

УДК 625.7/8

К ВОПРОСУ УЧЕТА РАСЧЕТНОГО ДАВЛЕНИЯ КОЛЕСА АВТОМОБИЛЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ КОНСТРУКЦИЙ НЕЖЕСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

Д-р техн. наук, профессор Е.В. Углова,

инженер О.А. Шило

(Академия строительства и архитектуры

Донского государственного

технического университета (АСА ДГТУ)),

инженер В.В. Акулов

(ДорТрансНИИ ДГТУ)

Конт. информация: uglova.ev@yandex.ru;

olga_shilo@bk.ru;

marine_25@inbox.ru

Рассмотрен вопрос влияния параметров нагрузки на деформацию дорожных одежд, а также возможности учета изменения давления колеса автомобиля на покрытие от расчетной нагрузки.

Ключевые слова: расчетная транспортная нагрузка, упругий прогиб, расчет конструкций дорожных одежд.

Развитие внутренней экономики России и, как следствие, прирост объемов межрегиональных грузоперевозок существенно повлияло на размер трафика, значительно увеличив воздействие от колес транспортных средств на дорожную одежду и, таким образом, стремительно снижая ее долговечность. Для эффективного расходования государственных средств при проектировании автомобильных дорог необходимо пересмотреть методику расчета конструкций дорожных одежд на прочность [1,2].

Расчет на прочность конструкций нежестких дорожных одежд до недавнего времени производился по методике, описанной в ОДН 218.046-01 [3] с учетом требований ГОСТ Р 52748-2007 «Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения и габариты приближения» [4], устанавливающих в качестве нормативной нагрузки для автомобильных дорог категории IA, IB, IВ, II нагрузку величиной 115 кН; при этом диаметр круга, равновеликого следу отпечатка колеса в статическом положении, должен быть равен 0,34 м, а в движении – 0,39 м, т.е. давление колеса на покрытие от нормативной нагрузки следует принимать 600 кПа. Однако такой подход в проектировании конструкций

дорожных одежд не отражает реальных режимов эксплуатации автомобильных дорог [5,6].

Российские ученые в ряде работ отмечают отставание дорожных нормативов на характеристики современных грузовых транспортных средств. Так, в настоящее время широкое использование получили конструкции шин с рекомендуемым внутришинным давлением воздуха, значительно превосходящим значение расчетного контактного давления 600 кПа [7].

Исследованию влияния фактических параметров нагружения – расчетного контактного давления от колес автотранспортных средств, посвящена работа отечественных ученых М.Г. Горячева, С.В. Лугова, Е.В. Каленовой [8], в которой предложена следующая шкала параметров нагружения (**табл. 1**).

Таблица 1

<i>Нормативная статическая нагрузка на ось, кН</i>	<i>Расчетные параметры нагрузки</i>	
	<i>P, МПа</i>	<i>D, см</i>
100	0,90	30
115	0,95	32
130	1,0	33

В 2015 г. введен в действие ГОСТ 32960-2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения» [9], по которому нормативная нагрузка для автомобильных дорог с капитальными дорожными одеждами равна 115 кН, а давление колеса на покрытие от нее при расчете дорожных одежд следует принимать равным 800 кПа. Однако вопрос адаптации существующей методики расчета конструкций нежестких дорожных одежд к требованиям данного нормативного документа не был решен.

В октябре 2016 г. филиалом АО ЦНИИС «Научно-исследовательский центр «МОСТЫ» в адрес Федерального дорожного агентства (Росавтодор) было направлено разъяснительное письмо по применению данного ГОСТа совместно с ОДН 218.046-01 [10], в котором предложено учесть изменение контактного давления в шине путем

увеличения минимального требуемого модуля упругости, вычисляемого по эмпирической формуле:

$$E_{min} = \sqrt{(800/600)} * 98.65 \cdot [\log_{10} \Sigma N_p - c] , \quad (1)$$

где

ΣN_p – суммарное расчетное число приложений нагрузки за срок службы дорожной одежды;

c – эмпирический параметр, принимаемый равным для расчетной нагрузки на ось 115 кН – 3,2.

Фактически это подразумевает увеличение прочности запроектированных по новому нормативу конструкций более чем на 15%.

Сравним два расчета по трем основным критериям прочности одной конструкции с коэффициентом надежности 0,98, с давлением колеса на покрытие от расчетной нагрузки 0,8 МПа и 0,6 МПа (рис. 1).

Наименование конструктивных слоёв	Схема конструкции, толщина слоев, см.	Расчётные характеристики материалов		
		Упругий прослой	Сдвиг	Изгиб
1. Щебеночно-мастичный асфальтобетон из смеси ШМА-15 по ГОСТ 31015 на ПБВ 60 по ГОСТ Р 52056-2003	E ₁ =4500	E ₁ =780	E ₁ =5300	
2. Плотный ПДА-асфальтобетон из горячей мелкозернистой смеси типа А по ГОСТ 9128 на битуме БНД 60 /90 в соответствии с ОДМ-218.2.056-2015	E ₂ =3500	E ₂ =812	E ₂ =5000	
3. Пористый ПДА-асфальтобетон из горячей крупнозернистой смеси I марки по ГОСТ 9128 на битуме БНД 60 /90 в соответствии с ОДМ-218.2.056-2015	E ₃ =2200	E ₃ =575	E ₃ =3050	
4. Органо-минеральная смесь по ГОСТ 30491-2012, комплексно укрепленная эмульсией битумной каштановой ЭБК-3 в кол-ве 3% и портландцементом марки 500 в кол-ве 3%	E ₄ =950			
5. Щебеночная смесь с непрерывной гранулометрией при максимальном размере зерен 40 мм – С5	E ₅ =260			
Грунт земляного полотна: супесь тяжелая пылеватая	E _{sp} =41 ρ=12° c=0,0034			

Рис. 1. Конструкция дорожной одежды автомобильной дороги I категории

Полученные при расчете в стандартном программном комплексе данные представлены в **табл. 2**.

Таблица 2

**Результаты расчета конструкции дорожной одежды
автомобильной дороги I категории**

Условие расчета	Минимальный требуемый модуль упругости, МПа	Общий расчетный модуль упругости, МПа	Коэффициент прочности по критерию допустимого упругого прогиба (по расчету / требуемый)	Коэффициент прочности по критерию сдвига в подстилающем грунте и малосвязных слоях (по расчету / требуемый)	Коэффициент прочности по критерию усталостного разрушения от растяжения при изгибе (по расчету / требуемый)
<i>Давление колеса на покрытие – 0,8 МПа</i>	452,8	684,86	1,513 / 1,5	1,501 / 1,1	2,399 / 1,1
<i>Давление колеса на покрытие – 0,6 МПа</i>	392,1	530,63	1,353 / 1,5	1,567 / 1,1	2,465 / 1,1

Очевидно противоречие, при котором конструкция (рассчитанная на нагрузку 115 кН при давлении от колеса 0,8 МПа), фактически не удовлетворяет критерию прочности по допустимому упругому прогибу при давлении 0,6 МПа. Общий расчетный модуль упругости при этом увеличился на 29%, что значительно больше учтенного прироста минимального требуемого модуля – 15% [10].

Рассмотрим механизм влияния давления от расчетной нагрузки на расчет по допустимому упругому прогибу. Он производится по номограммам ОДН 218.046-01 [3], которые в свою очередь были рассчитаны для давления 0,6 МПа. Учитывать же различную нормативную нагрузку (100 кН, 110 кН и 130 кН) предлагалось с помощью различного диаметра расчетного отпечатка шины (37 см, 39 см и 42 см для движущегося колеса), рассчитывая для каждого слоя конструкции отношение его толщины к диаметру отпечатка – h/D .

Диаметр расчетного отпечатка шины для движущегося колеса определяется по следующей формуле:

$$D = \sqrt{\frac{40 * K_{дин} * Qn}{\pi * p}} , \quad (2)$$

где

$K_{дин}$ – динамический коэффициент, принимаемый равным 1,3;

Q_n – номинальная статическая нагрузка на колесо данной оси, кН;

p – давление, МПа.

Для нормативной расчетной нагрузки 115 кН и давления в шине 0,8 МПа диаметр расчетного отпечатка шины движущегося колеса равен 34 см, а диаметр штампа колеса от статической нагрузки – 30 см.

Нормативная статическая нагрузка на поверхность покрытия от колеса расчетного автомобиля определяется следующим образом:

$$Q_n = \frac{D^2 * \pi * p}{40 * K_{дин}} . \quad (3)$$

Однако при использовании номограммы ОДН 218.046-01 [3] для расчета конструкции дорожной одежды по критерию упругого прогиба и изменении только диаметра расчетного отпечатка шины, значение расчетной нагрузки фактически снижается:

$$Q_n = \frac{34^2 * 3,14 * 0,6}{40 * 1,3} = 41,88 \text{ кН} . \quad (4)$$

Следовательно, вся конструкция в целом рассчитывается на нормативную статическую нагрузку 83,8 кН, что позволяет объяснить возникшее при расчете противоречие (**табл. 2**).

Проверим выполненные расчеты. Зададим в программном комплексе по расчету дорожных одежд полученные параметры нагрузки: 42 кН – статическая нагрузка на колесо; 0,6 МПа – давление в шине. При этом величина общего расчетного модуля на поверхности конструкции составляет 684,86 МПа, что полностью отражает первоначальный расчет (**табл. 2**).

Таким образом, если принимать формулу (1) как верную, то расчет по упругому прогибу с использованием устаревшей номограммы и с изменением диаметра отпечатка колеса производить ошибочно.

В настоящее время существуют расчетные программы, способные моделировать различную нагрузку на конструкцию дорожной одежды и определять характеристики напряженно-деформированного состояния (НДС) в любой ее точке (BISAR, WESLEA, JULEA и АмоФор) [11]. Многослойная теория упругости успешно используется на протяжении многих лет при проектировании и анализе нежестких конструкций дорожных одежд. Одним из таких инструментов расчета является программный комплекс MnLayer [12].

С помощью MnLayer смоделируем оба вида нагрузки и проанализируем величину упругого прогиба.

Таблица 3

Прогиб конструкции в асфальтобетонных слоях дорожной одежды

	<i>Расчетная нагрузка 115 кН при давлении в шине 0,6 МПа</i>	<i>Расчетная нагрузка 115 кН при давлении в шине 0,8 МПа</i>	<i>Увеличение упругого прогиба, %</i>
<i>Упругий прогиб на глубине 1 мм от поверхности</i>	0,720	0,732	1,67
<i>Упругий прогиб на глубине 39 мм от поверхности</i>	0,721	0,732	1,53
<i>Упругий прогиб на глубине 219 мм от поверхности</i>	0,690	0,695	0,72

Анализ НДС данной конструкции показал, что при увеличении давления от расчетной шины величина упругого прогиба практически не изменяется (отклонение не превышает 2%).

Проведем аналогичное моделирование для 25 конструкций дорожной одежды капитального типа (рис. 2).

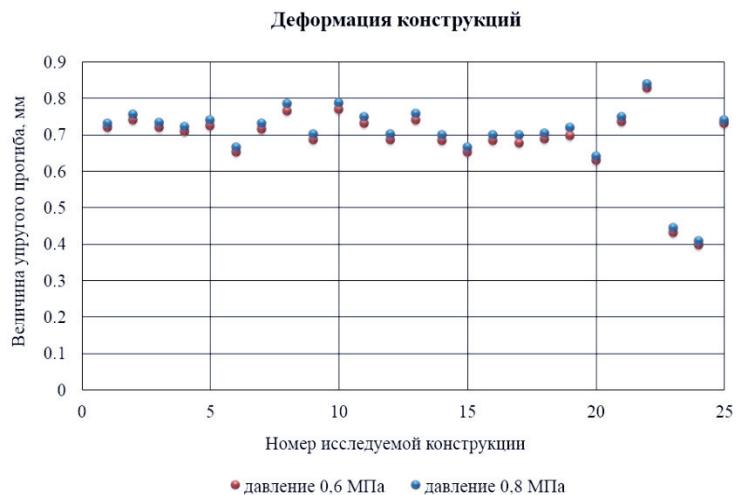


Рис. 2. Моделирование НДС конструкций дорожной одежды

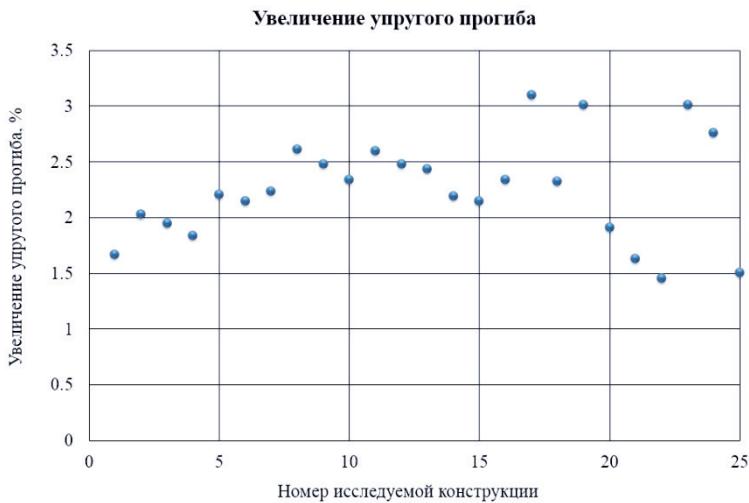


Рис. 3. Изменение НДС конструкций дорожной одежды капитального типа

Моделирование изменения параметров нагрузки показало, что отклонение величины упругого прогиба для различных конструкций нежесткой дорожной одежды при изменении давления в шине и заданной осевой нагрузке 115 кН не превышает 3% (рис. 3).

Очевидно, что, с одной стороны, для гармонизации действующих нормативных документов требуется серьезная переработка ОДН 218.046-01 [3], а с другой стороны, целесообразнее было бы ввести в практику расчетов дорожных одежд применение программных комплексов, базирующихся на многослойной теории упругости, для определения растягивающих напряжений, перемещений и деформаций внутри конструкции, потому как использование номограмм откровенно является «вчерашним днем».

В ожидании выхода обновленного нормативного документа [3] авторами данной статьи предлагается следующее:

- расчет по упругому прогибу для капитальных дорожных одежд производить для расчетной нагрузки 115 кН с давлением колеса на покрытие 0,6 МПа, так как выполненные и представленные выше расчеты (табл. 3) показали, что величина упругого прогиба определяется величиной осевой нагрузки;
- расчеты конструкций на сопротивление монолитных слоев усталостному разрушению от растяжения при изгибе и по условию сдвигостойчивости подстилающего грунта и малосвязных конструктивных слоев следует выполнять по номограммам

ОДН 218.046-01 [3] для давления колеса на покрытие 0,8 МПа, так как номограммы для этих критериев построены с учетом действия единичной нагрузки. Увеличение давления на покрытие, как показали расчеты (**табл. 2**), приводит к увеличению растягивающих напряжений в асфальтобетонных слоях и касательных напряжений в грунте земляного полотна и несвязанных слоях основания. Таким образом, учет расчетного давления колеса на покрытие 0,8 МПа при выполнении расчетов по критериям сопротивления монолитных слоев усталостному разрушению от растяжения при изгибе и сдвигуустойчивости подстилающего грунта и малосвязанных конструктивных слоев позволит повысить надежность дорожных конструкций, что в свою очередь обеспечит увеличение фактического срока службы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Углова Е.В. *Оценка прочности нежестких дорожных одежд. Опыт применения установки динамического нагружения FWD PRIMAX на участках автомобильной дороги М-4 «Дон» / Е.В. Углова, А.Н. Тиратурян // Дорожная держава.* – 2014. – № 57. – С. 42-45.
2. Максименко К.О. *Сопоставление дорожных конструкций с зарубежными аналогами / К.О. Максименко, В.В. Акулов, А.Н. Тиратурян // Научное обозрение – 2013. – № 12. – С. 126-130.*
3. *ОДН 218.046-01. Проектирование нежестких дорожных одежд / Государственная служба дорожного хозяйства Министерства транспорта Российской Федерации.* – Введ. 01.01.2001. – М.: ГП «Информавтодор», 2001. – 145 с.
4. *ГОСТ 52748-2007. Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения и габариты приближения / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии.* – Введ. 24.09.2007. – М.: ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2007 – 9 с.
5. Углова Е.В. *Определение суммарных коэффициентов приведения транспортных средств к расчетной нагрузке с учетом ровности покрытия, скорости движения и осевой нагрузки транспортных средств / Е.В. Углова, А.С. Конорев, В.В. Акулов // Интернет-журнал Науковедение.* – 2012. – № 4 (13). – 6 с. – Электрон. данные. – URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/76trgsu412.pdf> (дата обращения 17-10-2017).
6. Углова Е.В. *Учет воздействия транспортного потока при расчете дорожной конструкции на стадии проектирования и опре-*

деления остаточного ресурса дорожных одежд на стадии эксплуатации / Е.В. Углова, А.С. Конорев, О.В. Конорева // Интернет-журнал «Науковедение». – 2012. – № 4 (13). – 6 с. – Электрон. данные. – URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/81trgsu412.pdf> (дата обращения 17-10-2017).

7. Горячев М.Г. Уточнение расчетных параметров нагружения дорожных одежд / М.Г. Горячев // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2013. – №3. – С. 14-15.
8. Горячев М.Г. Оценка влияния фактических параметров нагружения на расчет прочности нежестких дорожных одежд / М.Г. Горячев, С.В. Лугов, Е.В. Каленова // Вестник НЦБЖД – 2013. – № 4(18). – С. 15-20.
9. ГОСТ 32960-2014. Международный стандарт. Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения. – Введ. 01.07.2015. – М.: ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2014 – 5 с.
10. Разъяснительное письмо по применению ГОСТ 32960-2014 совместно с ОДН 218.046-01 от филиала ЦНИИС «Научно-исследовательский центр «МОСТЫ» Федеральному дорожному агентству (Росавтодор) от 19.10.2016 г. №56650.
11. Мизонов В.В. Использование метода «обратного» расчета при эксплуатации автомобильных дорог / В.В. Мизонов, А.Н. Тиратуриян // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2011. – № 1. – С. 25-27.
12. Khazanovich Lev. MnLayer: High-Performance Layered Elastic Analysis Program / Lev Khazanovich, Qiang (Chuck) Wang // Transportation Research Record. – 2007. – № 2037. – PP. 63-75.

LITERATURA

1. Uglova E.V. Ocenka prochnosti nezhestkih dorozhnyh odezhd. Opyt primenenija ustanovki dinamicheskogo nagruzenija FWD PRIMAX na uchastkah avtomobil'noj drogi M-4 «Don» / E.V. Uglova, A.N. Tiraturjan // Dorozhnaja derzhava. – 2014. – # 57. – С. 42-45.
2. Maksimenko K.O. Sopostavlenie dorozhnyh konstrukcij s zaru-bezhnymi analogami / K.O. Maksimenko, V.V. Akulov, A.N. Tira-turjan // Nauchnoe obozrenie – 2013. – # 12. – S. 126-130.
3. ODN 218.046-01. Proektirovanie nezhestkih dorozhnyh odezhd / Gosudarstvennaja sluzhba dorozhnogo hozjajstva Ministerstva trans-

- porta Rossijskoj Federacii. – Vved. 01.01.2001. – M.: GP «Informavtodor», 2001. – 145 s.*
4. *GOST 52748-2007. Dorogi avtomobil'nye obshhego pol'zovanija. Normativnye nagruzki, raschetnye shemy nagruzhenija i gabarity priblizhenija / Federal'noe agentstvo po tehnicheskому regulirovaniyu i metrologii. – Vved. 24.09.2007. – M.: FGUP «STANDARTINFORM», 2007 – 9 s.*
 5. *Uglova E.V. Opredelenie summarnykh kojefficientov privedenija transportnyh sredstv k raschetnoj nagruzke s uchetom rovnosti pokrytiya, skorosti dvizhenija i osevoj nagruzki transportnyh sredstv / E.V. Uglova, A.S. Konorev, V.V. Akulov // Internet-zhurnal Naukovedenie. – 2012. – # 4 (13). – 6 s. – Jelektron. dannye. – URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/76trgsu412.pdf> (data obrashhenija 17-10-2017).*
 6. *Uglova E.V. Uchet vozdejstvija transportnogo potoka pri raschete dorozhnoj konstrukcii na stadii proektirovaniya i opredelenija ostatochnogo resursa dorozhnyh odezhd na stadii jeks-pluatacii / E.V. Uglova, A.S. Konorev, O.V. Konoreva // Internet-zhurnal «Naukovedenie». – 2012. – # 4 (13). – 6 s. – Jelektron. dannye. – URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/81trgsu412.pdf> (data obrashhenija 17-10-2017).*
 7. *Gorjachev M.G. Utochnenie raschetnyh parametrov nagruzhenija dorozhnyh odezhd / M.G. Gorjachev // Nauka i tehnika v dorozhnoj otrassli. – 2013. – #3. – S. 14-15.*
 8. *Gorjachev M.G. Ocenna vlijanija fakticheskikh parametrov nagruzhenija na raschet prochnosti nezhestkih dorozhnyh odezhd / M.G. Gorjachev, S.V. Lugov, E.V. Kalenova // Vestnik NCBZhD – 2013. – # 4(18). – S. 15-20.*
 9. *GOST 32960-2014. Mezhdunarodnyj standart. Dorogi avtomobil'nye obshhego pol'zovanija. Normativnye nagruzki, raschetnye shemy nagruzhenija. – Vved. 01.07.2015. – M.: FGUP «STANDARTINFORM», 2014. – 5 s.*
 10. *Raz"jasnitel'noe pis'mo po primeneniju GOST 32960-2014 sovmestno s ODN 218.046-01 ot filiala CNIIS «Nauchno-issledovatel'skij centr «MOSTY» Federal'nemu dorozhnomu agentstvu (Rosavtodor) ot 19.10.2016 g. #56650.*
 11. *Mizonov V.V. Ispol'zovanie metoda «obratnogo» rascheta pri jek-spluatacii avtomobil'nyh dorog / V.V. Mizonov, A.N. Tiraturjan // Nauka i tehnika v dorozhnoj otrassli. – 2011. – # 1. – S. 25-27.*
 12. *Khazanovich Lev. MnLayer: High-Performance Layered Elastic Analysis Program / Lev Khazanovich, Qiang (Chuck) Wang // Transportation Research Record. – 2007. – # 2037. – PP. 63-75.*

***ABOUT THE QUESTION OF TAKING INTO ACCOUNT ESTIMATED
VEHICLE WHEEL PRESSURE WHEN FLEXIBLE PAVEMENT
STRUCTURE DESIGNING***

Doctor of Engineering, Professor E.V. Uglova,

Engineer O.A. Shilo

(Academy of Construction and Architecture,

Don State Technical University (DSTU)),

Engineer V.V. Akulov

(Road and Transport Research Institute

(DORTRSNII),

Don State Technical University)

Contact information: uglova.ev@yandex.ru;

olga_shilo@bk.ru;

marine_25@inbox.ru

The article deals with the influence of loading parameters on road pavement deformation, as well as the possibility of taking into account changes in vehicle wheel pressure on pavement from design load.

Key words: estimated transport load, elastic deflection, design of pavement structures.

Рецензент: д-р техн. наук О.А. Красиков (ФАУ «РОСДОРНИИ»).

Статья поступила в редакцию: 04.09.2017 г.