РАСЧЕТ СКОРОСТЕЙ ДВИЖЕНИЯ И ОЦЕНКА ПО КОЭФФИЦИЕНТАМ БЕЗОПАСНОСТИ

1. Методика оценки дороги по скорости движения

На стадии проектирования дороги при оценке транспортно-эксплуатационных качеств необходимо установить скорость движения в среднем по дороге и на отдельных её участках. Оценку скорости движения будем выполнять по методу Бельского. Построенные по нему графики скоростей движения автотранспорта дают возможность решать следующие задачи:

- оценить качество проектирования трассы;
- получить данные для обоснования расстановки дорожных знаков;
- выделить трудные участки с точки зрения безопасности;
- установить эффект проведённой реконструкции путём сравнения эпюр скоростей до и после выполнения работ.

В основу расчёта положено уравнение движения автомобиля

$$D = f \pm i \mp \frac{x}{R} + \frac{\delta}{g} \cdot \frac{dV}{dt}, \qquad (1)$$

где f – коэффициент сопротивления качению (принимаем его равным 0,02);

i – продольный уклон (знак «+» – движение на подъёме, знак «-» – движение на спуске); x – расстояние от назначенного начала координат до точки, в которой определяется движение, м; R – радиус вертикальной кривой, м (знак «+» – движение по выпуклой кривой, знак «-» – движение по вогнутой кривой); δ – коэффициент, учитывающий инерцию вращающихся масс автомобиля; g – ускорение свободного падения (9,81 м/с^2); D – динамический фактор; V – скорость движения автомобиля, м/с; $\frac{dV}{dt}$ – ускорение.

Проинтегрировав уравнение (1), получим выражение для скорости

$$V = \sqrt{\left(V_0^2 \pm z\right) \cdot e^{-2nx} \pm mx \pm z}, \qquad (2)$$

где V_0 – скорость, принятая в начальной точке вертикальной кривой при x = 0 м;

Параметр z зависит от типа автомобиля и дорожного сопротивления. Он определяется по формуле

$$z = \frac{m}{2n} \pm \frac{1}{b}\left(a - G\left(f \pm i\right)\right), \qquad (3)$$

где

$$n = \frac{b \cdot g}{\delta \cdot G}, \qquad (4)$$

$$m = \frac{G}{b \cdot R},$$

G – вес гружёного автомобиля; a, b – параметры, характеризующие тип автомобиля и передачу, на которой осуществляется движение.

При движении по прямолинейному участку вертикального профиля дороги формула (2) упрощается, так как в этом случае $m = 0$, $R = \infty$. Она имеет вид:

$$V = \sqrt{\left(V_0^2 - L\right) \cdot e^{-2nx} + L}, \qquad (5)$$

где L – параметр, применяемый по таблицам [1, приложение 1, табл. 1] или вычисленный по формуле

$$L = \frac{1}{b}\left(a - G\left(f + i\right)\right). \qquad (6)$$

2. Алгоритм расчёта скорости движения

2.1. Назначают исходные данные:

- расчётный автомобиль;
- начальную скорость;
- начальную передачу, соответствующую расчётной скорости;
- тип покрытия.

Расчётный автомобиль. В настоящее время расчёты обеспечиваемых дорогой скоростей движения обычно ведут на наиболее совершенные и распространённые автомобили массового производства. В учебном пособии [1] они представлены легковыми автомобилями класса «Волга» и грузовым автомобилем типа «ЗИЛ». Если в транспортном потоке доля легковых автомобилей меньше 30 %, то расчётным можно считать грузовой автомобиль.

Масса автомобиля «Волга» ГАЗ-24 ***G* = 1915 кг**.

Масса автомобиля ЗИЛ-130 с полной загрузкой ***G* = 8495 кг**.

Начальная скорость движения в начале (конце) трассы. Начальную скорость движения легкового автомобиля принимают в соответствии с категорией дороги [2]. Расчётные скорости грузовых автомобилей – не более 80 км/ч. При движении потока транспортных средств из-за временных помех скорости движения снижаются по сравнению с расчётными. Однако расчёт элементов дороги на высокие скорости обеспечивает удобство и безопасность движения в часы меньшей загрузки дороги. **В расчётах требуется перевести значение скорости в единицу измерения м/с.**

Начальная передача. Передача назначается по начальной скорости движения в начале трассы. Диапазон скоростей, в пределах которых автомобиль может двигаться на соответствующей передаче, приведён в табл. 1 [1]. В случае нового строительства в качестве начальной скорости движения принимается расчётная скорость в соответствии с табл. 2.

Таблица 1 – Критические скорости для назначения передачи

Расчётный автомобиль	Номер передачи	Критические скорости движения			
		V_{min}		V_{max}	
		км/ч	м/с	км/ч	м/с
ГАЗ-24 «Волга»	I	8,22	2,28	41,43	11,51
	II	12,74	3,54	64,16	17,82
	III	19,85	5,51	100	27,78
	IV	28,78	7,99	145	40,28
ЗИЛ-130	I			12,0	3,33
	II	7,0	1,94	22,0	6,11
	III	12,0	3,33	33,0	9,17
	IV	18,5	15,14	60,0	16,67
	V	28,0	7,78	80,0	22,22

Таблица 2 – Начальная передача

Автомобиль	Начальная скорость движения, км/ч	Начальная передача
ГАЗ-24	80	III - IV
	100	IV
	120	IV
ЗИЛ-130	80	V

Тип покрытия. Для дорог I – IV категорий при новом строительстве принимается асфальтобетонное покрытие. Коэффициент сопротивления качению назначают в соответствии с табл. 3.

Таблица 3 – Значения коэффициента сопротивления качению

Покрытие	f
Цементобетонное и асфальтобетонное:	
в хорошем состоянии	0,014 – 0,018
в удовлетворительном состоянии	0,018 – 0,022
Ровное щебёночное или гравийное покрытие:	
обработанное органическим вяжущим	0,020 – 0,025
без обработки, с небольшими выбоинами	0,030 – 0,040
Грунт:	
плотный, ровный, сухой	0,030 – 0,060
неровный и грязный	0,050 – 0,010
Лёд	0,018 – 0,020
Снег укатанный	0,025 – 0,030
Песок сухой	0,150 – 0,300
Песок влажный	0,080 – 0,100

2.2. Выделяют характерные участки на продольном профиле:

- с нулевым уклоном;

- участки подъёмов и спусков, в пределах которых уклон постоянный. Если проектная линия имеет вертикальные кривые, то их разбивают на небольшие участки и дуги заменяют хордами.

2.3. Вводят относительную систему координат. Она действует в пределах всего участка с постоянным уклоном и каждый раз переносится в новую точку, когда меняется уклон проектной линии или происходит переключение передачи на высшую или низшую.

2.4. Вычисляют скорости по формуле (5). Значения x принимают с шагом кратным 100 м (100, 200, 300 и т.д.) до конца участка с постоянным уклоном или точки переключения передач. Необходимо иметь в виду, что большинство технических параметров в данной методике зависит от передачи. Их значения приведены в табл. 4 и 5 для соответствующих расчётных автомобилей.

Таблица 4 – Технические параметры для автомобиля ЗИЛ-130

Параметр	Ед. изм.	Передача				
		I	II	III	IV	V
V_{min}	км/ч	-	7	12	18,5	28
	м/с	-	1,94	3,33	5,14	7,78
V_{max}	км/ч	12	22	33	60	80
	м/с	3,33	6,11	10,55	16,66	22,22
a		3170	1749	974	626	416
b		51,83	8,93	1,776	0,677	0,397
δ		3,93	1,91	1,3	1,17	1,06
n		0,015	0,005	0,002	0,0007	0,0004

Таблица 5 – Технические параметры для автомобиля ГАЗ-24

Параметр	Ед. изм.	Передача				
		I	II	III	IV	V
V_{min}	км/ч	8	13	20	29	-
	м/с	2,28	3,53	5,51	8,0	-
V_{max}	км/ч	41	64	100	145	-
	м/с	11,51	17,82	27,78	40,27	-
a		885,1	571,5	336,7	252,9	-
b		1,452	0,362	0,138	0,083	-
δ		1,43	1,17	1,08	1,02	-
n		0,005	0,002	0,0007	0,0004	-

2.5. Проверка возможности движения автомобиля на соответствующей передаче. При расчётах скоростей на участках со значительными продольными уклонами необходимо проверять возможность

движения автомобиля с полученной скоростью на соответствующей передаче. Если полученная расчётом скорость движения не соответствует допускаемым значениям для данной передачи, то следует повторить расчёт для другой передачи.

2.6. Нахождение точки переключения с одной передачи на другую. Пусть j – номер передачи, i – уклон при движении на подъём, V_j – скорость в начале подъёма. Необходимо найти расстояние x, через которое потребуется включить передачу j-1.

Вычисляем L_j и n_j для j-й передачи по формуле $L_j = \frac{1}{b}\left(a - G\left(f + i\right)\right)$ и подставляем её в (5)

$$V_j^{\min} = \sqrt{\left(V_j^2 - L_j\right)\cdot e^{-2n_j x} + L_j} \ . \qquad (7)$$

Из него выражаем x

$$x = -\frac{1}{2n}\cdot \ln\frac{\left(V_j^{\min}\right)^2 - L_j}{V_j^2 - L_j}. \qquad (8)$$

2.7. При расчётах скоростей не принимаются во внимание местные ограничения, накладываемые требованиями правил движения (населённые пункты, переезды, пересечения, кривые малого радиуса, зоны действия знаков). Это позволяет учитывать возможную недисциплинированность водителей или их неопытность.

2.8. Далее строят графики для обоих направлений движения.

3. Практические рекомендации к расчёту

Изложенная методика с математической точки зрения представляет собой некорректную задачу, т.е. небольшое изменение входных параметров может привести к значительному разбросу решений. В связи с этим, необходимо придерживаться следующих рекомендаций:

3.1. В качестве расчётного автомобиля следует принимать грузовой автомобиль ЗИЛ-130, т.к. в случае использования легкового автомобиля ГАЗ-24 «Волга» при движении на подъём (увеличении уклонов вплоть до 50 ‰) автомобиль по расчётам всё равно разгоняется. Это говорит о хороших тяговых качествах этого старенького автомобиля, но совершенно не даёт возможности провести сравнительную оценку вариантов трассы по скорости движения.

3.2. При нахождении точки перехода на другую передачу существуют различные подходы к применению данной методики. В учебном

проектировании смену передачи на автомобиле ЗИЛ-130 следует производить на максимальных скоростях: 12; 22; 33 и 60 км/ч (см. табл. 1).

3.3. В случае движения автомобиля ЗИЛ-130 на подъём при небольших продольных уклонах дороги автомобиль также разгоняется в расчётах. Диапазон этих уклонов зависит от коэффициента сопротивления качению *f*.

3.4. При движении на спуск скорость движения, рассчитываемая по методике, увеличивается всегда.

3.5. Если вычисленная скорость автомобиля ЗИЛ-130 превышает 80 км/ч, то её следует искусственно сдерживать значением 80 км/ч.

3.6. Тем, у кого по трассе предусмотрены серпантины, также следует применять искусственный приём: условно принять полную длину серпантины 400 м и в её пределах (по 200 метров влево и вправо от вершины угла поворота) задать скорость движения 30 км/ч.

3.7. Проводят два расчёта: один в прямом направлении, а другой в обратном.

3.8. Необходимо помнить, что все предполагаемые допущения вполне корректны, когда данная методика применяется для сравнения вариантов. Главное, чтобы один и тот же подход применялся к обоим вариантам.

4. Пример расчёта

Дорога III категории. Расчётный автомобиль – ЗИЛ-130. G = 8495 кг. Движение в начале трассы осуществляется со скоростью 80 км/ч на V передаче. Переведём в другую единицу измерения: V_0 = 80/3,6 = 22,22 м/с. Коэффициент сопротивления качению f = 0,016.

Расчёты сводят в таблицу (см. отдельный файл).

5. Оценка трассы по графикам коэффициентов безопасности

Коэффициентом безопасности называют отношение минимальной скорости движения V_{min}, обеспечиваемой тем или иным участком дороги, к максимально возможной скорости въезда V_{max} автомобилей на этот участок

$$K_{без} = \frac{V_{min}}{V_{max}}. \quad (9)$$

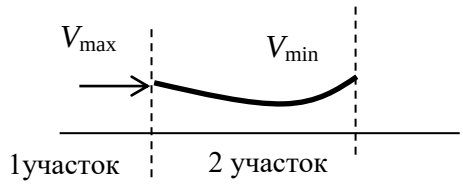


Рисунок 1 – Схема к определению коэффициента безопасности

Чем меньше значение коэффициента безопасности, тем более вероятны дорожные происшествия. В проектах новых дорог недопустимые участки со значениями коэффициента безопасности менее 0,8. При реконструкции и капитальном ремонте существующих участков автомобильных дорог следует перепроектировать участки со значениями коэффициентов безопасности менее 0,6.

Участки, опасные для движения, оценивают исходя из значений, приведённых в табл. 7.

Таблица 7 – Характеристики условий движения

$K_{без}$	0,4	0,4 – 0,6	0,6 – 0,8	0,8
Характеристики условий движения на участке	очень опасные	опасные	малоопасные	практически неопасные

Графики строят для обоих направлений движения.

Список использованных источников

1. Жуков В.И. Комплексная оценка безопасности движения и экологической обстановки дорог: учеб. пособие / КрасГАСА. – Красноярск, 2002. – 56 с.

2. СП 34.13330-2021. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85* : дата введения 2021-08-10. – Москва: Минстрой России, 2021. – 99 с.