

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КОЛЕЙНОСТИ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ ДОРОГ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

Д-р техн. наук, профессор **С.В. Алексиков**,
канд. техн. наук, доцент **А.И. Лескин**,
инженер **Д.И. Гофман**
(Волгоградский государственный
технический университет (ВолГТУ))
Конт. информация: al34rus@mail.ru

В статье представлена методика расчета пластических деформаций нежестких дорожных покрытий в летний период от осевых нагрузок грузовых автотранспортных средств на региональных дорогах Нижнего Поволжья.

Ключевые слова: грузовые автотранспортные средства, осевая нагрузка, дорожное покрытие, колеиность.

Неудовлетворительное состояние региональной дорожной сети Российской Федерации обусловлено чрезмерным ростом осевых нагрузок от тяжеловесных и крупногабаритных автотранспортных средств, высоким износом и недостаточной толщиной дорожных одежд [1-6]. Несмотря на законодательные ограничения, до 30 % грузоперевозчиков нарушают установленные нормы перевозки грузов [2, 6]. Средний перевес составляет 78 %, что усиливает разрушающий эффект на дороги в 5 раз. Размер ущерба, наносимый дорожной сети РФ, оценивается в размере более 2,5 трлн руб. в год [1, 2].

Крупномасштабное обследование дорожной сети Волгоградской области, выполненное в рамках национального проекта РФ «Безопасные качественные дороги» показало, что состояние проезжей части можно оценить на 1,5-4,8 баллов, как неудовлетворительное (рис. 1). До 65 % протяженности обследованных дорог имеют просадки, выбоины, сетку трещин, колеиность до 10-15 см и требуют капитального ремонта.

Наблюдения показали, что в связи с высокой загрузкой федеральных автомагистралей и стремлением водителей сократить расстояния перевозки наблюдается частичное перераспределение грузовых потоков с магистралей на дороги регионального значения. Доля грузовых автомобилей грузоподъемностью более 8 т на региональных дорогах достигает 10,9 %, из которых до 34 % имеют перегруз. До 54 % перегруза приходится на многоосные автомобили. Наибольший перевес наблюдается для

трейлеров низкорамных (до 21,48 т). Средняя общая масса трейлеров (с учетом перевеса) составляет 62,48 т. Зафиксирован проезд трейлеров общей массой 180-200 т. Для автопоездов седельных средний перевес изменяется от 10,9 до 18,74 т; общая масса грузового автомобиля (с учетом перевеса) составляет от 39,24 до 58,74 т. Для одиночных 3-х и 4-х осных автотранспортных средств средний перевес составляет 14,95 – 18,23 т. Общая масса автомобилей, с учетом перевеса, составляет 39,95 – 50,23 т. Вследствие этого проезжая часть интенсивно разрушается. Через 3-5 лет эксплуатации после ремонта по полосе наката формируется колеиность, превышающая предельно допустимые значения по условиям безопасности дорожного движения [7].



*Участок
автомобильной
дороги
«Новониколаевский –
Урюпинск –
Нехаевская –
Краснополье –
Манино»*

*Участок
автомобильной
дороги
«Котельниково –
Генераловский –
Пугачевская»*



*Рис. 1. Состояние проезжей части региональных дорог
Волгоградской области*

Повышенная колеиность в значительной степени связана с тем, что около 10 % региональных дорог построено под осевую транспортную нагрузку, равную 6,0 т (**рис. 2**). Толщина дорожной одежды на 11-33 %

меньше толщины современных конструкций, рассчитанных по ОДН 218.046-01 [8].

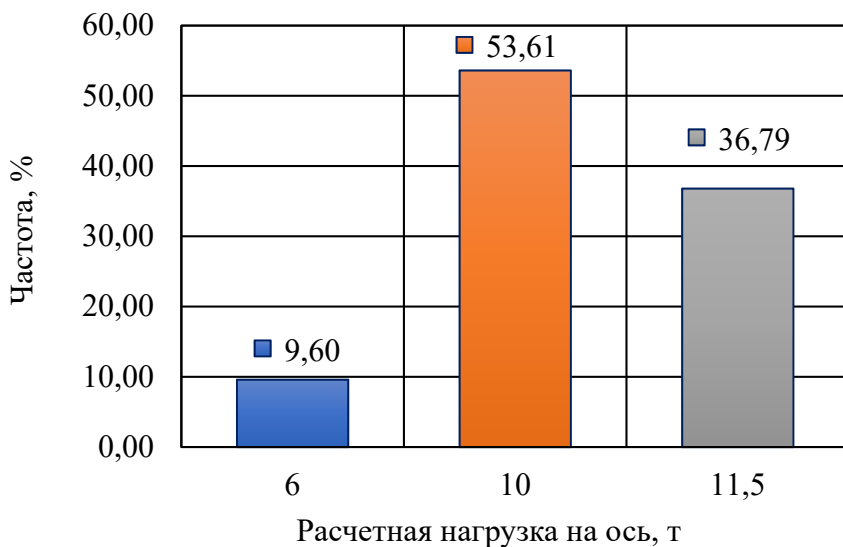


Рис. 2. Гистограмма расчетной нагрузки региональных дорог Волгоградской области

Практика показала, что усиление конструкций только слоями асфальтобетона недостаточно. После ремонта проезжей части из-за износа конструктивных слоев и их малой толщины в подстилающих песчаных слоях и в грунтовом основании напряжения от транспортных нагрузок превышают сдвиговой предел прочности до 180 %, что предопределяет ускоренное колееобразование покрытия после очередного ремонта.

Учитывая сложившееся положение с грузовыми перевозками, на дорогах РФ в жаркий летний период вводятся ограничения на движение тяжеловесных автотранспортных средств [2, 3, 6]. Обоснование ограничений на осевые нагрузки возможно на основе прогноза колеености на проезжей части дорог от проезда грузовых автомобилей. При этом важно учитывать не только интенсивность и состав движения тяжеловесного автотранспорта, но и фактический износ конструкции дорожной одежды [9].

Интенсивность и состав движения грузового транспорта принято определять суммарным числом приложений расчетных нагрузок ($N_c(t)$) за расчетный период [10, 11]:

$$N_c(t) = 0,33N_1K_c(t)T_p, \quad (1)$$

где

N_1 – суточная интенсивность движения автомобилей, приведенная к расчетной нагрузке, в первый год службы дорожной одежды, авт./сут.;

$K_c(t)$ – коэффициент суммирования;

T_p – количество дней в году, соответствующее расчетному состоянию дорожной одежды (для Нижнего Поволжья $T_p = 145$ суток).

Интенсивность движения грузовых автомобилей, приведенная к расчетной нагрузке 100 кН на ось (50 кН на колесо), вычисляется, с учетом коэффициентов приведения [9, 10]:

$$N_1 = \sum_{i=1}^M N_i S_i, \quad (2)$$

где

N_i – количество автомобилей в сутки по типам (согласно ОДН 218.046-01 [8]), авт./сут.;

S_i – коэффициенты приведения автомобилей различного типа к расчетной нагрузке.

Коэффициент суммирования можно рассчитать по формуле:

$$K_c(t) = 0,72q^{5,36t^{1,16}}, \quad (3)$$

где

t – срок службы дорожной одежды, годы;

q – показатель изменения интенсивности движения по годам.

Остаточные деформации (колеиность) на проезжей части ($H(t)$) формируются с учетом деформаций грунта земляного полотна ($h_3(t)$), основания конструкции ($h_0(t)$) и асфальтобетонного покрытия ($h_a(t)$) [6]:

$$H(t) = h_3(t) + h_0(t) + h_a(t). \quad (4)$$

Расчет пластических деформаций в грунтовом основании по годам t производится по формуле:

$$h_3(t) = \frac{0,0162N_c(t)^{0,275}}{\phi^{0,809} \left(\frac{E_d}{E_{гр}} \right)^{0,21} \cdot \left(\frac{h}{D} \right)^{0,65}}, \quad (5)$$

где

ϕ – угол внутреннего трения в грунте земляного полотна, при его

расчетной влажности (согласно [8]);

E_d – средневзвешенный модуль упругости дорожной одежды, МПа;

$E_{гр}$ – модуль упругости грунта, МПа.

Средневзвешенный модуль упругости дорожной одежды следует рассчитывать с учетом коэффициента износа слоев ($K_i^n = 0,50-1,0$) [12]:

$$E_d = \frac{\sum_{i=1}^N E_i K_i^n}{N}, \quad (6)$$

где

E_i – модуль упругости i -го слоя, МПа;

N – число конструктивных слоев.

Приведенные формулы (5) и (6) позволяют прогнозировать остаточные (пластические) деформации в грунтовом основании под дорожной одеждой от тяжелых осевых нагрузок по полосе наката в процессе эксплуатации дороги.

Расчет остаточной деформации основания $h_o(t)$ складывается из деформаций грунта ($h_3(t)$), подстилающего слоя ($h_n(t)$) и слоев основания ($\sum_{j=1}^J h_j^o(t)$):

$$h_o(t) = h_n(t) + \sum_{j=1}^J h_j^o(t) + h_3(t), \quad (7)$$

где

j – число слоев основания;

$h_j^o(t)$ – остаточная деформация j -ого слоя основания;

$h_n(t)$ – остаточная деформация песчаного подстилающего слоя.

Расчет деформации песчаного подстилающего слоя ($h_n(t)$) выполняется с учетом пластической деформации грунтового основания:

$$h_n(t) = \frac{0,3477 h_3(t) H_n^{0,707}}{\left(\frac{E_n}{E_{гр}} \right)^{2,503}}, \quad (8)$$

где

H_n – толщина песчаного слоя;

$E_n, E_{гр}$ – соответственно, модули упругости песка и грунта.

Остаточная деформация j -ого слоя основания ($h_j^o(t)$) рассчитывается по формуле:

$$h_j^o(t) = \frac{0,0154 h_3(t) H_{oj}^{1,563}}{\left(\frac{E_{oj}}{E_{гр}} \right)^{0,764}}, \quad (9)$$

где

H_{oj} – толщина j -го слоя основания;

$E_{oj}, E_{гр}$ – соответственно, модули упругости j -го слоя основания (с учетом износа) и грунта.

Данные [11] показывают, что пластические деформации асфальтобетонного покрытия (на битуме БНД 60/90) наибольшей интенсивности развиваются в жаркий летний период года в верхней сдвигоопасной зоне (толщина слоя 5-6 см). Расчет колейности производится исходя из суммарного числа приложений расчетной нагрузки $N_c(t)$. Расчет ведется с учетом количества сдвигоопасных дней в году (приведенных к температуре воздуха $+50^0 \text{ C}$) $T_{\text{пер}}$. Согласно [11], $T_{\text{пер}}$ зависит от среднегодовой положительной температуры воздуха $t_{\text{ср}}$:

$$T_{\text{пер}} = 0,057 t_{\text{ср}}^3 - 2,289 t_{\text{ср}}^2 + 31,5 t_{\text{ср}} - 145,75 \quad . \quad (10)$$

$$t_{\text{ср}} = \frac{\sum_{m=1}^M t_{\text{ср}m}}{M}, \quad (11)$$

где

M – количество месяцев в году с устойчивой положительной температурой;

$t_{\text{ср}m}$ – средняя положительная температура m -го месяца (по данным метеостанции или климатического справочника).

Остаточная деформация на асфальтобетонном покрытии зависит от суммарного числа приложений расчетной нагрузки и износа дорожного покрытия $\Delta(t)$:

$$h_a(t) = 0,0048 N_c(t)^{0,5865} \quad . \quad (12)$$

Износ дорожного покрытия зависит от средней суточной интенсивности движения на полосу движения N_c и продолжительности эксплуатации T :

$$\Delta(t) = (0,0002 N_c + 0,28) T \quad . \quad (13)$$

Средняя глубина колеи вычисляется с учетом остаточных деформаций в грунтовом основании и слоях дорожной одежды [11]:

$$H(t) = ((h_3(t) + h_0(t))0,15 + h_a(t))2,56 + \Delta(t) . \quad (14)$$

Согласно [11], максимальная глубина колеи с 85 %-ной обеспеченностью рассчитывается следующим образом:

$$H^{85}(t) = H(t)(1 + tC_v) , \quad (15)$$

где

$t = 1,04$ коэффициент доверительной вероятности;

C_v – коэффициент вариации глубины колеи ($C_v = 0,25-0,35$ большие значения для дорог низких категорий).

Обследование региональной дорожной сети позволило определить характерную конструкцию дорожной одежды:

- покрытие – асфальтобетон плотный на битуме БНД 60/90 (тип Б, марка II), толщиной 5 см;
- верхний слой основания – асфальтобетон пористый горячий на битуме БНД 60/90 (крупнозернистый, марка III), толщиной 7 см;
- несущий слой основания – щебень фракционированный 40-70 мм с заклиной известняковой мелкой смесью, толщиной 18 см;
- подстилающий слой – песок мелкий с 5 % содержанием пылеглинистой фракции;
- грунт земляного полотна – суглинок легкий.

Компьютерное моделирование формирования колеи на покрытии характерной конструкции дорог IV-III категорий позволило установить зависимость величины пластических деформаций асфальтобетонного покрытия от суммарного числа приложений расчетной нагрузки и коэффициента износа конструктивных слоев:

$$H^{85}(t) = \frac{0,0279N_c(t)^{0,441}}{K_n^{0,309}} . \quad (16)$$

Коэффициент множественной корреляции – 0,96; стандартная ошибка – 0,13.

Выполнен прогноз формирования колеи на проезжей части

в зависимости от износа дорожной конструкции (рис. 3) и суммарной приведенной транспортной нагрузки (рис. 4) в течение межремонтного срока, равного 15 лет.

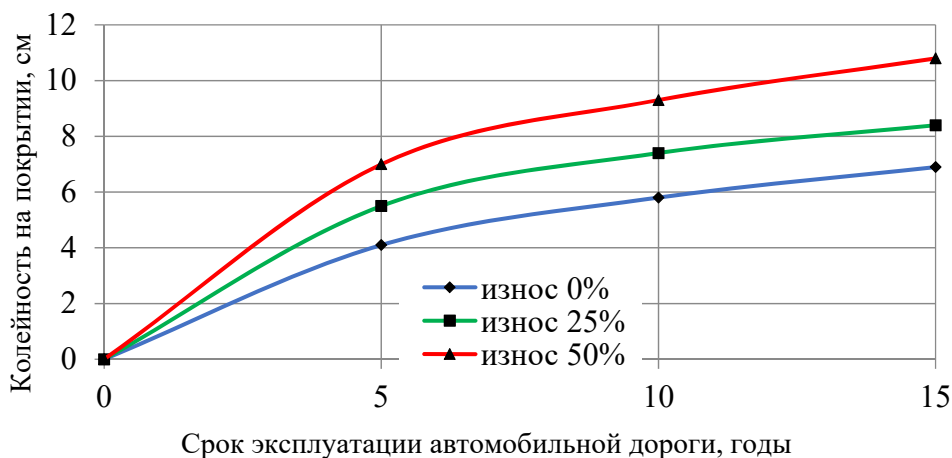


Рис. 3. Зависимость глубины колеи на асфальтобетонном покрытии от среднего износа дорожной одежды

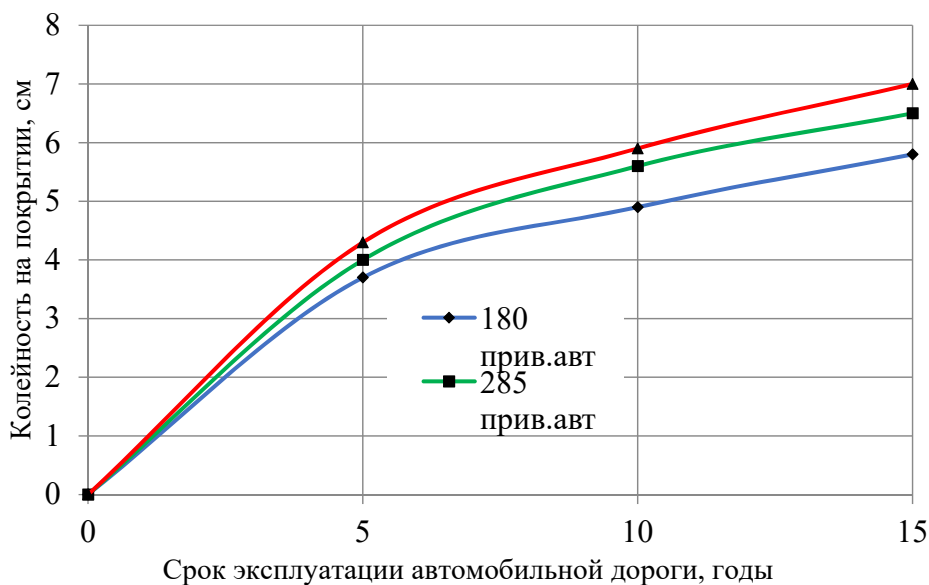


Рис. 4. Зависимость глубины колеи на асфальтобетонном покрытии

Расчеты показали, что за трех-четырёхлетний период эксплуатации дороги после ремонта на проезжей части формируется предельно допустимая по условиям безопасности дорожного движения колеиность – 30 мм [7]. При износе дорожной конструкции до 50 % пластические деформации развиваются в 2 раза интенсивней (рис. 3). Влияние состава грузового движения на формирование колеиности менее значимо (рис. 4). При этом колеиность развивается более интенсивно в первые 5-6 лет эксплуатации автомобильной дороги.

Одним из эффективных решений по восстановлению прочности дорожной одежды является ее глубокий ресайклинг. Расчеты усиления изношенных традиционных конструкций показали, что при их толщине до 46 см, необходимо трехслойное усиление асфальтобетоном общей толщиной до 15-18 см. Применение метода «глубокого ресайклинга» на глубину до 45 см, с получением слоя щебеночно-песчаной смеси неоптимального состава, стабилизированного цементом 6 %, позволяет ограничиться укладкой верхнего замыкающего асфальтобетонного слоя толщиной 4 см. При этом общая толщина конструкции увеличивается незначительно, до 49 см.

ВЫВОДЫ

Выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Вследствие недостаточной толщины и износа существующих конструкций дорожных одежд региональных дорог Нижнего Поволжья не представляется возможным обеспечить нормативную поперечную ровность проезжей части путем усиления таких конструкций только асфальтобетонными слоями. Для обеспечения нормативной ровности покрытия в течение межремонтного срока необходимо восстановление прочности дорожных конструкций методом глубокого ресайклинга.
2. Обоснование допустимых осевых нагрузок на региональных дорогах Нижнего Поволжья следует выполнять с учетом приведенной интенсивности движения грузового транспорта и износа дорожных конструкций.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Апестин В.К. Оценка и расчет ущерба от проезда тяжеловесных транспортных средств / В.К. Апестин // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2005. – № 3. – С. 10-12.*
2. *Апестин В.К. Методы обеспечения сохранности автомобильных дорог в условиях движения тяжеловесных автотранспортных средств: учеб. пособие. – М., 2011. – 102 с.*
3. *Апестин В.К. Обеспечение сохранности дорожных конструкций в условиях движения тяжеловесных автотранспортных средств / В.К. Апестин // Дорожная Держава. – 2009. – № 23. – С. 42-45.*
4. *Апестин В.К. Прогноз расчетных параметров (нагрузка, габарит) применительно к учету воздействия автомобилей большой грузоподъемности на дорожные одежды / В.К. Апестин, А.И. Дудаков // Труды Гипродорнии. – М., 1976. – Вып. 17. – С. 83-90.*
5. *Апестин В.К. Расчет допустимых осевых нагрузок / В.К. Апестин // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2009. – № 1. – С. 27-29.*
6. *Алексиков С.В. Обеспечение сохранности региональных дорог посредством введения весового контроля / С.В. Алексиков, М.И. Русанов, Н.А. Фоменко, А.И. Болдин, А.И. Лескин // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. – 2018. – Вып. 53 (72). – С. 66-71.*
7. *ОДМ 218.4.039-2018. Рекомендации по диагностике и оценки технического состояния автомобильных дорог / Федеральное дорожное агентство (Росавтодор). – М., 2018. – 59 с.*
8. *ОДН 218.046-01. Проектирование нежестких дорожных одежд. – М., 2001. – 21 с. – Электрон. данные. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200015514> (дата обращения: 27.08.2020).*
9. *Алексиков С.В. Расчет пластических деформаций дорожного покрытия от нагрузок грузового транспорта / С.В. Алексиков, М.В. Парфенов, А.И. Болдин, А.И. Лескин, Д.И. Гофман // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. – 2018. – Вып. 54 (73). – С. 89-96.*

10. ОДМ 218.6.002-2010. Методические рекомендации по определению допустимых нагрузок автотранспортных средств в весенний период на основании результатов диагностики автомобильных дорог общего пользования федерального значения / Федеральное дорожное агентство (Росавтодор). – М., 2011. – 216 с.
11. ОДМ. Рекомендации по выявлению и устранению колея на нежестких дорожных одеждах / Росавтодор Министерства транспорта РФ. – М., 2002. – Электрон. данные. – URL. <https://files.stroyinf.ru/Data1/10/10793/> (дата обращения: 27.08.2020).
12. РАДОН 3.70. Расчет дорожных одежд нежесткого и жесткого типов. Руководство пользователя. – Электрон. данные. – URL. www.prin.ru/radon_3_70/rukovodstvo_pol_zovatelya.pdf (дата обращения: 27.08.2020).

L I T E R A T U R A

1. Apestin V.K. Ocenka i raschet ushcherba ot proezda tyazhelovesnykh transportnykh sredstv / V.K. Apestin // Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli. – 2005. – № 3. – S. 10-12.
2. Apestin V.K. Metody obespecheniya sohrannosti avtomobil'nykh dorog v usloviyakh dvizheniya tyazhelovesnykh avtotransportnykh sredstv: ucheb. posobie. – М., 2011. – 102 с.
3. Apestin V.K. Obespechenie sohrannosti dorozhnykh konstruktsiy v usloviyakh dvizheniya tyazhelovesnykh avtotransportnykh sredstv / V.K. Apestin // Dorozhnaya Derzhava. – 2009. – № 23. – S. 42-45.
4. Apestin V.K. Prognoz raschetnykh parametrov (nagruzka, gabarit) primenitel'no k uchetu vozdeystviya avtomobilej bol'shoj gruzopod"emnosti na dorozhnye odezhdyy / V.K. Apestin, A.I. Dudakov // Trudy Giprodornii. – М., 1976. – Вып. 17. – S. 83-90.
5. Apestin V.K. Raschet dopustimyyh osevykh nagruzok / V.K. Apestin // Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli. – 2009. – № 1. – S. 27-29.
6. Aleksikov S.V. Obespechenie sohrannosti regional'nykh dorog posredstvom vvedeniya vesovogo kontrolya / S.V. Aleksikov, M.I. Rusanov, N.A. Fomenko, A.I. Boldin, A.I. Leskin // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Ser.: Stroitel'stvo i arhitektura. – 2018. – Вып. 53 (72). – С. 66-71.
7. ОДМ 218.4.039-2018. Rekomendatsii po diagnostike i ochenki tekhnicheskogo sostoyaniya avtomobil'nykh dorog / Federal'noe dorozhnoe agentstvo (Rosavtodor). – М., 2018. – 59 с.

8. ODN 218.046-01. *Proektirovanie nezhyostkih dorozhnyh odezhd.* –M., 2001. – 21 c. – Elektron. dannye. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200015514> (data obrashcheniya: 27.08.2020).
9. Aleksikov S.V. *Raschet plasticheskikh deformacij dorozhnogo pokrytiya ot nagruzok gruzovogo transporta* / S.V. Aleksikov, M.V. Parfenov, A.I. Boldin, A.I. Leskin, D.I. Gofman // *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Ser.: Stroitel'stvo i arhitektura.* – 2018. – Vyp. 54 (73). – С. 89-96.
10. ODM 218.6.002-2010. *Metodicheskie rekomendacii po opredeleniyu dopustimyh nagruzok avtotransportnykh sredstv v vesenniy period na osnovanii rezul'tatov diagnostiki avtomobil'nykh dorog obshchego pol'zovaniya federal'nogo znacheniya* / Federal'noe dorozhnoe agentstvo (Rosavtodor). – M., 2011. – 216 s.
11. ODM. *Rekomendacii po vyyavleniyu i ustraneniyu kolej na nezhestkih dorozhnykh odezhdah* / Rosavtodor Ministerstva transporta RF. – M., 2002. – Elektron. dannye. – URL. <https://files.stroyinf.ru/Data1/10/10793/> (data obrashcheniya: 27.08.2020).
12. RADON 3.70. *Raschet dorozhnykh odezhd nezhestkogo i zhestkogo tipov. Rukovodstvo pol'zovatelya.* – Elektron. dannye. – URL. www.prin.ru,radon_3_70/rukovodstvo_pol_zovatelya.pdf (data obrashcheniya: 27.08.2020).

.....

PREDICTING OF PAVEMENT RUTTING ON REGIONAL ROADS IN THE LOWER VOLGA REGION

Doctor of Engineering, professor **S.V. Aleksikov,**
Ph. D. (Tech.) **A.I. Leskin,**
Engineer **D.I. Gofman**
(Volgograd State Technical University (VolgSTU))
Contact information: al34rus@mail.ru

The paper presents the method for calculating plastic deformations of non-rigid road pavements in the summer under heavy vehicles' axial loading on regional roads of the Lower Volga Region.

Key words: *heavy vehicles, axial load, road pavement, rutting.*

Рецензент: канд. техн. наук Н.Н. Беляев (ФАУ «РОСДОРНИИ»).

Статья поступила в редакцию: 27.08.2020 г.