



**ВЕСТНИК ПНИПУ.
СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
Т. 10, № 3, 2019
PNRPU BULLETIN.
CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE**
<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>



DOI: 10.15593/2224-9826/2019.3.10

УДК 624.1: 625.7: 656.1

ВЛИЯНИЕ ВОДНО-ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА ОСНОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ НА СОСТОЯНИЕ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ

М.Е. Жалко¹, К.А. Черный²

¹Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Лысьвенский филиал, Лысьва, Россия

²Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 19 марта 2019

Принята: 25 июня 2019

Опубликована: 7 октября 2019

Ключевые слова:

безопасность дорожного движения, водно-тепловой режим, морозное пучение, основание автомобильной дороги, инженерная конструкция.

АННОТАЦИЯ

Представленная статья посвящена изучению влияния состояния дорожной одежды дорог с усовершенствованным покрытием на безопасность автомобильного движения. Актуальность изучаемого вопроса подтверждается как статистическими данными ГИБДД, так и значительным перечнем научных трудов, посвященных вопросам водно-теплового баланса грунтового массива. В статье рассматриваются как дороги, расположенные в черте города, так и загородные участки.

Показано влияние температуры и влажности на процесс промерзания грунта и непосредственно на целостность дорожного покрытия. Представлены математические модели, отражающие процессы распределения температуры и фильтрационное движение жидкости в грунте.

Предложен вариант улучшения технико-эксплуатационных качеств автомобильных дорог, что, в свою очередь, окажет положительное влияние на безопасность и плавность дорожного движения.

© ПНИПУ

© Жалко Михаил Евгеньевич – младший научный сотрудник, e-mail: mihailz-49@mail.ru.

Черный Константин Анатольевич – доктор технических наук, доцент, e-mail: sms@pstu.ru.

Mikhail E. Zhalko – Junior Researcher, e-mail: mihailz-49@mail.ru.

Konstantin A. Cherny – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: sms@pstu.ru.

INFLUENCE OF THE ROAD BASEMENT WATER AND THERMAL REGIME ON THE PAVEMENT CONDITION

M.E. Zhalko¹, K.A. Cherny²

¹Perm National Research Polytechnic University, Lysva Branch, Lysva, Russian Federation

²Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 19 March 2019
Accepted: 25 June 2019
Published: 7 October 2019

Keywords:

road safety, water and thermal conditions, frost heave, road basement, engineering design.

ABSTRACT

A article is devoted to study of the roads pavement condition influence with improved surface on the road traffic safety. The topicality of the issue is confirmed traffic police statistics and a significant list of scientific papers dealing with issues of water and heat balance of soil mass. The article deals with the road, located in the city and suburban areas.

The work shows the temperature and humidity influence on the process of soil freezing and on the road surface integrity directly. Mathematical models of temperature distribution processes and filtration fluid movement in the ground are presented.

In article offered option to improve the technical and operational characteristics of roads. It will have a positive impact on the traffic safety and smoothness.

© PNRPU

Введение

Одной из причин высоких показателей аварийности на территории Российской Федерации является неудовлетворительное состояние дорожного полотна. ГИБДД РФ ежемесячно подводит итоги аварийности на дорогах страны с учетом причин. Динамика ДТП по причине неудовлетворительного состояния дорог и улиц (НДУ) представлена на рис. 1.

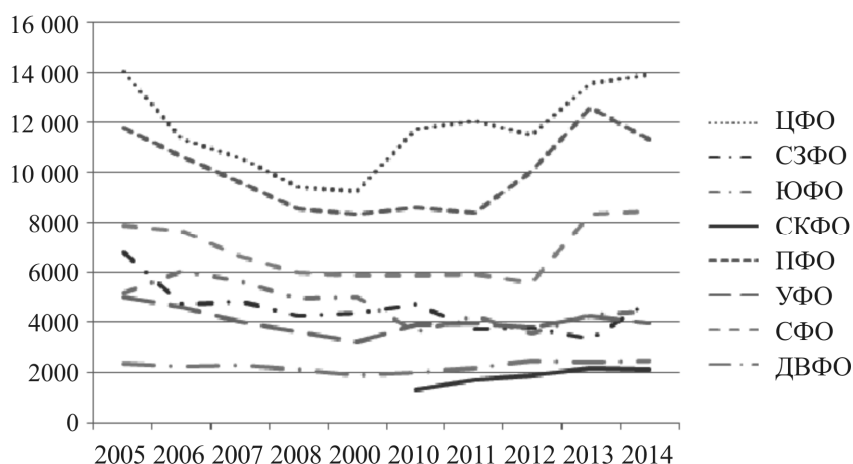


Рис. 1. Динамика количества ДТП по причине НДУ

Fig. 1. Traffic accident dynamics due to unsatisfactory condition of roads and streets

На основании результатов обработки статистической информации можно сделать вывод о том, в большинстве регионов наблюдается положительная динамика показателя аварийности по причине неудовлетворительного состояния дорожной одежды. Улучшение обстановки с 2005 по 2010 г. связано с реализацией программы модернизации транспортного комплекса России. Однако на данный момент износ и разрушение дорог вновь оказывают существенное влияние на безопасность дорожного движения.

Вопросы разрушения автомобильных дорог рассматривались на протяжении многих лет. Так, коллектив авторов под руководством проф. ПНИПУ Б.С. Юшкова отмечает: «После ввода автомобильной дороги в эксплуатацию уже в первый год на поверхности покрытия наблюдаются поперечные трещины (морозобойные), располагающиеся с шагом через 40...60 м, после двух лет – 10...30 м и при этом без признаков износа и образования колеи» [1].

На верхнюю часть земляного полотна в большей степени воздействуют погодноклиматические факторы, вызывая существенные изменения свойств грунта. В земляное полотно проникает часть влаги при выпадении атмосферных осадков и стоке поверхностных вод, а также в результате капиллярного поднятия влаги при наличии грунтовых вод. Интенсивность изменения количества влаги в грунте земляного полотна зависит от вида грунта, количества атмосферных осадков, продолжительности увлажнения поверхностными или грунтовыми водами и температурного режима.

Наиболее неблагоприятными для земляного полотна являются средние климатические условия, зоны избыточного увлажнения, для которых характерны сравнительно длительные зимние периоды. Осенний дождливый период с последующим медленным промерзанием создает наиболее благоприятные условия для влагонакопления и морозного пучения грунтов.

Основной причиной разрушения дорожной одежды является морозное пучение.

Горная энциклопедия приводит следующее определение данного процесса: «Морозное пучение грунтов – процесс увеличения объема и деформирования дисперсных грунтов при промерзании и образования выпуклых форм на их поверхности» [2].

При проектировании, строительстве, эксплуатации и ремонте дорог необходимо учитывать влияние многих факторов, определяющих состояние УДС. Во время эксплуатации на дорогу действуют нагрузки от проезжающих транспортных средств, грунтовые и поверхностные воды, природно-климатические факторы, хозяйственная деятельность людей в области расположения дороги [3–5].

Одним из основных требований к дороге является ее устойчивость к воздействию нагрузок от проходящих транспортных средств. Данные нагрузки являются динамическими.

Крайне опасно воздействие нагрузок подобного рода на дорожную одежду в период сильного увлажнения и переувлажнения ее основания и земляного полотна.

Самым негативным образом на состоянии дорожной одежды сказывается промерзание влажного грунта. Промерзание может распространяться на 1,0–2,5 м в глубину грунта, в зависимости от климатических условий. Вода в грунте может замерзнуть до глубины промерзания, что вызывает увеличение ее объема на 10 % [6–8]. Поскольку в связанном грунте нет места для увеличения объема, грунт начинает подниматься вверх. Наблюдается так называемое морозное пучение, обусловленное образованием ледяных линз. Подобные движения грунта могут приводить к значительным разрушениям дорожных покрытий.

Водно-тепловой режим дорожного полотна автомобильной загородной дороги существенно отличается от режима городских дорог.

Связано это не только со спецификой движения транспортного потока по загородным участкам, но и с требованиями, предъявляемыми к основаниям дорог. В частности, загородные автомобильные дороги, как правило, не имеют в основании пересечений с теплопроводами. Следовательно, в грунтовом массиве нет внутренних источников тепла. Данный факт выводит на первый план необходимость обеспечения водоотведения.

В нормативной документации все дренажные системы делятся на два основных вида (СНиП 2.05.02–85. Автомобильные дороги):

- сооружения открытого водоотвода;
- сооружения закрытого водоотвода.

К сооружениям открытого водоотвода относят канавы, кюветы, а также водосбросные лотки. Основная задача данных сооружений – не допустить аккумуляции воды на поверхности дорожной одежды.

К дренажным конструкциям, обеспечивающим подземное водоотведение, относят перехватывающие, подкюветные, врезные и другие дренажи.

Основной целью мероприятий по регулированию водно-теплого режима работы земляного полотна является уменьшение амплитуды колебания влажности [9].

На основе конструктивных особенностей и назначения все мероприятия по регулированию влажности грунтового массива можно разделить на четыре группы. Классификация представлена на рис. 2.



Рис. 2. Методы регулирования увлажнения грунтового основания
Fig. 2. Methods of regulation of soil base moisture

В рамках данной работы рассмотрена проблема обеспечения дренирования основания дорожной одежды.

В целях изучения процесса движения воды в грунте была решена фильтрационная задача (рис. 3).

В качестве базового уравнения примем уравнение движения флюида в пористой среде, предложенное А.И. Цаплиным и В.Н. Нечаевым:

$$\frac{1}{m} \frac{\partial U}{\partial \tau} + \frac{1}{m^2} \left(u \frac{\partial U}{\partial z} + V \frac{\partial U}{\partial z} \right) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} - u \frac{V}{k} + VU. \quad (1)$$

Применимо к расчетной схеме уравнение имеет следующий вид:

$$\frac{1}{m^2} u \frac{du}{dx} = \frac{v}{k} u - g, \quad (2)$$

где m – пористость грунта; k – проницаемость грунта; U – проекция скорости подъема воды на ось x , м/с; ρ – плотность воды, кг/м³; V – кинематическая вязкость воды, м²/с

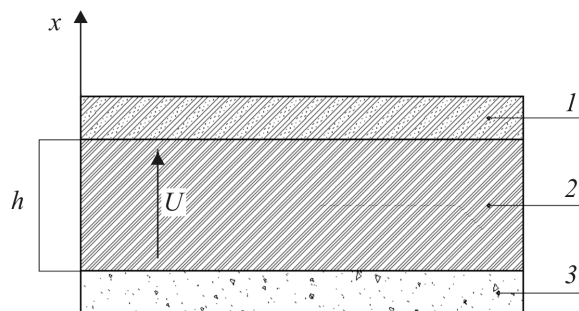


Рис. 3. Расчетная схема задачи фильтрации: 1 – граница дренируемого объема грунта; 2 – подстилающий грунт; 3 – уровень грунтовых вод; h – высота столбика грунта

Fig. 3. The design scheme of the filtration problem: 1 – the boundary of the drained volume of soil; 2 – the underlying soil; 3 – the level of groundwater; h – the height of the soil column

Исследование функции на экстремум показывает, что скорость подъема воды по высоте слоя грунта непостоянна и изменяется от нуля на уровне грунтовых вод до максимального значения, а затем уменьшается до нуля. При этом максимальная и средняя в пределах слоя толщиной δ скорости определяются соотношениями:

$$u_{\max} = gk/(2v), \quad (3)$$

$$u_{\text{cp}} = \frac{1}{\delta} \int_0^{\delta} u dx = \frac{2m}{3} \sqrt{2g\delta} - \frac{m^2 v \delta}{2k}. \quad (4)$$

При многослойной конструкции дорожного основания по высоте локальные скорости на границах контакта слоев равны, поэтому распределение скорости подъема воды в i -м слое может быть найдено по формуле

$$u_{i+1} = u_i + m_i \sqrt{2g \left(x - \sum_{i=1}^n \delta_i \right)} - \frac{m_i^2 v}{k_i} \left(x - \sum_{i=1}^n \delta_i \right), \quad (5)$$

где i – номер слоя, $i = 1, 2, \dots, n$; n – количество слоев толщиной δ_i с однородной пористостью по высоте дорожного основания.

Расход воды плотностью ρ в любом слое дорожного основания для одного метра погонной длины полотна дороги полушириной B (рис. 6) определяется формулой

$$G_i = u_i \rho B. \quad (6)$$

Одним из способов регулирования влажности грунта является устройство дренажных систем. В данной статье рассматривается решение, предлагаемое В.А. Трефиловым и М.Е. Жалко [10].

Необходимо произвести расчет оптимального расстояния между дренами по предлагаемой авторами схеме.

Расход воды в грунтовом основании из песка и супеси для одного метра погонной длины полотна дороги полушириной B определяется формулой

$$G_{\text{грунта}} = u_{\max} \rho B = 6,3 \cdot 10^{-6} \cdot 10^3 \cdot 10 \approx 6,3 \cdot 10^{-2}. \quad (7)$$

Массовый секундный расход воды в поперечном сечении дренажной трубы диаметром $d = 0,1$ м, заполненной щебнем крупной фракции с песком, определяется действием только капиллярных сил, поэтому

$$G_{\text{трубы}} = u_{\text{max}} \cdot \rho \cdot \frac{\pi d^2}{4} = 6,3 \cdot 10^{-3} \cdot 10^3 \frac{3,14 \cdot 10^{-2}}{4} \approx 4,9 \cdot 10^{-2}. \quad (8)$$

При этом дистанция между дренирующими трубами составляет:

$$L = G_{\text{трубы}} / G_{\text{грунта}} = 4,9 \cdot 10^{-2} / 6,3 \cdot 10^{-2} \approx 0,8 \text{ м}. \quad (9)$$

Полученные данные в достаточной степени коррелируют с результатами расчетов по методикам, используемым на данный момент.

Заключение

Результатом проведенной работы является не только всесторонний анализ причин морозного пучения и методов минимизации этого явления, но и решение ряда практических задач:

- разработана математическая модель, позволяющая прогнозировать скорость и объем фильтрационного подъема воды в зависимости от типа грунта;
- представлено решение задачи оптимизации количества дрен в зависимости от ряда параметров.

Библиографический список

1. Причины образования деформаций и разрушений на покрытии автомобильных дорог / А.М. Бургонутдинов, Б.С. Юшков, О.Н. Бурмистрова, М.А. Воронина // Известия Коми НЦ УрО РАН. – 2014. – № 1 (17). – С. 89–93.
2. Морозное пучение [Электронный ресурс] // Горная энциклопедия. – URL: <http://www.mining-enc.ru/m/moroznoe-puchenie> (дата обращения: 22.05.2018).
3. Гусейналиев В.А. Анализ транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог РФ // Вестник МАДИ. – 2012. – № 4 (31). – С. 73–76.
4. Балзанай С.В. Анализ методов оценки состояния автомобильных дорог // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 12. – С. 784–787.
5. Дингес Э.В., Гусейналиев В.А. Определение стратегии воспроизводства дорожного сооружения при неопределенности информации об условиях его функционирования // Вестник МАДИ. – 2011. – № 4 (27). – С. 43–46.
6. Нестле Х. Справочник строителя. Строительная техника конструкции и технологии. – М.: Техносфера, 2007. – 394 с.
7. Книга линейного работника дорожного хозяйства / ФГУП «Информавтодор». – М., 2009. – 368 с.
8. Справочная энциклопедия дорожника. Т. 2. Ремонт и содержание автомобильных дорог / под ред. А.П. Васильева. – М.: Информавтодор, 2004. – 1129 с.
9. Кириллов Ф.А. Особенности регулирования водного режима земляного полотна и оснований дорожных одежд // Технологии, машины и производство лесного комплекса: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Воронеж: ВГЛТА, 2004. – Ч. 2. – С. 52–56.
10. Патент РФ № 151370. Устройство водоотведения из-под дорожного полотна / Трефилов В.А., Жалко М.Е., опубл. 10.04.2015, Б.и. № 10.

References

1. Burgonutdinov A.M., Jushkov B.S., Burmistrova O.N., Voronina M.A. Prichiny obrazovaniya deformatsij i razrushenij na pokrytii avtomobil'nyh dorog [The reasons for the formation of deformations and fractures on the surface of roads]. *Izvestija Komi NC UrO RAN*, 2014, no. 1 (17), pp. 89-93.
2. Moroznoye pucheniye [Frosty hell]. *Gornaya entsiklopediya*, available at: <http://www.mining-enc.ru/m/moroznoe-puchenie> (accessed 22 May 2018).
3. Guseinaliev V.A. Analiz transportno-ekspluatatsionnogo sostoianiia avtomobil'nykh dorog RF [Analysis of transport and operational condition of Russian roads]. *Vestnik MADI*, 2012, no. 4 (31), pp. 73-76.
4. Balzanai S.V. Analiz metodov otsenki sostoianiia avtomobil'nykh dorog [Analysis of methods for assessing the condition of roads]. *Fundamental'nye issledovaniia*, 2014, no. 12, pp. 784-787.
5. Dinges E.V., Guseinaliev V.A. Opredelenie strategii vosproizvodstva dorozhnogo sooruzheniia pri neopredelennosti informatsii ob usloviakh ego funktsionirovaniia [Determination of strategy of reproduction of a road construction at uncertainty of information on conditions of its functioning]. *Vestnik MADI*, 2011, no. 4 (27), pp. 43-46.
6. Nestle H. Spravochnik stroitelja. Stroitel'naja tehnika konstrukcii i tehnologii [Reference builder. Construction machinery construction and technology]. Moscow, Tehnosfera, 2007, 394 p.
7. Kniga lineynogo rabotnika dorozhnogo khozyaystva [The book of the linear worker of road economy]. Moscow, FGUP «Informavtodor», 2009, 368 p.
8. Spravochnaya entsiklopediya dorozhnika. T. 2. Remont i sodержaniye avtomobil'nykh dorog [Reference encyclopedia road Builder. Vol. 2. Repair and maintenance of roads]. Ed. A.P. Vasil'yev. Moscow, Informavtodor, 2004, 1129 p.
9. Kirillov F.A., Osobennosti regulirovaniya vodnogo rezhima zemljanogo polotna i osnovanij dorozhnyh odezhd [Features of regulation of the water regime of the subgrade and pavement bases]. *Tehnologii, mashiny i proizvodstvo lesnogo kompleksa: materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Voronezh, VGLTA, 2004, Part 2*, pp. 52-56.
10. Trefilov V.A., Zhalko M.E. Ustrojstvo vodootvedeniya iz-pod dorozhnogo polotna [The device of drainage from under a roadbed]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 151370 (2015).