РАСЧЁТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПОДВИЖНОЙ НАГРУЗКИ НА ДОРОЖНЫЕ ОДЕЖДЫ

1. Виды нагрузок, учитываемых при проектировании дорожной одежды

Материал излагается в соответствии с ГОСТ Р 71404-2024 [1]. Расчёт нежёсткой дорожной одежды выполняют на нормативную нагрузку АК согласно ГОСТ 32960-2014 [2]. АК – это нормативная нагрузка от автотранспортных средств, моделируемых одной двухосной тележкой. Она включает в себя *нормативную осевую нагрузку* [3, п. 3.43] с нагрузкой на ось $10K$ (кН), и равномерно распределённую вдоль дороги нагрузку q интенсивностью K (кН/м). Но при расчёте дорожных одежд нагрузку q не учитывают.

Класс нагрузки на автомобильных дорогах с капитальным типом дорожной одежды принимают K = 11,5 (т.е. нагрузка на дорожную одежду составляет 115 кН). На автомобильных дорогах с облегченными и переходными дорожными одеждами K = 10 (т.е. нагрузка на дорожную одежду составляет 100 кН).

Давление колеса на покрытие (*удельная нормативная нагрузка*) от нормативной нагрузки АК считают равномерно распределённым по площади отпечатка колеса, принимаемого в форме круга, площадь которого является равновеликой площади отпечатка колеса. Величину нормативного давления следует принимать p = 800 кПа (или 0,8 МПа) – для автомобильных дорог с капитальным типом дорожной одежды и p = 600 кПа (или 0,6 МПа) – с облегченным и переходным типом дорожной одежды.

Расчётные параметры нагрузок приведены в таблице 1 [1].

Таблица 1 – Расчётные параметры нагрузок

Группа расчётной нагрузки	**Нормативная осевая статическая нагрузка $P_{ст}$, кН**		**Расчётные параметры нагрузки**	
	на ось	**на колесо**	**Давление на покрытие p, МПа**	**Диаметр $D_д/D_{ст}$, см**
А-11,5	115	57,5	0,8	34,5/30,3
А-10	100	50	0,6	37,1/32,6
Примечание – В числителе приведён диаметр круга $D_д$ для движущегося колеса, в знаменателе $D_{ст}$ – для неподвижного колеса.				

В случае, когда в составе движения проектируемой дороги предусматривается регулярное обращение автомобилей с осевой нагрузкой, превышающей нормативную нагрузку АК более чем на 5 %, за расчётную осевую нагрузку следует принимать максимальную нагрузку на наиболее нагруженную ось автомобиля. Тогда диаметр круга вычисляют по формулам:

$$D_{ст} = \sqrt{\frac{40Q_{ст}}{\pi p}}, \quad (1)$$

$$D_{д} = \sqrt{k_{дин}} \cdot D_{ст}, \quad (2)$$

где $Q_{ст}$ – нагрузка на колесо наиболее загруженной оси, кН;

p – давление на покрытие, МПа;

$k_{дин}$ – коэффициент динамичности, равный 1,3.

В соответствии с СП 34.13333.2021 *Осевая расчётная нагрузка* – это максимальная нагрузка на наиболее нагруженную ось для двухосных автомобилей или на приведённую ось для многоосных автомобилей [3, п. 3.45]. Доля таких автомобилей в составе и интенсивности движения должна составлять не менее 5 %. Если максимальная осевая нагрузка меньше нормативной, то в качестве расчётной принимают нормативную осевую нагрузку

2. Учёт интенсивности движения

2.1. Особенности определения интенсивности движения в курсовом проектировании. При проектировании дорожной одежды целесообразно основываться на интенсивности движения в обоих направлениях, определяемой как сумма интенсивностей в каждом направлении. Её как раз и определяют в курсовом проектировании[1].

2.2. Приведённая к расчётному двухосному автомобилю интенсивность движения к воздействию расчётной нагрузки. При расчёте дорожных одежд сначала определяют среднегодовое суточное количество проездов всех колёс (на конец межремонтного срока проведения работ по капитальному ремонту), расположенных по одному борту расчётного автомобиля, в пределах одной полосы проезжей части. Её вычисляют по формуле

---

[1] Если выполняется проект городской улицы, то в качестве исходных данных обычно рассматривают перспективную часовую интенсивность движения в час-пик. Чтобы её перевести в суточную интенсивность, нужно воспользоваться формулой (3), т.к. считается, что на это время приходится 10 % суточной интенсивности.

$$N = 10N_{час},$$

где N – перспективная интенсивность движения на конец межремонтного срока проведения работ по ремонту дорожных одежд; $N_{час}$ – перспективная интенсивность движения в час-пик, авт./час.

Пример 1. Вычислить перспективную суточную интенсивность движения на городской улице, если перспективная интенсивность движения в час-пик составляет $N_{час}$ = 705,2 авт./час. Тогда $N = 10N_{час} = 10 \cdot 705{,}2 = 7052$ авт./сут.

$$N_{\text{р}} = f_{\text{пол}} \sum_{m=1}^{n} N_m S_m \text{ , прив. груз.ед./сут,} \quad (3)$$

где $N_{\text{р}}$ – приведённая интенсивность к воздействию расчётной нагрузки на полосу движения на конец межремонтного срока проведения работ по капитальному ремонту $T_{\text{сп}}$; $f_{\text{пол}}$ – коэффициент распределения интенсивности движения для самой нагруженной полосы движения, зависящий от числа полос движения, принимаемый по таблице 2 [1, табл. 2]; n – общее число различных марок транспортных средств в составе транспортного потока; N_m – число проездов в сутки в обоих направлениях транспортных средств m-й марки (интенсивность движения транспортных средств m-й марки); S_m – коэффициент приведения воздействия на дорожную одежду транспортного средства m-й марки с нагрузкой на колесо P_m к расчётной нагрузке.

Таблица 2 – Значения коэффициента распределения

Число полос движения в обоих направлениях	**Значение коэффициента распределения интенсивности движения для самой нагруженной полосы при движении в обоих направлениях $f_{\text{пол}}$**
1	1,00
2	0,55
3	0,50
4	0,45
5	0,40
6 и более	0,35

Коэффициенты приведения S_i к расчётной нагрузке должны определяться по методике ГОСТ Р 71405-2024 [4, раздел 7]. Однако при отсутствии фактических данных о составе потока допускается использовать коэффициенты приведения из таблицы 3, взятой из [4, табл. А.1 и А.2].

Таблица 3– Коэффициенты приведения транспортных средств к нагрузкам

Типы автомобилей	**Коэффициент приведения к расчётной нагрузке S_m**	
	Капитальный тип (нагрузка АК-11,5)	**Облегченный и переходный типы (нагрузка АК-10)**
Легковые автомобили и лёгкие фургоны	0,0015	0,013
Двухосные грузовые автомобили	1,81	2,29
Трёхосные грузовые автомобили	2,84	2,87
Четырёхосные грузовые автомобили	3,51	3,64

Типы автомобилей	Коэффициент приведения к расчётной нагрузке S_m	
	Капитальный тип (нагрузка АК-11,5)	Облегченный и переходный типы (нагрузка АК-10)
Трёхосные седельные автопоезда (двухосный седельный тягач с полуприцепом)	2,90	3,91
Четырёхосные седельные автопоезда (двухосный седельный тягач с полуприцепом)	3,76	4,13
Пятиосные седельные автопоезда (трёхосный седельный тягач с полуприцепом)	4,13	4,85
Шестиосные седельные автопоезда	2,99	4,65
Автобусы и толлебусы	1,81	2,29

Пример 2. Расчёты интенсивности движения удобно вести в табличной форме, пример которой для капитальных дорожных одежд приведён в табл. 4. В примере N = 7052 авт./сут и количество видов транспорта n = 9.

Таблица 4 – Расчёт приведённой интенсивности в грузовых автомобилях

m	Вид транспортного средства	% в потоке	N_m, авт./сут	S_m	$N_m \cdot S_m$, прив.груз.ед./сут
1	Легковые автомобили и лёгкие фургоны	51	3597	0,0015	5,39
2	Двухосные грузовые автомобили	12	846	1,81	1531,69
3	Трёхосные грузовые автомобили	11	776	2,84	2203,04
4	Четырёхосные грузовые автомобили	9	635	3,51	2227,73
5	Трёхосные седельные автопоезда (двухосный седельный тягач с полуприцепом)	9	635	2,90	1840,57
6	Четырёхосные седельные автопоезда (двухосный седельный тягач с полуприцепом)	4	281	3,76	1060,62
7	Пятиосные седельные автопоезда (трёхосный седельный тягач с полуприцепом)	1	71	4,13	291,25
8	Шестиосные седельные автопоезда	2	141	2,99	421,71
9	Автобусы	1	70	1,81	127,64
Итого:		**100**	**7052**	-	**9709,65**

Таким образом, $\sum_{m=1}^{9} N_m S_m = 9710$ прив.груз.ед./сут.

Коэффициент $f_{пол}$ назначают по табл. 2. Для двухполосных дорог $f_{пол}$=0,55. Тогда

$$N_р = f_{пол} \sum_{m=1}^{n} N_m S_m = 0{,}55 \cdot 9710 = 5340 \text{ прив.груз.ед./сут}.$$

3. Суммарное расчётное число приложений расчётной нагрузки к точке на поверхности конструкции за нормативный срок службы дорожных одежд. Определяем по формуле

$$\sum N_{\text{р}} = 0{,}7 N_{\text{р}} \frac{K_{\text{с}}}{q^{(T_{\text{сл}}-1)}} T_{\text{рдг}} k_n, \qquad (4)$$

где q – показатель изменения интенсивности движения данного типа автомобиля по годам; $T_{\text{сл}}$ – расчётный срок службы; $K_{\text{с}}$ – коэффициент суммирования; $T_{\text{рдг}}$ – расчётное число расчётных дней в году, соответствующих определённому состоянию деформируемости конструкции; k_n – коэффициент, учитывающий вероятность отклонения суммарного движения от среднего ожидаемого.

3.1. Показатель изменения интенсивности движения данного типа автомобиля по годам

$$q = \left(1 + \frac{p}{100}\right), \qquad (5)$$

где p – ежегодный прирост интенсивности движения, %.

3.2. Расчётный срок службы $T_{\text{сл}}$ задают по табл. 5 [4].

Таблица 5 – Межремонтные сроки проведения работ по ремонту и капитальному ремонту нежёстких дорожных одежд автомобильных дорог общего пользования

Тип дорожной одежды	Категория автомобильной дороги	Межремонтные сроки проведения работ, годы	
		по ремонту	по капитальному ремонту
Капитальный	IA, IБ, IВ	12	24
	II	12	24
	III	12	24
	IV	12	24
Облегченный	III	12	24
	IV	12	24
	Низкой категории	5	10
Переходный	IV	12	24
	Низкой категории	5	10
Низший	Низкой категории	3	6

В случае выполнения проекта городской улицы принимают аналогию согласно табл. 6.

Таблица 6 – Рекомендуемое соответствие между категориями улиц и дорог общего пользования

Категория улицы		Категория дороги общего пользования
название улицы	**кол-во полос движения в обе стороны**	
Магистральные улицы общегородского значения	более 4	I
	4	II
Улицы общегородского значения Магистральные улицы районного значения Улицы районного значения	2-4	II
Улицы жилой застройки	4	II
	2	III

3.3. Коэффициент суммирования $K_с$ определяют по формуле:

$$K_с = \frac{q^{T_{сл}} - 1}{q - 1}. \qquad (6)$$

3.4. Расчётное число расчётных дней в году $T_{рдг}$ определяют по региональным нормам. При их отсутствии допускается использовать данные рис. 1 и табл. 7.

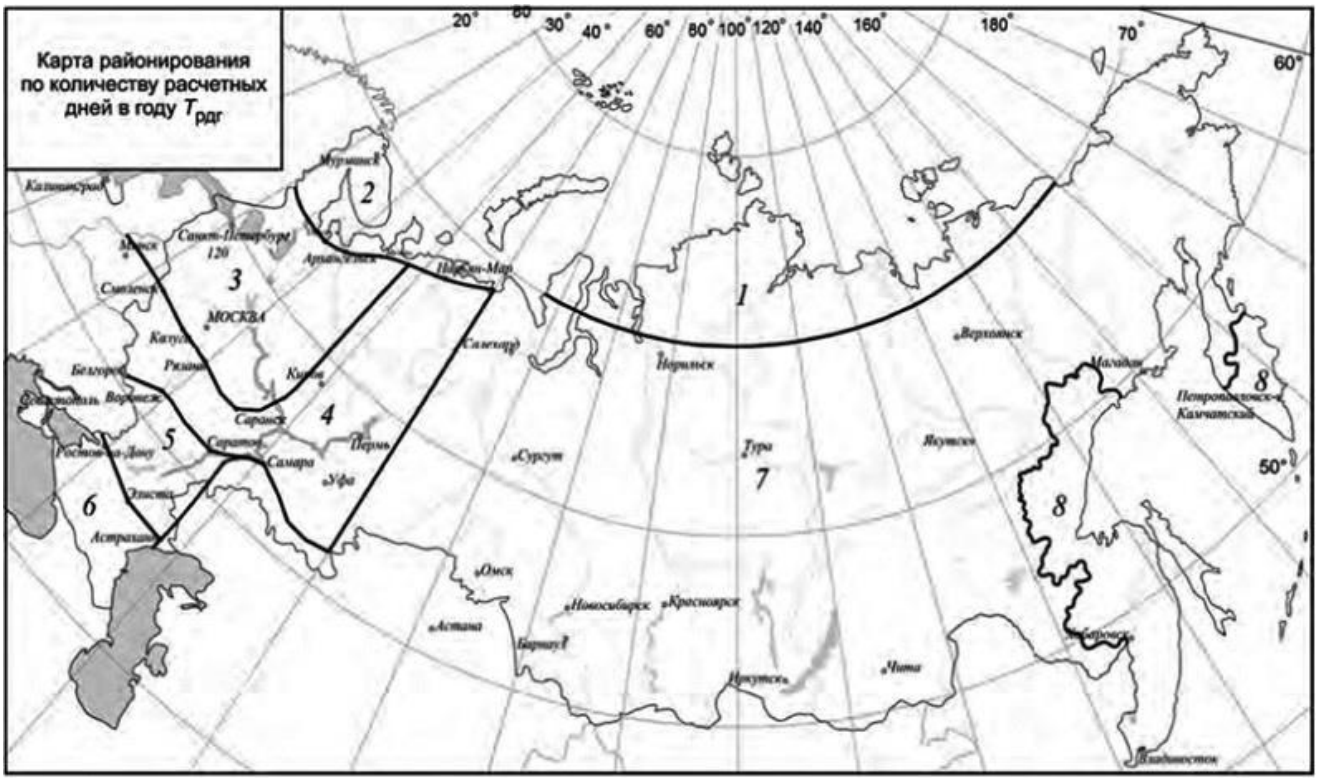


Рисунок 1– Карта районирования по количеству расчётных дней в году

Расчётным днём считается день, в течение которого сочетание состояния грунта земляного полотна по влажности и температуре асфальтобетонных слоёв

конструкции обеспечивает возможность накопления остаточной деформации в грунте земляного полотна или малосвязных слоях дорожной одежды. На границах районов следует принимать по наибольшему из значений $T_{рдг}$.

Таблица 7 – Рекомендуемое количество расчётных дней в году

Номер района на карте	Географические границы районов	$T_{рдг}$
1	Зона распространения многолетнемёрзлых грунтов севернее 70 параллели	70
2	Севернее линии, соединяющей Онегу, Архангельск, Мезень, Нарьян-Мар, шестидесятый меридиан, до побережья Европейской части	145
3	Севернее линии, соединяющей Смоленск, Калугу, Рязань, Саранск, сорок восьмой меридиан, до линии, соединяющей Онегу, Архангельск, Мезень, Нарьян-Мар	125
4	Севернее линии, соединяющей Белгород, Воронеж, Саратов, Самару, Оренбург, шестидесятый меридиан до линии районов 2 и 3	135
5	Севернее линии, соединяющей Ростов-на-Дону, Элисту, Астрахань, Белгород, Воронеж, Саратов, Самару	145
6	Южнее линии Ростов-на-Дону, Элиста, Астрахань для Европейской части, южнее 46 параллели - для остальных территорий, полуостров Крым	205
7	Восточная и Западная Сибирь, Дальний Восток (кроме Хабаровского и Приморского краёв, Камчатской области), ограниченные с севера 70 параллелью, с юга – государственной границей	130-150 (меньшие значения для центральной части)
8	Хабаровский и Приморский края, Камчатская область	140

3.6. Коэффициент k_n, учитывающий вероятность отклонения суммарного движения от среднего ожидаемого. Его находят по табл. 8.

Таблица 8 – Значения коэффициентов k_n

Тип дорожной одежды	Значение коэффициента k_n при различных категориях дорог			
	I	II	III	IV
Капитальный	1,62	1,49	1,42	1,38
Облегченный	-	1,47	1,32	1,26
Переходный	-	-	-	1,14

Пример 3. Требуется вычислить суммарное расчётное количество приложений расчётной нагрузки за срок службы по формуле (4) при следующих исходных данных:

- дорога располагается во II дорожно-климатической зоне, в центральной части Красноярского края;

- категория автомобильной дороги – I;

- заданный срок службы дорожной одежды – $T_{сл}$ = 12 лет;

- приведённая к нагрузке 115 кН интенсивность движения на конец заданного срока службы $N_р$ = 5340 прив. груз. ед./сут;

- приращение интенсивности q = 1,04;

По формуле (7)

$$K_с = \frac{q^{T_{сл}} - 1}{q - 1} = \frac{1{,}04^{12} - 1}{1{,}04 - 1} = \frac{1{,}601 - 1}{1{,}04 - 1} = \frac{0{,}601}{0{,}04} = 15{,}025.$$

Расчётная продолжительность $T_{рдг}$ = 130 дней (табл. 7). Коэффициент, k_n = 1,62 (табл. 8). Тогда

$$\sum N_р = 0{,}7 N_р \frac{K_с}{q^{(T_{сл}-1)}} T_{рдг} k_n = 0{,}7 \cdot 5340 \cdot \frac{15{,}025}{1{,}04^{(12-1)}} \cdot 130 \cdot 1{,}62 =$$

$$= 3738 \cdot \frac{15{,}025}{1{,}54} \cdot 210{,}6 = 7680534 \text{ груз.ед.}$$

Источники информации

1. ГОСТ Р 71404-2024. Дороги автомобильные общего пользования. Нежёсткие дорожные одежды. Правила проектирования: дата введения 2024-08-05 – Москва: Российский институт стандартизации, 2024. – 146 с.

2. ГОСТ 32960-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения / М.: ФГУП «Стандартинформ», 2016. – 8 с.

3. СП 34.13330.2021. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85* : дата введения 2021-08-10. – Москва: Минстрой России, 2021. – 99 с.

4. ГОСТ Р 71405-2024 Дороги автомобильные общего пользования. Проектирование дорожных одежд. Методика расчета коэффициентов приведения транспортных средств к расчетной осевой нагрузке: дата введения 2024-08-01. - Москва.

4. ГОСТ Р 58861-2020. Дороги автомобильные общего пользования. Капитальный ремонт и ремонт. Планирование межремонтных сроков. Москва: Стандартинформ, 2020. – 19 с.