

Б.С. Юшков, А.М. Бургонутдинов

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Россия

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К НАДЕЖНОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ПЕРМСКОГО КРАЯ

Рассмотрены вопросы повышения надежности автомобильных дорог для Пермского края. Проанализированы применяемые методики учета сезонного изменения водно-теплового режима земляного полотна. Даны предложения по увеличению сроков службы дорожных конструкций.

Ключевые слова: надежность, водно-тепловой режим, земляное полотно, теплообмен, влагонакопления, тепломассоперенос, теплопроводность.

Пути и методы обеспечения надежности дорожных конструкций нашли отражение в трудах В.К. Апестина, В.Ф. Бабкова, А.К. Бируля, В.В. Болотина, А.П. Васильева, А.И. Долганова, И.А. Золоторя, В.Д. Казарновского, М.Б. Корсунского, А.М. Кулижникова, В.П. Носова, В.А. Семенова, В.М. Сиденко, В.В. Сильянова, А.В. Смирнова, В.В. Ушакова, В.Н. Шестакова и других исследователей.

Под надежностью автомобильных дорог понимается их способность выполнять определенные задачи в естественных условиях эксплуатации с заданным сроком службы.

Надежность автомобильных дорог – это сложная комплексная характеристика, на ее обеспечение влияют различные конструктивные элементы автомобильной дороги, как в отдельности, так и в совокупности. Выход из строя или отказ одного из элементов может вызвать общий отказ всей дороги. Для характеристики безотказной работы такого значительного по протяжению комплексного сооружения, которым является автомобильная дорога, подходит понятие нерезервированной системы с постоянно включенным резервом.

Одним из резервов безотказной работы автомобильной дороги является регулирование водно-теплового режима земляного полотна [1].

Земляное полотно – инженерное сооружение, рассчитанное на длительный срок службы. В нем возникают и накапливаются дефекты и деформации [2].

Дефекты являются следствием недоработок при проектировании земляного полотна, его защитных и укрепительных сооружений, нарушении технологического процесса и временной эксплуатации дороги, неудовлетворительного содержания и ремонта.

Деформации земляного полотна возникают в следующих случаях: при недостаточной несущей способности грунтов, из которых оно возведено; несоответствии дорожной конструкции автомобильным нагрузкам; при недостаточной защите грунтов земляного полотна от неблагоприятных воздействий климатических и инженерно-геологических факторов. Низкое качество содержания земляного полотна, когда не обеспечивается отвод поверхностных и грунтовых вод, несвоевременно устраняются мелкие повреждения защитных и укрепительных устройств, не ликвидируются причины снижения несущей способности дорожной конструкции, а также имеют место другие нарушения, приводит к перерастанию незначительных на первый взгляд повреждений в опасные деформации, угрожающие безопасности дорожного движения, и снижению сроков службы автомобильной дороги [3].

Практика строительства подтверждает результаты многочисленных исследований, свидетельствующих, что наилучшее качество земляного полотна достигается при использовании грунтов с оптимальной влажностью. При оптимальной влажности грунтов достигается не только максимальная производительность землеройно-транспортных машин, но и минимальные затраты на уплотнение грунтов. Например, при использовании глинистых грунтов повышенной влажности с числом пластичности более 12 следует учитывать неизбежное снижение производительности землеройно-транспортных машин и уплотняющей техники [1].

Конструктивные изменения, происходящие в дорожной конструкции, сводятся к созданию условий, при которых грунт земляного полотна повышенной влажности (в процессе уплотнения или эксплуатации) передает лишнюю влагу соседним слоям, поэтому необходимо учитывать процесс влагонакопления не только в рабочем слое, но и в слоях дорожной одежды.

Разработанная на основе физико-технической теории методика В.А. Ярмолинского «Расчет сезонного изменения водно-теплового режима земляного полотна в условиях избыточного увлажнения и глубокого сезонного промерзания грунта» позволяет рассматривать процесс

влагонакопления в грунте как двухмерный. Применительно к поставленной задаче водно-тепловой режим земляного полотна зависит от нескольких факторов: расстояния рассматриваемого грунтового массива от источников увлажнения и степени их влияния; условий отвода атмосферных осадков с поверхности дороги; влагопроводных характеристик грунта; характера теплообменного процесса с атмосферой на границе рассматриваемого массива грунта обочины и телом земляного полотна. Причем влияние источников увлажнения неоднозначно [4].

Внешние источники влагонакопления 1, 2, 3 формируют температурно-влажностный режим в грунтовом массиве обочины А, который в виде внутреннего источника 4 взаимодействует с грунтовым массивом тела земляного полотна под проезжей частью В (рисунок). Для того чтобы оценить водно-тепловой режим земляного полотна, необходимо последовательно проанализировать влияние источников 1, 2, 3 на процесс влагонакопления в грунтовом массиве А, а затем рассмотреть процесс тепломассообмена в грунте под обочинами А и проезжей частью В.

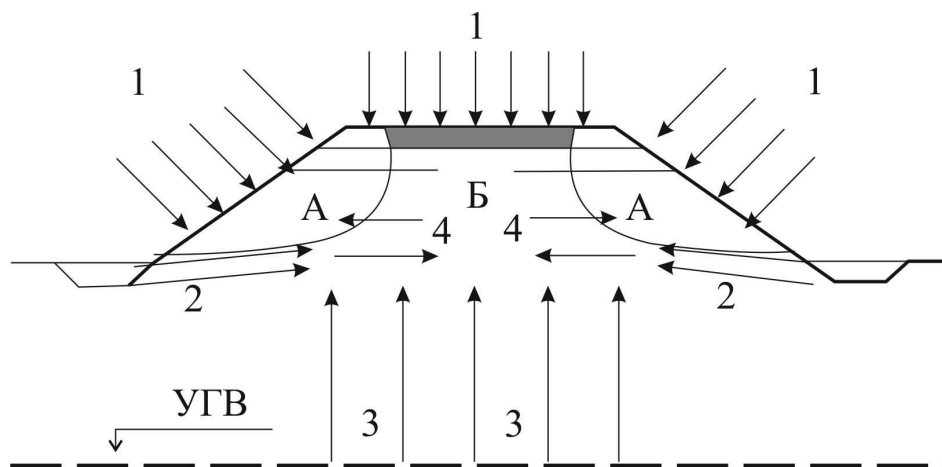


Рис. Источники увлажнения земляного полотна: 1 – инфильтрационно-пленочное увлажнение атмосферными осадками; 2 – капиллярно-пленочное увлажнение от поверхностных вод и верховодки; 3 – капиллярно-пленочное и диффузное увлажнение от грунтовых вод и верховодки; 4 – капиллярно-пленочное и диффузное увлажнение за счет разности потенциалов влажности и температуры в грунте под проезжей частью и обочинами; А – грунтовой массив земляного полотна под обочинами; В – грунтовой массив тела земляного полотна под проезжей частью

Если влияние источников 1, 2, 3 достаточно изучено и можно использовать существующие методы расчета влагонакопления в теле грунтового массива А под воздействием источников увлажнения 1, 2, 3, то характер тепломассообмена между грунтовыми массивами А и В

недостаточно изучен. А именно от характера этого процесса в конечном итоге зависит водно-тепловой режим дорожной конструкции.

Это влияние будет зависеть от характера потенциалов тепломассопереноса. Иными словами, представим, что потенциал тепломассопереноса в массиве *A* выше, чем в массиве *B*, следовательно, влага из массива обочины будет перемещаться в массив тела земляного полотна, обуславливая избыточное влагонакопление и пучение грунта под дорожной одеждой, что крайне нежелательно.

Фактором, обуславливающим разность потенциалов в массивах *A* и *B*, чаще других является перепад температур. Промерзание дорожной конструкции идет быстрее под проезжей частью, следовательно, за счет разности потенциалов осуществляется перемещение влаги из-под обочины в тело земляного полотна. При этом механизм этого процесса складывается из диффузного (начало промерзания) и пленочного перемещения влаги к границе льдообразования.

В весенний период наблюдается обратная ситуация: под проезжей частью оттаивание быстрее происходит, чем под обочинами, при этом выводящие дренажные слои, находящиеся в мерзлом состоянии, не работают, что свидетельствует о существенном конструктивном недостатке традиционной дорожной одежды.

Основной принцип регулирования водно-теплого режима в рассматриваемых условиях можно сформулировать следующим образом: конструкция дорожной одежды и земляного полотна должна обеспечивать внутреннее осушение массива грунта *B* при его промерзании.

Чтобы достичь поставленной задачи, достаточно уравнивать тепловое сопротивление дорожной конструкции под проезжей частью и под обочинами. Для этого необходимо обеспечить условие

$$R_{\text{ДО}} \geq R_{\text{ОБ}},$$

где $R_{\text{ДО}}$ – суммарное тепловое сопротивление дорожной одежды и рабочего слоя земляного полотна под проезжей частью; $R_{\text{ОБ}}$ – суммарное тепловое сопротивление рабочего слоя земляного полотна под обочинами.

Для практических расчетов эффективности того или иного мероприятия применяется численное решение уравнения теплопроводности, полученное и реализованное в алгоритме и программном комплексе В.В. Пасека для решения задачи Стефана [4]:

– для мерзлой зоны

$$C_M(x,y)\frac{\partial t_M}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda_M(x,y)\frac{\partial t_M}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\lambda_M(x,y)\frac{\partial t_M}{\partial y}\right);$$

– для талой зоны

$$C_T(x,y)\frac{\partial t_T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda_T(x,y)\frac{\partial t_T}{\partial x}\right);$$

– на границе промерзания

$$\lambda_M \frac{\partial t_M}{\partial n} + \lambda_T \frac{\partial t_T}{\partial n} = Q_\Phi \frac{\partial n_\Phi(\tau)}{\partial \tau},$$

где t_M и t_T – температуры грунта в мерзлой зоне и в талой зоне, °С; x и y – координаты точки, для которой формулируется условие; τ – продолжительность периода промерзания, ч; λ_M, λ_T – коэффициент теплопроводности соответственно мерзлого и талого грунта, Вт (м · град · ч); C_M, C_T – удельная теплоемкость грунта, кДж/(кг·град); $n_\Phi(\tau)$ – функция изменения во времени положения границы промерзания; Q_Φ – скрытая теплота при фазовом переходе воды в мерзлое состояние, кДж/кг.

Важной составляющей сложного процесса, формирующего теплоперенос, является теплообмен на поверхности и контактных слоях дорожной одежды. При ее конструировании важно правильно оценить конечные результаты процесса: ускорять промерзание для районов с суровым климатом или замедлять его для районов с мягкими климатическими условиями [5].

Воздействие внешнего источника тепла на тепловое состояние данного физического тела зависит от самого источника, условий теплообмена и испарения воды из дорожной конструкции.

Осушение грунтов земляного полотна и материалов дорожных слоев за счет испарения влаги при естественном просушивании является самым распространенным технологическим приемом. Данный процесс хорошо изучен С.Ф. Аверьяновым, А.И. Булаговым, М.И. Будыко, В.В. Ведерниковым, Н.Е. Жуковым, А.И. Золотарем, А.Р. Константиновым, Н.А. Пузаковым, Б.В. Поляковым, А.А. Роде, В.М. Сиденко, В.Н. Шестаковым, В.И. Рувинским и многими другими исследователями. В общем случае просыхание дорожной конструкции происходит

путем физического испарения воды с поверхности покрытия, обочин, откосов, выемок и транспирации (испарение влаги растениями) [6].

Применяемый метод теплового баланса при расчете испарения влаги из грунтов учитывает радиационный баланс на поверхности асфальтобетонного покрытия, поток тепла в дорожную конструкцию и теплообмен поверхности дороги с атмосферой. Влияя на отдельные составляющие теплообмена, можно добиваться необходимых параметров теплообмена и активно регулировать теплообмен дорожной конструкции. Это позволяет регулировать водно-тепловой режим земляного полотна для повышения эксплуатационной надежности автомобильной дороги.

Список литературы

1. Конструкции и технологии строительства автомобильных дорог в сложных природных условиях: учеб. пособие / А.В. Смирнов [и др.]; под ред. А.В. Смирнова. – Омск: Изд-во СиБАДИ, 2005.
2. Инструкция по содержанию земляного полотна железнодорожного пути / МПС России. – М.: Транспорт, 2000.
3. Семенова С.В. Совершенствование метода проектирования системы поверхностного водоотвода автомобильных и городских дорог по условиям обеспечения безопасности движения: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Омск: Изд-во СиБАДИ, 2011. – 22 с.
4. Новоселов Е.Н. Безопасный температурный режим коммуникационных каналов дорожных насыпей в криолитозе: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Тюмень: Изд-во ТГАСА, 2002. – 20 с.
5. Бургунутдинов А.М. Обоснование способов строительства и ремонта лесовозных автомобильных дорог, препятствующих образованию трещин: дис. ... канд. техн. наук. – Йошкар-Ола, 2012. – 225 с.
6. Криогенные процессы в основании дорог / А.М. Бургунутдинов [и др.] // Актуальные проблемы автомобильного, железнодорожного, трубопроводного транспорта в Уральском регионе: материалы междунар. науч.-техн. конф. / Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 2005. – С. 111–116.

Получено 7.03.2013

B.S. Yushkov, A.M. Burgonutdinov

ABOUT ONE APPROACH TO THE ROAD SAFETY OF PERM REGION

This article deals with the problems of road safety increasing in Perm region. The methods used to record seasonal changes of road bed water-thermal conditions are analyzed. The proposals to increase the service life of pavements are given

Keywords: safety, water-thermal conditions, road bed, heat transfer, moisture accumulation, heat-mass exchange, heat conduction.

Юшков Борис Семенович (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, профессор Пермского национального исследовательского политехнического университета (614013, г. Пермь, ул. Академика Королева, д. 19а, e-mail: adf@pstu.ru).

Бургутдинов Альберт Масугутович (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент Пермского национального исследовательского политехнического университета (614013, г. Пермь, ул. Академика Королева, д. 19а, e-mail: adf@pstu.ru).

Yushkov Boris Semenovich (Perm, Russia) – Ph.D. of Technical Sciences, Professor, Perm National Research Polytechnic University (19a, Akademician Korolev st., Perm, 614013, Russia, e-mail: adf@pstu.ru).

Burgonutdinov Albert Masugutovich (Perm, Russia) – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor, Perm National Research Polytechnic University (19a, Akademician Korolev st., Perm, 614013, Russia, e-mail: adf@pstu.ru).