



Проект 3: устойчивое развитие: человек-природа-культурное наследие

Цель: реализация инновационных образовательных программ для подготовки и переподготовки специалистов социально-экономической, медико-биологической и культурной сфер и для формирования у населения здорового образа жизни.

Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

Владимирский государственный университет

Кафедра автомобильного транспорта

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ТРАНСПОРТНО-
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ КАЧЕСТВА
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ
И ГОРОДСКИХ УЛИЦ»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ КАЧЕСТВА
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И ГОРОДСКИХ УЛИЦ»**

Составитель

НУЖДИН Роман Владимирович

Ответственный за выпуск – зав. кафедрой доцент А. Г. Кириллов

Подписано в печать 12.05.08.

Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 2,09. Тираж 150 экз.

Заказ

Издательство

Владимирского государственного университета
600000, Владимир, ул. Горького, 87.

Составитель
Р. В. НУЖДИН

Владимир 2008

УДК 625.7/.8
ББК 39.31
М54

Рецензент

Доктор технических наук, профессор
Владимирского государственного университета
Б. Г. Ким

Печатается по решению редакционного совета
Владимирского государственного университета

М54 **Методические** указания к лабораторным работам по дисциплине «Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и городских улиц» / Владим. гос. ун-т ; сост. Р. В. Нурждин. – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2008. – 40 с.

Содержат четыре лабораторные работы. Рассмотрены методические аспекты оценки интенсивности движения транспорта, определения пропускной способности; влияние геометрических элементов дорог на пропускную способность; расчет прочности дорожных одежд нежесткого типа.

Предназначены для студентов специальности 190601 – автомобили и автомобильное хозяйство дневной и заочной форм обучения.

Табл. 12. Ил. 12. Библиогр.: 6 назв.

УДК 625.7/.8
ББК 39.31

ОГЛАВЛЕНИЕ

Лабораторная работа № 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ДВИЖЕНИЯ В ТРАНСПОРТНОМ УЗЛЕ	3
Лабораторная работа № 2. ОЦЕНКА ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ДОРОГИ	12
Лабораторная работа № 3. ДОРОЖНЫЕ ОДЕЖДЫ	19
Лабораторная работа № 4. ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ДОРОГ НА СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ	32
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	38

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Бабков, В.Ф.** Дорожные условия и безопасность движения : учеб. для вузов / В. Ф. Бабков. – 2-е изд., доп. – М. : Транспорт, 1982. – 288 с.
2. **Бабков, В.Ф.** Проектирование автомобильных дорог : учеб. для вузов : в 2 т. / В.Ф. Бабков, О.В. Андреев. – 2-е изд., доп. – М. : Транспорт, 1987.
3. Инструкция по проведению экономических изысканий для проектирования автомобильных дорог : ВСН 42-87. – Введ. 01.06.88. – М. : Минтрансстрой, 1987. – 30 с.
4. **Эльвик, Р.** Справочник по безопасности дорожного движения / Рунэ Эльвик, Аннэ Боргер Мюсен, Трулс Ваа ; пер. с норв. ; под ред. В.В. Сильянова. – М. : МАДИ (ГТУ), 2001. – 754 с. – ISBN 5-7962-00151.
5. **Проектирование** автомобильных дорог : справ. инженера-дорожника / под ред. Г.А. Федотова. – М. : Транспорт, 1989. – 376 с.
6. **Сильянов, В.В.** Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и городских улиц : учеб. для студентов высш. учеб. заведений / В.В. Сильянов, Э.Р. Домке. – М. : Академия, 2007. – 352 с. – ISBN 978-5-7695-2943-6.

Лабораторная работа № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ДВИЖЕНИЯ В ТРАНСПОРТНОМ УЗЛЕ

Цель работы. Изучить методику определения интенсивности движения и состава транспортного потока.

Основные положения

Эксплуатация автомобильного парка связана с перевозками по маршрутам при разной степени их загрузки в разные дни недели и время суток. Следуя на отдельных участках дороги в одном направлении с неодинаковыми скоростями, автомобили образуют *транспортный поток* – ряд автомобилей, едущих друг за другом в одном направлении по одной или нескольким полосам проезжей части на таком расстоянии один от другого, что изменение скорости идущего впереди автомобиля отражается на режиме движения следующего за ним.

За основную характеристику движения по дорогам принимают общее количество транспортных средств, проходящих через некоторое сечение дороги за единицу времени (сутки, час), называемое *интенсивностью движения*. Интенсивность неодинакова на разных участках дороги и обычно возрастает вблизи от населенных пунктов. Она изменяется по дням недели и в течение суток, резко снижаясь в ночное время.

Загрузку дорог движением обычно оценивают не по максимальной интенсивности, наблюдаемой в отдельные дни и часы, а по среднему значению за год, называемому *среднегодовой суточной интенсивностью движения*. Эта характеристика весьма условна, поскольку в течение достаточно длительных периодов времени фактическая интенсивность движения существенно превышает среднегодовую. Поэтому при резко выраженном сезонном характере перевозок расчет на среднегодовую интенсивность создает напряженные условия движе-

ния по дороге в наиболее ответственные для ее работы периоды. На таких дорогах исходят из наибольшей часовой интенсивности движения в двух направлениях или увеличивают среднегодовую интенсивность на поправочный коэффициент. Если в наиболее напряженный месяц в году интенсивность движения более чем в 2 раза превышает среднегодовую, его принимают равным 1,5.

Обычно при оценке условий работы дороги интенсивность движения выражают в фактическом количестве проходящих автомобилей, суммируя автомобили независимо от их типов. В этом есть большая условность, так как проезд по дороге с малой скоростью нескольких автопоездов с тяжелыми прицепами не эквивалентен проезду равного числа легковых автомобилей. Поэтому для характеристики количества автомобилей, которое дорога может пропустить, фактическую интенсивность движения иногда пересчитывают на эквивалентное количество легковых автомобилей, которые могли бы проехать по участку дороги за время проезда грузовых автомобилей, автобусов или автопоездов. Для этого вводят *коэффициенты приведения*, на которые умножают число автомобилей каждого типа:

I. Легковые автомобили, микроавтобусы и грузовые автомобили полной массой до 3,5 т.....	1,0
II. Мотоциклы.....	0,5
III. Грузовые автомобили, автобусы.....	2,5
IV. Автопоезда.....	5,0
V. Троллейбусы.....	3,0

Интенсивность не является исчерпывающей характеристикой движения. Для решения некоторых задач проектирования и эксплуатации автомобильных дорог используют ряд других его характеристик.

Так, для назначения толщины дорожной одежды и выбора типа покрытия имеет значение не только количество, но и размер нагрузок. Один проезд тяжелого автомобиля оказывает на дорогу более разрушительное воздействие, чем проход большого числа легких автомобилей. Это обстоятельство учитывают пересчетом фактической интенсивности движения в эквивалентную приведенную интенсивность движения одного из тяжелых автомобилей, принимаемого за расчетный.

Инструменты и оборудование

Для выполнения работы необходимы: нивелир, геодезическая линейка, штатив, техническая лента (20 м).

Порядок выполнения работы

1. На контрольном участке дороги измерить ширину проезжей части, м.
2. С помощью нивелира и технической ленты измерить уклон i , %.
3. Упрощенным методом определить радиус кривой в плане.

Углы поворота и радиусы кривых в плане измеряют следующим упрощенным способом. Вначале определяют вершину угла поворота и теодолитом или гониометром замеряют длину хорды b , стягивающей дугу окружности AC и стрелку z (рис.12). По этим данным определяют радиус кривой

$$R = 4z^2 + b^2 / 8z. \quad (25)$$

- Значение радиуса принимают как среднее нескольких измерений. Хорду b рекомендуется принимать равной длине мерной ленты (20 м).
4. Рассчитать скорость движения по формуле Б.Б. Анохина.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткое изложение общих вопросов влияния геометрических элементов дорог на скорость движения.
3. Порядок выполнения работы.
4. Данные замеров и расчетов свести в таблицу.
5. Выводы о проделанной работе.

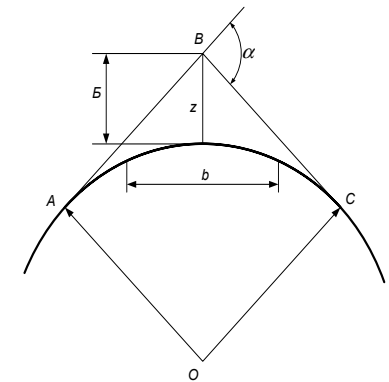


Рис. 12. Схема определения радиуса кривой в плане упрощенным методом

Контрольные вопросы

1. Назовите основные элементы дорог.
2. Как устанавливают размеры геометрических элементов?
3. Влияние геометрических элементов на скорость движения.

Параметры кривых в плане оказывают существенное влияние также и на психофизиологические характеристики водителя. Т. А. Шилакадзе установлено, что на кривых в плане горных дорог частота пульса заметно уменьшается с увеличением радиуса кривой (рис.11). Это указывает на улучшение условий работы водителя с увеличением радиуса кривой в плане.

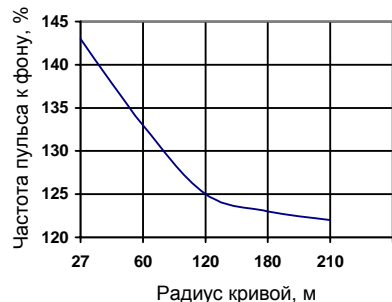


Рис. 11. Зависимость частоты пульса водителя от радиуса кривой в плане (по данным Т. А. Шилакадзе)

Для учета совместного влияния на скорость движения всех элементов дороги и интенсивности движения предложены уравнения, полученные на основе множественной корреляции.

Наблюдения за скоростями движения на дорогах юга России позволили А.В. Кацу и Д.И. Раснянскому получить ряд зависимостей, одна из которых

$$V = \log k + 3,16B - 0,21i - 0,023N - 0,13p - 71,0, \quad (23)$$

где V – средняя скорость движения, км/ч; k – площадь деформаций дорожного покрытия, влияющих на скорость, %; B – ширина проезжей части, м; i – продольный уклон, ‰; N – интенсивность движения, авт. ч; p – доля легковых автомобилей, %.

Для оперативной оценки скорости движения в свободных условиях на двухполосных дорогах Б.Б. Анохин рекомендует следующую зависимость:

$$V_0 = 29,0 + 3,85 B - 0,53 i + 0,0096 R + 10,8 n_{л} - 10,3 n_{авт}, \quad (24)$$

где $n_{л}$, $n_{авт}$ – количество легковых автомобилей и автопоездов в составе потока в долях единицы.

Приведенные выше данные показывают существенное влияние элементов дорог на скорости движения и могут быть использованы для ориентировочной оценки принимаемых проектных решений.

На дорогах промышленных предприятий, где движение легковых автомобилей невелико, транспортный поток характеризуют грузонапряженностью – массой нетто перевозимых за год грузов в миллионах тонн.

Для детальной характеристики состава движения грузовые автомобили обычно делят на четыре основные категории: особо малой грузоподъемности – до 1 т, малой – от 1 до 2 т, средней – свыше 2 до 5 т и большой – свыше 5 т. Автомобили особо большой грузоподъемности (более 40 т), предназначенные для перевозок в карьерах и на строительных площадках, могут пропускаться по автомобильным дорогам общего пользования лишь в единичных случаях, в благоприятные для работы дорожной одежды периоды года и в незагруженном состоянии.

Фактическую интенсивность движения по дорогам устанавливают путем учета движения – наблюдений, проводимых систематически в разное время года и в разные часы суток на характерных участках маршрута. Для этой цели применяют закладываемые в дорогу счетчики, автоматически фиксирующие нагрузку, направление и скорость движения, а также расположение проезжающих автомобилей по ширине проезжей части. Однако на большей части дорог России пока еще учет движения проводят несколько раз в году наблюдатели. Результаты учета движения оформляют в виде графиков среднесуточных размеров движения или эпюр грузонапряженности дороги.

На разветвленной сети дорог (например в городе) интенсивность движения удобнее определять не в сечениях дороги, а на перекрестках (транспортных узлах). При этом в зависимости от конфигурации транспортного узла формируется группа наблюдателей, которые фиксируют входящие транспортные потоки с разделением по типам транспортных средств (легковые, грузовые, автобусы и т.п.) и по направлениям движения (направо, прямо, налево). Результаты наблюдений позволяют оценить не только общую интенсивность движения по направлениям, но также интенсивность и состав транспортных потоков внутри узла. Такая информация необходима при разработке проектов реконструкции транспортных узлов и оценке уровня организации и безопасности дорожного движения.

Проектирование новых дорог ведут в расчете на интенсивность движения, которая на них будет через 20 лет после окончания разработки проекта. При изысканиях новой дороги для оценки будущей

Таблица 9

Автомобили	Корреляционное уравнение	Коэффициент корреляции	Среднее квадратическое отклонение, км /ч
Грузовые	$V = 60,67 - 0,996K$	0,975	1,14
	$V_{85} = 69,25 - 1,06K$	0,965	1,64
	$V_{95} = 76,17 - 1,29K$	0,97	1,83
Легковые	$V = 70,78 - 1,51K$	0,99	1,23
	$V_{85} = 84,65 - 1,98K$	0,96	3,20
	$V_{95} = 95,09 - 2,23K$	0,935	4,73

Примечание. К – кривизна, равная $1000 / R$; R – радиус кривых в плане; V – средняя скорость движения; индексы “85” и “95” – обеспеченность.

Различные исследователи предлагают следующие зависимости средней скорости движения от радиуса кривой в плане:

$$V = 71,2 - 1540 / R \text{ (Россия);} \quad V = 74 - 1540 / R \text{ (Болгария);}$$

$$V = 69,3 - 1290 / R \text{ (Венгрия);} \quad V = 74 - 2810 / R \text{ (США).}$$

Модальные значения скорости зависят от радиуса кривой в плане

$$V = 78 (1 - e^{-0,0159 R}). \quad (18)$$

Для горных дорог В.П. Варлашкиным получены следующие корреляционные зависимости средней скорости автомобилей от радиуса кривой:

на внешних кривых, где дорога огибает выступающий склон ко-согора

$$V = V_0 + 0,27 R, \quad (19)$$

где $V_0 = 17,3$ км/ч – для грузовых автомобилей, $19,7$ км/ч – для автобусов, $21,5$ км/ч – для легковых автомобилей;

на внутренних кривых, где дорога вдавывается в склон или лог

$$V = V_0 + 0,51 R \text{ при } 10 < R < 50 \text{ м,} \quad (20)$$

где $V_0 = 18,6$ км/ч – для грузовых автомобилей, $20,2$ км/ч – для автобусов, $22,5$ км/ч – для легковых автомобилей.

Уклон виража i_b на кривых малых радиусов по данным финских дорожников влияет на скорость движения следующим образом:

$$V = 81,7 - 1,0 i_b \text{ (коэффициент корреляции } r = 0,24); \quad (21)$$

$$V = 86,8 - 1,1 i_b \text{ (} r = 0,26) \text{ при } 0 < i_b < 100 \%. \quad (22)$$

интенсивности движения у разных организаций и предприятий, расположенных в районе, который она будет обслуживать (*район тяготения*), собирают сведения об объемах перевозок, которые могут быть на проектируемой дороге. Эти сведения должны учитывать перспективы развития народного хозяйства. Подобные расчеты, несмотря на большую их трудоемкость, иногда приводят к преуменьшенным значениям интенсивности движения, так как постройка каждой новой дороги вызывает появление дальних транзитных грузопотоков, способствует развитию новых отраслей промышленности и сельского хозяйства, которые еще не планировались в период изысканий. Поэтому необходимо совершенствование методов экономического обоснования требований к строящимся и реконструируемым дорогам.

Характеристикой потока автомобилей является также *средняя скорость движения*. При малой интенсивности отдельные автомобили могут в полной мере реализовать свои динамические качества. При возрастании интенсивности начинает проявляться взаимное влияние автомобилей, в результате которого устанавливается некоторая средняя скорость потока транспорта. Эта скорость является характеристикой *пропускной способности дороги*, т. е. количества автомобилей, которое может проехать по дороге за единицу времени.

Выполнение работы

Для предложенных преподавателем транспортного узла и интервалов наблюдений определить интенсивность движения и состав транспортного потока в указанной последовательности:

1. Провести подсчет транспортных средств, въезжающих на перекресток с данного направления. Выполнить 4 – 6 замеров (по 2 в час с интервалом от начала одного замера до начала следующего 30 мин). Продолжительность замера – 10 мин при высокой интенсивности движения и 15 мин при низкой интенсивности движения. Заполнить протокол исследований по форме 1 (табл. 1).

2. На основании листов учета интенсивности движения (форма 1) заполнить табл. 2 (форма 2) для часа с наибольшей суммарной интенсивностью движения.

3. Заполнить табл. 3 результатов обследования интенсивности движения в транспортном узле (форма 3).

хиним были получены следующие формулы для оценки скорости движения:

по дополнительной полосе

$$V_0 = 62,2 - 0,532 i + 0,0095 R + 11,46 p_{л} - 10,06 p_{авт}; \quad (16)$$

на основной (левой) полосе

$$V_0 = 62,2 - 0,521 i + 0,0097 R + 11,16 p_{л} - 9,6 p_{авт}; \quad (17)$$

где $p_{л}$, $p_{авт}$ – доля легковых автомобилей и автопоездов в потоке, в долях единицы; i – продольный уклон, ‰; R – радиус кривой в плане, м.

С изменением продольного уклона особенно на автомобильных дорогах, проходящих в горной местности, изменяется также и время реакции водителя (рис. 10).

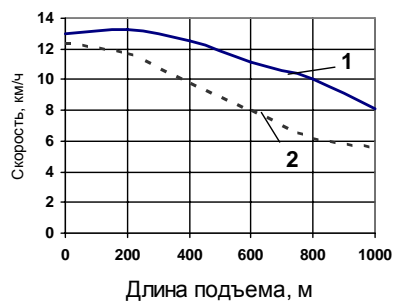


Рис. 9. Зависимость среднего квадратического отклонения скоростей движения от длины подъема: 1 – $i = 30 ‰$; 2 – $i = 80 ‰$

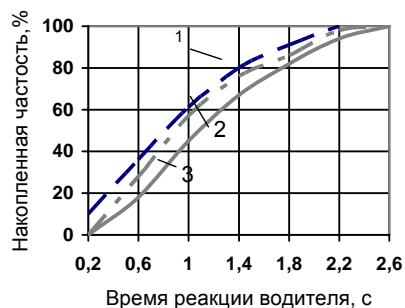


Рис. 10. Время реакции водителя на характерных участках дорог в горной местности (по данным Т.А. Шилакадзе и В.В. Чванова): 1 – движение на спуск; 2 – движение на подъем; 3 – равнинные участки

Большое влияние на скорости движения оказывают радиусы кривых в плане. Скорости в свободных условиях на кривых с обеспеченной видимостью более 700 м могут быть определены по уравнениям, предложенным М.Б. Афанасьевым (табл. 9).

4. Нанести значения интенсивностей на схему транспортного узла (см. образец на рис. 1).

5. Сделать вывод о распределении интенсивности и указать ее возможные причины.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Общие положения и понятия.
3. Результаты наблюдений (схема узла, форма 1).
4. Результаты обработки данных (формы 2, 3, схемы распределения интенсивности транспортных потоков).
5. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Что называют транспортным потоком и интенсивностью движения?
2. Для чего используют коэффициенты приведения?
3. От каких факторов зависит интенсивность движения на выбранном участке?

Транспортный узел: _____

Контролер № _____

Дата _____

Таблица 1

№	Легковые автомобили		Грузовые автомобили		Автобусы		Троллейбусы	
	Направо	Прямо	Направо	Прямо	Направо	Прямо	Направо	Прямо
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								

Примечание. Мотоциклы считать как 0,5 легкового автомобиля, легковые автомобили с прицепом – 1,5 легкового автомобиля. В качестве легковых учитывать все автомобили размерами до автомобилей «Газель» включительно. Автопоезд равен двум грузовым автомобилям.

Существенное изменение скоростей движения наблюдается на участках подъемов (рис. 8, а). Значение установившейся скорости, характерной для определенного уклона,

$$v_i = \frac{v_0}{1 + \delta i}, \tag{15}$$

где v_0 – начальная скорость при въезде на подъем, км/ч; α – эмпирический коэффициент; i – продольный уклон в долях единицы.

Коэффициент α в зависимости от уклона имеет следующие значения (табл. 8).

Таблица 8

Уклон, ‰	20	30	40	50	60	70	80	90
Коэффициент α	9	10	13,5	17,5	26,7	28,6	29,4	33,4

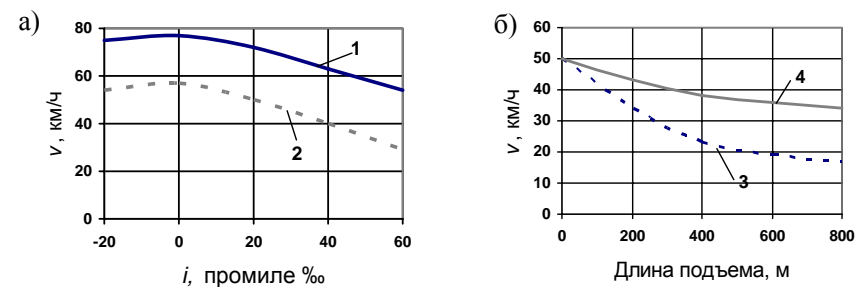


Рис. 8. Скорости движения на подъемах: а – влияние уклона; 1 – легковые автомобили; 2 – грузовые автомобили; б – влияние длины подъема; 3 – $i = 70 ‰$; 4 – $i = 50 ‰$

На скорость оказывает влияние также длина подъема (рис. 8, б). Наиболее резкое падение скорости наблюдается на первых 200 – 300 м при уклонах 50 ‰ и более и на первых 600 – 800 м при уклонах менее 30 ‰. Среднее квадратичное отклонение скоростей движения на подъемах зависит от их уклона и длины (рис. 9). Так, в начале подъема σ составляет 9,9 км/ч, уменьшаясь в дальнейшем до 5,08 км/ч. При устройстве дополнительной полосы при движении на подъем существенно изменяется скоростной режим транспортного потока. Б.Б. Ано-

Лабораторная работа № 4

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ДОРОГ НА СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ

Цель работы: изучить методы определения геометрических элементов дороги и их влияние на скорость движения.

Общие положения

Скорость движения во многом определяется размерами и сочетаниями геометрических элементов автомобильных дорог. Из элементов поперечного профиля наибольшее влияние на скорость движения оказывает ширина проезжей части и обочин. Исследования, проведенные в Финляндии, показали следующее влияние ширины обочин b на техническую скорость движения (при $0,5 < b < 2,5$ м):

$$V = 69,0 + 9,8b \quad (\text{средняя для потока}); \quad (8)$$

$$V_{л} = 73,5 + 10,5b \quad (\text{средняя для легковых автомобилей}). \quad (9)$$

Среднее квадратическое отклонение технической скорости

$$\sigma_v = 12,8 + 2,7b \quad \text{при } 0,5 < b < 2,5 \text{ м}. \quad (10)$$

Мгновенные скорости движения зависят от ширины обочины в месте производства замеров. На основе регрессионного анализа получены следующие уравнения:

$$V = 57,0 + 4,7b \quad (\text{всего потока при } 1,0 < b < 3,5 \text{ м}); \quad (11)$$

$$V_{л} = 65,0 + 5,3b \quad (\text{легковых автомобилей при } 1,0 < b < 3,5 \text{ м}). \quad (12)$$

Среднее квадратическое отклонение мгновенных скоростей

$$\sigma = 10,0 + 0,85b \quad \text{при } 1,0 < b < 3,5 \text{ м}. \quad (13)$$

Заметное влияние на скорость движения оказывает ширина проезжей части B на дорогах с двумя и тремя полосами движения, имеющих осевую разметку.

При этом может быть использовано корреляционное уравнение для мгновенной скорости

$$V = 58,0 + 1,58B \quad \text{при } 5 < B < 13,0 \text{ м}. \quad (14)$$

Форма 2

Интенсивность движения в транспортном узле (за 1 час)

Транспортный узел _____ Дата _____
 Тип перекрестка _____ (х-образный, т-образный, площадь)

Тип транспортного средства	Легковые автомобили	Грузовые автомобили	Троллейбусы
Коэффициенты приведения	1,0	2,5	3,0
	Легковые автомобили	Грузовые автомобили	Троллейбусы
	1,0	2,5	3,0

Таблица 2

Исходные данные (для одного часового интервала)

Номер контроллера	Число транспортных средств								Эквивалент	
	Легковые автомобили				Грузовые автомобили					
	Направо	Прямо	Налево	Направо	Направо	Прямо	Налево	Направо		
Время:										
1										
2										
3										
4										
Время:										
1										
2										
3										
4										
Всего										
Всего за час										

Результаты обследования интенсивности движения

Транспортный узел _____

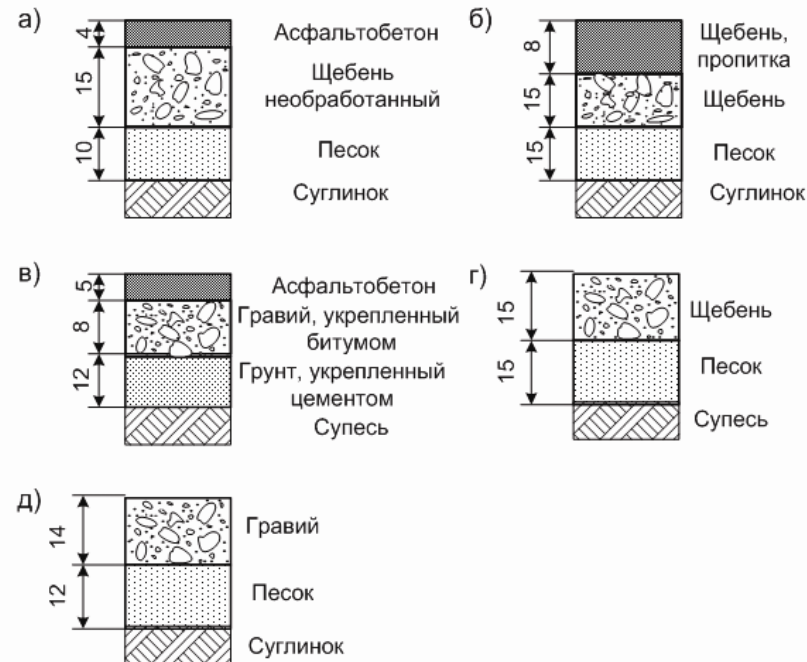
Дата _____ Время _____

Тип транспортного средства	Легковые автомобили	Грузовые автомобили	Автобусы	Троллейбусы
Коэффициенты приведения	1,0	2,5	2,5	3,0

Таблица 3

Направление	Интенсивность движения, авт./ч				Процент от эквивалента			
	Легковые	Грузовые	Троллейбусы	Всего	Легковые	Грузовые	Автобусы	Троллейбусы
к перекрестку								
1								
2								
3								
4								
Итого								
от перекрестка								
1								
2								
3								
4								
Итого								

4. Проверить достаточность толщины гравийного покрытия (рис. 7, з) на пути из песчаного карьера, и рассчитать в случае необходимости толщину слоя необходимого усиления. Расчетное движение 140 авт./сут (КрАЗ-6510). Дорога расположена в Ивановской области. Сток воды обеспечен, возвышение полотна удовлетворяет требованиям технических условий.



5. Проверить возможность движения автомобилей по временной дороге (рис. 7, д). Расчетная суточная интенсивность движения 50 автомобилей ЗИЛ-45065, 20 автомобилей МАЗ-5335 (нагрузка на ось 90 кН), 40 автомобилей ГАЗ-3307. Определить допустимую нагрузку на ось для суточной интенсивности 200 автомобилей. Дорога проходит в третьей дорожно-климатической зоне. Дорожные одежды положены непосредственно на выровненную поверхность суглинистого грунта. Рельеф не обеспечивает отвода воды.

3. Задание.
4. Расчет и расчетные схемы.
5. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Назовите виды и назначение основных слоев дорожной одежды.
2. Охарактеризуйте каждую из групп дорожных одежд по степени капитальности.
3. В чем отличие между жесткими и нежесткими дорожными одеждами с точки зрения восприятия и распределения нагрузок?
4. С какой целью вводится понятие эквивалентного модуля упругости?
5. Как влияют на модуль упругости подстилающих грунтов характер поверхностного стока и степень увлажнения?

Варианты заданий

1. Проверить, может ли дорожная одежда (рис. 7, а) обеспечить пропуск движения с суточной интенсивностью 120 автомобилей КамАЗ-65115. Дорога расположена во Владимирской области, проходит в невысокой насыпи с обеспеченным стоком поверхностных вод. При необходимости рассчитать необходимое утолщение асфальтобетонного слоя.
2. Проверить, может ли дорожная одежда (рис.7, б) обеспечить пропуск движения с суточной интенсивностью 80 автомобилей КамАЗ-5320 и 40 автомобилей ГАЗ-3307. Дорога расположена во Владимирской области, проходит в невысокой насыпи по торфянистым почвам, сток поверхностных вод не обеспечен. При необходимости рассчитать необходимое утолщение щебеночного слоя, построенного способом пропитки.
3. Проверить достаточность толщины асфальтобетонного покрытия дороги (рис. 7, в) на пути к строительной площадке, и рассчитать в случае необходимости толщину слоя необходимого усиления. Расчетное движение 20 авт./сут МАЗ-5432 + МАЗ-9758 (седельный тягач с полуприцепом). Расчетная нагрузка на ось 100 кН. Дорога расположена во второй дорожно-климатической зоне. Сток воды обеспечен, возвышение полотна удовлетворяет требованиям технических условий.

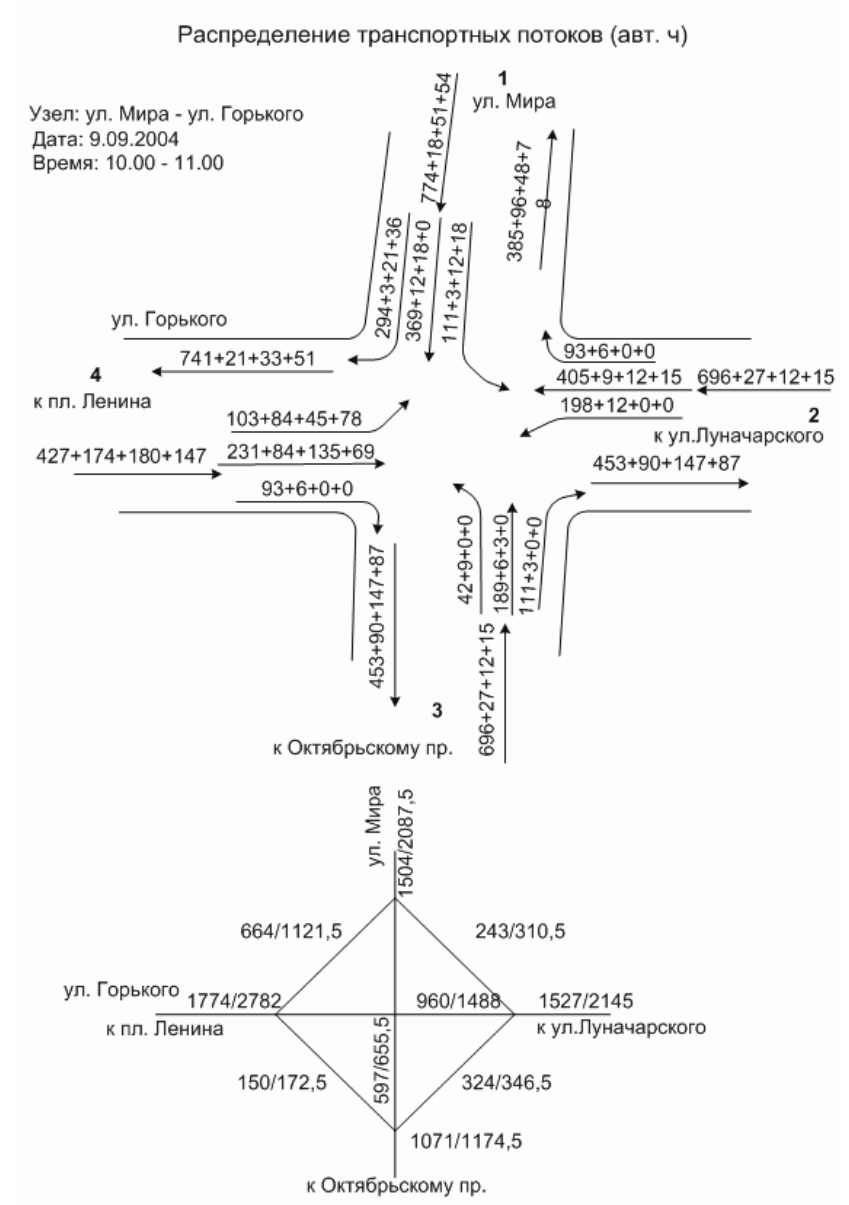


Рис. 1. Схемы транспортного узла с распределением транспортных потоков

Лабораторная работа № 2

ОЦЕНКА ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ДОРОГИ

Цель работы. Изучить методики расчета пропускной способности автомобильной дороги, оценить пропускную способность выбранного участка дороги.

Основные положения

Требования к элементам дороги обеспечивают возможность движения с расчетной скоростью одиночных автомобилей. Фактически по дорогам происходит одновременное движение большого числа автомобилей, которые образуют на дороге транспортные потоки, движущиеся навстречу друг другу. В каждом транспортном потоке осуществляется взаимодействие автомобилей. Между автомобилями устанавливаются интервалы, размер которых зависит от скорости движения и индивидуальных особенностей водителей. Различие в оценке оптимальных условий движения разными водителями приводит к возникновению в транспортном потоке внутренних помех. Поэтому все проектные решения, принимаемые на основе нормативов, разработанных применительно к движению одиночного автомобиля, должны анализироваться с точки зрения удовлетворения ими требований движения транспортных потоков.

Условия движения по дороге существенно меняются с увеличением интенсивности движения. На степень удобства проезда по дороге, легкость управления автомобилем, эффективность использования автомобильного транспорта и расход топлива непосредственное влияние оказывает загрузка дороги движением. В зависимости от степени загрузки дороги автомобилями различают несколько характерных режимов транспортных потоков, связывая с ними понятие об уровнях удобства движения:

Аналогично предыдущему восстанавливаем перпендикуляры из точек на осях, соответствующих этим отношениям. Они пересекаются в точке, для которой $E_2/E_{\text{общ}} = 0,51$.

Следовательно, эквивалентный модуль упругости дорожной одежды $E_{\text{эkv}} = 39/0,51 = 77$ МПа.

При определении допускаемой для дороги интенсивности движения используем номограмму на рис. 5. Откладываем на оси ординат найденное значение $E_{\text{эkv}} = 77$ и проводим из этой точки перпендикуляр до пересечения с линией для покрытий переходного типа и нагрузок класса Б. Точка пересечения соответствует интенсивности 200 авт./сут.

Приводя заданную интенсивность движения к эквивалентной нагрузке 60 кН на ось, получаем согласно табл. 5:

$$N_{\text{прив}} = 50 \cdot 2,25 + 80 \cdot 1,94 = 268 \text{ авт./сут} > 200 \text{ авт./сут.}$$

Таким образом, дорожная одежда заданную интенсивность движения не выдержит.

Определим для заданной интенсивности $N_{\text{прив}} = 268$ авт./сут необходимый эквивалентный модуль упругости. Согласно номограмме (см. рис. 5) $E_{\text{эkv, треб}} = 84$ МПа.

$$\text{Имеем } E_2/E_1 = 0,19.$$

Восстанавливаем перпендикуляр к точке на шкале ординат, соответствующей этому значению, и продолжаем его до линии на поле номограммы для отношения $E_2/E_{\text{эkv, треб}} = 39/84 = 0,46$.

Опуская из точки их пересечения перпендикуляр на ось абсцисс, находим искомое отношение $h/D = 0,73$. Необходимая толщина гравийного покрытия $28 \cdot 0,73 = 20,5$, и, следовательно, существующее покрытие должно быть утолщено на 4,5 см.

Выполнение работы

1. По исходным данным произвести расчет жестких дорожных одежд.
2. Составить необходимые расчетные схемы.
3. Сделать заключение о пригодности дорожной одежды заданным условиям эксплуатации и дать рекомендации по ее улучшению.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Теоретическая часть.

гда по табл. 7 для расчета можно принять модуль упругости суглинистого грунта – 28 МПа. По табл. 6 принимаем модули упругости гравийного покрытия (среднее значение) – 210 МПа; песок – 100 МПа.

Требуется найти эквивалентный модуль упругости дорожной одежды и затем определить интенсивность, которой он соответствует. Для решения используем номограмму, приведенную на рис. 4.

Вначале определяем эквивалентный модуль системы «песчаное основание – суглинистый грунт» (рис. 6, б). Известны значения $E_1 = E_{\text{пес}} = 100$ МПа, $E_2 = E_{\text{сугл}} = 28$ МПа и $h = 10$ см. Расчет ведем на нагрузку группы Б (см. табл. 4), для которой расчетный диаметр следа колеса $D = 28$ см. Находим отношения $E_2/E_1 = 0,28$ и $h/D = 10/28 = 0,35$.

Находим на оси абсцисс точку, соответствующую отношению $h/D = 0,35$, а на оси ординат точку $E_2/E_1 = 0,28$ и восстанавливаем для них перпендикуляры. Они пересекаются на поле номограммы в точке, для которой отношение $E_2/E_{\text{общ}} = 0,72$. Отсюда $E_{\text{общ}} = E_2/0,72 = 28/0,72 = 39$ МПа.

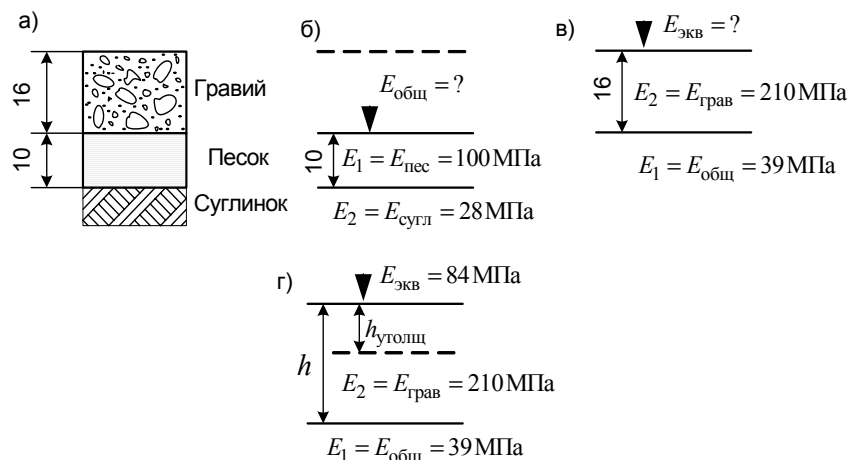


Рис. 6. Схема к определению допускаемого движения по гравийному покрытию и величины необходимого утолщения

Следующий этап расчета – определение эквивалентного модуля всей дорожной одежды (рис. 6, в).

Известны значения $E_2 = E_{\text{грав}} = 210$ МПа, $E_1 = E_{\text{общ.пес.сугл}} = 39$ МПа и $h_{\text{грав}} = 16$ см.

Находим отношения $E_2/E_1 = 39/210 = 0,19$ и $h/D = 16/28 = 0,57$.

свободный поток (уровень удобства движения А) – одиночные автомобили, едущие на таком расстоянии друг за другом, что они не оказывают взаимного влияния на условия движения;

частично связанный поток (уровень удобства движения Б) – движение происходит в виде групп, состоящих из нескольких автомобилей, которые отличаются по динамическим качествам и следуют на близком расстоянии друг за другом. Обычно это вызывается тем, что передний автомобиль, движущийся более медленно, задерживает задние. Средняя скорость потока снижается;

связанный поток (уровень удобства движения В) – движение происходит в виде больших групп автомобилей. Все автомобили оказывают взаимное влияние и сразу после обгона одиночного автомобиля или группы скорость автомобиля начинает вновь определяться движением едущего перед ним автомобиля;

плотный, или насыщенный, поток (уровень удобства движения Г) – автомобили следуют друг за другом. Обгоны становятся практически невозможными. Скорость движения резко снижается.

Транспортные потоки характеризуются интенсивностью, средней скоростью, которая зависит от условий движения и состава транспортного потока, и плотностью. *Плотность транспортного потока* – количество автомобилей, приходящееся на единицу длины однородного по транспортным характеристикам участка дороги, обычно протяженностью 1 км:

$$q = N/v, \quad (1)$$

где N – интенсивность движения, авт./ч; v – скорость движения, км/ч.

Количество автомобилей, которое может пройти по дороге за определенный отрезок времени, – *пропускная способность* – зависит от их скорости и степени организованности движения.

Различают следующие виды пропускной способности:

максимальную теоретическую пропускную способность, определяемую по формулам динамической задачи теории движения транспортных потоков для движения колонны однотипных автомобилей в благоприятных дорожных условиях;

практическую типичную пропускную способность – наибольшее число автомобилей, которое может быть пропущено участком дороги

при фактически складывающихся на ней режимах движения транспортных потоков в благоприятных погодных условиях. В СНиП 2.05.02 - 85 пропускная способность приводится для средних дорожных условий применительно к смешанному транспортному потоку в различных условиях рельефа и выражается числом автомобилей, приведенным к легковым.

Для определения максимальной пропускной способности воспользуемся упрощенной динамической задачей теории транспортных потоков. Рассмотрим пропускную способность полосы движения, по которой следует с соблюдением постоянных расстояний между однотипными автомобилями транспортный поток.

Количество автомобилей, прошедших через рассматриваемое сечение полосы за час (авт./ч), т.е. пропускная способность полосы движения при скорости v (км/ч) для случая мгновенной остановки переднего автомобиля, что можно себе представить как падение из кузова грузового автомобиля какого-либо предмета, определяется формулой

$$N_{\max} = \frac{1000v}{\frac{v}{3,6} + \frac{K_3 v^2}{254(\varphi \pm i + f)} + l_3 + l_4}, \quad (2)$$

где v – средняя скорость транспортного потока, км/ч; K_3 – коэффициент эксплуатационного состояния тормозов ($K_3 = 1$); φ – коэффициент сцепления колеса с поверхностью дороги (усовершенствованное покрытие – 0,75, асфальтобетонное покрытие – 0,7, влажное – 0,5, мокрое – 0,4, грязное – 0,3, обледенелое – 0,1 ... 0,05); i – продольный уклон дороги; f – коэффициент сопротивления движению ($f = 0,02$); l_3 – запас между остановившимися автомобилями ($l_3 = 1$ м); l_4 – длина автомобиля ($l_4 = 4,2$ м). Плюс в знаменателе ставится в случае движения на подъем, минус – на спуск.

Средняя скорость потока определяется по формуле

$$v = v_0 - \alpha N, \quad (3)$$

где v_0 – скорость движения одиночного автомобиля при отсутствии помех (в расчете принимается как максимальная допустимая скорость движения); N – интенсивность движения по дороге в одном направлении, авт./ч; α – коэффициент снижения скорости, который зависит

1-й тип. Сухие места – обеспеченный рельефом местности сток поверхностных вод, грунтовые воды расположены глубоко;

2-й тип. Сырые места с избыточным увлажнением в отдельные периоды – рельеф не обеспечивает стока поверхностных вод, весной и осенью происходит застой дождевых и талых вод, имеются признаки заболачивания;

3-й тип. Сырые места с постоянным избыточным увлажнением – рельеф не обеспечивает отвода воды, грунтовые воды стоят близко от поверхности грунта, высота насыпей не удовлетворяет требованиям технических условий, почвы торфянистые, болотные, солончаки.

В зависимости от дорожно-климатической зоны и типа гидрологической группы меняется модуль упругости подстилающего грунта (табл. 7).

Таблица 7

Климатическая зона	Гидрологическая группа	Модуль упругости грунта, МПа	
		Супесь легкая	Суглинки
II	1	39	28
	2	37	24
	3	35	21
III	1	42	34
	2	39	28
	3	39	28
IV	1	45	42
	2	42	34
	3	42	34

Пример расчета. Проверить, может ли гравийное покрытие на подъездном пути к пристанционной разгрузочной площадке, конструкция которого показана на рис. 6, *a*, обеспечить пропуск движения с суточной интенсивностью 50 автомобилей КамАЗ-5320 и 80 автомобилей ЗиЛ-4520. Дорога расположена во второй дорожно-климатической зоне, проходит в невысокой насыпи с обеспеченным стоком поверхностных вод. В случае необходимости рассчитать требуемую толщину усиления верхнего слоя.

Решение. Условия проложения дороги в отношении водоотвода благоприятные и соответствуют первой гидрологической группе, то-

Расчетные параметры прочности дорожных одежд и подстилающих грунтов

При ориентировочных расчетах прочности дорожных одежд и проверке допускаемой интенсивности движения можно пользоваться следующими данными (табл. 6).

Таблица 6

Материалы конструктивного слоя	Модуль упругости, МПа
Асфальтобетон:	
в верхних слоях покрытия	1500 – 3000
в нижних слоях покрытия	900 – 1500
Щебень, обработанный в установках битумом	600 – 900
Щебеночный слой, построенный способом пропитки	400 – 600
Щебень, уложенный по способу заклинки	250 – 450
Гравийные смеси оптимального состава, укрепленные вязким битумом	250 – 350
Грунтовые смеси, укрепленные цементом	200 – 500
Гравийные оптимальные смеси	150 – 270
Песок мелкозернистый	100

При назначении модуля упругости подстилающих грунтов учитывают условия увлажнения и просыхания земляного полотна дороги. В зависимости от уровня залегания грунтовых вод, характерного весеннего состояния грунта и его относительной влажности территорию России делят на пять дорожно-климатических зон:

I зона – северная тундровая полоса в пределах распространения многолетнемерзлых грунтов;

II зона – районы таежных и смешанных лесов;

III зона – переходная зона от подзолистых почв к черноземам (лессостепь);

IV зона – территории, покрытые черноземами;

V зона характеризуется незначительным увлажнением грунтов вследствие сильной испаряемости (сухая степь).

Кроме деления на дорожно-климатические зоны пользуются понятием о гидрологических группах земляного полотна. Различают три гидрологические группы – три типа местности по характеру поверхностного стока и степени увлажнения:

от состава транспортного потока. При 20 % легковых автомобилей $\alpha = 0,016$, при 50 % – 0,012 и при 80 % – 0,008.

Практические значения пропускной способности для типичных дорожных условий (ровная, слегка увлажненная шероховатая поверхность с коэффициентом сцепления 0,6 при обеспечении видимости) в зависимости от категории дороги приведены в табл. 1.

Таблица 1

Категория дороги	Средняя практическая пропускная способность одной полосы движения при рельефе, авт. ч		
	равнинном	пересеченном	горном
II	1200	1100	1000
III	1000	900	800
IV	850	800	650
V	650	550	400

На практике дорожные условия не всегда соответствуют типичным. Ввиду этого изменяется и пропускная способность. Учесть дорожные условия на конкретном участке позволяет способ, предложенный проф. В.В. Сильяновым. Способ основан на использовании полученных по данным наблюдений коэффициентов, отражающих влияние дорожных условий на изменение пропускной способности по сравнению с типичными.

Пропускная способность участков, выражаемая в приведенном количестве легковых автомобилей,

$$N_y = N_{пр} \beta_1 \beta_2 \dots \beta_{13}, \quad (4)$$

где $N_{пр}$ – максимальная практическая пропускная способность; $\beta_1 - \beta_{13}$ – частные коэффициенты снижения пропускной способности, имеющие следующие значения:

Ширина полосы движения, м	3,75	3,5	3,0
β_1	1	0,96	0,85
Расстояние от кромки проезжей части до препятствия, м	2,0	1,0	0,5
β_2	1	0,9	0,83

Количество автопоездов в составе транспортного потока, %	10	20	30
β_3	0,93	0,87	0,81
Продольный уклон, %	2	4	6
β_4	0,92	0,83	0,64
Расстояние видимости, м	Менее 100	150 – 200	250 – 350
β_5	0,73	0,90	0,98
Снижение скорости в зоне действия знаков и в населенных пунктах, км/ч	60	50	30
β_7 и β_{13}	1,0	0,98	0,88
Тип обочин	Щебень	Засев	Неукрепленные
β_9	0,99	0,95	0,9
Тип покрытия	Усовершенствованное	Асфальтобетонное	
β_{10}	1,0	0,91	
Участки около автобусных остановок	В стороне от дороги	Без отделения от проезжей части	
β_{11}	1,0	0,7	
Наличие разметки	Осевая	Разделительная полоса	Отсутствует
β_{12}	1,02	1,4	0,8

Типичная пропускная способность полосы движения характеризуется интенсивностью движения при частично связанном режиме транспортного потока с некоторым снижением скорости по сравнению со скоростью одиночных автомобилей.

В зависимости от интенсивности движения по дороге изменяются количество взаимных помех и режимы движения автомобилей. Чем меньшая предусматривается интенсивность по одной полосе проезжей части дороги при проектировании, тем большие удобства будут обеспечены для пользующихся дорогой.

Загрузку автомобилями полос движения характеризуют коэффициентом загрузки z , который представляет собой отношение фактической интенсивности движения к практической типичной пропускной способности полосы движения. Различают четыре характерных состояния транспортного потока (табл. 2).

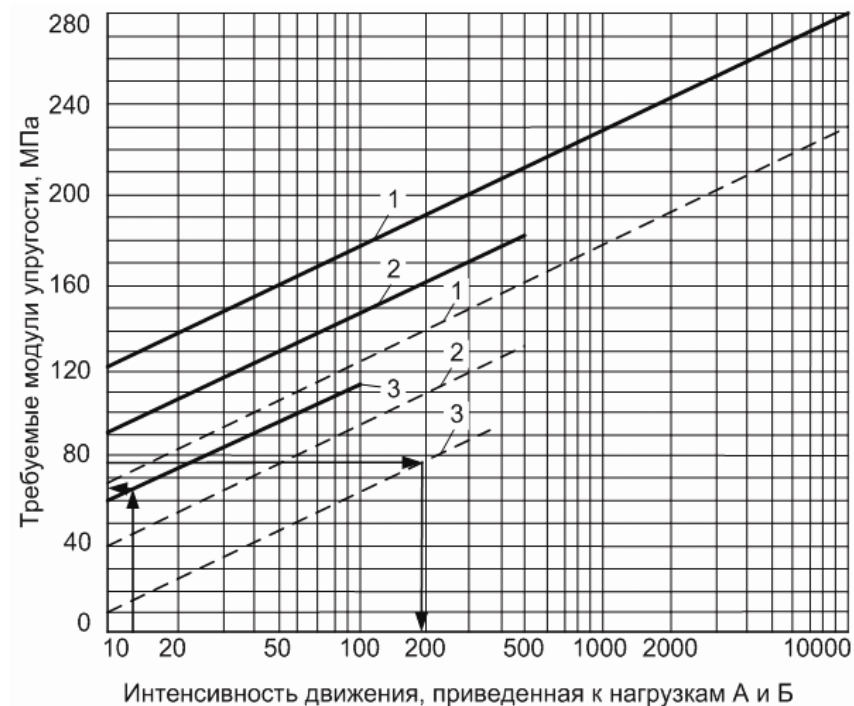


Рис. 5. Номограмма для определения требуемого эквивалентного модуля упругости при расчетах по упругим деформациям: 1 – усовершенствованные покрытия; 2 – усовершенствованные облегченные покрытия; 3 – покрытия переходного типа. Сплошные линии – нагрузка класса А, пунктирные – класса Б

Таблица 5

Марка транспортного средства	Статическая нагрузка, приведенная к одной задней оси, кН	Коэффициент приведения к расчетным нагрузкам	
		Группа А	Группа Б
ГАЗ-3307	53	0,08	0,74
ЗИЛ-4520, 45065, 5343	70	0,20	1,94
КамАЗ-5320, 5511	90	0,27	2,25
КамАЗ-65115	100	1,00	–
КрАЗ-6510	120	2,34	–
МАЗ-5516	91	1,04	–

$$E_{ЭКВ.N} = \frac{E_{ЭКВ.СТАТ}}{a + b \ln N}, \quad (7)$$

где $E_{ЭКВ.N}$ – эквивалентный модуль упругости одежды при воздействии N автомобилей в сутки по одной полосе движения; $E_{ЭКВ.СТАТ}$ – эквивалентный модуль одежды, еще не подвергавшейся многократному воздействию нагрузки; a и b – параметры, характеризующие интенсивность накопления деформаций в одеждах.

Значения коэффициентов a и b были определены по данным обобщения результатов наблюдений за службой дорожных одежд в условиях эксплуатации и специальных опытов. В итоге была построена номограмма, связывающая принятые расчетные нагрузки, число их приложений и предельно-допустимый прогиб дорожной одежды (рис. 5). Данные о расчетных нагрузках приведены в табл. 4.

Нагрузки от автомобилей группы А используют при расчетах одежд на дорогах I – III категорий. Дороги более низких категорий проектируют для автомобилей группы Б, если в задании на проектирование специально не оговорен пропуск по ним транспортных средств группы А.

Таблица 4

Тип расчетной нагрузки	Наибольшая нагрузка на одиночную ось, кН	Среднее давление на покрытие, МПа	Расчетный диаметр следа колеса, см
Группа А:			
автомобили	100	0,6	33
автобусы	110	0,6	35
Группа Б:			
автомобили	60	0,5	28
автобусы	70	0,5	30

Для проверки возможности движения определенных марок автомобилей используют коэффициенты приведения нагрузок от автомобилей к расчетным. Некоторые значения коэффициентов приведения даны в табл. 5.

Таблица 2

Уровень удобства движения	Интенсивность движения на полосе, авт. ч	Состояние транспортного потока	Коэффициент загрузки	Скорость потока по отношению к скорости одиночного автомобиля	Условия работы водителя
А	360	Свободный	Менее 0,2	0,9 – 1,0	Легкие
Б	900	Частично связанный	0,2 – 0,45	0,7 – 0,9	Нормальные
В	1200	Связанный	0,45 – 0,7	0,55 – 0,7	Загруженные
Г	1600	Насыщенный	0,7 – 1,0	0,4 – 0,55	Напряженные

Расчетный коэффициент загрузки дороги при сдаче в эксплуатацию не должен превышать 0,45 – 0,55 от ее практической пропускной способности, с тем чтобы к моменту окончания расчетного срока эксплуатации и возникновения потребности в реконструкции дороги он не превышал 0,65 – 0,75. Тем самым создается резерв пропускной способности на случай интенсификации перевозок, а также сезонных и суточных пиков интенсивности движения. Соответственно коэффициенты загрузки назначают число полос движения на проезжей части.

При назначении числа полос пользуются формулой

$$n = \frac{N\varepsilon}{zN_T}, \quad (5)$$

где N – интенсивность движения, приведенная к легковым автомобилям; ε – коэффициент сезонной неравномерности движения (для осени – $\varepsilon = 0,75 \dots 0,8$); z – коэффициент загрузки, соответствующий необходимому для данной дороги уровню удобства; N_T – типичная (практическая) пропускная способность полосы.

Выполнение работы.

1. Рассчитать максимальную пропускную способность полосы N_{\max} , пользуясь формулой (2) для различных значений скорости (от 20 до 90 км/ч с шагом 10 км/ч). Результаты занести в табл. 3.

Таблица 3

$\varphi = \dots$	Скорость, км/ч							
$i = \dots$	20	30	40	50	60	70	80	90
N_{\max} авт./ч								

2. Рассчитать среднюю скорость движения транспортных средств по формуле (3) для интенсивности 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4 от $N_{\text{экв}}$.

3. Построить график изменения средней скорости от интенсивности движения. На том же графике построить также зависимость максимальной пропускной способности от скорости (по табл. 3).

4. Определить для точки пересечения линий на графике значение скорости и интенсивности движения (типичная пропускная способность $N_{\text{пр}}$).

5. Определить фактический коэффициент загрузки полосы. Сделать заключение о достаточности имеющегося числа полос. Определить необходимое число полос по формуле (5).

6. Вычислить пропускную способность участка по формуле (4). Сравнить пропускную способность с интенсивностью движения на данном участке.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Теоретическая часть.
3. Практическая часть, включающая исходные данные, результаты вычислений, график $N(v)$.
4. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Назовите виды транспортных потоков.
2. Что такое плотность транспортного потока?
3. От чего зависит пропускная способность полосы движения?
4. Что называют коэффициентом загрузки и каковы его оптимальные значения?
5. Перечислите способы расчета пропускной способности.

определяют эквивалентный модуль системы из этого слоя и лежащего на нем слоя дорожной одежды. Расчеты по указанной схеме повторяют до тех пор, пока не будут учтены все слои дорожной одежды. Для облегчения расчетов составлена номограмма (рис. 4).

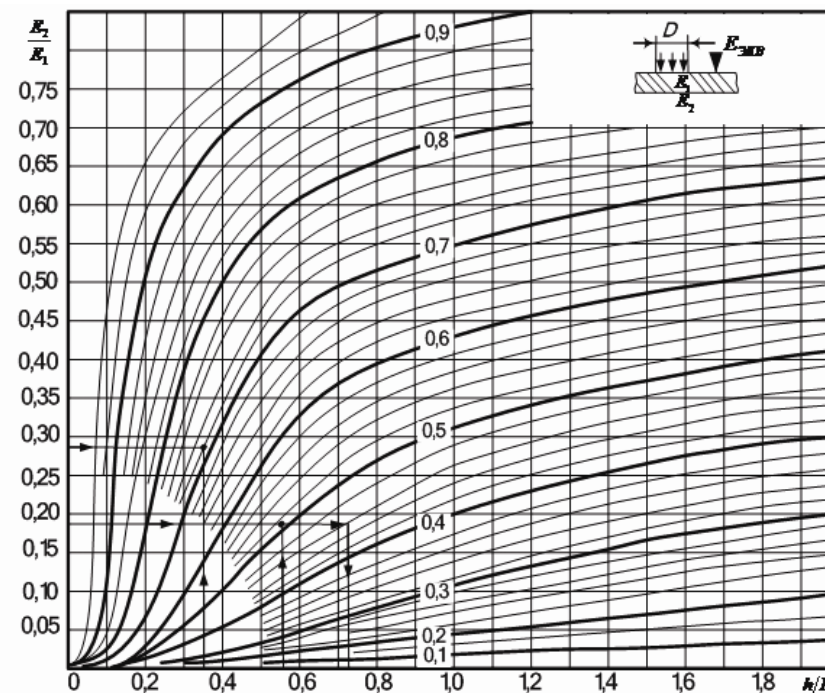


Рис. 4. Номограмма для определения общего модуля упругости $E_{\text{ЭКВ}}$ двухслойной системы. Цифры на кривых означают отношение $E_2/E_{\text{ЭКВ}}$ — модуля упругости нижнего слоя E_2 к эквивалентному модулю двухслойной системы $E_{\text{ЭКВ}}$

Опыт эксплуатации дорог показывает, что дорожные одежды, имеющие значительную прочность при расчете на однократное приложение нагрузки, разрушались при многократном воздействии нагрузки, значительно меньшей расчетной.

На основании опытных данных была установлена эмпирическая зависимость

пропуска по дороге отдельных тяжелых нагрузок или оценки допустимой интенсивности движения автомобилей определенного типа достаточна проверка по упругому прогибу.

По формуле Е. Бербера при действии одинаковых нагрузок осадки Δ у двухслойной системы и однородного упругоизотропного полупространства одинаковы, если их модули упругости находятся в соотношении

$$E_{ЭКВ} = \frac{1,05E_1}{\frac{E_1/E_2 + 1}{\sqrt{1 + \frac{4h}{D} \left(\frac{E_1}{E_2}\right)^{2/3}}} + 1}}, \quad (6)$$

где E_1, E_2 – модули упругости верхнего и нижнего слоев; h – толщина верхнего слоя; D – диаметр круглой площадки, равновеликой площади контакта шины с покрытием.

Это дает возможность условно заменять при расчетах двухслойную систему эквивалентным по деформируемости слоем условного однородного материала (рис. 3).

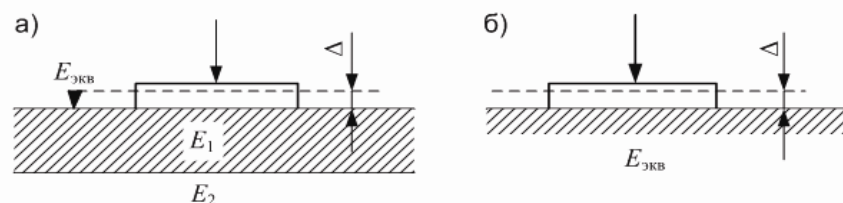


Рис. 3. Схема к определению понятия об эквивалентном модуле упругости: а – многослойная система после деформации (пунктирными линиями показано первоначальное положение слоев); б – эквивалентное однородное пространство

Дорожные одежды обычно состоят не из двух, а из большего числа слоев. Для оценки прочности их приводят к эквивалентным двухслойным, последовательно определяя эквивалентные модули конструктивных отдельных слоев, начиная с подстилающего грунта вверх по направлению к покрытию. Вначале определяют эквивалентный модуль упругости двухслойной системы из грунта и расположенного на нем слоя основания. Затем, рассматривая эти два слоя как основные, характеризующиеся найденным значением модуля упругости,

Лабораторная работа № 3

ДОРОЖНЫЕ ОДЕЖДЫ

Цель работы. Изучить основные типы и назначение конструктивных элементов дорожных одежд. Провести расчет нежестких дорожных одежд.

Основные положения

Для обеспечения круглогодичного движения автомобилей по проезжей части и снижения напряжений в рабочем слое земляного полотна устраивают *дорожную одежду*, которая представляет собой уложенную на поверхность земляного полотна твердую монолитную конструкцию из материалов, хорошо сопротивляющихся воздействию климатических факторов и колес транспортных средств.

Дорожная одежда обычно состоит из нескольких слоев (рис. 2), имеющих разные назначения.

Верхний слой – *покрытие* – создает на дороге ровную поверхность и обеспечивает эксплуатационные качества дороги: малое сопротивление качению, сопротивление износу и высокий коэффициент сцепления. Покрытия подвергаются непосредственному воздействию усилий от автомобилей и атмосферных факторов. Поэтому их устраивают из прочных каменных материалов с введением вяжущих. Покрытия имеют минимальную толщину, поскольку для них используют наиболее дорогостоящие материалы.

Для увеличения сопротивления изнашиванию и улучшения сцепления шин с дорогой на поверхности иногда устраивают *поверхностные обработки* путем розлива вяжущих материалов с немедленной засыпкой одномерным мелким щебнем твердых горных пород.

Для повышения прочности покрытий из слабых каменных материалов иногда поверх них устраивают тонкий периодически восстанавливаемый *слой износа* из более прочных материалов.

Расположенный ниже покрытия слой дорожной одежды – *основание* – предназначен для передачи и распределения давления на большую площадь грунта земляного полотна. Основание не подвергается непосред-

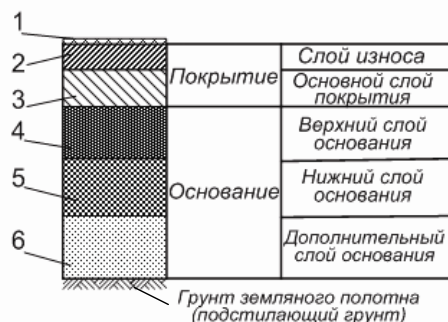


Рис. 2. Конструктивные слои дорожных одежд (слева – пример конструкции, справа – название конструктивных слоев): 1 – поверхностная обработка; 2 – среднезернистый асфальтобетон; 3 – крупнозернистый асфальтобетон; 4 – щебень, обработанный вяжущими материалами; 5 – щебень; 6 – песок.

венному воздействию колес автомобилей и погодных факторов, поэтому его устраивают из менее прочных материалов, чем покрытие, делая его из нескольких слоев, прочность которых уменьшается по мере удаления от поверхности покрытия.

Как нижний конструктивный слой дорожной одежды должен рассматриваться тщательно уплотненный грунт верхних слоев земляного полотна – подстилающий грунт. Прочная, хорошо сопротивляющаяся нагрузкам до-

рожная одежда может быть построена лишь на однородном, хорошо уплотненном и осушенном грунтовом основании.

Все дорожные одежды по степеням их капитальности и обеспечения требованиям автомобильного движения делят на три группы:

I. *Усовершенствованного типа* – покрытия, укладываемые на прочных основаниях. Бывают *капитальные* (цементобетонные и асфальтобетонные на каменных основаниях) и *облегченные* (покрытия из щебня и гравия, обработанные органическими вяжущими материалами, на основаниях из камня или укрепленного грунта);

II. *Переходного типа* – покрытия со сравнительно невысоким сопротивлением износу (щебеночные, гравийные, шлаковые). Покрытия переходного типа строят для небольших интенсивностей движения, с тем чтобы при увеличении движения использовать их как основания для более совершенных покрытий.

III. *Низшего типа* – покрытия, не обеспечивающие круглогодичного движения по дорогам (грунтовые, укрепленные гравием или щебнем).

Дорожная одежда хорошо выдерживает движение автомобилей только в тех случаях, когда ее конструкция и толщина отдельных слоев рассчитаны на действующие нагрузки с учетом частоты их приложения. Срок службы дорожных одежд может быть существенно продлен, если при организации автомобильных перевозок учитывать прочность дорожных одежд и согласовывать с типами покрытий тоннаж используемых автомобилей, а в случае необходимости рассредоточить интенсивные перевозки между несколькими параллельными дорогами.

Все типы дорожных одежд по условиям их работы при действии нагрузок делятся на две группы – *жесткие* и *нежесткие*. К жестким относят цементобетонные, асфальтобетонные или усовершенствованные мостовые на бетонных основаниях. Прочность этих одежд в основном определяется сопротивлением изгибающим усилиям цементобетонной плиты, распределяющей давление на большую площадь грунтовой плиты, распределяющей давление на большую площадь грунтового основания. К нежестким относят все остальные типы дорожных одежд, которые сами практически не воспринимают изгибающих напряжений, а сопротивление нагрузкам обеспечивается преимущественно подстилающим грунтом.

Если к нежесткой дорожной одежде приложена нагрузка, превосходящая ее прочность, то возникает сжатие и частичное вытеснение грунта, в результате чего дорожная одежда прогибается; при прогибе в дорожной одежде развиваются растягивающие и скалывающие напряжения; в основаниях из несвязанных и малосвязанных материалов (гравий, песок, щебень) и в подстилающем грунте могут возникать явления пластического течения – выжимание материалов из-под загруженной площадки.

Нормальными условиями работы дорожной одежды при воздействиях расчетных нагрузок от автомобилей являются упругие прогибы, восстанавливающиеся после прохода автомобилей.

При расчете за основной показатель прочности дорожной одежды принимают комплексную характеристику – *допускаемый упругий прогиб*. При проектировании автомобильных дорог конструкцию дорожной одежды дополнительно проверяют на устойчивость против возникновения сдвигов, допустимое значение растягивающих напряжений, допустимое вспучивание зимой, а также на обеспечение отвода воды из пористых слоев грунта. Однако для проверки возможности