



Ю.Д. Силуков

# **Природоохранные требования при проектировании автомобильных дорог**

Екатеринбург  
2012

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВПО «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра транспорта и дорожного строительства

Ю.Д. Силуков

# Природоохранные требования при проектировании автомобильных дорог

Методические указания  
для курсового и дипломного проектирования по расчету интенсивности  
движения на автомобильных дорогах

для студентов очной и заочной форм обучения специальности 270205  
«Автомобильные дороги и аэродромы» и подготовки бакалавров  
и магистров по направлению 270100 «Строительство»

Екатеринбург  
2012

Печатается по решению методической комиссии ЛИФ.  
Протокол № 1 от 21.09.2011 г.

Рецензент – канд. техн. наук, доцент А.А. Чижов

Редактор К.В. Корнева  
Оператор Е.В. Карпова

---

Подписано в печать 31.05.12 г.

Поз. 22

Плоская печать

Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>

Тираж 50 экз.

Заказ №

Печ. л. 0,93

Цена 5 руб. 40 коп.

---

Редакционно-издательский отдел УГЛТУ  
Отдел оперативной полиграфии УГЛТУ

## Оглавление

Введение	4
1. О значении интенсивности движения на автомобильных дорогах	5
2. Однородный поток легковых автомобилей	6
3. Расчет пропускной способности дороги (интенсивности движения)	7
3.1. Динамический габарит автомобиля	8
3.2. Замедление автомобиля при торможении	9
3.3. Влияние технического состояния автомобиля на величину его динамического габарита	10
3.4. Влияние состояния дорожного покрытия на величину динамического габарита	11
3.5. Зависимость динамических габаритов от скорости движения	12
3.6. Вычисление пропускной способности дороги (интенсивности движения)	13
Список литературы	15

## Введение

Вычисление наибольшей пропускной способности автомобильной дороги (интенсивности движения) имеют большое значение при проектировании и эксплуатации дороги и, в частности, при установлении категории дороги.

От правильного и более точного вычисления интенсивности движения зависит проведение своевременной реконструкции, то есть перевод дороги в более высокую категорию.

Задачей методического указания является научить студентов, бакалавров и магистров, как правильно и более точно вычислять интенсивность движения автомобилей в зависимости от многих факторов (технического состояния автомобилей, состояния дорожного покрытия при гололедице, дожде и др.).

## 1. О значении интенсивности движения на автомобильных дорогах

Интенсивность движения (пропускная способность дороги) – это важный показатель, который существенно влияет на проработку и решение вопросов при проектировании, реконструкции, ремонте и эксплуатации автомобильных дорог.

Каждой категории автомобильной дороги соответствует своя интенсивность движения, например, дорога I категории имеет высокую интенсивность движения (больше 14000 автомобилей в сутки), а для III категории она гораздо ниже (от 2000 до 6000 автомобилей в сутки).

Известно, что в зависимости от категории дороги имеют различные характеристики технических параметров и разные эксплуатационные показатели, поэтому требования к продольному профилю, плану дороги, поперечным профилям, радиусам, уклонам, скорости, видимости и другим параметрам будут отличаться между собой.

Более детально и полно прорабатываются проекты для высоких категорий дорог с большой интенсивностью движения и менее детально – для дорог более низких категорий.

Для наглядности приведем пример проектирования экологической безопасности на автомобильных дорогах. В зависимости от величины интенсивности движения дороги подразделяются на 3 экологических класса (табл. 1).

Таблица 1

Экологические классы автомобильных дорог

Этапы	Выполняемые экологические разделы	Экологические классы		
		I	II	III
Программа развития дороги	Данные о возможности влияния на окружающую среду	+	+	+
Экономическое обоснование	Оценка воздействия на окружающую среду	Детально	Сокращенно	-
Инженерный проект	Раздел проекта «Охрана окружающей среды»	+	При необходимости	-
Рабочая документация (рабочий проект)	Детальная проработка природозащитных мероприятий	+	При необходимости	По отдельным вопросам
Интенсивность движения, авт/сут	–	>6000	От 2000 до 6000	<2000

Из таблицы 1 следует, что величина интенсивности движения (экологического класса) влияет на объем и детальность проработки экологических вопросов в проектах.

Приведенные примеры показывают, какое важное значение имеет правильное нахождение величины интенсивности движения (пропускной способности дороги) для решения вопросов при проектировании и эксплуатации автомобильных дорог.

## 2. Однородный поток легковых автомобилей

Пропускная способность (интенсивность движения) является важной характеристикой дороги, которая оценивается максимально возможным количеством автомобилей, проходящим через определенное сечение дороги в единицу времени.

Максимальное количество автомобилей может пройти по дороге только при определенной скорости и плотности транспортного потока.

Если транспортный поток будет состоять из одних легковых автомобилей, то за одно и то же время их можно пропустить по дороге больше, чем грузовых, у которых габарит длиннее.

Обычно транспортный поток состоит из разных автомобилей, имеющих различную длину и технические характеристики, поэтому возникают трудности при определении пропускной способности на участках дороги. Для решения этого вопроса принято разнородный транспортный поток приводить с помощью переводных коэффициентов к однородному потоку из легковых автомобилей. Значения переводных коэффициентов показывают насколько динамический габарит (длина автомобиля плюс безопасная дистанция до движущего впереди транспортного средства) данного автомобиля отличается от динамического габарита легкового автомобиля (табл. 2).

Таблица 2

Коэффициенты приведения для различных транспортных средств

Типы транспортных средств	Коэффициенты приведения
Легковые автомобили	1
Мотоциклы с коляской	0,75
Мотоциклы и мопеды	0,5
Грузовые автомобили грузоподъемностью, т:	
2	1,5
6	2
8	2,5
14	3
>14	3,5
Автопоезда грузоподъемностью, т:	
12	3,5
20	4
30	5
>30	6

Если, например, по дороге движется 250 легковых автомобилей, 400 грузовых грузоподъемностью от 2 до 5 т, 20 автобусов и 100 автопоездов грузоподъемностью до 20 т (всего 670 транспортных средств), то, умножая на коэффициенты приведения, получим:

$$250 \cdot 1 + 400 \cdot 2 + 20 \cdot 2,5 + 100 \cdot 4 = 1500.$$

Следовательно, транспортный поток, состоящий из 670 разнотипных автомобилей эквивалентен по степени загрузки дороги 1500 легковым автомобилям.

Сравнивая между собой коэффициенты приведения, можно сделать вывод, что одним из способов повышения пропускной способности перегруженных участков дороги (улиц) является перевод на другие, менее загруженные, маршруты троллейбусов, автопоездов, сдвоенных автобусов, имеющих габариты по длине в 3-4 раза больше, чем у легковых автомобилей.

### 3. Расчет пропускной способности дороги (интенсивность движения)

На пропускную способность дороги оказывает большое влияние дистанция между движущимися автомобилями. Она будет зависеть от вида и состояния проезжей части. На скользкой проезжей части водители в целях безопасности будут держать большую дистанцию, чем при нормальном состоянии дороги. На скользкой дороге интенсивность движения снижается и могут образовываться заторы.

Содержание дороги на достаточном уровне, например своевременное проведение мероприятий по борьбе со сниженными накатами, гололедицей, позволит не так существенно снижать пропускную способность участка дороги.

При расчете пропускной способности проезжей части (интенсивности движения) исходим из того, что по участку дороги можно пропустить максимальное количество автомобилей, если они будут двигаться в колонне с одинаковой скоростью, соблюдая между собой безопасную дистанцию. Дистанция должна обеспечивать безопасную остановку при экстренном торможении впереди идущего автомобиля.

В реальных условиях транспортный поток состоит из разнотипных автомобилей, имеющих различную конструкцию и эффективность тормозных систем, то есть неодинаковый тормозной путь.

С учетом этого величину безопасной дистанции определяют, исходя из предположения, что движущийся впереди автомобиль имеет более совершенную тормозную систему и, следовательно, меньший тормозной путь, чем идущий следом за ним другой автомобиль.



### 3.1. Динамический габарит автомобиля

Схема динамического габарита автомобиля показана на рисунке 1.

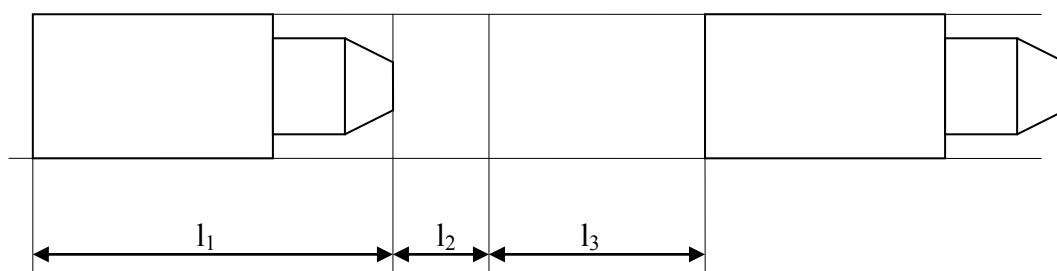


Рис. 1. Схема динамического габарита автомобиля;  $l_1$  – средняя габаритная длина автомобиля;  $l_2$  – путь, проходимый автомобилем за время реакции водителя, т.е. до момента осознания необходимости начать торможение;  $l_3$  – дистанция торможения

Динамический габарит автомобиля  $L$  (см. рис. 1), м:

$$L = l_1 + l_2 + l_3,$$

где  $l_1$  – величина постоянная, а  $l_2$  и  $l_3$  – переменные величины, зависящие от скорости движения автомобилей (расчетной скорости для данной категории дороги).

Величина  $l_2$ , м:

$$l_2 = Vt, \quad (1)$$

где  $V$  – скорость автомобиля перед началом торможения, м/с;

$t$  – реакция водителя (0,3-1 с).

Дистанция торможения  $l_3$  определяется из кинетической энергии, накопленной автомобилем к началу торможения и полностью гасящейся при остановке автомобиля в конце пути торможения, когда скорость движения равна нулю.

$$\frac{MV^2}{2} = F_{\text{сц}} l_3, \quad (2)$$

где  $M$  – масса автомобиля;

$F_{\text{сц}}$  – наибольшая сила тяги по сцеплению колес автомобиля с дорожным покрытием, Н:

$$F_{\text{сц}} = G\phi, \quad (3)$$

где  $G$  – вес автомобиля, Н;

$\phi$  – коэффициент сцепления.

Подставляя значение  $F_{\text{сц}}$  в формулу (2), получим

$$\frac{MV^2}{2} = G\phi l_3. \quad (4)$$

Выразим массу автомобиля в формуле (4) через вес, то есть умножим и поделим на  $g=8,91 \text{ м/с}^2$ :

$$\frac{gMV^2}{2g} = G\phi l_3, \text{ тогда}$$

$$\frac{GV^2}{2g} = G\phi l_3. \quad (5)$$

В выражении (5) сократим G, тогда кинетическая энергия:

$$\frac{V^2}{2g} = \phi l_3. \quad (6)$$

Отсюда находим дистанцию торможения, м:

$$l_3 = \frac{V^2}{2g\phi}. \quad (7)$$

### 3.2. Замедление автомобиля при торможении

Величина произведения  $g \cdot \phi$  в формуле (7) представляет собой замедление автомобиля. Обозначим замедление автомобиля через  $j$ :

$$j = g\phi. \quad (8)$$

Так как в формуле (8)  $g=9,81 \text{ м/с}^2$  величина постоянная, то замедление данного автомобиля при торможении зависит только от коэффициента сцепления колес с дорогой.

Наибольшая эффективность тормозов автомобиля наблюдается при значительном замедлении, когда величина  $j$  будет максимальной.

В таблице 3 приведены значения коэффициента сцепления и замедление при торможении автомобиля в зависимости от вида и состояния дорожного покрытия.

Таблица 3

Значение коэффициента сцепления  $\phi$  и замедления  $j$  при торможении в зависимости от вида и состояния дорожного покрытия для автомобилей с неизношенным рисунком протектора

Покрытие или состояние дороги	Коэффициент сцепление		Замедления при торможении, $j$ , $\text{м/с}^2$	
	Сухая поверхность	Мокрая поверхность	Сухая поверхность	Мокрая поверхность
Асфальтобетонное с шероховатой обработкой	0,7-0,8	0,3-0,4	7-8	3-4
Асфальтобетон, покрытый снегом	0,2-0,4	-	2-4	-
Асфальтобетон обледенелый	0,15-0,3	-	1,5-3	-
Гладкий лед	0,15-0,25	-	1,5-2,5	-
Щебеночная дорога	0,6-0,7	0,3-0,4	6-7	3-4
Грунтовая дорога	0,5-0,6	0,3-0,4	5-6	3-4
Глина	0,6-0,6	0,3-0,4	5-6	3-4
Песок	0,5-0,6	0,4-0,5	5-6	4-5

*Примечание.* Для гладких шин с изношенным рисунком протектора величина  $\phi$  умножается на 0,7.

Из таблицы 3 следует, что замедление автомобиля в зависимости от типа и состояния дорожного покрытия изменяется в широких пределах от 1,5 до 8 м/с<sup>2</sup>. также значительно будет изменяться длина пути торможения автомобиля.

### 3.3. Влияние технического состояния автомобиля на величину его динамического габарита

Рассмотрим в виде примера случай, когда два автомобиля движутся в потоке один за другим с одинаковой скоростью.

Тормозной путь переднего (первого) автомобиля с неизношенным протектором у шин:

$$l_3' = \frac{V^2}{2j_1}, \quad (9)$$

где  $l_3'$  – тормозной путь первого автомобиля, м;

$V$  – скорость автомобиля в потоке, м/с;

$j_1$  – замедление первого автомобиля, м/с<sup>2</sup>.

Тормозной путь заднего (второго) автомобиля на «лысой» резине:

$$l_3'' = \frac{V^2}{2j_2}, \quad (10)$$

где  $l_3''$  – тормозной путь второго (заднего) автомобиля, м;

$j_2$  – замедление второго автомобиля, м/с<sup>2</sup>.

На сухой асфальтобетонной дороге передний автомобиль на шинах с изношенным рисунком протектора имеет замедление  $j_1 = 8$  м/с<sup>2</sup> (см. табл. 3), а у заднего автомобиля на гладких шинах с полностью изношенным протектором  $j_2 = 8 \cdot 0,7 = 5$  м/с<sup>2</sup>, тогда при начальной скорости автомобиля  $V = 100$  км/ч или 27 м/с путь торможения первого автомобиля составит, м:

$$l_3' = \frac{27^2}{2 \cdot 8} = 45,$$

а для второго:

$$l_3'' = \frac{27^2}{2 \cdot 5} = 72.$$

У заднего автомобиля длина пути торможения на 27 м больше, чем у переднего.

В данном примере при экстренном торможении переднего автомобиля, чтобы движущийся за ним автомобиль на изношенных шинах не столкнулся с передним, необходимо между ними соблюдать дистанцию, равную разности их тормозных путей, то есть (м):

$$72 - 45 = 27.$$

К этому следует добавить расстояние, которое проходит автомобиль за время реакции водителя.

Безопасное расстояние между автомобилями, движущимися в колонне  $l_3$  (см. рис. 1):

$$l_3 = Vt + \left( \frac{V^2}{2j_2} - \frac{V^2}{2j_1} \right), \quad (11)$$

а динамический габарит будет равен (см. рис. 1):

$$L = l_1 + Vt + \left( \frac{V^2}{2j_2} - \frac{V^2}{2j_1} \right). \quad (12)$$

### 3.4. Влияние состояния дорожного покрытия на величину динамического габарита

На длину динамического габарита оказывает влияние не только техническое состояние транспорта, но и состояние дорожного покрытия. В виде примера проанализируем это на сухом асфальтобетоне, в сравнении с проезжей частью из асфальтобетона во время гололедицы (обледенения), при скорости 80 км/ч, или 22 м/с.

Из таблицы 3 следует, что на сухом асфальтобетоне замедление при торможении автомобиля  $j_1 = 8 \text{ м/с}^2$  и дистанция торможения (формула (9) будет выглядеть так, м:

$$l_3' = \frac{22^2}{2 \cdot 8} = 30.$$

Дистанция автомобиля при движении по обледенелому асфальтобетону при  $j_2 = 1,5 \text{ м/с}^2$  (м):

$$l_3'' = \frac{22^2}{2 \cdot 3} = 80.$$

Соответственно, у автомобиля во время гололеда величина динамического габарита будет значительно больше, чем на сухом дорожном покрытии.

Для соблюдения безопасности движения во время гололедицы следует снижать скорость до минимума ( $V = 20 \text{ км/ч}$  или  $5,5 \text{ м/с}$ ), тогда дистанция торможения при  $j_2 = 1,5 \text{ м/с}^2$  (см. табл. 3), м:

$$l_3''' = \frac{5,5^2}{2 \cdot 1,5} = 10.$$

Для этих же условий ( $V = 20 \text{ км/ч}$ ) на сухом асфальтобетоне, м:

$$l_3' = \frac{5,5^2}{2 \cdot 8} = 2.$$

И, соответственно, длина динамического габарита будет меньше.

Приведенные примеры показывают, какое большое значение на размер динамического габарита оказывает состояние дорожного покрытия.

Чем больше динамический габарит, тем меньше автомобилей будет помещаться на участке дороги. Следует тщательно следить за состоянием проезжей части, а во время гололедицы своевременно обрабатывать покрытие противогололедными материалами.

### 3.5. Зависимость динамических габаритов от скорости движения

Из формулы (12) следует, что скорость движения автомобилей значительно влияет на размер динамического габарита. Для примера выполним расчеты и найдем зависимость длины динамического габарита от скорости движения автомобилей для следующих параметров:

скорость, км/ч	20	40	60	80	100
скорость, м/с	5,6	11,1	16,7	22,2	27,8
длина автомобиля $l_a=6$ м					
замедление первого автомобиля $j_1=8$ м/с					
замедление второго автомобиля $j_2=3$ м/с					
реакция водителя $t=1$ с					

Подставляя принятые значения в формулу (12), получим:

скорость, км/ч	20	40	60	80	100
динамический габарит, м	15	30	52	80	114

На рисунке 2 приведен график зависимости динамического габарита автомобиля от скорости.

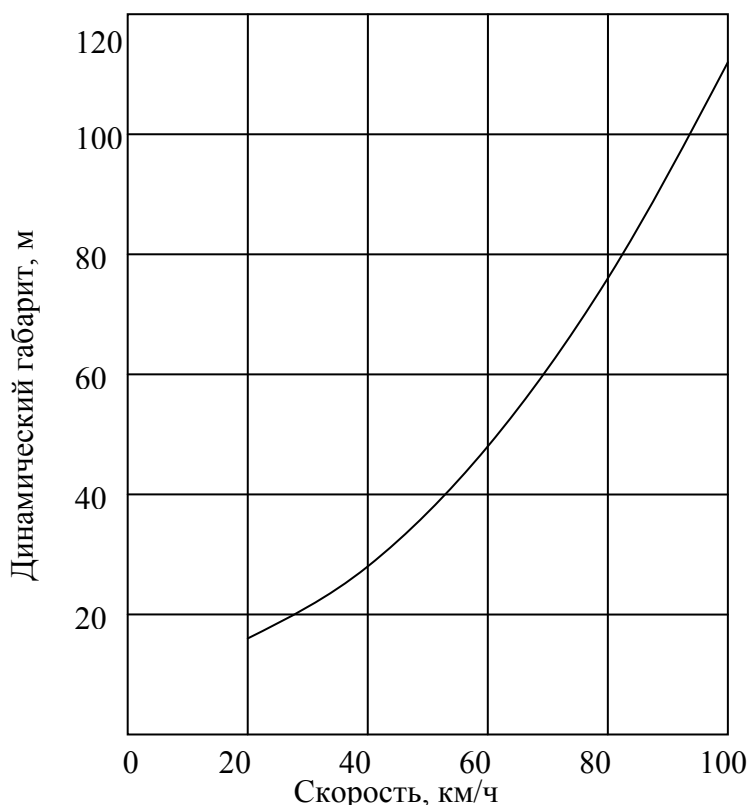


Рис. 2. Зависимость динамических габаритов автомобилей от скорости движения

Большая величина динамического габарита, особенно при больших скоростях, объясняется тем, что в условиях примера взята большая разница величин замедлений при торможении ( $j_1$  и  $j_2$ ) следующих друг за другом автомобилей в потоке с различной конструкцией тормозов. В то же время следует заметить, что часто аварии на дорогах возникают из-за недостаточной дистанции между автомобилями при высоких скоростях, что не обеспечивает безопасность движения.

### 3.6. Вычисление пропускной способности дороги (интенсивности движения)

После вычисления динамических габаритов автомобилей переходим к определению пропускной способности дороги, сначала определим плотность транспортного потока:

$$D = \frac{1000}{L}, \quad (13)$$

где  $D$  – плотность транспортного потока, авт/км;

$L$  – динамический габарит среднего автомобиля, м.  
(1000 м = 1 км)

Используя плотность  $D$ , подсчитаем интенсивность движения (пропускную способность дороги):

$$N = DV, \quad (14)$$

где  $N$  – интенсивность движения, авт/ч;

$V$  – скорость автомобилей в потоке, км/ч.

В виде примера на рисунке 3 приведен график зависимости интенсивности движения от скорости движения автомобилей в транспортном потоке.

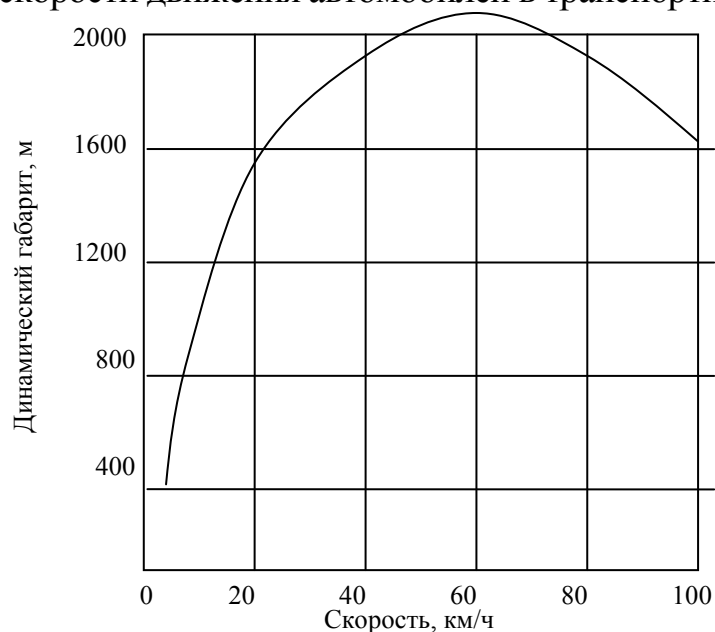


Рис. 3. Зависимость интенсивности движения от скорости

Анализ графика на рисунке 3 показывает, что максимальная пропускная способность дороги наблюдается при скорости 60 км/ч. Это объясняется тем, что, начиная с этой скорости, значительно возрастает длина динамического габарита автомобиля (см. рис. 2), причем она больше влияет на интенсивность движения, чем скорость. Кроме того, следует учитывать большую разницу между величинами замедления принятыми в нашем примере, определяющую резкое различие в тормозных системах автомобилей в транспортном потоке. Для других принимаемых параметров будут получены иные кривые зависимости интенсивности движения от скорости.

Для повышения интенсивности движения решающим является сокращение дистанции между автомобилями. Это возможно при повышении эффективности и совершенствовании конструкции тормозных систем автомобилей, что обеспечит одинаковые пути торможения. При этом дистанция между автомобилями в транспортном потоке будет зависеть от реакции водителя, а динамический габарит существенно уменьшится, что приведет к росту пропускной способности дороги.

### Список литературы

1. СНиП 2.05.02-85. Автомобильные дороги. – М., 1986. – 51 с.
2. Силуков, Ю.Д. Эксплуатация автомобильных дорог / Ю.Д. Силуков. – Екатеринбург, 2008. – 267 с.
3. Силуков, Ю.Д. Экологическая безопасность на автомобильных дорогах / Ю.Д.Силуков. – Екатеринбург, 2010. – 205 с.