

М.Н. Апталаев, ст. преп.
(ПНИПУ, Лысьвенский филиал, г. Лысьва, РФ);
А.М. Бургонутдинов, проф., д-р техн. наук
(ПВИ ВНГ РФ, г.Пермь, РФ);
В.И. Клевеко, доц., канд. техн. наук
(ПНИПУ, г.Пермь, РФ)

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ДОРОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ЗОНАХ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ С ПОДЗЕМНЫМИ КОММУНИКАЦИЯМИ

Наличие сетей инженерных коммуникаций подземной прокладки непосредственно в зонах пересечения с объектами автотранспортной инфраструктуры негативным образом сказывается на состоянии и эксплуатационных свойствах автомобильных дорог, поскольку подземные теплопроводы непосредственно влияют на сезонное промерзание-оттаивание грунтов дорожной конструкции, что приводит к накоплению напряжений и, как следствие, деформаций дорожной одежды.

Несоответствие автомобильной дороги нормативным требованиям в связи с нарушением ровности ее покрытия приводит к утрате работоспособности и снижению безопасности её функционирования [1-6].

Для разработки метода минимизации воздействия подземных коммуникаций на тепловой режим дорожной одежды требуется обеспечить нормальные условия функционирования дорожной конструкции, которые близки к естественным условиям. Для достижения этой цели требуется изучить возможности выравнивания (максимального приближения) температуры в системах "дорожная одежда – земляное полотно" и "дорожная одежда – теплопровод – земляное полотно", а также уровня влажности в зоне размещения подземных систем теплоснабжения на участках автомобильных дорог и улиц.

Один из радикальных способов устранения воздействия внутригрунтовых источников тепла на температурный режим дорожной конструкции, заключается в физическом разделении объектов инженерной инфраструктуры и объектов автотранспортной инфраструктуры на расстояние, превышающее зону влияния температурного поля подземного теплопровода.

Этот метод способствует обеспечению эффективной защиты от теплового влияния трубопроводов и поддержания оптимального

теплового баланса в системе "подземный трубопровод – дорожная конструкция". Такое пространственное разнесение инфраструктурных элементов и изменение геометрии системы "подземный трубопровод - дорожная конструкция" позволяет уменьшить влияние подземных тепловых источников на дорожную одежду, что способствует повышению надежности и безопасности функционирования автотранспортной инфраструктуры в условиях изменяющегося температурного режима.

Решение задачи оптимизации теплового баланса системы с целью минимизации или полного устранения влияния трубопровода подземной прокладки на тепловой режим дорожной поверхности может быть выражен из формулы расчета температуры точек грунтового массива в окрестностях подземного теплопровода [7]:

$$t = t_{\text{в}} + \frac{t_{\text{г}} - t_{\text{в}}}{R} \cdot R_{\text{п}} + \frac{h_1}{\lambda_1} \cdot \frac{t_{\text{г}} - t_{\text{в}}}{R} + \frac{h_2}{\lambda_2} \cdot \frac{t_{\text{г}} - t_{\text{в}}}{R} + \dots + \frac{h_n}{\lambda_n} \cdot \frac{t_{\text{г}} - t_{\text{в}}}{R} + \frac{H}{H \cdot \lambda_{\text{гр}}} \cdot \frac{t_{\text{г}} - t_{\text{в}}}{R} =$$

$$= t_{\text{в}} + \frac{t_{\text{г}} - t_{\text{в}}}{R} \cdot R_{\text{п}} + \frac{h_1}{\lambda_1} \cdot \frac{t_{\text{г}} - t_{\text{в}}}{R} + \frac{h_2}{\lambda_2} \cdot \frac{t_{\text{г}} - t_{\text{в}}}{R} + \dots + \frac{h_n}{\lambda_n} \cdot \frac{t_{\text{г}} - t_{\text{в}}}{R} + \frac{H}{H \cdot \lambda_{\text{гр}}} \cdot \frac{t_{\text{г}} - t_{\text{в}}}{R} +$$

$$+ \frac{q_1}{\lambda_{\text{гр}}} \cdot \ln \sqrt{\frac{x^2 + (y+h)^2}{x^2 + (y-h)^2}} + \frac{q_2}{\lambda_{\text{гр}}} \cdot \ln \cdot \sqrt{\frac{(x-b)^2 + (y+h)^2}{(x-b)^2 + (y-b)^2}} \quad , \text{ } ^\circ\text{C} \quad (1)$$

где t – температура точки грунтового массива, $^\circ\text{C}$; $t_{\text{в}}$ – температура воздуха, $^\circ\text{C}$; $t_{\text{г}}$ – температура грунта на глубине H от поверхности дорожной одежды, $^\circ\text{C}$; $R_{\text{п}}$ – термическое сопротивление дорожного покрытия, назначается в зависимости от скорости ветра, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}$; R – термическое сопротивление слоев дорожной одежды, определяется по формуле (2), $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}$ [8];

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

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, $\text{Вт} / (\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$; h – глубина заложения оси теплопровода, м; b – межосевое расстояние, м; x, y – координаты выбранной точки грунтового массива, м; q_1, q_2 – удельные тепловые потери первой и второй трубы трубопровода, $\text{Вт} / \text{м}$.

Упростив выражение (1) можно получить уравнение (3):

$$\frac{q_1}{\lambda_{\text{гр}}} \cdot \ln \sqrt{\frac{x^2 + (y+h)^2}{x^2 + (y-h)^2}} + \frac{q_2}{\lambda_{\text{гр}}} \cdot \ln \cdot \sqrt{\frac{(x-b)^2 + (y+h)^2}{(x-b)^2 + (y-b)^2}} = 0 \quad (3)$$

На практике полностью исключить влияние внутригрунтового источника тепла на температурный режим грунтового массива в его

окрестностях невозможно, окончательно критерий оптимальности был сформулирован следующим образом:

$$F = \frac{q_1}{\lambda_{гр}} \cdot \ln \sqrt{\frac{x^2+(y+h)^2}{x^2+(y-h)^2}} + \frac{q_2}{\lambda_{гр}} \cdot \ln \sqrt{\frac{(x-b)^2+(y+h)^2}{(x-b)^2+(y-b)^2}} \rightarrow \min, \quad (4)$$

Удельные тепловые потери трубопроводов определяются следующими параметрами:

- 1) температурой теплоносителя в трубопроводах;
- 2) термическим сопротивлением изоляции трубопроводов;
- 3) термическим сопротивлением стенки коллектора;
- 4) термическим сопротивлением грунта на глубине прокладки оси трубопроводов;
- 5) термическим сопротивлением воздушной прослойки между трубопроводом и стенкой коллектора.

Помимо этого, величина влияния теплопровода подземной прокладки на температурный режим грунтового массива напрямую зависит от глубины заложения оси трубопровода и горизонтального расстояния между осями трубопроводов. Необходимо учитывать, что термическое сопротивление теплоизоляции, воздушной прослойки и стенки коллектора напрямую зависит от коэффициентов теплопроводности соответствующих материалов и толщины соответствующих слоев.

Эти параметры могут быть изменены в широком диапазоне, что позволяет сохранять эффективность функционирования инженерных коммуникаций. Поэтому, определение оптимальных значений указанных параметров является ключевой задачей в решении поставленной оптимизационной задачи.

В исследованиях [9, 10, 11] отмечается, что изменение температуры грунта земляного полотна, используемого при обратной засыпке траншеи, определяется совокупностью теплофизических свойств применяемых материалов, таких как тип грунта, его плотность и влажность. В исследовании, выполненном под руководством профессора Кудрявцева С.А., отмечается, что для снижения деформации поверхности дорожной одежды в местах прокладки теплосетей необходимо применение теплоизоляционного покрытия [12].

В процессе проектирования зон пересечения автомобильных дорог и улиц с подземными системами инженерных коммуникаций, одним из актуальных вопросов становится проблема уравнивания температурных флуктуаций в грунте земляного полотна автомобильной дороги. Перспективным подходом к решению

данной проблемы представляется внедрение дополнительного теплоизолирующего слоя (экрана) в систему "подземный трубопровод – дорожная конструкция". Данный слой размещается между нижней частью дорожной одежды и подземным искусственным источником тепла.

На базе прелиминарных исследовательских выводов установлено, что в случае укладки пенополиуретанового экрана между верхним слоем дорожного покрытия и подземными тепловыми коммуникациями на участке пересечения автомобильной дороги (улицы) с подземной тепловой сетью наблюдается уравнивание температурных показателей грунта на данной участке со значениями, регистрируемыми на прочем объеме дорожной конструкции.

Оптимизация температурного режима в системе «подземный трубопровод – дорожная конструкция» возможна разными методами - это увеличением глубины заложения трубопроводов и межосевых расстояний труб трубопровода; изменением материалов, применяемых для отсыпки траншеи трубопровода и в конструкции коллектора (канала), а также использование теплоизоляции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каменчуков, А.В. Оценка работоспособности дорожных одежд / А.В. Каменчуков, К.И. Богдановская // Международный сборник научных трудов Дальний Восток. Авто мобильные дороги и безопасность движения / под ред. А.И. Ярмолинского. – Хабаровск, 2015. – С. 59–62.

2. Карелина, Е.Л. Определение причин нарушения ровности покрытия дорожной одежды на участках устройства водопропускных труб / Е.Л. Карелина // Политранспортные системы: материалы VIII Международной научно-технической конференции в рамках года науки России. – Новосибирск, 2015. – С. 287–293.

3. Николенко, Д.А. Прогнозирование деформаций и разрушений дорожных конструкций автомобильных дорог / Д.А. Николенко, А.Г. Кмета // Строительство. – Ростов на Дону, 2014. – С. 35–36.

4. Немчинов, М.В. Физика и динамика работы дорожной одежды автомобильных дорог / М.В. Немчинов // Техполиграфцентр. – М., 2012. – 102 с

5. Сухоруков, А.В. Обоснование региональных норм проектирования дорожных одежд с учетом изменчивости геоконструктивных территорий / А.В. Сухоруков // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2016. – № 4. – С. 159–169.

6. Алексеев С.В. Воздействие природных факторов на состояние дорог в различных регионах России / С.В. Алексеев, Д.Л. Симонов, А.С. Катикова // ИТСТ. 2022. №4.

7. Горячев, М.Г. Моделирование температурного поля от бесканальных теплосетей в футляре в грунтовой среде / М.Г. Горячев, А.Н. Давидяк // Строительство и эксплуатация дорог: научные исследования и их реализация. МАДИ (ГТУ): сб. науч. тр. – М., 2008. – С. 100-107.

8. Галкин А.Ф. Эквивалентное термическое сопротивление дорожной одежды // Арктика и Антарктика. 2022. №3. – С. 129-138.

9. Геворкян С.Г. Влияние температуры замораживания грунта на процесс его морозного пучения. // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2018. №8. С. 23–27.

10. Бургонутдинов, А.М. Моделирование процесса промерзания дорожной одежды (на примере Пермского края). / А.М. Бургонутдинов, К.С. Стецюк, А.Г. Окунева // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. 2015. Т. 1. С. 351–354.

11. Лопашук В.В. Исследование температурного режима земляного полотна автомобильной дороги Петропавловск-Камчатский – Мильково. / В.В. Лопашук, А.В. Лопашук, В.Н. Ермолин, А.Е. Казаринов // Вестник евразийской науки. 2021. №2. – С. 37.

12. Кудрявцев С.А. Исследование влияния прокладки теплотрассы на состояние основания дорожной одежды автомобильной дороги / С.А. Кудрявцев, Т.Ю. Вальцева // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. 2019. № 4.