



**ВЕСТНИК ПНИПУ.  
СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА**  
Т. 10, № 4, 2019  
**PNRPU BULLETIN.  
CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE**  
<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>



DOI: 10.15593/2224-9826/2019.4.03

УДК 624.154.9

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОКЛАДКИ ТЕПЛОТРАССЫ НА СОСТОЯНИЕ ОСНОВАНИЯ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ**

**С.А. Кудрявцев, Т.Ю. Вальцева**

Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Хабаровск, Россия

### **О СТАТЬЕ**

Получена: 02 августа 2019  
Принята: 05 октября 2019  
Опубликована: 10 января 2020

#### **Ключевые слова:**

деформации, промерзание, оттаивание, геосинтетические материалы, георешетка, моделирование, теплоизоляция, несущая способность, напряженно-деформированное состояние.

### **АННОТАЦИЯ**

Представлен способ предотвращения деформаций линейных сооружений в связи с прокладкой теплотрассы, которая способствует образованию наледи. Рассматриваемая конструкция покрытия дорожной одежды при прокладке теплотрассы возводится на участке автомобильной дороги по ул. Пионерская, который относится к дорогам III категории. Приведены результаты научных исследований и инженерных расчетов параметров рациональных конструкций автомобильных дорог при прокладке теплотрассы на примере Дальневосточного участка автодороги. Разработка представляет собой обобщение результатов решения инженерных, научных и расчетно-прикладных задач. На рассматриваемом участке прокладывается теплотрасса, которая впоследствии будет прогревать наружную поверхность асфальтобетона за счет тепловыделений труб, что вызовет образование наледи на наружной поверхности асфальтобетона в период с отрицательными температурами. Конструкция включает в себя псевдоплиту в слоях щебня с использованием интегральной двухосной георешетки, а также теплоизоляционный слой. В процессе анализа исходных данных и при выполнении работы установлено, что для возможности оценки и сравнения показателей необходимо предусмотреть расчетно-теоретические исследования для нескольких вариантов конструкций. При анализе возможных методов и средств для определения рациональных параметров конструкции целесообразным будет использование геотехнических программных комплексов FEM models и Termoground, способных в комплексе моделировать работу сооружений по его напряженному состоянию, а также по происходящим термодинамическим процессам в годичном цикле промерзания-оттаивания. Выполненное численное моделирование работы конструкции с использованием данного программного геотехнического комплекса позволило дать оценку стабильности деформаций конструкции, а также ограничению прогрева теплоносителем поверхности асфальтобетона.

© ПНИПУ

© Кудрявцев Сергей Анатольевич – доктор технических наук, профессор, e-mail: prn@festu.khv.ru.  
Вальцева Татьяна Юрьевна – кандидат технических наук, доцент, e-mail: vtu25@mail.ru.

Sergey A. Kudryavtcev – Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: prn@festu.khv.ru.  
Tatiana Y. Valtseva – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: vtu25@mail.ru.

## STUDY OF THE INFLUENCE OF THE LAYING OF HEATING MAINS ON THE STATE OF THE BASE PAVEMENT AUTOMOBILE ROAD

S.A. Kudryavtcev, T.U. Valtseva

Far Eastern State Transport University, Khabarovsk, Russian Federation

---

### ARTICLE INFO

Received: 02 August 2019  
Accepted: 05 October 2019  
Published: 10 January 2020

#### Keywords:

deformations, freezing, defrosting, geosynthetic materials, geogrid, modeling, heat insulation, load bearing capacity, stress-strained state.

### ABSTRACT

This article includes the way to prevent deformation of linear constructions which can due to the laying of the heating network because heating promotes ice formation. The considered design of the pavement cover during the laying of the heating network is being built on a section of the road on Pionerskaya street, which belongs to the roads of the third category. There are results of scientific research and engineering calculations of options for rational design of roads when laying the heating network and the example of the Far Eastern section of the road. The development is a generalization of the results of solving engineering, scientific, and settlement applied objectives. There is heating network is being laid, in the area under consideration which will subsequently warm up the outer surface of the asphalt concrete due to the heat generation of the pipes. It will cause the formation of ice on the outer surface of the asphalt concrete during period with negative temperatures. This construction imitates plate in the rubble layers by using an integrated biaxial geogrid, as well as the laying of the heat insulation layer. The analysis of the initial data, as well as during the realization of the work, has established that, in order to be able to evaluate and compare the various indicators, it is necessary to provide calculated and theoretical studies for several construction options. Analysis of possible methods and means for determining rational structure parameters showed that it would be advisable to use geotechnical software systems «FEM models» and «Termoground». These software systems are able to jointly simulate the work of structures by its stress state, as well as by the ongoing thermodynamic processes in the annual freeze-thaw cycle. Numerical simulation of the structure operation using this software geotechnical complex allowed us to estimate the stability of the structure deformations, as well as to limit the heating of the asphalt concrete surface.

© PNRPU

---

## Введение

Прокладка теплотрасс под автомобильными дорогами в районах с сезонным промерзанием и оттаиванием всегда имеет высокую степень рисков, связанных с возникновением недопустимых деформаций вследствие прогрева поверхности автодороги в период с отрицательными температурами [1]. Особенно это относится к линейным транспортным объектам, требующим повышенного уровня надежности и ответственности.

Подобные сооружения должны обеспечивать допустимую деформативность и несущую способность оснований при воздействии перспективных подвижных нагрузок в сложных геологических и природно-климатических условиях

Одним из рациональных решений основных вопросов, связанных прокладкой теплотрасс в регионах со сложными геологическими и природно-климатическими условиями, является научно и технически обоснованное использование свойств современных геосинтетических материалов, способных обеспечивать долговременную устойчивую работу сооружений при применении местных строительных материалов [2]. При этом свойства используемых геосинтетических материалов должны полностью соответствовать требованиям условий их работы в сооружениях, а также условию долговечности и качества. Разработанные конструктивные решения должны удовлетворять требованиям нормативных документов по прочности и морозостойкости, действующих на территории Российской

Федерации. Кроме этого, конструкция сооружения должна обеспечивать несущую способность при воздействии заданных подвижных нагрузок.

Сложность рассматриваемого участка автомобильной дороги по ул. Пионерская в г. Хабаровске (в Хабаровском крае) связана с наличием сезонного промерзания и оттаивания и, как следствие, изменением их температурно-влажностного режима, что необходимо учитывать при проектировании и строительстве [3, 4]. Кроме того, из-за вероятности возникновения особых обстоятельств к рассмотрению принята высокая нагрузка на дорожное полотно (рис. 1). В качестве примера рассмотрена нагрузка на оси автопоезда Renault грузоподъемностью 47 т, имеющего 5 осей, колея 2 м.

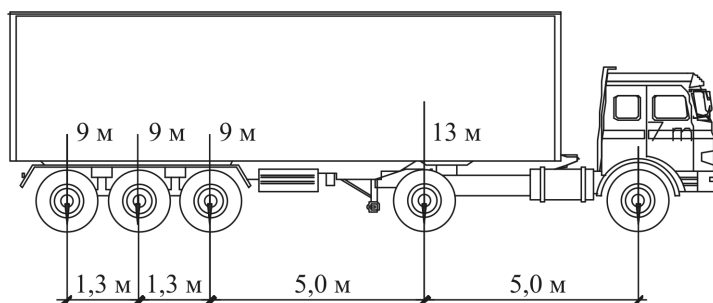


Рис. 1. Распределение нагрузки на оси автопоезда  
Fig. 1. Load distribution on trailer axles

При определении необходимой толщины теплоизоляционного слоя для предотвращения прогрева наружной поверхности асфальтобетона за счет тепловыделений труб тепловой сети и исключения образования наледи на наружной поверхности асфальтобетона в период с отрицательными температурами принять температуру теплоносителя (воды)  $T = 130\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Допустимая температура прогрева наружной поверхности асфальтобетона в период с отрицательными температурами асфальтобетона не более  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

В связи с этим необходима разработка конструкции покрытия дорожной одежды при прокладке теплосети для исключения образования деформаций и наледи на поверхности автодороги [5, 6].

## 1. Методика геотехнического моделирования

### 1.1. Численная реализация упругопластической модели слоистых оснований

Идеализация модели грунтового основания осуществляется следующим образом. Если при внешнем воздействии нагрузок напряжение грунта «характерного объема» меньше предельного ( $\sigma \neq \sigma_{\text{пр}}$ ), то связь между напряжениями и деформациями описывается законом Гука (рис. 2, область I), который для условий плоской деформации может быть записан в виде

$$\left. \begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{E'(\varepsilon_1 + \nu'\varepsilon_3)}{(1-\nu'^2)}, \\ \sigma_3 &= \frac{E'(\varepsilon_3 + \nu'\varepsilon_1)}{(1-\nu'^2)}. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Здесь  $E'$  и  $\nu'$  – плоские аналоги модуля Юнга  $E$  и коэффициента Пуассона  $\nu$ .

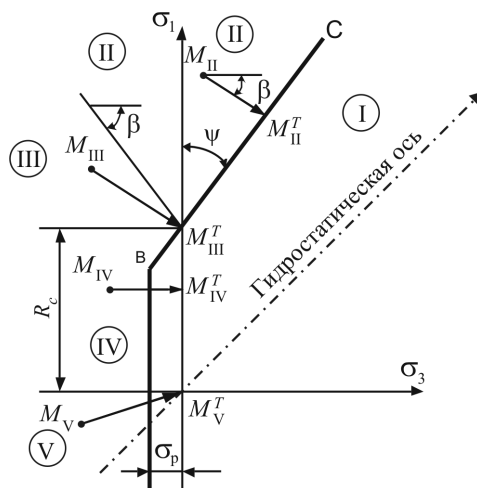


Рис. 2. Схема к определению теоретических напряжений в упругопластической модели грунта  
Fig. 2. Scheme for the determination of theoretical stresses in the elastoplastic model of soil

Предельные напряжения в области растяжения ограничиваются прочностью на растяжение  $\sigma_p$  (см. рис. 2).

Таким образом, область I в зоне растяжения ограничивается напряжением ( $\sigma_3 = \sigma_p$ ), а в области сжатия – критерием прочности Кулона:

$$\sigma_1 = R_c + \sigma_3 \operatorname{ctg} \psi. \quad (2)$$

Здесь  $R_c$  – прочность на одноосное сжатие.

Если точка оказывается вне контура текучести, то находятся «теоретические» напряжения в следующем порядке. Если точка суммарных напряжений  $M_{II}$  попадает в область II (основная зона пластичности), то «теоретическая» точка  $M_{II}^T$  лежит на пересечении границы текучести с прямой  $M_{II}M_{II}^T$ . Угол  $\beta$  наклона прямой  $M_{II}M_{II}^T$  определяется законом сечения и задан.

Если точка суммарных напряжений попадает в зону III (см. рис. 2, точка  $M_{III}$ ), то теоретические напряжения принимают значения  $\sigma_1^T = R_c, \sigma_3^T = 0$ . Элемент при этом будет разорван в направлении действия напряжения  $\sigma_3$ , а напряжения  $\sigma_1$  снизятся до уровня сопротивления грунта на одноосное сжатие.

Для области IV, в которой напряжения  $\sigma_1$  не превосходят сопротивление одноосному сжатию,  $\sigma_1^T = R_c, \sigma_3^T = 0$ . Наконец, для области V, у которой элемент будет разорван по всем направлениям,  $\sigma_1^T = \sigma_3^T = 0$ .

В программе FEM Models природное напряженное состояние заменяется гидротехническим тензором обжатия «характерного объема» грунта, который суммируется с фактическими напряжениями в массиве:

$$\{\sigma_{1,3}\} = \{\sigma_{1,3}^\Phi\} + \{\sigma_{1,3}^\Gamma\}. \quad (3)$$

Принятое нами допущение отвечает реальной картине природного напряженного состояния слабых грунтов [7, 8].

## 1.2. Численная реализация теплофизического моделирования

Составной частью FEM-models является программа Termoground, которая позволяет исследовать с помощью численного моделирования в пространственной постановке процессы промерзания, морозного пучения и оттаивания в годичном цикле методом конечных элементов.

Общее уравнение, описывающее процесс промерзания-оттаивания для нестационарного теплового режима в трехмерном грунтовом пространстве, можно представить в виде следующего выражения:

$$C_{th(f)}\rho \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda_{th(f)} \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + q_v, \quad (4)$$

где  $C_{th(f)}$  – удельная теплоемкость грунтов (мерзлого или талого);  $\rho$  – плотность грунта;  $T$  – температура;  $t$  – время;  $\lambda_{th(f)}$  – теплопроводность грунтов (мерзлого или талого);  $x, y, z$  – координаты;  $q_v$  – мощность внутренних источников тепла.

Основными факторами, определяющими приведенные температуры на поверхности элементов земляного полотна и примыкающей местности, являются температура атмосферного воздуха и условия его теплообмена с поверхностью, зависящие от ветрового режима, солнечной радиации, испарения и т.д. [9, 10].

Расчетная величина приведенной среднемесячной температуры воздуха определена по формуле

$$T_{np} = T_b + \Delta t_r - \Delta t_e, \quad (5)$$

где  $T_b$  – среднемесячная температура воздуха, °С;  $\Delta t_r$  и  $\Delta t_e$  – поправки к среднемесячным температурам воздуха за счет солнечной радиации и испарения, °С.

## 2. Геотехническое моделирование конструкции автомобильной дороги

Выполнено геотехническое моделирование состояния покрытия дорожной одежды после прокладки железобетонной плиты над проложенной теплотрассой. Получена близкая к реальной картина местонахождения зон распространения упругих деформаций и опасных зон с пластическими деформациями (рис. 3–5). При математическом моделировании получены численные значения и их распределение в конструкции, а также прямой показатель – деформации и их распределение в поперечных сечениях [11, 12]. Проведенное моделирование термодинамических процессов обусловлено необходимостью получения качественной и количественной картины промерзания-оттаивания в сооружении в годичном и более цикле.

Численное моделирование промерзания-оттаивания конструкции выполнялось помесячно. Расчетная схема представлена на рис. 6.

В результате установлено, что поверхность дорожной одежды подвержена неравномерным деформациям в связи с различной жесткостью основания на рассматриваемом участке [13].

Анализ результатов геотехнического моделирования конструкции показал, что зоны пластических деформаций распространены повсеместно в щебне и песчано-гравийной смеси, в местах переменной жесткости конструкции между железобетонной плитой и существующей дорожной одеждой, что свидетельствует о недостаточной несущей способности дорожной конструкции.

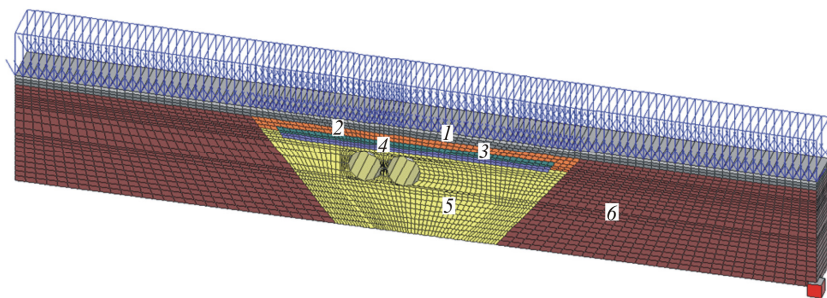


Рис. 3. Расчетная схема конструкции: 1 – асфальтобетон трехслойный; 2 – щебень М600; 3 – плита; 4 – полистирол; 5 – песчано-гравийная смесь; 6 – подстилающий слой дорожной одежды  
 Fig. 3. Calculation scheme of the facility: 1 – three-layer asphalt concrete; 2 – breakstone M600; 3 – plate; 4 – polystyrene; 5 – sand and gravel composition; 6 – underlying pavement layer

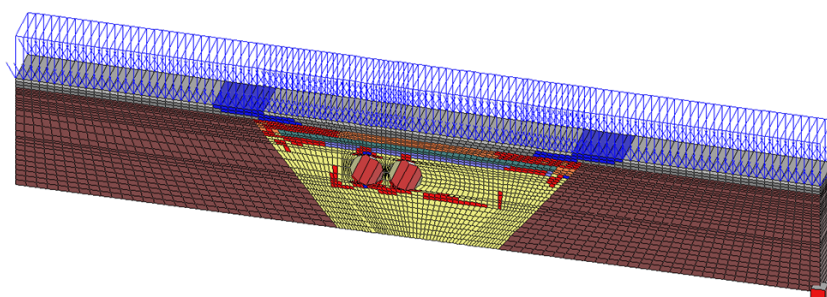


Рис. 4. Зоны упругих и пластических деформаций: синий цвет – упругие деформации; красный цвет – пластические деформации  
 Fig. 4. Area of elastic and plastic deformations: blue color – elastic deformations; red color – plastic deformations

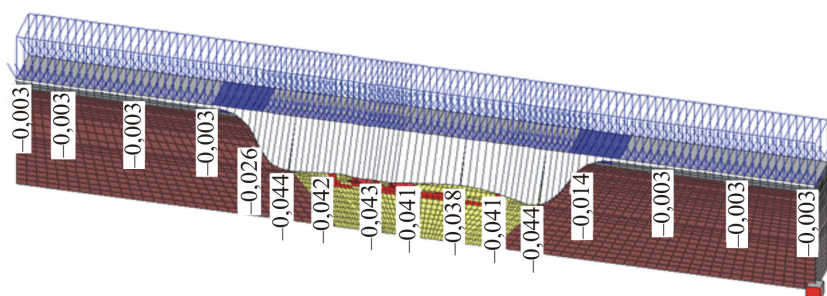


Рис. 5. Вертикальные деформации поверхности автодороги, м  
 Fig. 5. Vertical deformations of the road surface, m

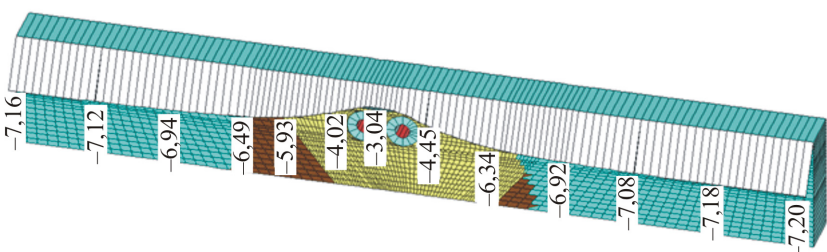


Рис. 6. Эпюра температур на поверхности асфальтобетона в период отрицательных температур (март), °С  
 Fig. 6. Temperature plot on the surface of asphalt concrete during the period of negative temperatures (March), °С



Для уменьшения или практически полной остановки пластических деформаций, а также для перераспределения напряжений с целью предотвращения неравномерных деформаций следует предусматривать прослойки, способствующие увеличению несущей способности основания и перераспределяющие напряжения [14].

Такой прослойкой может быть щебеночная псевдоплита, где композитообразующим элементом является интегральная двухосная георешетка [15].

Для снижения риска неравномерных деформаций грунта от теплового воздействия теплотрассы необходимо предусмотреть комплекс мероприятий по снижению оттаивания грунта в периоды с отрицательной температурой асфальтобетона (использование теплоизоляторов).

Выполнено геотехническое моделирование состояния покрытия дорожной одежды после кладки железобетонной плиты над проложенной теплотрассой с применением геосинтетических геоматериалов в щебне и теплоизоляционных материалов (рис. 7–10).

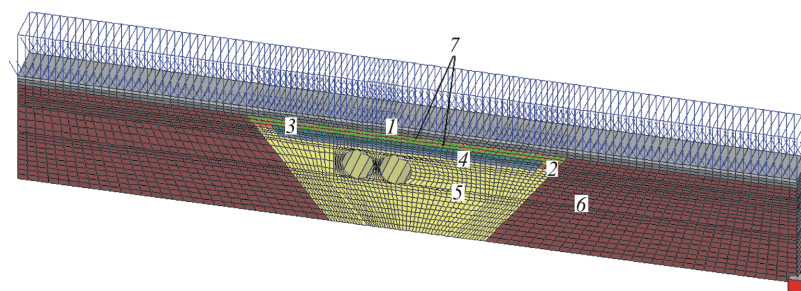


Рис. 7. Расчетная схема конструкции: 1 – асфальтобетон трехслойный; 2 – щебень М600; 3 – плита; 4 – полистирол; 5 – песчано-гравийная смесь; 6 – подстилающий слой дорожной одежды; 7 – георешетка

Fig. 7. Calculation scheme of the facility: 1 – three-layer asphalt concrete; 2 – breakstone M600; 3 – plate; 4 – polystyrene; 5 – sand and gravel composition; 6 – underlying pavement layer; 7 – geogrid

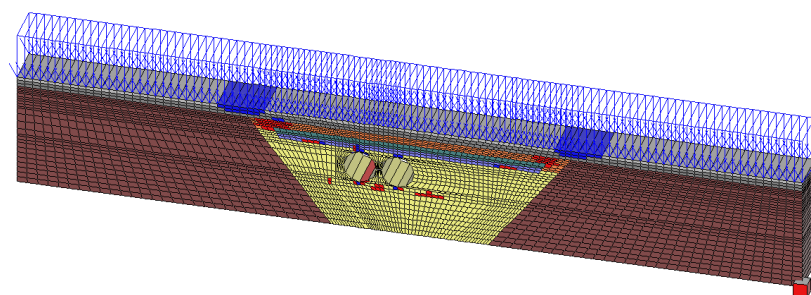


Рис. 8. Зоны упругих и пластических деформаций: синий цвет – упругие деформации; красный цвет – пластические деформации

Fig. 8. Area of elastic and plastic deformations: blue color – elastic deformations; red color – plastic deformations

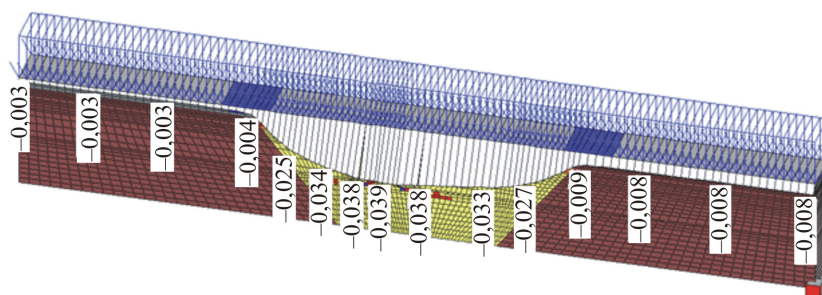


Рис. 9. Вертикальные деформации поверхности автодороги, м  
Fig. 9. Vertical deformations of the road surface, m

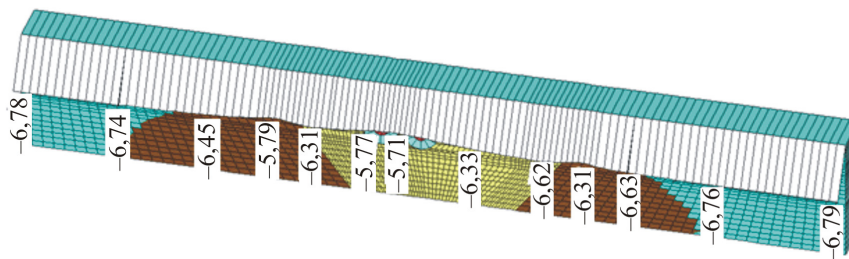


Рис. 10. Эпюра температур на поверхности асфальтобетона  
в период отрицательных температур (март), °С  
Fig. 10. Temperature plot on the surface of asphalt concrete  
during the period of negative temperatures (March), °С

## Заключение

1. Зоны пластических деформаций в щебне и песчано-гравийной смеси, в местах переменной жесткости конструкции между железобетонной плитой и существующей дорожной одеждой значительно снизились, что свидетельствует об эффективности применения выбранных мероприятий.

2. При рассмотрении полученных вертикальных деформаций конструкции дорожной одежды можно сделать вывод о том, что деформации поверхности дорожной одежды сократились и перераспределение напряжений созданием псевдоплиты привело к устранению просадок в местах различной жесткости конструкции.

3. При укладке теплоизоляционного покрытия величины температур наружной поверхности асфальтобетона соответствуют допустимой температуре прогрева наружной поверхности асфальтобетона в период с отрицательными температурами. Толщина теплоизоляционного материала, определенная расчетом, составляет 10 см.

4. Применение современных геотехнологий и новых геосинтетических материалов в строительстве имеет сегодня прогрессивную тенденцию. Они во многом являются экономически более выгодной и надежной альтернативой традиционным решениям. Поэтому всесторонние исследования в области рационального использования возможностей геосинтетических материалов при их работе в грунтовых средах, разработка новых конструкций и расчетных методик, а также поиск совершенных подходов к решениям таких задач современной геотехники в настоящее время значимы и актуальны.

## Библиографический список

1. Влияние условий оттаивания и вида испытаний на деформационные характеристики оттаивающих грунтов / П.И. Котов, Л.Т. Роман, И.И. Сахаров, В.Н. Парамонов, М.В. Парамонов // Основания и фундаменты, механика грунтов. – 2015. – № 5. – С. 8–13.
2. Abrashitov A., Sidrakov A. Laboratory study of ballast material reinforced by flat geogrid under the dynamic load, MATEC Web of Conferences. – 2019. – Vol. 265. – 01006. DOI: <https://doi.org/10.1051/matecconf/201926501006>
3. Ulitsky V., Sakharov I., Paramonov V. Thermal-physical calculations as a basis of design solutions of buildings and structures in the permafrost zone, MATEC Web of Conferences. – 2019. – Vol. 265. – 05009. DOI: <https://doi.org/10.1051/matecconf/201926505009>



4. Сахаров И.И., Парамонов В.Н., Парамонов М.В. Процессы промерзания и оттаивания при устройстве подземных и заглубленных сооружений // *Жилищное строительство*. – 2009. – № 9. – С. 21–23.
5. Ершов Э.Д. Деградация мерзлоты при возможном глобальном потеплении климата // *Соросовский образовательный журнал*. – 1997. – № 2. – С. 23–27.
6. Пасек В.В. Тепловое воздействие гофрированных водопропускных труб большого диаметра с вечномерзлыми грунтами тела и оснований земполотна железных и автомобильных дорог // 5-й Междунар. симп. по проблемам инженерного мерзлотоведения. – Якутск, 2002. – Т. 2. – С. 94–98.
7. Парамонов В.Н. Метод конечных элементов при решении нелинейных задач геотехники. – СПб.: Геореконструкция, 2012. – 262 с.
8. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения / под общ. ред. В.А. Ильичева, Р.А. Мангушева. – М.: Изд-во АСВ, 2014. – 728 с.
9. Парамонов М.В. Напряженно-деформированное состояние системы «основание – сооружение» при неоднородном промерзании: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – СПб., 2013. – 24 с.
10. Парамонов М.В. Исследование линейных и объемных деформаций морозного пучения в лабораторных условиях // *Вестник гражданских инженеров*. – 2012. – № 6 (35). – С. 84–86.
11. Ulitskii V.M., Shashkin A.G. Successful construction of high-speed motorways: the geotechnical constituent // *Transport of the Russian Federation*. – 2016. – № 2–3. – P. 36–39.
12. Парамонов В.Н., Набоков А.В. Особенности конечноэлементного моделирования деформаций морозного пучения и оттаивания грунтов // *Взаимодействие оснований и сооружений. Подземные сооружения и подпорные стены: междунар. конф. по геотехнике Технического комитета 207 ISSMGE*. – СПб., 2014. – Т. 2. – С. 65–69.
13. Kudruavtsev S.A., Valtseva T.Y. The use of geosynthetic materials in special engineering geological conditions of the Far East // *Proceeding 11th ICG – International Conference on Geosynthetics, 16–21 September*. – Seoul, Korea, 2018. – P. 321–326
14. Strengthening design for weak base using geomaterials on “Amur” automobile road section Internationa / S.A. Kudruavtsev, T.Y. Valtseva, A.V. Kazharsky, E.D. Goncharova // *Scientific Conference Energy Management of Municipal Transportation Facieties Transport EMMFT 2017. Advances in Intelligent Systems and Computing – Springer International Publishing AG, 2017*. – P. 145–153.
15. Geosynthetical materials in design of highways in cold regions Far East / S.A. Kudruavtsev, T.Y. Valtseva, E.D. Goncharova, Zh.I. Kotenko, A.V. Peters, S.A. Bugunov // *5th International Conference on Road and Rail Infrastructure, 17–19 May*. – Zadar, Croatia, 2018. – P. 233–240. DOI: <https://doi.org/10.5592/CO/CETRA2018.953>

## References

1. Kotov P.I., Roman L.T., Sakharov I.I., Paramonov V.N., Paramonov M.V. Vliyanie usloviy ottaivaniya i vida ispytaniy na deformatsionnyie harakteristiki ottaivayuschih gruntov [The effect of thawing conditions and the type of tests on the deformation characteristics of thawing soils]. *Osnovaniya i fundamenty, mehanika gruntov*, 2015, no. 5, pp. 8–13.
2. Abrashitov A., Sidrakov A. Laboratory study of ballast material reinforced by flat geogrid under the dynamic load, *MATEC Web of Conferences*, 2019, vol. 265, 01006. DOI: <https://doi.org/10.1051/matecconf/201926501006>

3. Ulitsky V., Sakharov I., Paramonov V. Thermal-physical calculations as a basis of design solutions of buildings and structures in the permafrost zone, *MATEC Web of Conferences*, 2019, vol. 265, 05009. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201926505009>

4. Sakharov I.I., Paramonov V.N., Paramonov M.V. Protsessyi promerzaniya i ottaivaniya pri ustroystve podzemnyih i zaglublennyih sooruzheniy [The processes of freezing and thawing in the device underground and buried structures]. *Zhilischnoe stroitelstvo*, 2009, no. 9, pp. 21–23.

5. Ershov E.D. Degradatsiya merzlotyi pri vozmozhnom globalnom poteplenii klimata [Permafrost degradation with possible global warming]. *Sorosovskiy obrazovatelnyiy zhurnal*, 1997, no. 2, pp. 23–27.

6. Pasek V.V. Teplovoe vozdeystvie gofirovannyih vodopropusknyih trub bolshogo diametra s vechnomerzlyimi gruntami tela i osnovaniy zempolotna zheleznyih i avtomobilnyih dorog [Thermal effect of corrugated large-diameter conduit pipes with permafrost soils of the body and bases of the railways and highways dredging]. *5-y Mezhdunarodnyiy simpozium po problemam inzhenernogo merzlotovedeniya*, Yakutsk, 2002, vol. 2, pp. 94–98.

7. Paramonov V.N. Metod konechnyih elementov pri reshenii nelineynyih zadach geotekhniki [The finite element method for solving non-linear geotechnical problems]. St. Petersburg, Georekonstruktsiya, 2012. – 262 p.

8. Ilichev V.A., Mangushev R.A. Spravochnik geotekhnika. Osnovaniya, fundamenty i podzemnyie sooruzheniya [Reference geotechnics. Basis, foundations and underground structures]. Moscow, Izdatelstvo ACB, 2014. – 728 p.

9. Paramonov M.V. Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie sistemy «osnovanie – sooruzhenie» pri neodnomernom promerzani [Stress-strain state of the system “foundation – structure” with non-one-dimensional freezing]. Abstract of Ph.D. thesis. St. Petersburg, 2013. – 24 p.

10. Paramonov M.V. Issledovanie lineynyih i ob'emnyih deformatsiy moroznogo pucheniya v laboratornyih usloviyah [Investigation of linear and volumetric deformations of frost heave in laboratory conditions]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*, 2012, no. 6 (35). pp. 84–86.

11. V.M. Ulitskii, A.G. Shashkin. Successful construction of high-speed motorways: the geotechnical constituent // *Transport of the Russian Federation*. – 2016. – No. 2–3. – P. 36–39.

12. Paramonov V.N., Nabokov A.V. Osobennosti konechnoelementnogo modelirovaniya deformatsiy moroznogo pucheniya i ottaivaniya gruntov [Features of finite element modeling of deformations of frost heaving and thawing of soils]. *Vzaimodeystvie osnovaniy i sooruzheniy. Podzemnyie sooruzheniya i podpornyie stenyi: Trudy Mezhdunarodnoy konferentsii po geotekhnike Tehnicheskogo Komiteta 207 ISSMGE*, St. Petersburg, 2014. vol. 2, pp. 65–69.

13. Kudruavtsev S.A., Valtseva T.Y. The use of geosynthetic materials in special engineering geological conditions of the Far East. *Proceeding 11th ICG – International Conference on Geosynthetics*, 16–21 September, Seoul, Korea, 2018, pp. 321–326.

14. Kudruavtsev S.A., Valtseva T.Y., Kazharsky A.V., Goncharova E.D. Strengthening design for weak base using geomaterials on “Amur” automobile road section International. *Scientific Conference Energy Management of Municipal Transportation Facicties Transport EMMFT 2017. Advances in Intelligent Systems and Computing*. Springer International Publishing AG, 2017, pp. 145–153. ISSN: 0038-0741.

15. Kudruavtsev S.A., Valtseva T.Y., Goncharova E.D., Kotenko Zh.I., Peters A.V., Bugunov S.A. Geosynthetical materials in design of highways in cold regions Far East. *5th International Conference on Road and Rail Infrastructure*, 17–19 May, Zadar, Croatia, 2018, pp. 233–240. DOI: <https://doi.org/10.5592/CO/CETRA2018.953>