

Влияние транспортной нагрузки на качество ремонтных работ дорожных покрытий нежесткого типа с применением струйно-инъекционного метода

М.Э.Пилецкий, ТГТУ, Тамбов

К.А.Андрианов, ТГТУ, Тамбов

А.Ф.Зубков, ТГТУ, Тамбов

М.А.Пороженко, НИИСФ РААСН, Москва

Повышение интенсивности движения и рост осевой нагрузки от транспортных средств на дорожные покрытия автомобильных дорог способствуют образованию дефектов в виде выбоин и трещин. Для повышения срока службы и обеспечения безопасности движения требуется своевременный уход за покрытием. Несвоевременное проведение работ приводит к снижению срока службы дорожной одежды. Применение струйно-инъекционного метода ремонта покрытий автомобильных дорог позволяет выполнять работы оперативно с минимальными затратами по отношению к другим методам ремонта.

В статье рассмотрен процесс устранения дефектов на дорожных покрытиях нежесткого типа с нанесением битумо-минеральных смесей струйно-инъекционным методом. Представлены результаты экспериментальных исследований, выполненных при производстве ремонтных работ на автомобильной дороге второй технической категории с высокой интенсивностью движения и повышенной осевой нагрузкой от транспортных средств. Установлено, что формирование структуры битумо-минеральной смеси в выбоине дорожного покрытия происходит в течение сравнительно длительного промежутка времени. Под действием контактных напряжений под шиной автомобиля происходят деформации материала, превышение которых приводит к его разуплотнению.

Экспериментально доказано, что для повышения срока службы отремонтированного дорожного покрытия необходимо дополнительное уплотнение битумо-минеральной смеси. Установлено, что превышение нагрузки на слой битумо-минеральной смеси в выбоине покрытия на стадии формирования её структуры выше предела прочности способствует образованию пластических деформаций и снижению требуемого коэффициента уплотнения. Для повышения качества ремонтных работ необходимо ограничение осевой нагрузки от транспортных средств на поверхность выбоины в течение 20–30 суток на период формирования структуры материала, уложенного в выбоину дорожного покрытия.

Ключевые слова: струйно-инъекционный метод, битумо-минеральная смесь, характеристики смеси, транспортная нагрузка.

The Influence of Transport Load on Quality of Repair Works of Non-Rigid Pavements with Application by a Jet-Injection Method

M.E.Piletskiy, TSTY, Tambov

A.F.Zubkov, TSTY, Tambov

K.A.Andrianov, TSTY, Tambov

M.A.Porozhenko, NIISF RAASN, Moscow

Increased traffic intensity and increased axial load from vehicles on road surfaces contribute to the formation of defects in the form of potholes and cracks. To improve the service life and traffic safety timely care of the coating is required. Untimely work leads to a decrease in the service life of the pavement. The use of a jet-injection method of repair of road surfaces allows to perform work quickly with minimal cost in relation to other methods of repair.

The article considers the process of elimination of defects on non-rigid road surfaces with the use of bitumen-mineral mixtures by a jet-injection method. The results of experimental studies carried out in the course of repair work on the second technical category road with high traffic intensity and increased axial load from vehicles are presented. It was found out that the formation of the structure of the bitumen-mineral mixture in the pothole of the road surface occurs over a relatively long period of time. Under the influence of contact stresses under the tire of the car, there are deformations of the material, the excess of which leads to its decompression.

It is experimentally proved that in order to increase the service life of the repaired road surface, additional compaction of the bitumen-mineral mixture is necessary. It was found that the excess load on the layer of bitumen-mineral mixture in the pothole coating at the stage of formation of its structure above the tensile strength contributes to the formation of plastic deformations and reduce the required compaction coefficient. To improve the quality of repair work, it is necessary to limit the axial load of vehicles on the surface of the pothole for 20–30 days during the formation of the structure of the laid material in the pothole of the road surface.

Keywords: jet-injection method; bitumen-mineral mixture; characteristics of the mixture; transport load.

Повышение интенсивности движения и роста осевой нагрузки на дорожные одежды автомобильных дорог способ-

ствуют образованию дефектов в виде выбоин и снижению работоспособности дорожных покрытий нежесткого типа.

Для повышения срока службы и обеспечения безопасности движения транспортных средств требуется своевременный уход за покрытиями. В противном случае состояние дорожного покрытия ухудшается, что, в свою очередь, ведёт к удорожанию работ по приведению его в нормативное состояние. Своевременный ремонт позволяет увеличить срок его службы покрытия на четыре-пять лет, а задержка с проведением в течение двух-трёхлет приводит к росту затрат на ремонт в несколько раз.

В связи с этим вопрос повышения качества ремонтных работ как за счёт совершенствования существующих технологий, так и применения новых эффективных, является актуальным.

Струйно-инъекционный метод получил широкое применение при ямочном ремонте дорожных покрытий нежесткого типа, и его принято относить к скоростному (оперативному) методу ремонта. Для выполнения ремонтных работ этим методом требуется значительно меньше времени по сравнению с традиционными способами ямочного ремонта покрытий с применением литых и горячих асфальтобетонных смесей.

Установлено [1, с. 74–82; 2, с. 50–75; 6–20], что применение данного метода с экономической точки зрения является более выгодным по отношению к другим применяемым методам ремонта выбоин покрытия нежесткого типа. Его преимуществом является отсутствие необходимости выполнения подготовительных работ и процесса уплотнения при укладке материала в выбоину. Отсутствие необходимости уплотнения битумом и неральной смеси обосновывается тем, что размер частиц фракций 6,5–10 мм, смесь подаётся в выбоину с высоты от поверхности покрытия 0,6 м со скоростью 30–32 м/с, за счёт этого происходит равномерное, плотное распределение и уплотнение укладываемого материала в выбоине.

С целью определения прочностных характеристик материала в выбоине покрытия с учётом воздействия нагрузки при интенсивном движении транспортных средств были взяты вырубки из покрытия, подлежащего ремонту в 2014 и 2015 годах.

При визуальном осмотре внешних повреждений на поверхности отремонтированных выбоин обнаружено не было. Установлено, что предел прочности на сжатие взятых образцов находится в интервале от 1,12 до 1,56 МПа, что ниже минимального значения по требованию ГОСТ 9128-2013 «Смеси асфальтобетонные, полимерасфальтобетонные, асфальтобетон, полимерасфальтобетон для автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия» (далее – ГОСТ 9128). В тоже время предел прочности образцов, отформованных при температуре 20 °С, соответствовал пределу прочности в интервале от 2,1 до 2,3 МПа, что отвечает требованию ГОСТ 9128. На основании полученных результатов можно сделать вывод, что уплотнение битумоминеральной смеси даже под действием нагрузки от транспортных машин не всегда обеспечивает максимальную плотность.

Для обеспечения требуемых физико-механических характеристик битумоминеральной смеси при выполнении ремонтных работ был выполнен подбор оптимального гранулометрического состава гранитного щебня фракции с размером частиц 2,5–10 мм, имеющего марку по прочности не менее 1200, марку по износу И-1 и содержание пылеватых и глинистых частиц не более 1%. В качестве вяжущего материала применялась быстрораспадающаяся катионная битумная эмульсия 60-процентной концентрации – ЭБК 1. Оптимальная температура битумной эмульсии во время проведения работ была принята равной 71–80 °С.

С целью уточнения влияния интенсивности движения и осевой нагрузки транспортных средств на качество выполнения ремонтных работ при устранении дефектов на дорожных покрытиях с применением струйно-инъекционного метода использовалась серийная машина дорожный ремонтёр «Madrog– Madpatcher» (рис. 1). Исследования проводились при ремонте выбоин на дорожных покрытиях нежесткого типа автомобильной дороги Р-22 «Каспий».

Для обеспечения заданной толщины слоя при укладке битумоминеральной смеси в выбоину дорожного покрытия и устранения влияния неровности основания выбоины место дефекта на покрытии фрезеровали холодной фрезой. После фрезерования место укладки смеси очищали струёй воздуха под давлением, после чего укладывали смесь струйно-инъекционным методом.

Толщина слоя смеси в выбоине равнялась 0,05 м. Коэффициент предварительного уплотнения материала в выбоине покрытия после укладки смеси и в процессе движения транспортных средств определялся неразрушающим методом с использованием плотномера ПАБ-1, позволяющим определять плотность материала и его коэффициент уплотнения. Состав и интенсивность движения транспортного потока на участке производства ремонтных работ фиксировались в автоматическом режиме.

Установлено, что после укладки смеси в выбоину покрытия коэффициент уплотнения смеси составлял 0,83. При движении транспорта коэффициент уплотнения, в зависимости от осевой нагрузки, имел разные значения. После проезда легковых (до 6 м), малых грузовых (6–9 м), грузовых (9–13 м) машин и автопоездов значение коэффи-



Рис. 1. Дорожный ремонтёр «Madrog–Madpatcher»

циента возросло до единицы, после проезда большегрузного транспорта снизилось до 0,79 (рис. 4). По истечении десяти часов после выполнения ремонтных работ коэффициент уплотнения материала в выбоине составил 0,85. Образцы материала, взятые с места производства ремонтных работ через 60 дней, показали коэффициент уплотнения 0,96, водонасыщения в процентах по объёму – 9,3%, что не соответствует требованиям ГОСТ 9128.

Из представленных на рисунке 2 данных видно, что с течением времени в зависимости от интенсивности движения и осевой нагрузки транспортных средств коэффициент уплотнения меняется. Интенсивность транспортного потока с 9 до 19 часов находилась в пределах 680–800 авт./час.

Формирование структуры битумоминеральной смеси, уложенной в выбоину дорожного покрытия, в отличие от горячей асфальтобетонной смеси, происходит в течение сравнительно длительного промежутка времени [3]. При движении транспорта под действием напряжений в зоне контакта шины с уплотняемой поверхностью материала происходит доуплотнение уложенной смеси в выбоине покрытия. В зависимости от величины контактного напряжения и свойств уплотняемого материала будет происходить как повышение коэффициента уплотнения материала, так и его уменьшение.

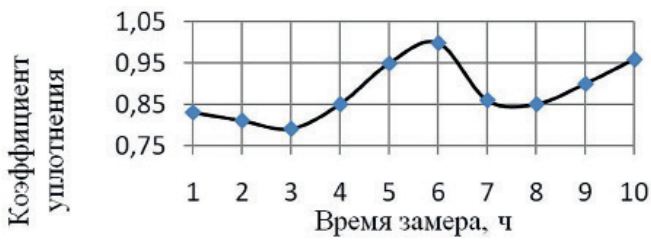


Рис. 2. Изменение коэффициента уплотнения материала во времени

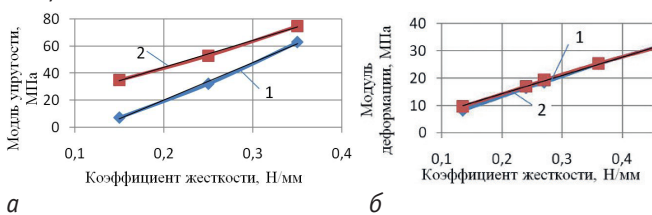


Рис. 3. Зависимость модуля упругости (а) и модуля деформации (б) от коэффициента жёсткости слоя смеси в зависимости от его толщины: 1 – 0,05 м; 2 – 0,07 м

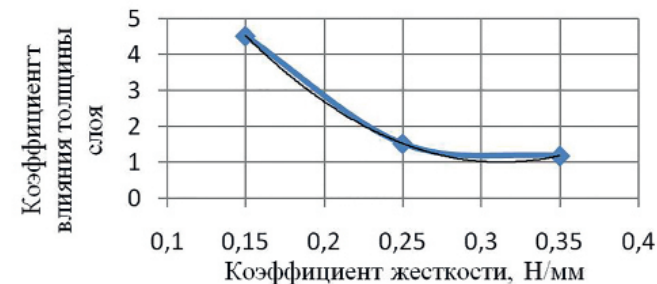


Рис. 4. Зависимость коэффициента влияния толщины слоя покрытия от коэффициента жёсткости K_n

Способность материала воспринимать внешнюю нагрузку без разрушения слоя характеризуется модулем упругости (E_y). При уплотнении материала, связанном с развитием необратимой деформации и образованием прочной структуры, свойства материала характеризуются модулем деформации (E_d) и коэффициентом упругости ($K_{упр}$). Экспериментально установлено, что свойства материала, влияющие на его способность воспринимать внешнюю нагрузку ($E_y, E_d, K_{упр}$) взаимосвязаны. Закономерности их взаимного влияния показаны на рисунке 3.

Анализ представленных на рисунке 3 данных позволяет сделать вывод, что между параметрами E_y, E_d и $K_{ж}$ существует линейная зависимость. При незначительном изменении толщины укладываемого слоя модуль деформации уплотняемого материала в меньшей степени зависит от коэффициента жёсткости по отношению к модулю упругости.

Для установления общих закономерностей между характеристиками смеси (E_y и $K_{ж}$) принимаем значения модулей упругости за единицу при толщине слоя материала 0,05 м, обозначив полученную относительную величину через коэффициенты влияния толщины слоя на модуль упругости и модуль деформации (рис. 4).

Численное значение K_n определяется по формуле:

$$K_n = 132,5h^2 - 82,9h + 13,96, \quad (1)$$

где h – толщина уплотняемого слоя битумоминеральной смеси, м. Коэффициент корреляции уравнения равен 1,0.

Из представленной на рисунке 4 зависимости видно, что с увеличением толщины слоя коэффициент жёсткости смеси при действии нагрузки выше 0,25 Н/мм стабилизируется и остаётся постоянным, равным 1,0.

Зависимости для модулей упругости и деформации материала имеют вид:

$$E_y = K_n (278,95K_{ж} - 35,7) \text{ [Мпа]} \quad (2)$$

$$E_d = 67,1K_{ж} + 0,8 \text{ [Мпа]} \quad (3)$$

Коэффициент корреляции уравнений равен 0,99.

Экспериментально доказано, что под действием контактных напряжений под шиной автомобиля возникают деформации материала. Превышение контактных напряжений по отношению к пределу прочности материала приводит к разуплотнению, что характеризуется увеличением деформации материала и снижению коэффициента жёсткости смеси.

На рисунке 5 представлена экспериментальная зависимость изменения коэффициента жёсткости битумоминеральной смеси от деформации, полученная при нагружении слоя смеси толщиной 0,07 м.

Численное значение коэффициента жёсткости смеси от деформации материала при действии нагрузки может быть определено по формуле:

$$K_{ж} = -0,009\lambda^3 + 0,099\lambda^2 - 0,193\lambda + 0,18, \quad (4)$$

где λ – деформация слоя материала, мм. Коэффициент корреляции уравнения равен 0,99.

На основании экспериментальных данных, полученных при проведении ремонтных работ с применением струйно-инъекционного метода, получена зависимость между деформацией материала в выбоине покрытия и коэффициентом уплотнения, которая представлена на рисунке 6.

Численное значение коэффициента уплотнения смеси в выбоине при наезде пневматической шины на уложенный материал с учётом деформации можно определить по формуле:

$$K_y = 0,996e - 0,013\lambda, \quad (5)$$

где λ – деформация материала в выбоине покрытия, мм. Коэффициент корреляции уравнения равен 0,999.

Для определения деформации смеси при действии нагрузки от шины транспортного средства разработана реологическая модель, которая представлена на рисунке 7 [5, с. 64–71].

При движении транспортного средства на материал в выбоине покрытия действует сила Q , которая характеризует осевую нагрузку. Под действием осевой нагрузки в зоне контакта шины с поверхностью материала возникают напряжения, способствующие развитию деформации материала.

Начальные условия перемещения поверхности и пробки имеют вид:

$$t = t_0; x_1 = 0; x_2 = 0. \quad (6)$$

Если деформация слоя покрытия превышает упругую деформацию, то невесомая пробка, характеризующая полную деформацию материала при действии нагрузки (x_2), перемещается. Это условие имеет вид:

$$x_1 > \lambda_{\text{упр}} [\text{мм}]. \quad (7)$$

При снятии нагрузки поверхность материала за счёт упругой деформации перемещается вверх до верхнего упора пробки. Скорость подъёма поверхности зависит от скорости снятия нагрузки на материал и определяется скоростью движения транспортного средства.

Предложенная реологическая модель описывается уравнением, связывающим напряжения и деформации, возникающие одновременно вследствие приложения нагрузки, в виде аналитической зависимости:

$$\sigma = K_{\text{ж}}\lambda + \eta\dot{\lambda}, [\text{Мпа}], \quad (8)$$

где $K_{\text{ж}}$ – коэффициент жёсткости, Н/мм; λ – деформация, мм; η – вязкость, Нс/мм.

Данную зависимость с учётом деформации материала и реологических характеристик смеси можно представить в виде:

$$\lambda = \sigma/K_{\text{ж}} + \sigma/\eta [\text{мм}]. \quad (9)$$

Из зависимости (9) видно, что отношение $\sigma/K_{\text{ж}}$ характеризует упругую деформацию материала, а σ/η – остаточную деформацию. При многократном приложении нагрузки величина остаточной деформации определяется зависимостью [6]:

$$\lambda_{\text{ост}} = n \sigma t_{\text{н}}/\eta, \quad (10)$$

где $t_{\text{н}}$ – суммарное действие нагрузки на материал, с; n – число циклов приложения нагрузки.

Для расчёта деформаций битумоминеральной смеси в выбоине дорожного покрытия при действии контактных напряжений от осевой нагрузки транспортных средств разработана программа для ЭВМ [4]. Расчёт деформации смеси при действии нагрузки представлен на рисунке 8.

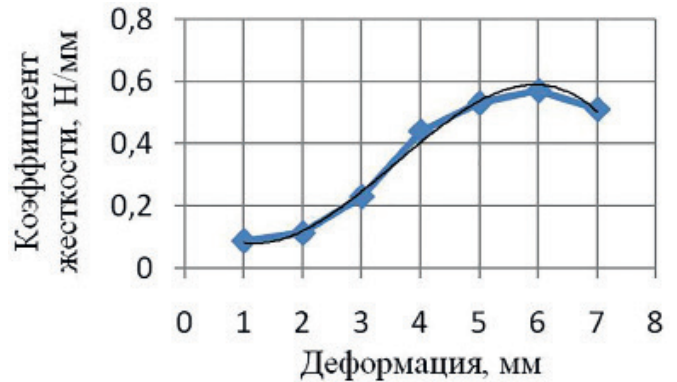


Рис. 5. Зависимость коэффициента жёсткости смеси от деформации

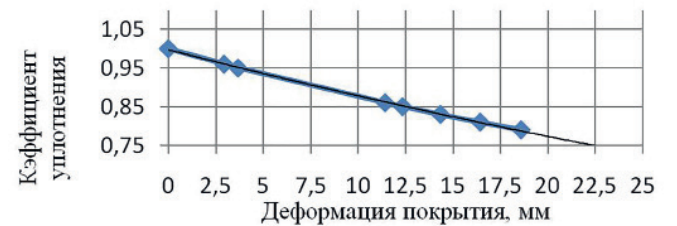


Рис. 6. Зависимость коэффициента уплотнения от деформации материала в выбоине покрытия

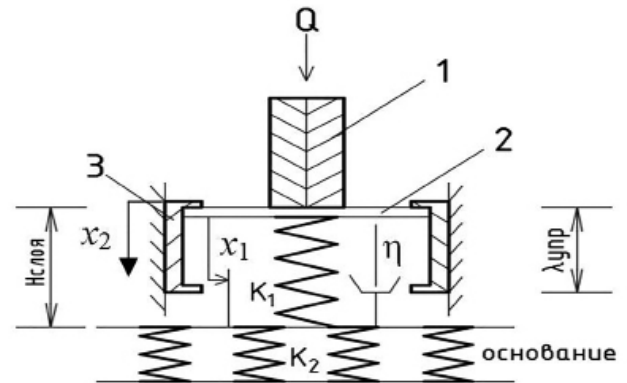


Рис. 7. Реологическая модель уплотнения битумоминеральной смеси в выбоине дорожного покрытия пневматической шиной: 1 – пневматическая шина; 2 – уплотняемая битумоминеральная смесь; 3 – невесомая пробка, моделирующая остаточную деформацию материала; Q – сила тяжести, передаваемая от транспортного средства на шину, кН; K_1 – коэффициент (модуль) жёсткости материала, Н/мм; K_2 – коэффициент жёсткости основания, Н/мм; η – коэффициент вязкого сопротивления (модуль вязкости), Нс/мм; $\lambda_{\text{упр}}$ – деформация (перемещение невесомой пробки), характеризующая упругую деформацию материала, мм; x_1 – перемещение вибрационной плиты, мм; x_2 – перемещение пробки, характеризующее остаточную деформацию или воздействие на материал вибрационной плитой, мм

На рисунке 9 представлены результаты моделирования деформации битумоминеральной смеси в выбоине дорожного покрытия при действии осевой нагрузки от транспортных средств с учётом нормативной нагрузки на шины согласно ГОСТ Р 52899-2007 «Шины пневматические для грузовых механических транспортных средств и прицепов. Технические условия».

Из представленных на рисунке 9 данных видно, что с увеличением контактных напряжений под пневматической шиной при наезде транспортного средства на поверхность смеси в выбоине дорожного покрытия возрастает деформация уложенного материала, что и является причиной понижения коэффициента уплотнения. С учётом длительного процесса формирования структуры битумоминеральной смеси при передаче нагрузки от транспортного средства с меньшим контактным напряжением, соответствующим пределу прочности смеси, происходит повышение коэффициента уплотнения.

На основании полученных результатов производственных исследований укладки и уплотнения битумоминеральной смеси в выбоину дорожного покрытия при выполнении ямочного ремонта с применением струйно-инъекционного метода можно сделать следующие выводы:

1. Полученные результаты опровергают существующие мнения, что применение струйно-инъекционного метода не требует уплотнения при укладке материала в выбоину. Для повышения срока службы отремонтированной выбоины дорожного покрытия необходимо дополнительное уплотнение смеси вибрационными плитами.

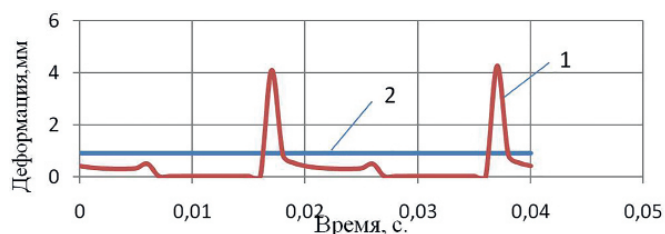


Рис. 8. Деформации смеси в выбоине покрытия при действии нагрузки от шины: 1 – полная деформация; 2 – упругая деформация

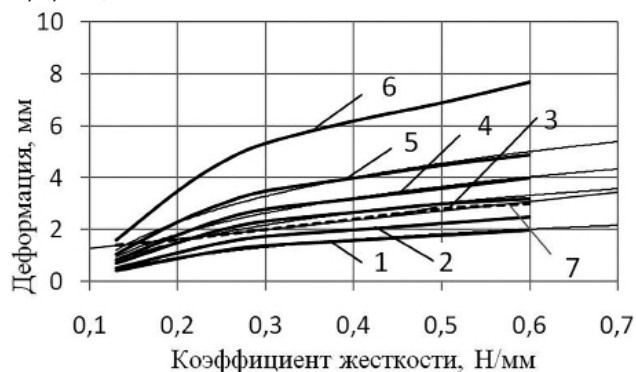


Рис. 9. Зависимость деформации слоя смеси от коэффициента жесткости, Н/мм: 1 – 0,21; 2 – 0,45; 3 – 0,60; 4 – 0,70; 5 – 0,80; 6 – 0,90; 7 – упругая деформация

2. Для формирования структуры битумоминеральной смеси в выбоине покрытия за счёт транспортных средств необходимо ограничивать осевую нагрузку на поверхности уложенной смеси в зоне контакта шины с поверхностью выбоины в течение 20–30 суток.

Литература

1. Пилецкий, М.Э. Анализ состояния автомобильных дорог Тамбовской области и выбор технологии для ремонта выбоин на покрытиях нежесткого типа / М.Э. Пилецкий, А.Ф. Зубков // Научный вестник Воронежского ГАСУ. Сер. «Строительство и архитектура». – 2016. – Вып. № 1 (41).

2. Пилецкий, М.Э. Применение битумоминеральных смесей при ремонте выбоин дорожных покрытий / М.Э. Пилецкий, А.Ф. Зубков, К.А. Андрианов, И.В. Дидрих // Приволжский научный журнал / Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Нижний Новгород, 2017. – № 3 (43).

3. Васильев, А.П. Строительство и реконструкция автомобильных дорог : справочная энциклопедия дорожника (СЭД). Т.1 / А.В. Васильев, Б.С. Марышев, В.В. Силкин и др.; под ред. А.П. Васильева. – М. : Информавтодор, 2005. – 646 с.; ил.

4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017663676: Расчет деформаций материала при действии динамической нагрузки. М.Э. Пилецкий, А.Ф. Зубков, К.А. Андрианов, А.М. Макаров. Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 08.12.2017.

5. Пилецкий, М.Э. Определение характеристик битумоминеральной смеси при укладке в выбоину дорожного покрытия струйно-инъекционным методом / М.Э. Пилецкий, А.Ф. Зубков, К.А. Андрианов // Приволжский научный журнал. – 2018. – № 1 (45).

6. Сильянов, В.В. Транспортно-эксплуатационные показатели городских дорог и улиц / В.В. Сильянов, Э.Р. Домке. – М. : Издательский центр «Академия», 2007. – 352 с.

7. Дорожный асфальтобетон / Н.В. Горелышев, А.М. Богуславский, И.В. Королев; под редакцией Л.Б. Гезенцева; изд-е второе. – М. : Транспорт, 1985. – 350 с.

8. Алфёров, В.И. Дорожные материалы на основе битумных эмульсий / В.И. Алфёров. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2003 – 146 с.

9. Апестин, В.К. О расхождении проектных и нормативных сроков службы дорожных одежд / В.К. Апестин // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2011. – № 1. – С. 18–20.

10. Матвиенко, Ф.В. Прогнозирование величины необратимой деформации дорожной конструкции от воздействия транспортного потока / Ф.В. Матвиенко, А.Н.Канищев, В.Н. Мелькумов, В.В. Волков // Научный вестник ВГАСУ. Строительство и архитектура. – 2010. – № 3. – С. 81–92.

11. Иванцов, В.А. Физико-механические свойства минеральных материалов, обработанных эмульсиями / В.А. Иванцов // Исследования органических вяжущих материалов и битумоминеральных смесей для дорожного строительства : Труды СоюздорНИИ. Вып. 34. – М., 1969. – С.91– 102.

12. *Матвиенко, Ф.В.* Моделирование деформации дорожной конструкции от воздействия транспортного потока / Ф.В. Матвиенко, А.Н. Канищев, В.В. Волков // Научный вестник ВГАСУ. Строительство и архитектура. – 2009. – № 3. – С.67–72.
13. *Кирюхин, Г.Н.* К вопросу о совершенствовании нормативных требований к асфальтобетону / Г.Н. Кирюхин // Дороги и мосты. – 2017. – № 1 (37). – С. 18.
14. *Plewa, A.* The effect of modifying additives on the consistency and properties of bitumen binders / A. Plewa, P.S. Belyaev, K.A. Andrianov [et al.] // Advanced Materials and Technologies. – 2016. – № 4. – С. 35–40.
15. *Buza, E.* Pothole Detection with Image Processing and Spectral Clustering / E. Buza, S. Omanovic, A. Huseinovic // Proceedings of the 2nd International Conference on Information Technology and Computer Networks, WorldScientific and Engineering Academy and Society (Turki), October, 2013. R. 48–53.
16. *Griffith, A.* Improved Winter Pothole Patching / A. Griffith // State Planing And Research Project Number 538, Oregon Department of Transportation Research Unit, August 1998. P. 3, 11 - 13.
17. *Villiers, R.L.* Maintenance Engineering Standards to Fulfil the Llegal Duty of Road Authorities Towards Saferoads [Электронныйресурс] / R. L. Villiers // Dissertation presented for the Degree of Doctor of Philosophy (Stellenbosch University), March 2016 – 246 p. – Режим доступа: <https://scholar.sun.ac.za>.
18. *Wang, P.* Asphalt Pavement Pothole Detection and Segmentation Based on Wavelet Energy Field [Электронныйресурс] / P. Wang, Y. Hu, Y. Dai, and M. Tian // Journal Mathematical Problems in Engineering. – Volume 2017 (2017). – 13p. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1155/2017/1604130> (дата обращения 17.08.2018).
19. Hot Mix Asphalt Repair [Электронный ресурс] // Sitemap Pavement Resources Inc.: oficial. sajt. – Режим доступа: <http://pavementresources.com/hot-mix-asphalt-repair>.
20. Evaluation of Winter Pothole Patching Methods Repor. Final Report / Prepared by: MunirD. Nazza, Ph.D., P.E. Sang-Soo Kim, Ph.D., P.E. Department of Civil Engineering Ohio University Ala R. Abbas, Ph.D. Department of Civil Engineering The University of Akron Prepared for: The Ohio Department of Transportation // Office of Statewide Planning & ResearchState Job. – Number 134724. January 2014. – Pp. 13–17.
- Literatura*
1. *Piletskij M.E.* Analiz sostoyaniya avtomobil'nyh dorog Tambovskoj oblasti i izbor tehnologij dlya remonta vyboin na pokrytyah nezhestkogo tipa / M.E. Piletskij, A.F. Zubkov // Nauchnyj vestnik Voronezhskogo GASU. Ser. «Stroitel'stvo i arhitektura». – 2016. – Vyp. № 1 (41).
2. *Piletskij M.E.* Primenenie bitumomineral'nyh smesej pri remonte vyboin dorozhnyh pokrytij / M.E. Piletskij, A.F. Zubkov, K.A. Andrianov, I.V. Didrih // Privolzhskij nauchnyj zhurnal / Nizhegor. gos. arhitektur.-stroit. un-t. – Nizhnij Novgorod, 2017. – № 3 (43).
3. *Vasil'ev A.P.* Stroitel'stvo i rekonstruktsiya avtomobil'nyh dorog: spravochnaya entsiklopediya dorozhnika (SED). T.1 / A.V. Vasil'ev, B.S. Maryshev, V.V. Silkin i dr.; pod red. A.P. Vasil'eva. – M.: Informavtodor, 2005. – 646 s.: il.
4. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registratsii programmy dlya EVM №2017663676: Raschet deformatsij materiala pri dejstvii dinamicheskoy nagruzki. M.E. Piletskij, A.F. Zubkov, K.A. Andrianov, A.M. Makarov. Data gosudarstvennoj registratsii v Reestre programm dlya EVM 08.12.2017.
5. *Piletskij M.E.* Opreделение характеристик bitumomineral'noj smesi pri ukladke v vyboinu dorozhnogo pokrytiya strujno-in"eksionnym metodom / M.E. Piletskij, A.F. Zubkov, K.A. Andrianov // Privolzhskij nauchnyj zhurnal. – 2018. – № 1 (45).
6. *Sil'yanov V.V.* Transportno-ekspluatatsionnye pokazateli gorodskih dorog i ulits / V.V. Sil'yanov, E.R. Domke. – M.: Izdatel'skij tsentr «Akademiya», 2007. – 352 s.
7. *Gezentsvej L.B.* Dorozhnyj asfal'tobeton / N.V. Gorelyshev, A.M. Boguslavskij, I.V. Korolev; pod redaksiej L.B. Gezentsveya; izd-e vtoroje. – M.: Transport, 1985. – 350 s.
8. *Alferov V.I.* Dorozhnye materialy na osnove bitumnyh emul'sij / V.I. Alferov. – Voronezh: Izd-vo Voronezh. gos. un-ta, 2003 – 146 s.
9. *Apestin V.K.* O raskhozhdenii proektnyh i normativnyh srokov sluzhby dorozhnyh odezhd / V.K. Apestin // Nauka i tehnika v dorozhnoj otrasli. – 2011. – № 1. – S. 18–20.
10. *Matvienko F.V.* Prognozirovaniye velichiny neobratimoy deformatsii dorozhnoj konstruktsii ot vozdejstviya transportnogo potoka / F.V. Matvienko, A.N. Kanishhev, V.N. Mel'kumov, V.V. Volkov // Nauchnyj vestnik VGASU. Stroitel'stvo i arhitektura. – 2010. – № 3. – S.81–92.
11. *Ivantsov V.A.* Fiziko-mehaniicheskie svoystva mineral'nyh materialov, obrabotannyh emul'siyami / V.A. Ivantsov // Issledovaniya organicheskikh vyazhushhih materialov i bitumomineral'nyh smesej dlya dorozhnogo stroitel'stva : Trudy SoyuzdorNII. Vyp. 34. – M., 1969. – S. 91– 102.
12. *Matvienko F.V.* Modelirovaniye deformatsii dorozhnoj konstruktsii ot vozdejstviya transportnogo potoka / F.V. Matvienko, A.N. Kanishhev, V.V. Volkov // Nauchnyj vestnik VGASU. Stroitel'stvo i arhitektura. – 2009. – № 3. – S.67–72.
13. *Kiryuhin G.N.* K voprosu o sovershenstvovanii normativnyh trebovanij k asfal'tobetonu / G.N. Kiryuhin // Dorogi i mosty. – 2017. – № 1 (37). – S. 18.

Пилецкий Михаил Эдуардович (Тамбов). Аспирант кафедры «Городское строительство и автомобильные дороги» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет» (392000, Тамбов, ул. Советская, д.106. ТГТУ). E-mail: gsiad@mail.tambov.ru.

Зубков Анатолий Федорович (Тамбов). Доктор технических наук, доцент. Профессор кафедры «Городское строительство и автомобильные дороги» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет» (392000, Тамбов, ул. Советская, д.106. ТГТУ). E-mail: gsiad@mail.tambov.ru.

Андрианов Константин Анатольевич (Тамбов). Кандидат технических наук, доцент. Заведующий кафедрой «Городское строительство и автомобильные дороги» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет» (392000, Тамбов, ул. Советская, д.106. ТГТУ). E-mail: gsiad@mail.tambov.ru.

Пороженко Марианна Александровна (Москва). Инженер лаборатории борьбы с промышленными и городскими шумами ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физика Российской академии архитектуры и строительных наук» (127238, Москва, Локомотивный проезд, д. 21. НИИСФ РААСН).

Piletsky Mikhail Eduardovich (Tambov). Post-graduate student at the Urban Construction and Roads Department of Tambov State Technical University (106 Sovetskaya St., Tambov, 392000. TSTU). E-mail: gsiad@mail.tambov.ru

Zubkov Anatoly Fedorovich (Tambov). Doctor of Technical Sciences, Associate Professor. Professor of the Urban Construction and Roads Department of Tambov State Technical University (106 Sovetskaya St., Tambov, 392000. TSTU). E-mail: gsiad@mail.tambov.ru.

Andrianov Konstantin Anatolyevich (Tambov). Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. Head of the Urban Construction and Roads Department of Tambov State Technical University (106 Sovetskaya St., Tambov, 392000. TSTU). E-mail: gsiad@mail.tambov.ru.

Porozhenko Marianna Aleksandrovna (Moscow). Engineer of the Laboratory for Combating Industrial and Urban Noise at Scientific-Research Institute of Building Physics of the Russian Academy Architecture and Construction Sciences (21 Lokomotivny proezd, Moscow, 127238. NIISF RAACS). E-mail: mporoz@mail.ru