

Интернет-журнал «Наукovedение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 7, №2 (2015) <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol7-2>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/120TVN215.pdf>

DOI: 10.15862/120TVN215 (<http://dx.doi.org/10.15862/120TVN215>)

УДК 624.1:625.7:656.1

Апталаев Марат Назимович¹

ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

Россия, г. Лысьва²

Инженер

E-mail: aptalaev_lfpstu@mail.ru

Нечуговских Владимир Олегович³

ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

Россия, г. Лысьва

Студент

E-mail: vonzz@yandex.ru

О методах снижения влияния подземного трубопровода на тепловой режим земляного полотна

¹ <http://vk.com/id171565685>

² 618900, Пермский край, г. Лысьва, ул. Ленина, д. 2

³ <http://vk.com/id18801299>

Аннотация. Число дорожно-транспортных происшествий, допущенных по причине неудовлетворительного состояния дорог и улиц, растет год от года как в России в целом, так и в Пермском крае в частности. Одним из наиболее значимых негативных факторов, вызывающих ухудшение условий эксплуатации дорог и улиц, а, в дальнейшем, и их разрушение, является их строительство в зоне действия подземных инженерных коммуникаций. Внутригрунтовые источники тепла, коими являются сети инженерных коммуникаций подземной прокладки, значительно влияют на водно-тепловой режим системы «грунтовый массив – дорожные одежды», в частности – на процесс промерзания-оттаивания грунта.

Для оценки эффективности применяемых методов снижения влияния канального либо бесканального теплопровода на ход сезонного промерзания, оттаивания и других процессов, протекающих в грунте, было выполнено данное исследование. В статье указаны главные достоинства канального способа прокладки подземных трубопроводов. Выбрана математическая модель для численной оценки влияния трубопровода на систему «грунтовый массив – дорожная одежда», позволяющая определять температуру произвольной точки грунтового массива вблизи теплопровода. Выполнено сравнение эффективности наиболее популярных теплоизоляционных материалов, применяемых при прокладке теплопроводов, и конструкций каналов по снижению влияния подземных инженерных коммуникаций на тепловой режим грунтового массива.

Исследование показало, что трубопровод подземной прокладки (как канальный, так и бесканальный) оказывает значительное влияние на тепловой режим грунтового массива, а наиболее эффективным методом снижения его влияния на земляное полотно будет применение железобетонного коллектора с теплоизоляцией из пенополиуретана.

Ключевые слова: подземные инженерные коммуникации; метод прокладки трубопроводов; математическое моделирование; теплопроводность грунта; водно-тепловой режим грунтового массива; методы теплоизоляции; теплоизоляционные материалы.

Ссылка для цитирования этой статьи:

Апталаев М.Н., Нечуговских В.О. О методах снижения влияния подземного трубопровода на тепловой режим земляного полотна // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №2 (2015)
<http://naukovedenie.ru/PDF/120TVN215.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/120TVN215

Движение автомобиля по дороге можно рассматривать как функционирование системы «человек – автомобиль – дорога – среда», которую можно обозначить аббревиатурой ЧАДС [1]. Нарушения в работе любого из компонентов системы ЧАДС приводит к снижению ее эффективности и надежности в целом (уменьшению скоростей движения транспортных средств, немотивированным остановкам, авариям).

Основными причинами возникновения дорожно-транспортных происшествий (ДТП) в России являются:

- Низкий уровень дисциплины среди участников дорожного движения;
- Общий рост автомобилизации в стране;
- Состояние улично-дорожной сети (УДС).

Автомобильная дорога - комплексное транспортное сооружение, включающее проезжую часть, сооружения и конструкции, направленные на обеспечение предъявляемых к дороге требования. Важнейшее из них – надежность, т.е. способность обеспечивать безопасное безаварийное расчетное движение со средней скоростью, близкой к оптимальной, в течение нормативного срока службы.

Одна из причин возникновения дорожно-транспортных происшествий – неудовлетворительное состояние автомобильных дорог и улиц. Примерно 30% ДТП допускаются по причине разрушения дорожного полотна и сопутствующих факторов [2]. Таким образом, состояние проезжей части – один из основных факторов риска возникновения дорожно-транспортных происшествий. Обратимся к данным статистики. Число ДТП, допущенных в Российской Федерации за двенадцать месяцев 2014 года, составило 199 720 случаев. Несмотря на незначительное снижение общего числа происшествий (по сравнению с аналогичным периодом 2013 года число ДТП снизилось на 2,1%), количество ДТП, допущенных по причине неудовлетворительного состояния дорог и улиц, выросло на 3,2%. По Пермскому краю ситуация схожа: общее число ДТП, допущенных в крае снизилось на 7%, при этом число происшествий из-за неудовлетворительного состояния улично-дорожной сети выросло на 1,6%. Удельный вес происшествий подобного рода в общей массе ДТП – 25-30% в зависимости от региона [3]. Подобная тенденция наблюдалась и предыдущие годы.

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.

Основное негативное воздействие на дорогу связано с водой. Главные источники увлажнения дорожных одежд:

- атмосферные осадки, просачивающиеся через трещины в покрытии, через обочины;
- вода, скапливающаяся на поверхности дорожного полотна;
- вода, застаивающаяся в боковых резервуарах и кюветах;
- грунтовая вода, поднимающаяся к поверхности по капиллярам;

- парообразная вода, перемещающаяся от теплых слоев к более холодным [4].

Самым негативным образом на состоянии дорожной одежды сказывается промерзание влажного грунта. Промерзание может распространяться на 1,0 - 2,50 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 [5]. 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» [6].

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.

Протяженность теплопроводов подземной и надземной прокладки в Российской Федерации составляет порядка 250 тыс. км. Из них, не менее 85% - тепловые сети подземной прокладки. Для 80% из них превышен срок нормальной эксплуатации, 30% - физически устарели и требуют срочной замены либо капитального ремонта [7].

Основным способом строительства тепловых сетей является подземная канальная прокладка (до 84% от общего количества). Данный вид прокладки имеет ряд преимуществ:

1. Каналы значительно снижают влияние трубопровода на тепловой режим земляного полотна в его окрестностях.
2. Каналы предохраняют трубопроводы от воздействия грунтовых, атмосферных и паводковых вод.
3. Трубы в них укладывают на подвижные и неподвижные опоры, при этом обеспечивается организованное тепловое удлинение.
4. *Канальный метод прокладки трубопроводов позволяет обеспечить быстрый доступ к коммуникациям в случае проведения ремонтных работ и осмотров.*
5. В канальных прокладках давление грунта передается на строительные конструкции канала, что позволяет трубопроводу и изоляционным конструкциям не испытывать нагрузки от давления грунта и других внешних напряжений.
6. Каналы предотвращают выброс теплоносителя на поверхность земли в случае разрыва трубопровода.

Конструкция «труба в трубе» позволяет полностью исключить наружную коррозию трубопровода. В результате, значительно повышается надежность, долговечность, снижается доля ручного труда при строительстве и монтаже теплосетей, значительно снижаются эксплуатационные расходы после ввода трубопровода в эксплуатацию [8].

В настоящее время, в российской научно-технической литературе уделяется самое пристальное внимание вопросам исследования тепловых режимов эксплуатации теплотрубопроводов [9].

Учитывая недостаточное обоснования по размещению теплотрасс при пересечении с дорожными объектами, была предпринята попытка по исследованию особенностей формирования водно-теплового режима земляного полотна в зоне их пересечения с УДС города, в частности – эффективность методов теплоизоляции, применяемых на данный момент при прокладке подземных трубопроводов.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- представить схему рассматриваемой системы;
- получить математическую модель для определения температуры точек грунтового массива в окрестности трубопровода;
- выбрать наиболее популярные методы и средства теплоизоляции трубопроводов;
- произвести расчет температуры точек грунта вокруг подземного трубопровода и сделать выводы об эффективности того или иного метода изоляции теплопровода.

Теплотрубопровод подземной прокладки является искусственным внутригрунтовым источником тепло, обычно он располагается на глубине двух – двух с половиной метров от поверхности грунтового массива. Глубина заложения может быть меньше, при условии наличия защитного футляра либо канала [10].

Вокруг трубопровода формируется температурно-влажный пояс, что приводит не только к определенным потерям тепла, связанными с перерасходом теплоносителя, но и к изменениям работы системы «земляное полотно - дорожная одежда». Помимо этого, теплопотери обратно воздействуют на саму инженерно-коммуникационную сеть.

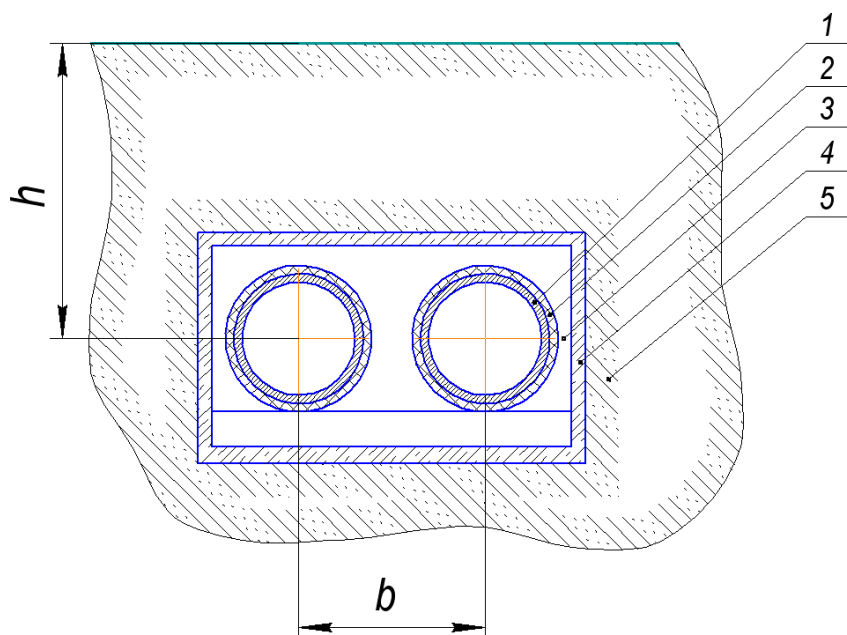


Рисунок 1. Схема системы «трубопровод – окружающая среда» (1 – металлическая стенка трубы, 2 – слой тепло- и гидроизоляции, 3 – воздушная прослойка, 4 – железобетонный короб, 5 – грунт, h – расстояние между поверхностью грунта и осью трубопровода, b – расстояние между осями трубопроводов)
(источник: разработано автором)

Для рассматриваемой области (Рисунок 1) решается двумерная стационарная задача теплопереноса в системе «подземный канальный трубопровод – окружающая среда» [9], при решении которой приняты допущения о том, что на границах между слоями выполняются условия идеального теплового контакта, а теплофизические свойства веществ постоянны и известны.

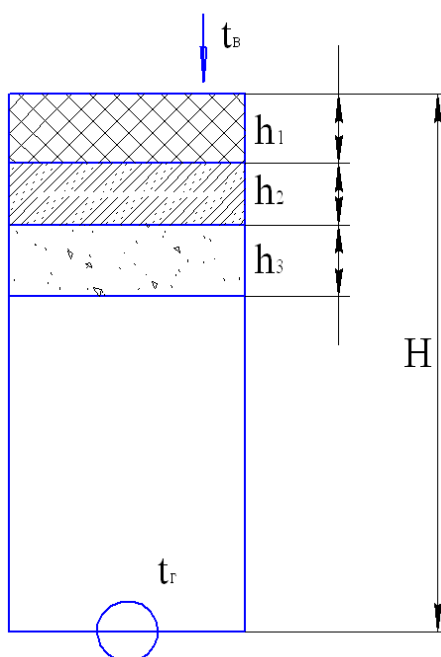


Рис. 2. Схема расположения слоев дорожной одежды и их физические параметры
(источник: разработано автором)

Одна из наиболее подходящих методик определения температурных полей в системе «дорожная одежда - земляное полотно», предложена профессором В.М. Сиденко [11].

Его подход базируется на использовании следующей зависимости для расчета температуры дорожного покрытия [76]:

$$t_{\text{пок}} = t_B + \frac{t_r - t_B}{R} * R_{\text{п}}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (1)$$

t_B – температура воздуха, $^\circ\text{C}$;

t_r – температура грунта на глубине H от поверхности полотна, $^\circ\text{C}$;

$R_{\text{п}}$ – тепловое сопротивление слоев дорожной конструкции назначается в зависимости от скорости ветра, $\text{м}^2 * ^\circ\text{C} / \text{Вт}$;

R – тепловое сопротивление слоев дорожной конструкции определяют по формуле (2)

$$R = R_{\text{п}} + \frac{h_1}{\lambda_1} + \frac{h_2}{\lambda_2} + \frac{h_3}{\lambda_3} + \dots + \frac{h_n}{\lambda_n}, \text{ } \text{м}^2 * ^\circ\text{C} / \text{Вт} \quad (2)$$

$h_1 \dots h_n$ – толщина слоев одежды и неоднородных слоев грунта, м;

$\lambda_1 \dots \lambda_n$ – коэффициенты теплопроводности дорожной одежды, $\text{Вт} / (\text{м} * ^\circ\text{C})$.

Основное уравнение для расчета температуры на различной глубине В.М. Сиденко обозначил в следующих формулах:

$$h_{\text{э}} = \lambda_{\text{зп}} * R_0, \text{ } \text{м} \quad (3)$$

$h_{\text{э}}$ – эквивалентный грунту земляного полотна слой дорожной одежды;

$\lambda_{\text{зп}}$ – теплопроводность грунта земляного полотна, берется по справочнику, $\text{Вт} / (\text{м} * ^\circ\text{C})$;

R_0 – тепловое сопротивление слоев дорожной одежды, $\text{м}^2 * ^\circ\text{C} / \text{Вт}$, определяется по формуле

$$R_0 = \frac{h_{n1}}{\lambda_{n1}} + \frac{h_{n2}}{\lambda_{n2}} + \frac{h_{n3}}{\lambda_{n3}} + \dots + \frac{h_n}{\lambda_n}, \text{ } \text{м}^2 * ^\circ\text{C} / \text{Вт} \quad (4)$$

n_1, n_2, n_3 – слои дорожной одежды, начиная с верхнего;

n – нижний слой дорожной одежды;

$$H = (H' - h_{\text{э}}) * \frac{\lambda_{\text{зп}}}{\lambda_{\text{оп}}}, \text{ } \text{м} \quad (5)$$

$\lambda_{\text{зп}}$ – теплопроводность грунта земляного полотна, берется по справочнику, $\text{Вт} / (\text{м} * ^\circ\text{C})$;

H – глубина для установления граничной температуры земляного полотна, м;

H' – глубина многолетних измерений температуры на агрометеостанциях, м;

Окончательное выражение для определения температуры грунта земляного полотна и дорожной одежды в произвольной точке предложенное В.М. Сиденко выглядит следующим образом:

$$t_r = t_B + \frac{t_r - t_B}{R} * R + \frac{h_1}{\lambda_1} * \frac{t_r - t_B}{R} + \frac{h_2}{\lambda_2} * \frac{t_r - t_B}{R} + \dots + \frac{h_n}{\lambda_n} * \frac{t_r - t_B}{R} + \frac{H}{\lambda_{\text{зп}}} * \frac{t_r - t_B}{R}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (6)$$

Параметры, входящие в выражение (6) представлены на Рисунке 2.

С его помощью можно определить температуру грунта земляного полотна и дорожной в любой произвольной точке, с учетом различных параметров теплопроводности, влажности, плотности материалов и грунта.

С помощью следующего уравнения можно определить глубину промерзания от низа дорожной одежды

$$h_{пр} = \sqrt{\frac{\lambda * T}{\rho * W * \delta} * (t_l - t_g + (t_b - t_r) * \frac{R_{п+R_0}}{K})}, \text{ м} \quad (7)$$

λ – коэффициент теплопроводности мерзлого грунта, Вт/(м*°C);

T – период промерзания, ч;

ρ – скрытая теплота льдообразования, ккал/кг;

W – средняя влажность грунта, %;

t_l – температура льдообразования, °C;

t_b – средняя температура воздуха, °C;

t_r – средняя температура грунта, °C;

R – тепловое сопротивление покрытия дорожной одежды, м²*°C/Вт.

Методика расчета теплового сопротивления приведена выше.

Наиболее эффективным методом снижения влияния трубопровода на тепловой режим грунтового массива является применение теплоизолирующих материалов и защитных железобетонных каналов. Пользуясь методикой, приведенной выше, для осуществления выбора оптимального теплоизоляционного материала и геометрических параметров канала. Авторами было разработано и написано специальное программное обеспечение (ПО), позволяющее рассчитывать температуру точек грунтового массива в зависимости от параметров, приведенных выше. С помощью данного ПО был выполнен расчет температуры некоторых точек грунтового массива в окрестностях трубопровода при различных условиях теплоизоляции:

- трубопровод, проложенный в железобетонном канале с теплоизоляцией из минеральной ваты (рисунок 3);
- трубопровод, проложенный в железобетонном канале с теплоизоляцией из пенополиуретана (рисунок 4);
- трубопровод бесканальной прокладки с теплоизоляцией из минеральной ваты (рисунок 5);
- трубопровод, проложенный в железобетонном канале, не оснащенном дополнительной теплоизоляцией (рисунок 6).

Расчет был выполнен для двухстороннего трубопровода с диаметром прохода 600 мм, с толщиной стенки 9 мм [12]. Для примера расчёты выполнены для глубины заложения сети 2,0 м и температуры грунта на уровне оси трубы $t_0 = 1^\circ\text{C}$. Дорожная одежда в проведённых расчётах во внимание не принималась. Результаты представлены на рисунках 3 – 6.

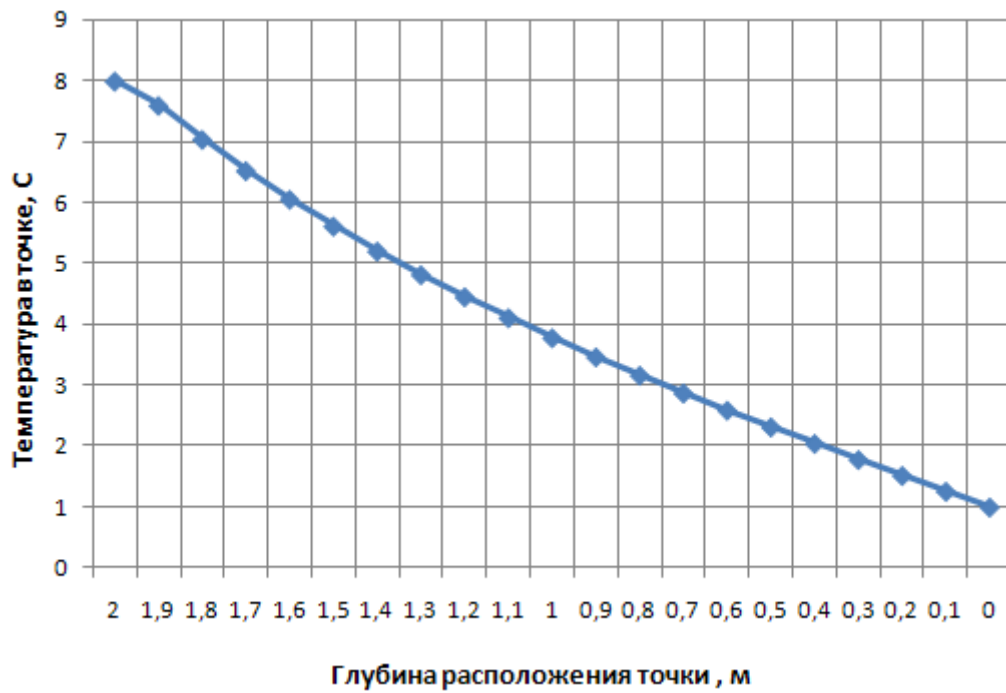


Рисунок 3. Канальный трубопровод и теплоизоляцией из минеральной ваты
(источник: составлено автором)

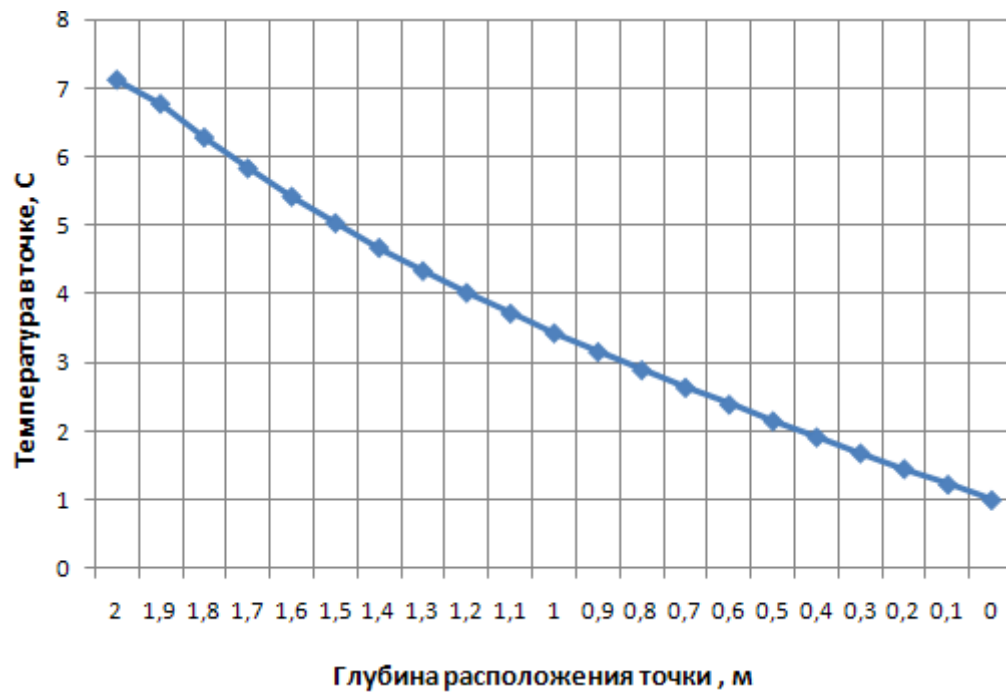


Рисунок 4. Канальный трубопровод и теплоизоляцией из пенополиуретана
(источник: составлено автором)

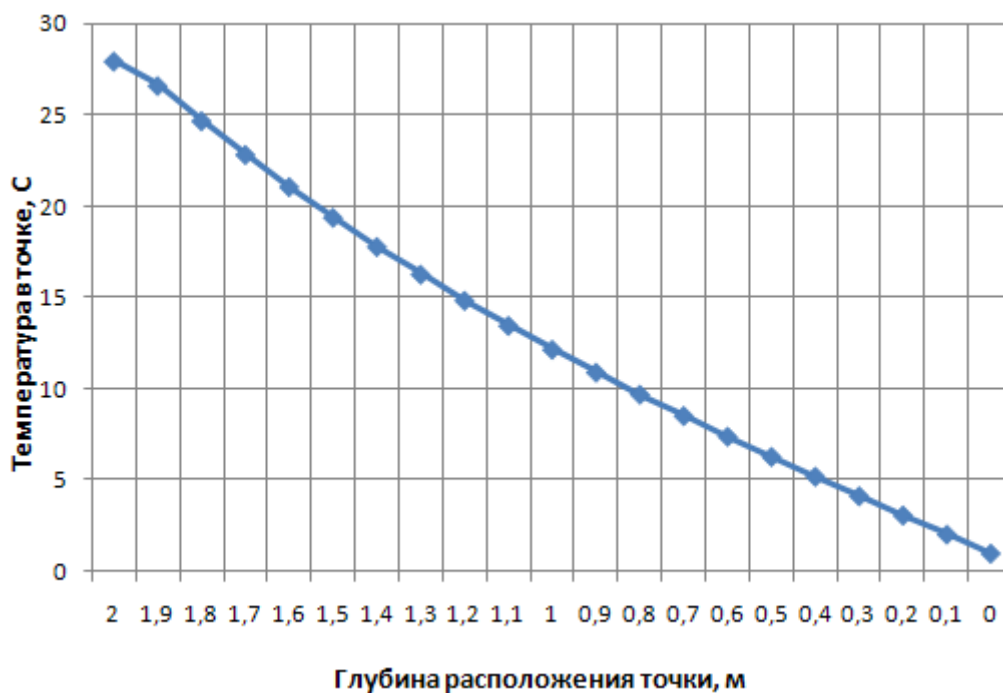


Рисунок 5. Бесканальный трубопровод с изоляцией из минеральной ваты
(источник: составлено автором)

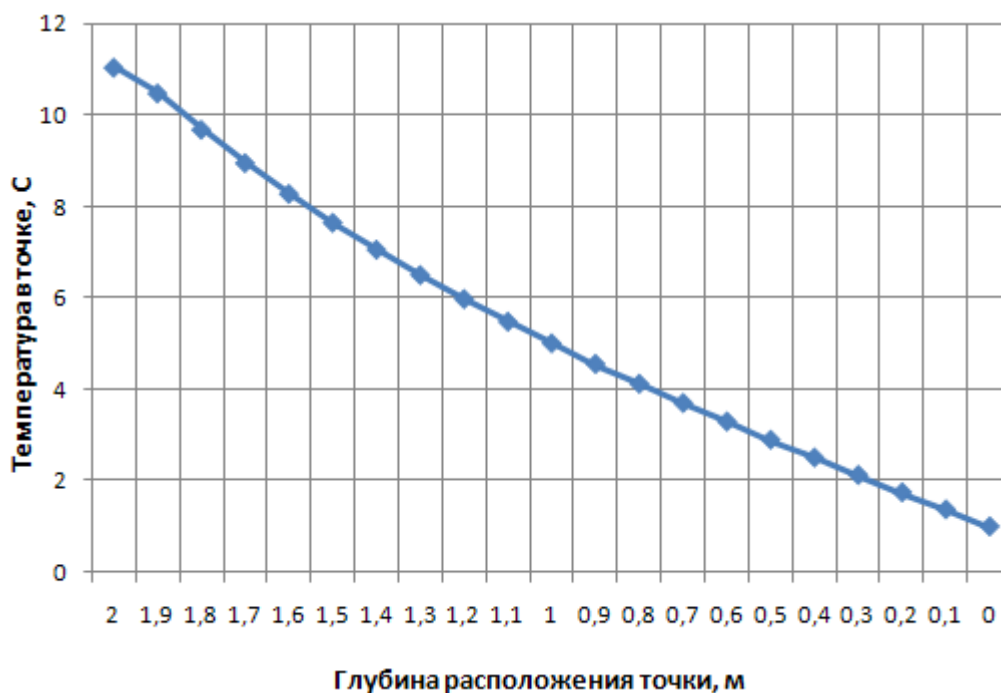


Рисунок 6. Канальный трубопровод без дополнительной теплоизоляции
(источник: составлено автором)

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

- использование теплоизолирующих материалов и конструкций является необходимой мерой для снижения влияния подземного трубопровода на тепловой режим грунтового массива в его окрестностях;

- применения исключительно железобетонного канала либо исключительно изоляционного материала недостаточно для обеспечения необходимого уровня теплоизоляции;
- оптимальным вариантом, с точки зрения снижения влияния трубопровода на тепловой режим грунта, является использование изоляции, выполненной из пенополиуретана, вместе с железобетонным внешним каналом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Степанов И.С., Покровский Ю.Ю., Ломакин В.В., Москалева Ю.Г. Влияние элементов системы водитель – автомобиль – дорога – среда на безопасность дорожного движения: Учебное пособие – М.: МГТУ «МАМИ», 2011 г., 171 с.
2. Д.С. Горбатенко, А.И. Рябчинский Методические основы создания многофакторных регрессионных моделей аварийности на автомобильных дорогах // Вестник МАДИ, М. №2. 2007. 90 с.
3. Регламентные таблицы ГИБДД РФ.
4. Иванов Д.В., Зарапин Ю.А. Методы регулирования водно-теплового режима земляного полотна автомобильных дорог // Научный вестник ТГТУ, 2008 г.
5. Нестле Х. Справочник строителя. Строительная техника конструкции и технологии. – М. Техносфера, 2007. – 394 с.
6. Горячев М.Г., Довикян А.Н. Влияние бесканальных теплосетей в футляре на водно-тепловой режим земляного полотна // Наука и техника дорожной отрасли, №1, 2008 г.
7. Половников В.Ю., Хузеев В.А. Численный анализ влияния промерзания грунта в зоне прокладки на тепловые потери бесканальных теплопроводов // Magazine of Civil Engineering, №2, 2013 г.
8. Слепченко В.С., Петраков Г.П. Повышение энергоэффективности теплоизоляции трубопроводов тепловых сетей северных и северо-восточных регионов России // Инженерно-строительный журнал, №4, 2011 г.
9. Яровой Ю.В., Корсунский В.Х., Бурдыга Ю.Ю. О системе качества трубопроводов в ППУ изоляции НП «Российское теплоснабжение» // Энергобезопасность и энергосбережение, №1, 2010 г.
10. Логинов В.С., Половников В.Ю. Численное моделирование тепловых режимов канальных теплотрубопроводов в условиях взаимодействия с влажным воздухом // Известия Томского политехнического университета, №4, 2008 г.
11. Сафонов А.П. Сборник задач по теплофикации и тепловым сетям. Учебное пособие для ВУЗов. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 232 с.
12. Справочник проектировщика. Проектирование тепловых сетей. Курган: Интеграл, 2010. 357 с.

Рецензент: Балабанов Денис Сергеевич, зав. кафедрой технических дисциплин ЛФ ПНИПУ, канд. тех. наук.

Aptalaev Marat Nazimovich

Perm National Research Polytechnic University Lysva's branch
Russia, Lysva
E-mail: aptalaev_lfpstu@mail.ru

Nechugovskih Vladimir Olegovich

Perm National Research Polytechnic University Lysva's branch
Russia, Lysva
E-mail: vonzz@yandex.ru

Methods to reduce the influence of underground pipelines on soil thermal conditions

Abstract. The number of road accidents approved for unsatisfactory roads and streets condition is increasing year by year in Russia in general and in the Perm region in particular. One of the most significant negative factors causing poor conditions of roads and streets is their building in zone of underground utilities. Intrasoiled heat sources significantly effect on water and thermal regime of the system "Soil array - pavements", in particular - on the process of soil freezing and thawing.

This study was performed for evaluation the effectiveness of the methods used to reduce channel or channelless heating pipeline influence on the course of seasonal freezing, thawing and other processes occurring in the soil. Engineering communications laid under a carriageway of city roads and streets, make considerable impact on conditions of their maintenance, caused by formation of a temperature-wet belt round heat networks. The research has been lead for a quantify assessment channel or channel-free duct influence on a course of seasonal freezing, thawing and other processes. In article describe the main features of the channel method of installation engineering services. A mathematical model for the quantify assessment pipeline impact on the thermal regime of the soil mass is offered. In article done the comparison various thermal insulation materials and designs of channels effectiveness for reduce the impact of underground utilities on the thermal regime of the soil mass.

Research showed that the pipe duct (as channel, and channel-free) makes considerable impact on a thermal mode of a soil mass. The applying of reinforced concrete channel and polyurethane foam thermal insulation is the most effective.

Keywords: utilities; channel construction method; mathematic modeling; soil mass water and thermal regime; methods of thermal insulation; thermal insulation materials.

REFERENCES

1. Stepanov I.S., Pokrovskiy Yu.Yu., Lomakin V.V., Moskaleva Yu.G. Vliyanie elementov sistemy voditel' – avtomobil' – doroga – sreda na bezopasnost' dorozhnogo dvizheniya: Uchebnoe posobie – M.: MGTU «MAMI», 2011 g., 171 s.
2. D.S. Gorbatenko, A.I. Ryabchinskiy Metodicheskie osnovy sozdaniya mnogofaktornykh regressionnykh modeley avariynosti na avtomobil'nykh dorogakh // Vestnik MADI, M. №2. 2007. 90 s.
3. Reglamentnye tablitsy GIBDD RF.
4. Ivanov D.V., Zarapin Yu.A. Metody regulirovaniya vodno-teplovogo rezhima zemlyanogo polotna avtomobil'nykh dorog // Nauchnyy vestnik TGTU, 2008 g.
5. Nestle Kh. Spravochnik stroitelya. Stroitel'naya tekhnika konstruksii i tekhnologii. – M. Tekhnosfera, 2007. – 394 s.
6. Goryachev M.G., Dovikyan A.N. Vliyanie beskanal'nykh teplosetey v futlyare na vodno-teplovoy rezhim zemlyanogo polotna // Nauka i tekhnika dorozhnoy otrasli, №1, 2008 g.
7. Polovnikov V.Yu., Khuzeev V.A. Chislenny analiz vliyaniya promerzaniya grunta v zone prokladki na teplovye poteri beskanal'nykh teploprovodov // Magazine of Civil Engineering, №2, 2013 g.
8. Slepchenok V.S., Petrakov G.P. Povyshenie energoeffektivnosti teploizolyatsii truboprovodov teplovykh setey severnykh i severo-vostochnykh regionov Rossii // Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal, №4, 2011 g.
9. Yarovoy Yu.V., Korsunskiy V.Kh., Burdyga Yu.Yu. O sisteme kachestva truboprovodov v PPU izolyatsii NP «Rossiyskoe teplosnabzhenie» // Energobezopasnost' i energosberezhenie, №1, 2010 g.
10. Loginov V.S., Polovnikov V.Yu. Chislennoe modelirovanie teplovykh rezhimov kanal'nykh teplotruboprovodov v usloviyakh vzaimodeystviya s vlazhnym vozdukhom // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, №4, 2008 g.
11. Safonov A.P. Sbornik zadach po teplofikatsii i teplovyim setyam. Uchebnoe posobie dlya VUZov. – M.: Energoatomizdat, 1985. – 232 s.
12. Spravochnik proektirovshchika. Proektirovanie teplovykh setey. Kurgan: Integral, 2010. 357 s.