

Жалко Михаил Евгеньевич

**Зам. Директора по науке Лысьвенского филиала ПНИПУ
Лысьвенский филиал ФГБОУ ВО «Пермский национальный
исследовательский политехнический университет»**

**Бургонутдинов Альберт Масуготович
профессор Пермского национального исследовательского
политехнического университета**

**ВЛИЯНИЕ ВОДНО-ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ОСНОВАНИЯ
ЛЕСОВОЗНОЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ НА СОСТОЯНИЕ
ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ**

Аннотация. Представленная статья посвящена изучению влияния состояния дорожной одежды дорог с усовершенствованным покрытием на безопасность автомобильного движения. В рамках статьи рассматриваются как дороги, расположенные в черте города, так лесовозные дороги. В работе 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. Также предложены два варианта улучшения технико-эксплуатационных качеств автомобильных дорог, что в свою очередь окажет положительное влияние на безопасность и плавность дорожного движения.

Ключевые слова: безопасность дорожного движения, водно-тепловой режим, морозное пучение, основание автомобильной дороги, внутригрунтовые источники тепла, инженерная конструкция.

Burgonutdinov Albert Masugotovich

Professor of the Perm National Research Polytechnic University

Zhalko Mikhail

Perm National Research Polytechnic University, Lysva branch

INFLUENCE OF WATER-THERMAL REGIME OF THE BASE OF A FOREST ROAD ON THE CONDITION OF ROAD CLOTHING

Abstract. The presented article is devoted to the study of the influence of the condition of the pavement of roads with an improved surface on the safety of road traffic. Within the framework of the article, both roads located within the city and timber roads are considered. The paper shows the effect of temperature and humidity on the process of soil freezing and directly on the integrity of the road surface. Mathematical models are presented that reflect the processes of temperature distribution and filtration movement of liquid in the soil. Also, two options are proposed for improving the technical and operational qualities of highways, which in turn will have a positive effect on the safety and smoothness of road traffic.

Keywords: traffic safety, water-thermal regime, frost heaving, road base, in-ground heat sources, engineering structure.

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 учётом причин. Динамика ДТП по причине неудовлетворительного состояния дорог и улиц (НДУ) представлена на рисунке 1.

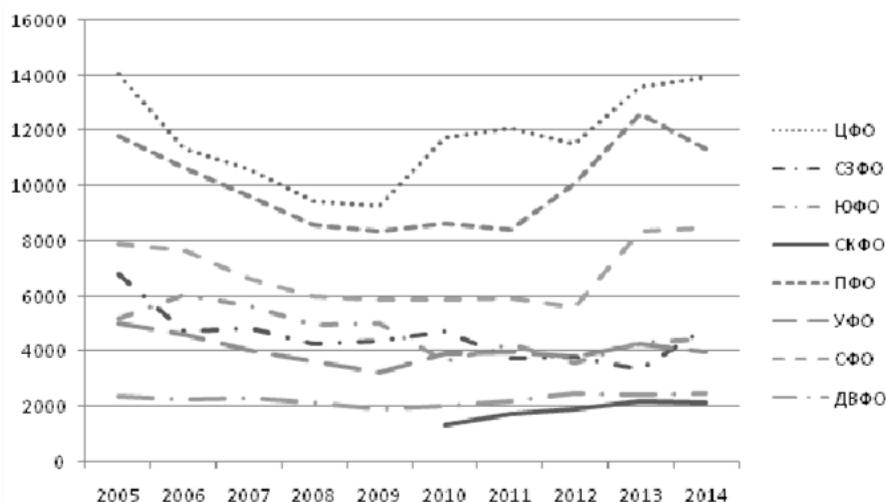


Рисунок 1 – Динамика количества ДТП по причине НДУ

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 г. 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 погодно-климатические 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 от 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 объёма 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.

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 метра в глубину грунта, в зависимости от климатических условий. Вода в грунте может замерзнуть до глубины промерзания, что вызывает увеличение ее объема на десять процентов [2]. 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.

Наличие подземных инженерных коммуникаций (водо- и теплопроводов) вблизи дорог и улиц способствует удлинению талого периода для грунта земляного полотна, и, следовательно, увеличению периода накопления остаточных деформаций в дорожном полотне. Прокладка подземных теплопроводов увеличивает число циклов замерзания-оттаивания грунта, что вызывает еще большую прогрессию в накоплении остаточных деформаций земляного полотна. Также в области действия внутригрунтовых источников тепла может наблюдаться незначительное увеличение влажности грунта по сравнению с обычными участками, что также сказывается на темпе накопления деформаций в системе «дорожная одежда-земляное полотно» [3].

Исключить пересечение подземных инженерных коммуникаций с УДС города практически невозможно. В нормативно-технической документации вопросы размещения подземных теплопроводов относительно УДС и взаимного влияния компонентов системы «подземный трубопровод – грунтовый массив – дорожная одежда» освещены крайне скудно, поэтому выработка рекомендаций по прокладке трубопроводов и их влияние на состояние дорожного покрытия УДС является важной задачей.

Для решения задачи распространения тепла от теплопровода в грунте земляного полотна в первую очередь понадобится определить изменение температуры без учета внутригрунтового источника тепла. Был проведен анализ многих методов температурных расчетов и определения глубин промерзания грунта земляного полотна.

Все методы условно делятся на три группы: точные математические методы (предложены В.Г. Меламедом и А.И. Рубенштейном); достаточно точные уравнения для практических целей, полученные с использованием закона теплопроводности Фурье (методы В.С. Лукьянова и М.Д. Головки [4], А.Я. Тулаева [5], И.А. Золотаря [6], В.М. Сиденко, Е.И. Шелопаева и

др.); эмпирические методы расчёта, основанные на параболической зависимости между глубиной и продолжительностью промерзания (метод проф. Н.А. Пузакова [8]), а также на косвенных показателях с учётом снегового покрова, среднемесячной и среднегодовой температур воздуха, климатического показателя увлажнённости и др.

В задачу теплового расчета входит решение следующих вопросов:

- 1) определение тепловых потерь теплопровода;
- 2) расчет температурного поля вокруг теплопровода, т.е. определение температур изоляции, воздуха в канале, стен канала, грунта;
- 3) расчет падения температуры теплоносителя вдоль теплопровода;
- 4) выбор толщины тепловой изоляции теплопровода.

Тепловые потери 2-трубных тепловых сетей, расположенных в грунте на одинаковом расстоянии от поверхности до оси труб H , м, определяются по формулам

$$q_1 = \frac{(t_{B1} - t_H) \cdot (R_{из2} + R_{сп2}) - (t_{B2} - t_H) \cdot R_0}{(R_{из1} + R_{сп1}) \cdot (R_{из2} + R_{сп2}) - R_0^2} \cdot K, \text{ Вт/м}^2 \quad (1)$$

$$q_2 = \frac{(t_{B2} - t_H) \cdot (R_{из1} + R_{сп1}) - (t_{B1} - t_H) \cdot R_0}{(R_{из1} + R_{сп1}) \cdot (R_{из2} + R_{сп2}) - R_0^2} \cdot K, \text{ Вт/м}^2 \quad (2)$$

где q_1, q_2 – линейные плотности теплового потока от подающего и обратного трубопроводов, Вт/м²; t_{B1}, t_{B2} – температуры подающего и обратного трубопроводов, °С; t_H – температуры наружной среды, °С; K – коэффициент дополнительных потерь; $R_{из1}, R_{из2}$ – термические сопротивления изоляции подающего и обратного трубопроводов, м²·°С/Вт; λ – теплопроводность изоляции в конструкции, Вт/(м·°С); $R_{гр1}, R_{гр2}$ – термическое сопротивление грунта, м²·°С/Вт; $\lambda_{гр}$ – теплопроводность грунта, Вт/(м·°С); H – глубина заложения – расстояние от оси труб до поверхности земли, м; R_0 – термическое сопротивление, обусловленное тепловым взаимодействием двух труб, м²·°С/Вт.

Для учета неоднородности конструктивных свойств слоев дорожной одежды и свойств изоляционного канала, был выполнен ряд преобразований, в результате чего, конечное выражение для расчета температуры точки грунтового массива в окрестностях двухтрубного теплопровода приняло вид, представленный формулой (3):

$$t = t_g + \frac{t_z - t_g}{R} \cdot R_{II} + \frac{h_1}{\lambda_1} \cdot \frac{t_z - t_g}{R} + \frac{h_2}{\lambda_2} \cdot \frac{t_z - t_g}{R} + \dots + \frac{h_n}{\lambda_n} \cdot \frac{t_z - t_g}{R} + \frac{H}{H \cdot \lambda_{cp}} \cdot \frac{t_z - t_g}{R} + \frac{q_1}{\lambda_{cp}} \cdot \ln \sqrt{\frac{x^2 + (y+h)^2}{x^2 + (y-h)^2}} + \frac{q_2}{\lambda_{cp}} \cdot \ln \cdot \sqrt{\frac{(x-b)^2 + (y+h)^2}{(x-b)^2 + (y-b)^2}}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3)$$

где t_b – температура воздуха, $^\circ\text{C}$; t_r – температура грунта на глубине H от поверхности дорожной одежды, $^\circ\text{C}$; R_{II} – термическое сопротивление слоев дорожной конструкции, назначается в зависимости от скорости ветра, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$; R – термическое сопротивление слоев дорожной одежды, определяется по формуле (4), $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$;

$$R = R_{II} + \frac{h_1}{\lambda_1} + \frac{h_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{h_n}{\lambda_n}, \text{ } \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт} \quad (4)$$

где $h_1 \dots h_n$ – толщины конструктивных слоев дорожной одежды и неоднородных слоев грунтового массива, м ; $\lambda_1 \dots \lambda_n$ – коэффициенты теплопроводности соответствующих конструктивных слоев дорожной одежды и неоднородных слоев грунтового массива, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$; q_1, q_2 – удельные тепловые потери первой и второй трубы трубопровода, $\text{Вт}/\text{м}$.

Основные параметры полученной модели представлены на рисунке 2.

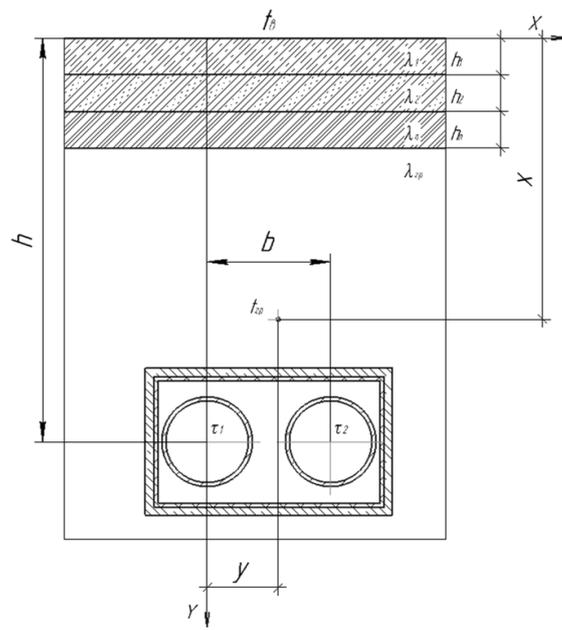


Рисунок 2 – Модель системы «двухтрубный теплопровод – дорожная одежда»

Для оценки влияния внутритрубопроводного источника тепла на ход сезонного промерзания грунтового массива, был выполнен ряд расчетов. Расчёты выполнены для глубины заложения сети 2,0 м в двух вариантах: с наличием в грунте источника тепла и без него. Результаты представлены на рисунке 3.

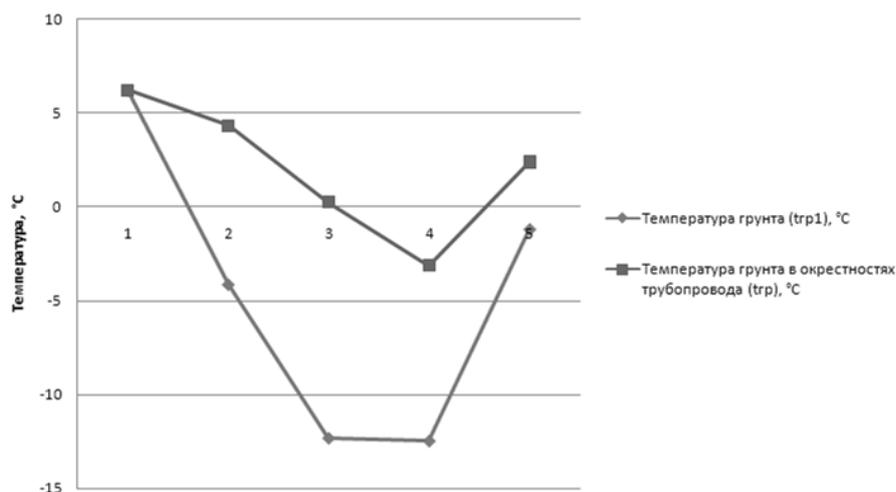


Рисунок 3 – Зависимость температуры грунта от температуры воздуха

График демонстрирует значительное повышение температуры точки грунтового массива в окрестностях подземного теплопровода, по сравнению

с температурой, полученной в ходе моделирования естественного промерзания грунта без наличия в нем искусственных источников тепла. Наличие внутригрунтовых источников тепла приводит к нарушению теплового баланса в системе «грунтовый массив (дорожная одежда) – окружающая среда».

Для снижения влияния подземных сетей инженерных коммуникаций на ход сезонного промерзания конструктивных слоев дорожных одежд и повышения их надежности и долговечности, В.А. Трефиловым и М.Н. Апталаевым была предложена конструкция железобетонного канала для прокладки инженерных коммуникаций всех типов [8].

Конструкция коллектора представлена на рисунке 4, где 1 – лотковый элемент, 2 – гидро- и теплоизоляция, 3 – кронштейн для монтажа подземных коммуникаций, 4 – трубопровод, 5 – электрический кабель, 6 – кабельная линия системы контроля, 7 – грунтовый массив, 8 – плита покрытия канала с изолированным разъемом для подключения коммутационной станции, 9 – коммутационная станция, 10 – датчик дистанционного контроля.

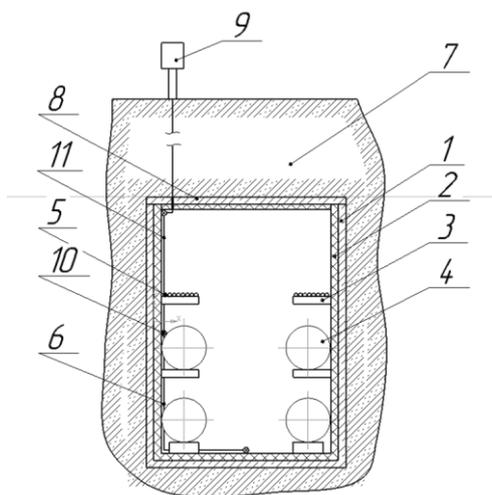


Рисунок 4 – Общий вид коллектора

Список литературы

1. Бургунутдинов А. М., Юшков Б. С., Бурмистрова О. Н., Воронина М. А. Причины образования деформаций и разрушений на покрытии

автомобильных дорог // Известия Коми НЦ УрО РАН. 2014. №1 (17). – С. 89–93.

2. URL: <http://www.mining-enc.ru/m/moroznoe-puchenie> (дата обращения 22.05.2016)

3. Горячев М.Г., Довикян А.Н. Влияние бесканальных теплосетей в футляре на водно-тепловой режим земляного полотна // Наука и техника дорожной отрасли, No1, 2008 г – С. 45–47.

4. Лукьянов В.С. Расчёт глубины промерзания грунтов / В.С. Лукьянов, М.Д. Головкин // Труды ЦНИС. – М. : Трансжелдориздат, 1957. – Вып. 23. – 164с.

5. Регулирование водно-теплого режима земляного полотна в городских условиях / под общ. ред. А.Я. Тулаева. – М. : Высшая школа, 1972. – 121 с

6. Золотарь И.А. Основы расчёта водно-тепловых процессов в земляном полотне автомобильных дорог в районах распространения многолетнемерзлых горных пород / И.А. Золотарь // Материалы VIII Всесоюзного междуведомственного совещания по геокриологии (мерзлотоведению). – Якутск: Якутское книж. изд-во, 1966. – Вып. 8. – С. 95–107.

7. Пузаков Н.А. Водно-тепловой режим земляного полотна автомобильных дорог / Н.А. Пузаков. – М. : Автотрансиздат, 1960. – 168 с

8. Патент РФ № 156225. Коллектор для прокладки инженерных коммуникаций. Трефилов В.А., Апталаев М.Н., опубл. 10.11.2015, Бюл. № 31