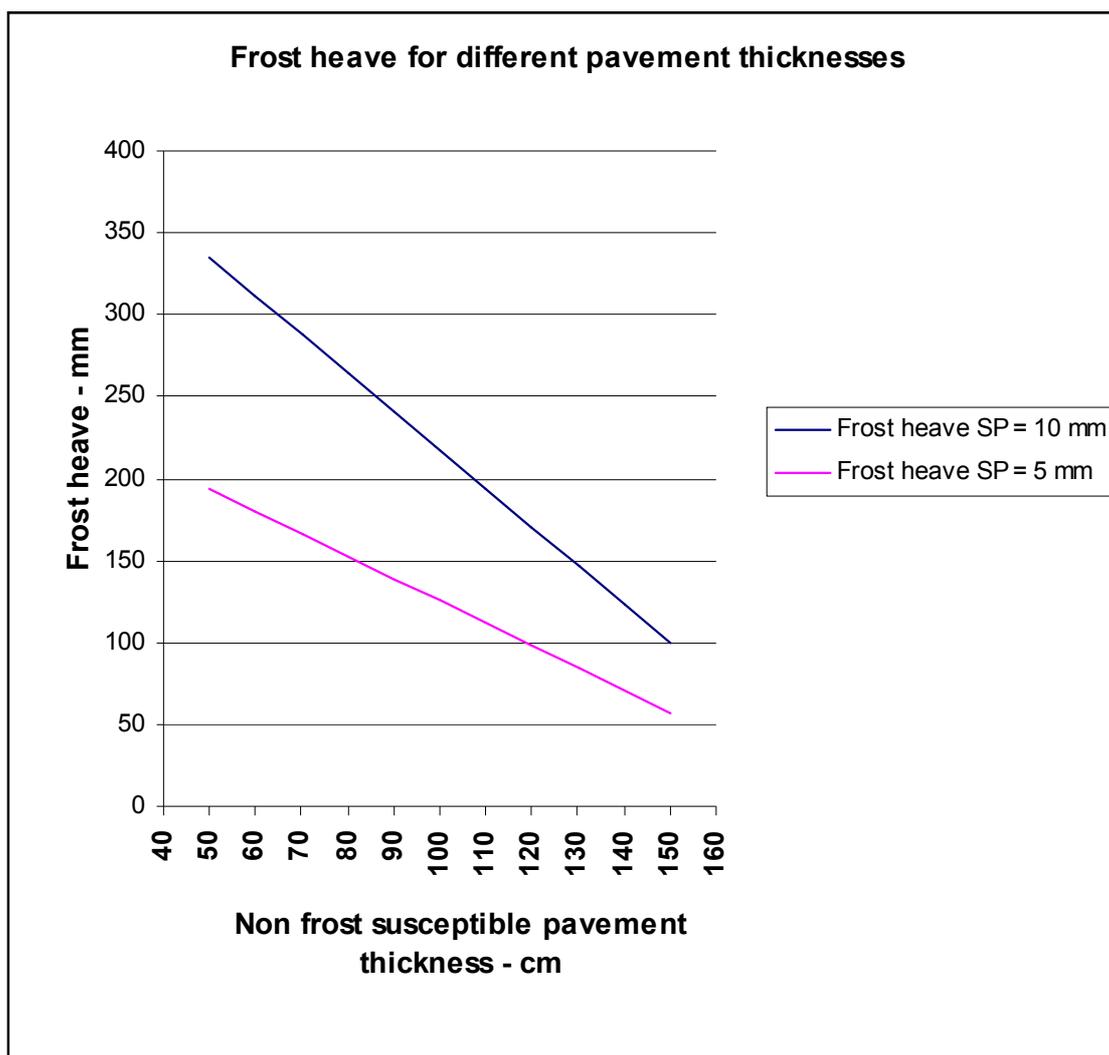


РИСУНОК 1 – Моделирование эффекта промерзания в HDM-4

Вверху: Величина морозного пучения, мм

Внизу: Толщина стабильных слоев дорожной одежды, см

Симулирование Воздействия Морозных Условий в HDM-4

Как было упомянуто выше, разрушения и деформации, происходящие в течение длительного периода промерзания, можно рассматривать как результат воздействия комплекс четырех основных составляющих, которые необходимо смоделировать:

1. **Поперечные трещины**, которые зависят от расчетной наиболее низкой температуры покрытия (зависит от температуры и качества битумного вяжущего)
2. **Циклы замораживания и оттаивания**, влияющие на раскрытие и развитие существующих трещин (зависит от наличия воды – не зависит от объемов движения)
3. **Морозное Пучение**, влияющее на появление продольных трещин (зависит от индекса промерзания, толщины стабильных слоев Z, сегрегационного потенциала – не зависит от интенсивности движения транспорта)
4. **Весеннее Таяние** (ослабленная дорожная конструкция – разрушения под воздействием движения ТС)

Поперечные Температурные Трещины

Как упомянуто ранее, поперечные температурные трещины являются наиболее часто встречающимся дефектом дорожных покрытий в Архангельской области. Их появление обусловлено воздействием слишком низких температур на асфальтобетон, содержащий битумное вяжущее со слишком высоким сопротивлением текучести для того, чтобы противостоять появляющимся температурным напряжениям. В HDM-4 аналитик должен выбрать соответствующие значения коэффициентов калибровки появления и развития поперечных трещин K_{cit} и K_{cpt} . Второй уровень калибровки применяется для корректировки значений для моделирования действительных процессов образования и развития трещин. Однако, известно, что поперечные трещины на некоторых участках дорог развиваются быстрее, чем на других. Это зависит от особенностей свойств асфальтобетонов на конкретных участках дорог. Для изучения дорожной сети необходимо принимать средние показатели.

Циклы Замораживания и Оттаивания

Результатом воздействия циклов замораживания и оттаивания на состояние дороги является образование и раскрытие трещин (а также потеря структурных связей между слоями) без учета воздействия транспорта. Это наносит ущерб окружающей среде, что характерно даже для регионов с малой глубиной промерзания. Это не должно оказывать прямого воздействия на коэффициент калибровки ровности, зависящий от окружающей среды, но он влияет на все коэффициенты развития трещин. Существует гипотеза, что величина разрушений зависит от количества циклов замораживания – оттаивания в течение зимнего периода. На данном этапе можно лишь строить предположения относительно величины показателей этих факторов, позволяющих внести поправку на замораживание – оттаивание. Единственный способ определить их фактические значения – это провести наблюдения за развитием трещин на закрепленных участках дорог.

Морозное Пучение

Морозное пучение, прогрессирующее в период промерзания, ослабевает в период оттаивания, но дорожная конструкция так и восстанавливается полностью. Происходит небольшое постоянное ухудшение ровности, а возможно, и небольшое развитие трещин на участках дороги с тонким слоем покрытия и пучиноопасными подстилающими грунтами. Так, в результате воздействия морозного пучения происходит временное ухудшение ровности дороги в зимний период, что невозможно смоделировать в HDM-4, а также остаточное постоянное ухудшение показателей ровности, что объясняет увеличение фактора калибровки ровности от окружающей среды, K_{gm} . Это означает, что показатель K_{gm} зависит от величины морозного пучения. Поэтому он не просто является функцией окружающей среды, но и изменяется от одного участка дороги к другому в пределах одной климатической зоны.

Хотя теперь представляется возможным выполнить приблизительную оценку прогнозируемого морозного пучения, все же весьма затруднительно спрогнозировать влияние морозного пучения на постоянное изменение показателей ровности и показатель K_{gm} .

Предположительно взаимосвязь параметров можно выразить следующей формулой:

$$K_{gm} = \{ m_{sh} + (m_{ex} - m_{sh}) \mu h/100 \} / m_{ex} \dots\dots\dots (3)$$

| | | |
|-----|----------|---|
| Где | m_{sh} | значение в метрах для малой глубины промерзания для полу-засушливых территорий (см. таблицу 7.3 Сб.5) |
| | m_{ex} | значение в метрах для условий длительного промерзания в Архангельске |
| | h | расчетная величина морозного пучения, мм |
| | μ | поправочный коэффициент пучения, по умолчанию =1.0 |

Например, для районов с полу-засушливым климатом, при толщине стабильных слоев дорожной конструкции (включая морозозащитный слой) 1200 мм и сегрегационном показателе грунта земляного полотна SP равном 5, используем формулу (2), и получаем величину морозного пучения $h = 98$ мм. Тогда,

$$K_{gm} = \{0.035 + (0.06-0.035) \times 1.0 \times 98/100\} / 0.06 = 0.99$$

Если же $SP = 2$, то величина морозного пучения $h = 55$ мм, а $K_{gm} = 0.81$.

Расчет показывает, что фактор K_{gm} «ровность – срок службы – окружающая среда» в районах с холодным климатом зависит не только от климатических условий, но и от условий (суровости) промерзания, которые можно оценить при помощи индекса промерзания, толщины стабильных слоев дорожной одежды и морозочувствительности грунтов земляного полотна. Теоретически, можно применить разные значения K_{gm} для каждого отдельного участка дороги, полученного в ходе анализа дорожной конструкции и грунтов земляного полотна.

Весеннее Таяние

Как упоминалось ранее, концепция влияния весеннего таяния в Архангельской области заключается в наличии талой воды (не имеющей возможности просочиться через еще промерзшие нижележащие слои) в разрушенном морозом покрытии и в верхних слоях дорожной одежды, которая снижает прочность дорожной конструкции. Разрушение покрытия под нагрузкой транспортных средств ускоряется в данный критический период. HDM-4 распознает только два сезона (влажный и сухой), когда показатели прочности покрытия различны. В действительности же в Архангельской области можно выделить, по меньшей мере, три сезона, одним из которых является период весенней распутицы. Это явление можно смоделировать единственным способом – предположить, что период весенней распутицы является частью влажного сезона, и ввести средневзвешенный SNP, характеризующий влажный сезон, который также отражает чувствительность к разрушению под воздействием транспорта. Тем не менее, необходимо признать, что формулы разрушения в HDM-4 не моделируют механизм разрушения покрытия, когда нижние слои дорожной одежды и грунты все еще находятся в промерзшем состоянии, а покрытие уже оттаяло.

Разрушений по Времени под Влиянием Морозного Пучения

Поскольку Индекс Промерзания изменяется год от года, можно ожидать, что больше деформаций покрытия будет иметь место в год, когда он превысит индексы предыдущих лет существования свежееуложенного слоя покрытия. И наоборот, можно прогнозировать меньшие разрушения в год, когда индекс промерзания будет ниже среднего значения. Поэтому, невозможно спрогнозировать годовой прирост деформаций. Однако, в долгосрочном понятии средние значения разрушений зависят от среднего индекса промерзания.

Предлагаемые Будущие Исследования для Обоснования и Калибровки Вышеприведенных Формул

Предлагается провести измерения уровней поверхности на специально подобранных типичных пересечениях участков дорог: в Сентябре - по оси дороги и на расстояниях 1.5 м и 3.0 м влево и вправо от оси, а затем в следующем Марте, с целью определения профиля пучения, расчета средней величины морозного пучения и разности пучений. Для этого, необходимо использовать отметки реперов, не зависящие от величины пучения (Это может быть береговой устой моста, и т.п.).

На каждом из участков необходимо выполнить визуальные обследования на выявление наличия трещин, а также измерения ровности с тем, чтобы выявить взаимозависимости между пучением / неравномерным пучением и разрушением дороги в течение периода лет.

Возможно, Архангельский государственный технический университет совместно с Архавтодором возьмут на себя обязательства по проведению долгосрочных исследований. Поскольку в АГТУ уже собрана необходимая информация о влиянии промерзания по нескольким участкам дороги М8, целесообразно включить их в перечень калибровочных участков HDM-4, по которым будут осуществлены тщательные визуальные обследования состояния и измерения ровности с целью долгосрочной калибровки модели разрушений HDM-4.

Предложения на ближайшее будущее

Использовать коэффициент $K_{gm} = 1.0$, как определено в Уровне 1 Калибровки до получения результатов с калибровочных участков модели разрушений. Ожидается, что коэффициент калибровки ровность, зависящий от окружающей среды, может быть выше для тонких слоев покрытий, построенных на морозочувствительных грунтах, и ниже для толстых и прочных слоев на непучиноопасных грунтах. Маловероятно, чтобы фактор был одинаков для всех дорог в одной климатической зоне.