

Сравнительный анализ методик учета влияния большегрузного транспорта на долговечность дорожных покрытий

А.Б. Павликов, И.Д. Алексеева

Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск

Аннотация: В статье рассмотрен сравнительный анализ методик учета влияния большегрузного транспорта на долговечность дорожных покрытий. Детально разобраны методы расчета коэффициентов приведения к расчетной нагрузке. Рассчитан модуль упругости по методике ОДН 218.046-01 с использованием коэффициентов приведения согласно расчетам разных методик. Даны рекомендации по применению наиболее эффективных технических решений при проектировании автомобильных дорог.

Ключевые слова: автомобильная дорога, покрытие, модуль упругости, большегрузный транспорт.

Введение

Надежность и долговечность конструкции дорожной одежды зависит от множества критериев или групп факторов: учет природно-климатических условий района производства работ при выборе проектных решений, интенсивность и особенности воздействия нагрузок от транспортных средств, качество строительных материалов и соблюдение технологии производства работ. К природно-климатическим факторам относят: солнечную радиацию, перепады температур и влажности воздуха и грунтов основания, интенсивность и вид осадков, а также многое другое. Все эти факторы оказывают негативное воздействие на конструкцию дорожной одежды, земляное полотно, элементы благоустройства и обстановку дороги, способствуют интенсивному износу и деформации конструкции [1]. Кроме этого, в сочетании с транспортной нагрузкой, на покрытии и в конструктивных слоях дорожной одежды возникают чрезмерные напряжения, изменяются свойства и структура материалов, и, как следствие, возникают и развиваются такие дефекты, как продольные и поперечные трещины, выбоины, сдвиги, волны и колееобразование [2].

При проектировании автомобильных дорог в качестве расчетной принимают нормативную нагрузку, соответствующую предельным нагрузкам на ось автомобилей и равной 115 кН. Современные большегрузные автомобили, обращающиеся по дорогам общего пользования для транспортировки строительных материалов и изделий, а также большегрузные фуры, перевозящим грузы бытового назначения и продукты питания, имеют нагрузку на ось, значительно превышающую рекомендованную для расчета на прочность дорожных одежд. Например, FAW J6 CA3250 имеют нагрузку на переднюю ось 75 кН, на задние оси по 276 кН, что практически в два раза превышает допустимые значения [3].

Основная часть

Ежегодно на автомобильных дорогах Российской Федерации увеличивается общее количество автомобильного транспорта. Всего в России на учёте числится 58 млн транспортных средств. С каждым годом эта цифра растёт. На рисунке 1 видно, что рост ТС происходит ежегодно, постепенно. Наибольшую долю городского транспорта составляют легковые автомобили (до 90% состава движения), в то время как на загородных дорогах распределение транспортного потока на легковом и грузовом автомобиле более равномерное (легковые 60-80%, грузовые 20-40%). Определенная доля грузовых автомобилей, автопоезда и грузовые автомобили грузоподъёмностью свыше 14 т, составляющие от 15% до 20% объема грузовых перевозок, имеют нагрузку на ось выше нормативной [4, 5].

Проблема состоит в быстром износе конструкции дорожной одежды вследствие того, что она была рассчитана на другие нагрузки [6]. Так же существует большой период между увеличением осевых нагрузок на дорожное покрытие и периодом обоснования и закрепления требуемых

показателей нагрузок в нормативных документах на проектирование новых автомобильных дорог [7].



Рис. 1. – Статистика транспортных средств

Повышение интенсивности транспортного потока, увеличение грузоподъемности и осевых нагрузок обуславливают преждевременное разрушение дорожных конструкций. Под воздействием многократно повторяющихся нагрузок наблюдается накопление остаточных деформаций в слоях дорожных одежд и грунте земляного полотна [8].

В целях сравнения методик расчета коэффициентов приведения были выбраны транспортные средства оборудованы тремя осями. Передняя ось имеет два колеса, две задние оси имеют восемь колес (четыре колеса на каждой оси).

При проектировании промышленных и других специальных дорог, по которым предусматривается движение специализированных многоосных транспортных средств, а также для проверки на прочность дорожных

конструкций автомобильных дорог общего пользования при разовых проездах таких транспортных средств необходимо проводить расчет на действие эквивалентной колесной нагрузки с учетом совместного действия колес транспортного средства на напряженно-деформированное состояние дорожной одежды [9, 10].

Для проведения расчета была выбрана следующая специализированная техника:

1. КамАЗ 68901Е;
2. FAW J6 CA3250;
3. MAN TGS 33.360;
4. МАЗ 650128-570-005;
5. Shacman X3000.

Модели автомобилей для расчета выбраны как одни из самых распространенных для транспортировки строительных смесей и материалов в пределах Хабаровского края.

Суммарный коэффициент приведения $S_{\text{к сум}}$, характеризующий разрушающее воздействие проезда транспортного средства по сравнению с однократным приложением расчетной нагрузки, определяют суммированием коэффициентов приведения всех осей [11].

Коэффициенты приведения нагрузок может определяться согласно одному из следующих нормативных документов:

- ОДМ 218.2.062–2015 «Рекомендации по определению параметров расчетных нагрузок для современных транспортных средств»;
- ОДН 218.046-01 «Проектирование нежестких дорожных одежд».

1. Порядок расчета суммарного коэффициента $S_{\text{к сум}}$ по методике, приведенной в ОДМ 218.2.062–2015. Данные, полученные по ходу выполнения расчета сведены в таблицу 1.

$$G_{Di}^3 = k_d \sum_{j=1}^m G_j g \left(\frac{L_{ij}}{D_{dj}} \right), \quad (1)$$

где G_j - статическая нагрузка от j -й оси, кН; m - общее количество осей в группе; $g \left(\frac{L_{ij}}{D_{dj}} \right)$ - функция, установленная на основе испытаний дорожных одежд, характеризует влияние колес оси со статической нагрузкой G_j на напряжения, перемещения и деформации в дорожной одежде, возникающие под колесами оси со статической нагрузкой G_i , определяется по формуле 3; D_{dj} - диаметр круга, равновеликого отпечатку движущегося колеса j -й оси со статической нагрузкой от колеса Q_j , м, определяется по формуле 2.

$$D_{dj} = \sqrt{\frac{4k_d Q_j}{\pi p}} \quad (2)$$

где Q_j - статическая нагрузка от j -го колеса, кН;

$$g \left(\frac{L_{ij}}{D_{dj}} \right) = A_1 e^{-c_1 k_p \left(\frac{L_{ij}}{D_{dj}} \right)^2} + A_2 e^{-c_2 k_p \left(\frac{L_{ij}}{D_{dj}} \right)^2}, \quad (3)$$

где L_{ij} - абсолютное расстояние между центрами отпечатков колес i -й и j -й осей в продольном направлении, м; A_1, A_2, c_1, c_2 - коэффициенты, которые устанавливаются в соответствии с таблицей 2 ОДМ 218.2.062-2015; k_p - коэффициент, зависящий от давления воздуха p_j , в шине j -го колеса, кПа, определяется формуле 4.

$$k_p = \frac{500}{p_i}, \quad (4)$$

Таблица № 1

Данные по расчету, согласно пункту 1

Наименование машины / расчет	КамАЗ 68901Е	FAW J6 CA3250	MAN TGS 33.360	MAZ 650128-570-005	Shacman X3000
1	2	3	4	5	6
Тип дорожной одежды	капитальный	капитальный	капитальный	капитальный	капитальный
Нагрузка (1 ось), т	4,6	7,5	7,5	7,5	9



1	2	3	4	5	6
Нагрузка (2 и 3 ось), т	16,34	27,6	26	26	16
Расстояние (от 1 до 2 оси), см	369	400	360	387,5	380
Расстояние (от 2 до 3 оси), см	132	135	140	140	135
Расстояние (от 1 до 3 оси), см	501	535	500	527,5	515
$G_{стн}$, кН	115	115	115	115	115
$Q_{стн}$, кН	57,5	57,5	57,5	57,5	57,5
k_d	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
$Q_{дp}$, кПа	74,75	74,75	74,75	74,75	74,75
p , кПа / p , МПа	800 / 0,8	800 / 0,8	800 / 0,8	800 / 0,8	800 / 0,8
Q_1 , кН	23	37,5	37,5	37,5	45
$Q_2 = Q_3$, кН	40,85	69	65	65	40
D_1 , м / см	0,22 / 22	0,28 / 28	0,28 / 28	0,28 / 28	0,31 / 31
$D_2 = D_3$, м / см	0,29 / 29	0,38 / 38	0,37 / 37	0,37 / 37	0,29 / 29
m	3	3	3	3	3
β	4	4	4	4	4

Расчет суммарного коэффициента приведения сведен в таблицу 2.

Таблица № 2

Расчет коэффициента приведения

Наименование машины / расчет	КамАЗ 68901Е	FAW J6 CA3250	MAN TGS 33.360	MAZ 650128-570-005	Shacman X3000
k_p , кПа	0,625	0,625	0,625	0,625	0,625
Расчет данных для 1-ой оси					
$g_p \left(\frac{L_{ij}}{D_{dj}} \right)$	3,72694E-07	2,71289E-05	0,00010716	2,81504E-05	1,15668E-07
$g_p \left(\frac{L_{ij}}{D_{dj}} \right)$	3,72694E-07	2,71289E-05	0,00010716	2,81504E-05	1,15668E-07
$G_{д1}^3$, кН	29,9	48,750	48,760	48,750	58,500
Расчет данных для 2-ой оси					
$g_B \left(\frac{L_{ij}}{D_{dj}} \right)$	1,82447E-05	0,000330033	0,001364844	0,000522629	0,002103852
$g_p \left(\frac{L_{ij}}{D_{dj}} \right)$	0,081	0,164	0,138	0,138	0,071
$G_{д2}^3$, кН	57,401	104,399	96,317	96,246	55,827
Расчет данных для 3-й оси					
$g_B \left(\frac{L_{ij}}{D_{dj}} \right)$	2,90968E-09	9,092E-07	4,93535E-06	1,31907E-06	1,90998E-05
$g_B \left(\frac{L_{ij}}{D_{dj}} \right)$	0,275	0,369	0,344	0,344	0,261
$G_{д3}^3$, кН	67,712	122,829	113,585	113,585	65,588
$S_{квм}$	1,047	11,276	8,269	8,261	1,279

В приложении Б ОДМ 218.2.062–2015 приведены суммарные коэффициенты приведения к нормативным осевым нагрузкам 11,5 и 10 т для типичных транспортных средств. Согласно исходным данным, требуемый коэффициент для транспортного средства с тремя осями будет равен 2,42, что в свою очередь не соответствует реальным данным.

2. Порядок расчета суммарного коэффициента $S_{\text{сум}}$ по методике, приведенной в ОДН 218.046-01.

Согласно П. 1.4., Коэффициенты приведения нагрузок S_k определяются по формуле:

$$S_k = \left(\frac{Q_{\text{дп}}}{Q_{\text{драсч}}} \right)^\beta, \quad (5)$$

где $Q_{\text{дп}}$ - номинальная динамическая нагрузка от колеса на покрытие, определяется по формуле 6; $Q_{\text{драсч}}$ - расчетная динамическая нагрузка от колеса на покрытие; β - показатель степени, принимаемый равным: 4,4 - для капитальных дорожных одежд; 3,0 - для облегченных дорожных одежд; 2,0 - для переходных дорожных одежд.

Номинальная динамическая нагрузка $Q_{\text{дп}}$ определяется по паспортным данным на транспортное средство с учетом распределения статических нагрузок на каждую ось:

$$Q_{\text{дп}} = k_d Q_{\text{п}}, \quad (6)$$

где k_d - динамический коэффициент, принимаемый равным 1,3; $Q_{\text{п}}$ - номинальная статическая нагрузка на колесо данной оси.

Таблица № 3

Данные по расчету, согласно пункту 2

Наименование машины / расчет	КамАЗ 68901Е	FAW J6 CA3250	MAN TGS 33.360	MAZ 650128-570-005	Shacman X3000
1	2	3	4	5	6
Тип дорожной одежды	капитальный	капитальный	капитальный	капитальный	капитальный
Q_1 , кН	23	37,5	37,5	37,5	45
$Q_2 = Q_3$, кН	40,85	69	65	65	40
$Q_{\text{расч}}$, кН	57,5	57,5	57,5	57,5	57,5

1	2	3	4	5	6
k_d	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
β	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4
S_{k1}	0,017744508	0,152475147	0,152475147	0,152475147	0,3400921
S_{k2}	0,222180813	2,23047563	1,71506369	1,71506369	0,202546828
S_{k3}	0,2221808128	2,23047563	1,71506369	1,71506369	0,202546828
$S_{k_{сум}}$	0,462	4,613	3,583	3,583	0,745

Суммарный коэффициент $S_{k_{сум}}$ требуется для определения минимального требуемого модуля упругости конструкции. Для расчета E_{min} используется стандартная методика, представленная в ОДН 218.046-01.

$$E_{min} = 98,65 \left[\lg \left(\sum N_p \right) - c \right], \quad (7)$$

где $\sum N_p$ - суммарное расчетное число приложений нагрузки за срок службы дорожной одежды, определяется по формуле 8; c - эмпирический параметр, принимаемый равным для расчетной нагрузки на ось 100 кН - 3,55; 110 кН - 3,25; 130 кН - 3,05.

$$\sum N_p = 0,7 N_p \frac{K_c}{q^{(T_{сл}-1)}} T_{рдг} k_n, \quad (8)$$

где N_p - приведенная интенсивность на последний год срока службы, авт./сут, определяется по формуле 9; K_c - коэффициент суммирования, определяется по формуле 10; q - показатель изменения интенсивности движения; $T_{сл}$ - расчетный срок службы; $T_{рдг}$ - расчетное число расчетных дней в году, соответствующих определенному состоянию деформируемости конструкции (определяемое в соответствии с приложением 6); k_n - коэффициент, учитывающий вероятность отклонения суммарного движения от среднего ожидаемого, определяется по таблице 3.3.

$$N_p = f_{пол} \sum_{m=1}^n N_m S_{k_{сум}}, \quad (9)$$

где $f_{пол}$ - коэффициент, учитывающий число полос движения и распределение движения по ним, определяемый по таблице 3.2; N_m - число проездов в сутки в обоих направлениях транспортных средств m -й марки;

$S_{k\text{сум}}$ - суммарный коэффициент приведения воздействия на дорожную одежду транспортного средства к-й марки к расчетной нагрузке;

$$K_c = \frac{q^{T_{\text{сл}}} - 1}{q - 1}, \quad (10)$$

Требуемый модуль упругости рассчитан по формуле 7. Данные по расчету приведены в таблице (4).

Таблица № 4

Расчет требуемого модуля упругости

Наименование машины / расчет	КамАЗ 68901Е	FAW J6 CA3250	MAN TGS 33.360	MAZ 650128-570-005	Shacman X3000
Nm	100	150	100	150	100
$f_{\text{пол}}$	0,55				
kn	1,38				
Грдг	140				
Тсл, год	24				
q	1,02				
Kc	30,422				
c	3,55				
Расчет по методике ОДМ 218.2.062–2015					
Np	2195				
ΣNp	4498759				
$S_{k\text{сум}}$	1,047	11,276	8,269	8,261	1,279
E_{min}	306,12				
Расчет по методике ОДН 218.046-01					
Np	940				
ΣNp	1926211				
$S_{k\text{сум}}$	0,462	4,613	3,583	3,583	0,745
E_{min}	269,78				

Заключение

Расчеты показывают, что применение методики ОДМ при оценке влияния большегрузного транспорта на дорожное покрытие и установлении минимальных характеристик прочности дорожной одежды позволяет обеспечить большую долговечность конструкций. Кроме этого очевидно, что конструкции эксплуатируемых дорожных одежд, запроектированные по методике ОДН, будут подвергаться более интенсивному разрушению от большегрузного транспорта и на них необходимо предусматривать мероприятия по усилению конструкции.

Литература

1. Novik, A., Drozdetskiy, I., Petukhov, P., Labusov, N., Novik, V., & Popova, A. Justification constructions of the road pavement under conditions of changing road surface temperature. 2021. doi:10.1007/978-3-030-72404-7_17 Retrieved from scopus.com.

2. Радовский Б.С., Супрун А.С., Козаков И.И. Проектирование дорожных одежд для движения большегрузных автомобилей /- К.: Будивэльнык, 1989. - 168 с.

3. Кутуев М.Д., Иманалиев Т.О. Оценка влияния увеличение осевой нагрузки транспортных средств, на надежность дорожной одежды // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. 2014. № 32-2. С. 449-452.

4. Гладких В.П., Ярмолинский А.И. Принципы ограничения движения большегрузного транспорта в весенний период. Материалы секционных заседаний 56-й студенческой научно-практической конференции ТОГУ // 2016. в 2 т. Том 1. С. 349-353.

5. Лопашук В. В., Пугачев И. Н., Кулижников А. М. Ограничение движения транспортных средств на автомобильных дорогах Российской Федерации в весенний период /Владивосток: Дальнаука, 2009. - 176 с

6. Dorozhko, Y., Arsenieva, N., Sarkisian, H., & Synovets, O. Determining the most dangerous loading application point for asphalt-concrete layers on a rigid base. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. 3(7-99), 36-43. doi:10.15587/1729-4061.2019.166490.

7. Терюкова Л.И. Некоторые аспекты функционирования автомобильного и железнодорожного транспорта в РФ // Инженерный вестник Дона, 2017, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4123.

8. Yanov, D. V., & Zelepugin, S. A. Numerical calculation of strength and shear resistance of non-rigid road pavement by the finite element method. Vestnik

Tomskogo Gosudarstvennogo Universiteta, Matematika i Mekhanika. 2021. (69), 155-165. doi:10.17223/19988621/69/12.

9. Апестин В.К., Стрижевский А.М. Новые нормы межремонтных сроков службы дорожных покрытий // Наука и техника в дорожной отрасли, 2008, № 2, С. 6-9.

10. Каменчуков А.В. Вопросы продления сроков ограничения транспортной нагрузки на дороги Хабаровского края в период распутицы Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. 2018. Т. 1. С. 289-391.

11. Углова Е.В., Конорева О.В., Конорев А.С., Гуляжинов А.Б. Конструирование нежестких дорожных одежд // Инженерный вестник Дона, 2018, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4767.

References

1. Novik, A., Drozdetskiy, I., Petukhov, P., Labusov, N., Novik, V., & Popova, A. Justification constructions of the road pavement under conditions of changing road surface temperature. 2021. doi:10.1007/978-3-030-72404-7_17 Retrieved from scopus.com.

2. Radovskij B.S., Suprun A.S., Kozakov I.I. Proektirovanie dorozhny`x odezhd dlya dvizheniya bol`shegruzny`x avtomobilej [Designing of road clothes for the movement of heavy vehicles]. K.:Budive`l`ny`k, 1989. 168 p.

3. Kutuev M.D., Imanaliev T.O. Izvestiya Ky`rgy`zskogo gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta im. I. Razzakova. 2014. № 32-2. pp. 449-452.

4. Gladkix V.P., Yarmolinskij A.I. Materialy` sekcionny`x zasedanij 56-j studencheskoj nauchno-prakticheskoy konferencii TOGU. 2016. v 2 t. Tom 1. pp. 349-353.

5. Lopashuk V. V., Pugachev I. N., Kulizhnikov A. M. Ogranichenie dvizheniya transportny`x sredstv na avtomobil`ny`x dorogax Rossijskoj Federacii



v vesennij period [Restriction of the movement of vehicles on the highways of the Russian Federation in the spring period]. Vladivostok: Dal'nauka, 2009. 176 p.

6. Dorozhko, Y., Arsenieva, N., Sarkisian, H., & Synovets, O. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. 3(7-99), 36-43. doi:10.15587/1729-4061.2019.166490.

7. Teryukova L.I. Inzhenernyj vestnik Dona, 2017, № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4123.

8. Yanov, D. V., & Zelepugin, S. A. Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Universiteta, Matematika i Mekhanika. 2021. (69), 155-165. doi:10.17223/19988621/69/12.

9. Apestin V.K., Strizhevskij A.M. Nauka i texnika v dorozhnoj otrasli, 2008, № 2, pp. 6-9.

10. Kamenchukov A.V. Nauchno-texnicheskoe i e`konomicheskoe sotrudnichestvo stran ATR v XXI veke. 2018. T. 1. pp. 289-391.

11. Uglova E.V., Konoreva O.V., Konorev A.S., Gulyazhinov A.B. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4767.