

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2021, №2, Том 13 / 2021, No 2, Vol 13 <https://esj.today/issue-2-2021.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/46SAVN221.pdf>

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Лопашук В.В., Лопашук А.В., Ермолин В.Н., Казаринов А.Е. Исследование температурного режима земляного полотна автомобильной дороги Петропавловск-Камчатский – Мильково // Вестник Евразийской науки, 2021 №2, <https://esj.today/PDF/46SAVN221.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

**For citation:**

Lopashuk V.V., Lopashuk A.V., Ermolin V.N., Kazarinov A.Ye. (2021). Roadbed temperature regime research of Petropavlovsk-Kamchatsky – Milkovo highway. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 2(13). Available at: <https://esj.today/PDF/46SAVN221.pdf> (in Russian)

УДК 625.731

ГРНТИ 67.03.03

**Лопашук Виктор Владимирович**

ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет», Хабаровск, Россия  
Доцент кафедры «Автомобильные дороги»  
Кандидат технических наук, доцент  
E-mail: [VLopashuk@27PRO.ru](mailto:VLopashuk@27PRO.ru)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2005-6055>

**Лопашук Андрей Викторович**

ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет», Хабаровск, Россия  
Доцент кафедры «Автомобильные дороги»  
Кандидат технических наук, доцент  
E-mail: [ALopashuk@27PRO.ru](mailto:ALopashuk@27PRO.ru)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7823-3889>

**Ермолин Вячеслав Николаевич**

ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет», Хабаровск, Россия  
Аспирант группы АД(а)з-81, направление 08.06.01 «Техника и технологии строительства»  
E-mail: [Ermolin@27PRO.ru](mailto:Ermolin@27PRO.ru)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3715-5607>

**Казаринов Андрей Егорович**

ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет», Хабаровск, Россия  
Доцент кафедры «Автомобильные дороги»  
Кандидат технических наук, доцент  
E-mail: [dwestok1@mail.ru](mailto:dwestok1@mail.ru)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9304-9150>

**Исследование температурного режима  
земляного полотна автомобильной дороги  
Петропавловск-Камчатский – Мильково**

**Аннотация.** По заданию КГКУ «Управление автомобильных дорог Камчатского края» ФГБОУ ВО «ТОГУ» выполнял научно-исследовательскую работу по обследованию дорожных конструкций на предмет недопущения образования трещин в асфальтобетонных покрытиях вновь построенных и реконструируемых участках автомобильных дорог.

Как показала практика строительства и эксплуатации автомобильной дороги Петропавловск-Камчатский – Мильково по окончании строительства, после первого зимнего

периода на поверхности покрытия появляются продольные трещины. Появление трещин, безусловно связано с особенностями водно-теплого режима дорожной конструкции. Настоящая статья и посвящена исследованию температурного режима грунта земляного полотна автомобильной дороги Петропавловск-Камчатский – Мильково.

Для обследования конструкций земляного полотна и дорожной одежды было выбрана два участка реконструкции: км 231 – км 249 и км 249 – км 260. На первом участке в конструкции дорожной одежды на границе с грунтом земляного полотна уложен слой утеплителя из пенополистирола толщиной 5 см, а на втором участке для осушения земляного полотна использовали нетканый синтетический материал «дорнит».

Программой исследования предусматривалось наблюдение за температурой грунта земляного полотна как под проезжей частью, так и на откосах насыпи.

В рассматриваемой статье описаны методика изготовления и тарировки термометрических датчиков, технология обустройства участков наблюдений за температурным режимом, приведены результаты наблюдений. Авторы описывают методологию обработки полученных данных и анализируют результаты выполненных исследований. Полученные экспериментальные данные будут использованы при моделировании плоского напряженно-деформированного состояния дорожной конструкции на предмет образования трещин при промерзании земляного полотна, используя реальные данные наблюдений за режимом промерзания.

**Ключевые слова:** терморезистор; термометрическая скважина; земляное полотно; проезжая часть; глубина промерзания; скорость промерзания; водно-тепловой режим

## Введение

ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет» согласно государственного контракта №63 от 30.10.2019 г. выполнял научно-исследовательскую работу по специальному обследованию конструкции дорожной одежды и земляного полотна на автомобильных дорогах Камчатского края с целью недопущения трещинообразования в них после ввода в эксплуатацию по окончании строительства и реконструкции. Как показала практика, после ввода участков автомобильной дороги в эксплуатацию, в зимне-весенний период на поверхности покрытия образовывались продольные трещины. Целью государственного контракта явилось исследование причин образования трещин в конструкции дорожной одежды на вновь построенных участках автомобильной дороги Петропавловск-Камчатский – Мильково с разработкой рекомендаций о последующем недопущении указанных разрушений конструкции.

Для организации наблюдений за поведением участков автомобильной дороги был изучен опыт подобных исследований и наблюдений [1; 2]. Следует отметить, что наибольший интерес у исследователей вызывают поведение дорожных конструкций в условиях распространения многолетнемерзлых горных пород [3], влияние на закономерности промерзания и оттаивания конструкций дорожных одежд и земляного полотна различных утеплителей [4], теплоизоляторов и прочих конструктивных решений [5], изменяющих теплофизические характеристики дорожной конструкции.

Программой работ по специальному обследованию конструкции дорожной одежды на реконструированных участках автомобильной дороги Петропавловск-Камчатский – Мильково предусмотрена организация наблюдений за температурным режимом грунта земляного полотна. Температуру земляного полотна следовало измерять на различной глубине от поверхности под проезжей частью, на обочинах, на откосах земляного полотна и в кювете.

В настоящее время для организации температурных наблюдений в грунтах используют так называемые специально оборудованные термометрические скважины [6], предназначенные для измерения температуры грунта гирляндой температурных датчиков.

В скважину помещается обсадная труба. Полость между трубой и стенками скважины засыпается грунтом. Для обеспечения герметичности трубы, сверху она закрывается крышкой с болтовой затяжкой. Теплоизоляция от атмосферных влияний обеспечивается установкой теплоизолированного короба.

При выполнении наблюдений в обсадную трубу помещается, термометрическая коса: сборка датчиков температуры, закрепленных на несущем шнуре в соответствии с глубиной размещения точек измерения.

В настоящее время на рынке лабораторного оборудования можно найти много информации о производителях и поставщиках оборудования для термических наблюдений в скважинах. В современной комплектации термокосы являются программно-техническими комплексами [7]. В состав входят: термокоса с утяжелителем на нижнем конце, крышка-заглушка для термометрической трубки и разъём на нижнем конце для подключения логгера и регистратора; регистратор для считывания показаний термодатчиков; логгер – накопитель информации при автономном снятии показаний с заданной периодичностью.

Температуру в земляном полотне следовало измерять непосредственно под проезжей частью. Поэтому кабель термокос должен быть уложен в асфальтобетонное покрытие. Кабель термокос будет подвержен воздействию как климатических факторов, так и нагрузок от проезжаемого автомобильного транспорта. В этой связи нельзя было использовать классические термометрические косы, помещенные в обсадные трубы с обеспечением периодического доступа к обсадной трубе. Было принято решение изготавливать термокосы собственными силами с повышенной надежностью их конструкции. Косы следовало опускать в пробуренные скважины без обсадных труб, а «хвосты» термокос выносить на обочину дороги с оборудованием пункта наблюдений [8].

## Методы

Исследование и оценка особенностей температурного режима грунтов земляного полотна проводится с целью изучения поведения дорожных конструкций в процессе сезонного промерзания и оттаивания [9], влияние процессов, протекающих в земляном полотне на напряженно-деформированное состояние земляного полотна и фундаменты транспортных сооружений [10; 11]. При промерзании грунтов происходит перераспределение влаги в промерзающей слое [12], вызывающее морозное пучение грунтов основания, и как следствие – деформации дорожных конструкций [13], вызывающие появление на поверхности дорожного покрытия трещин [14] и разрушений [15].

Современные методы изучения температурного режима промерзающих грунтов основаны как на натурных наблюдениях [16], так и на моделировании процесса промерзания дорожных конструкций [17]. Учитывая специфические, мало изученные свойства пепловых грунтов Камчатки, принято решение о проведении натурных наблюдений за температурным режимом грунтов в процессе их промерзания и оттаивания. Изучив методы исследования температурного режима грунтов, для выполнения поставленной задачи исследования было принято решение использовать терморезисторы [18]. Терморезистор – полупроводниковый элемент с меняющимся электрическим сопротивлением в зависимости от изменения температуры.

В процессе производства полупроводнику придается разная форма. В продаже можно найти терморезисторы в виде тонких трубок, крупных шайб, тонких пластинок или небольших круглых элементов. Некоторые детали имеют габариты, исчисляемые несколькими микрометрами.

Для изготовления термодатчиков были использованы терморезисторы MF52-A1-103F4300 – 100 кОм. Серия – MF52: резисторы с отрицательным коэффициентом сопротивления, т. е. при увеличении температуры окружающей среды сопротивление термистора уменьшается, имеют форму бусинки и покрыты эпоксидной смолой; луженые медные выводы – (A); номинальное сопротивление 10 кОм – (103); допуск  $\pm 1\%$  – (F); коэффициент В – 4300.

Для повышения надежности термодатчиков было принято решение использовать по два терморезистора на одном датчике.

Терморезисторы по 2 штуки закрепляли на металлической пластине, к которой выполняли пайку двух пар проводов. Для обеспечения свободного провисания проводов в месте пайки, подводящие провода жестко крепили к пластине с применением стяжки и самореза. Для обеспечения защиты датчиков от воздействия атмосферы термодатчики заливали специальным термоклеем (рис. 1).



*Рисунок 1. Крепление терморезисторов и проводов к металлической пластине (слева). Защита терморезисторов термоклеем и крепление к проводам (справа) (фото автора)*

Изготовленные таким образом термодатчики связывали пластиковыми хомутами в так называемые термокосы. Шаг расположения датчиков в термокосе был принят 0,5 метра. Длина участка термометрической косы с расположенными на ней датчиками составила 5 метров. Термодатчики расположены от первого датчика (нижнего конца термокосы) на расстоянии: 0.5 м; 1.0 м; 1.5 м; 2.0 м; 2.5 м; 3.0 м; 3.5 м; 4.0 м; 4.5 м; 5.0 м. Общее число датчиков на косе – 10 штук, а каждый датчик фиксируют показание от 2-х терморезисторов.

Термокосы необходимо опускать в скважины и засыпать песком, а концы кос выводить на откосную часть дороги. В поперечном профиле в общем виде будет расположено три скважины: одна по оси дороги и две на обочинах. Поэтому были изготовлены 2 группы термокос: 1-я с длиной хвостовой части – 4 м; 2-я с длиной хвостовой части 6 м. Первая группа термокос предназначена для опускания в скважину на обочинах дороги, вторая – для скважины по оси дороги.

Использование металлических пластин обеспечит полный контакт датчиков (пластин) с грунтом и, как следствие, хорошую теплопередачу и качественное измерение температуры.

Для фиксации изменений сопротивления терморезисторов концы проводов были помещены в герметичный бокс с пакетом клемм (рис. 2). К клеммам присоединили концы проводов, сами клеммы пронумеровали, а информацию о порядке подсоединения концов проводов вывели на информационную таблицу, помещенную на внутренней крышке бокса. На информационной таблице указаны номера клемм и соответствующие им расположение термодатчиков, начиная от нижнего датчика.



**Рисунок 2.** Общий вид термометрической косы с выводом проводов в специальный герметичный бокс (слева). Информационная таблица для фиксации отчетов (справа) (фото автора)

Измерение температуры с применением терморезисторов предполагает использование установленной связи между температурой и электрическим сопротивлением терморезистора, что предполагает выполнение тарировки термометрических кос.

Тарировка термометрических кос была произведена в лабораторных условиях в следующей последовательности:

1. Был определен температурный диапазон, в котором предполагается работа термометрической косы. В нашем случае, учитывая региональные особенности и исключая вероятность сезонных аномалий, был принят температурный диапазон  $-25\text{ }^{\circ}\text{C} \dots +15\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
2. В морозильную камеру были помещены подготовленные термометрические косы, а на приборной панели был установлен заданный температурный режим. После достижения и стабилизации температуры в морозильной камере на каждом

целом градусе происходил подтверждающий звуковой сигнал с выдержкой по времени в 70 минут.

3. В период стабилизации температуры проводили измерения электрического сопротивления каждого датчика (на заданных глубинах) с их фиксацией на специальном бланке по утвержденной форме.
4. Процедуру по измерению сопротивления выполнялась для температурного диапазона  $-25\text{ }^{\circ}\text{C} \dots +15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , соответствующего принятому температурному диапазону, с шагом  $1 \dots 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Сопротивление терморезистора (термодатчика) составляет 100 кОм, а сопротивление кабеля длиной 11 метров до 10 Ом. Таким образом, сопротивление кабеля составляет не более 0.01 % от сопротивления термодатчика. Несмотря на это было принято решение выполнить тарировку уже изготовленных термометрических кос с учетом возможного влияния на сопротивление уже готовой конструкции косы. Фрагмент результатов тарированных измерений представлен в табл. 1.

**Таблица 1**

**Результаты измерений электрического сопротивления термодатчика №6м5с**

№ измерения	Температура, °С	Сопротивление, КОм	№ измерения	Температура, °С	Сопротивление, КОм
1	-25	177.7	12	-5	52.5
2	-22	151.5	13	-3	46.0
3	-20	138.5	14	-1	40.9
4	-19	127.9	15	1	33.9
5	-17	113.7	16	3	27.0
6	-15	94.7	17	5	25.1
7	-14	90.3	18	7	22.2
8	-12	81.8	19	9	20.8
9	-10	72.6	20	10	18.8
10	-8	68.4	21	15	17.0
11	-6	58.8			

Определять температуру в грунте земляного полотна по измеренным электросопротивлениям, используя тарировочные таблицы, – громоздко. Поэтому было принято решение аппроксимировать полученные табличные формы.

Сопротивление терморезистора нелинейно зависит от температуры. Для изготовленных термодатчиков, в первом приближении, можно воспользоваться «паспортной зависимостью», так называемым В-параметром:

$$B = \frac{\ln(R_{25}) - \ln(R)}{\frac{1}{T_{25}} - \frac{1}{T}}, \quad (1)$$

где: В – паспортное значение параметра, равное 4300;  $T_{25}$  – температура 25 °С, выраженная в кельвинах ( $25 + 273 = 298$ );  $R_{25}$  – паспортное сопротивление при температуре 25 °С (10000 Ом); R – сопротивление (Ом) при температуре T (кельвин).

Выразим температуру из выражения (1), получим:

$$t = \frac{1}{\frac{1}{T_{25}} - \frac{\ln(R_{25}) - \ln(R)}{B}} - 273 = \frac{1}{\frac{1}{298} - \frac{\ln(10000) - \ln(R)}{4300}} - 273 \quad (2)$$

где t – температура термодатчика, °С; R – электрическое сопротивление, Ом.

Полученная зависимость температуры от сопротивления имеет погрешность, связанную как с допусками в самих терморезисторах, так и с влиянием на сопротивление конструкции самой термокожуха. Поэтому было предложено уточнить паспортное значение В-параметра и паспортное значение  $R_{25}$  в уравнении (1) методом наименьших квадратов.

В этом случае подбираемая функция должна быть приведена к линейному виду:

$$Y = aX + b \quad (3)$$

Перед нахождением коэффициентов  $a$  и  $b$  методом наименьших квадратов произведем следующую замену переменных в уравнении (2):

$$Y = \frac{I}{t + 273}; X = \ln(R); a = \frac{I}{B}; b = \frac{I}{T_{25}} - \frac{\ln(R_{25})}{B}; \quad (4)$$

В результате обработки тарированных данных по всем термодатчикам были найдены эмпирические коэффициенты  $a = 0.000220648$  и  $b = 0.00135066$ , которые позволили уточнить паспортные значения постоянных партии терморезисторов:

$$B_{ym} = \frac{I}{a} = 4532; \ln_{ym}(R_{25}) = \frac{B_{ym}}{T_{25}} - bB_{ym} = 9.0871 = \ln(8841); \quad (5)$$

С учетом вышеизложенного уточненное выражение 2 примет следующий вид:

$$t_{ym} = \frac{I}{\frac{I}{298} - \frac{\ln(8841) - \ln(R)}{4532}} - 273 \quad (6)$$

Для анализа результатов подбора эмпирических формул с целью установления зависимости между температурой и электрическим сопротивлением датчика были построены тарировочные графики с паспортными и уточненными значениями В-параметра (рис. 3). Из рисунка видно, что наилучшее сближение с экспериментальными данными имеет график, построенный по уточненным значениям В-параметра.

Наряду с подбором эмпирических формул, графики которых схожи с графиком В-параметрической формулы, также были исследованы и другие эмпирические зависимости. В частности логарифмические (рис. 4), которые также дали неплохие результаты аппроксимации.

**Таблица 2**

**Анализ результатов аппроксимации**

№п/п	Расчетная формула	Коэффициенты		Коэффициент парной корреляции	Остаточная дисперсия
		a	b		
1	$y=a*x+b$	-0.023156715	9.7480045	-0.950585991	12.57044858
2	$y=a*\ln(x)+b$	<b>-15.68719772</b>	<b>92.4952734</b>	<b>-0.994785167</b>	<b>1.356663449</b>
3	$1/y=a*\ln(x)+b$ В-параметр	0.000220648	0.00135066	0.994554332	1.499956308
4	$1/y=a*\ln(x)+b$ $B_{yt}$ -параметр	0.000232558	0.00121377	0.994554332	2.310333957

Для принятия окончательного решения по выбору эмпирической формулы, устанавливающей зависимость между температурой и сопротивлением терморезистора, был выполнен сравнительный анализ результатов аппроксимации (табл. 2). В качестве критерия были выбраны:

1. Коэффициент парной корреляции:

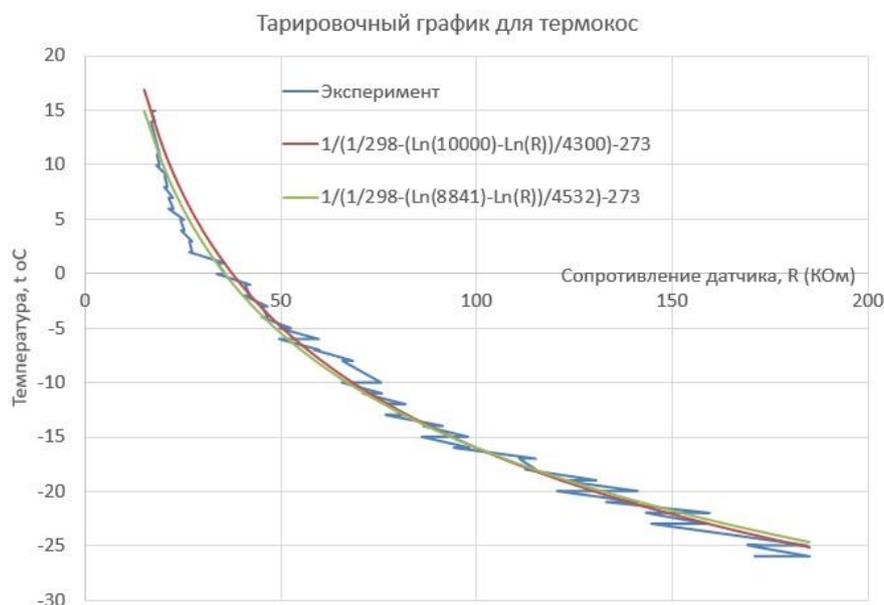
$$r = \pm \frac{N \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{N \sum x^2 - (\sum x)^2} \sqrt{N \sum y^2 - (\sum y)^2}} \quad (7)$$

2. Остаточная дисперсия:

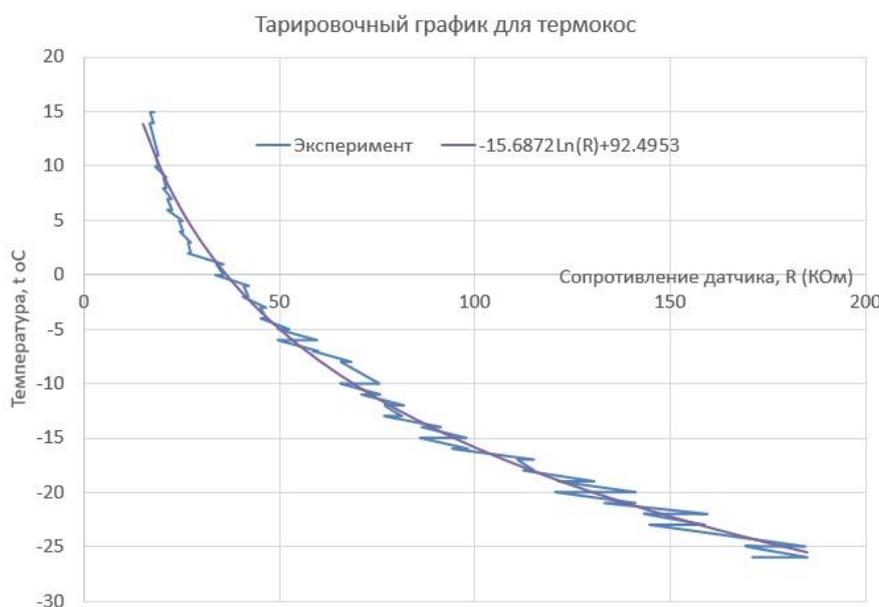
$$D = \sum (y - y_{\text{теор}})^2 \quad (8)$$

В результате проведенных исследований установлено, что логарифмическая зависимость температуры термистора от его сопротивления наилучшим образом описывает имеющуюся эмпирическую связь.

Для последующей обработки результатов наблюдений были получены и использованы эмпирические коэффициенты логарифмической зависимости для каждого температурного датчика. Пример тарировочного графика для термодатчика №6м5с приведен на рис. 5.



**Рисунок 3.** Эмпирические зависимости температуры от сопротивления резистора по паспортным данным резисторов и уточнённым значениям В-параметра (составлено автором)



**Рисунок 4.** Эмпирические зависимости температуры от сопротивления резистора, описанные логарифмической зависимостью (составлено автором)

Установка термометрического оборудования на проезжей части производилось таким образом, чтобы обеспечить целостность конструкции асфальтобетонного покрытия и максимально сохранить часть термометрической косы проложенной под дорожной конструкцией.

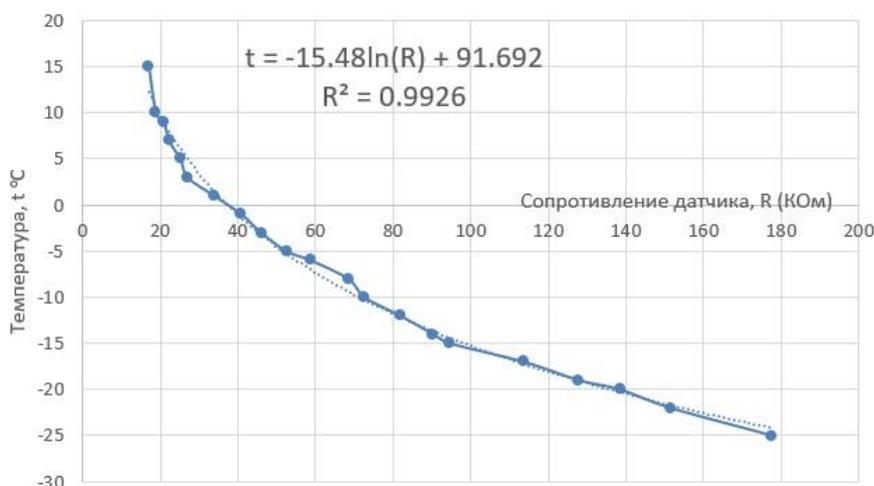


Рисунок 5. Тарировочный график термодатчика №бм5с (составлено автором)

Таблица 3

Расположение термометрических кос в буровых скважинах

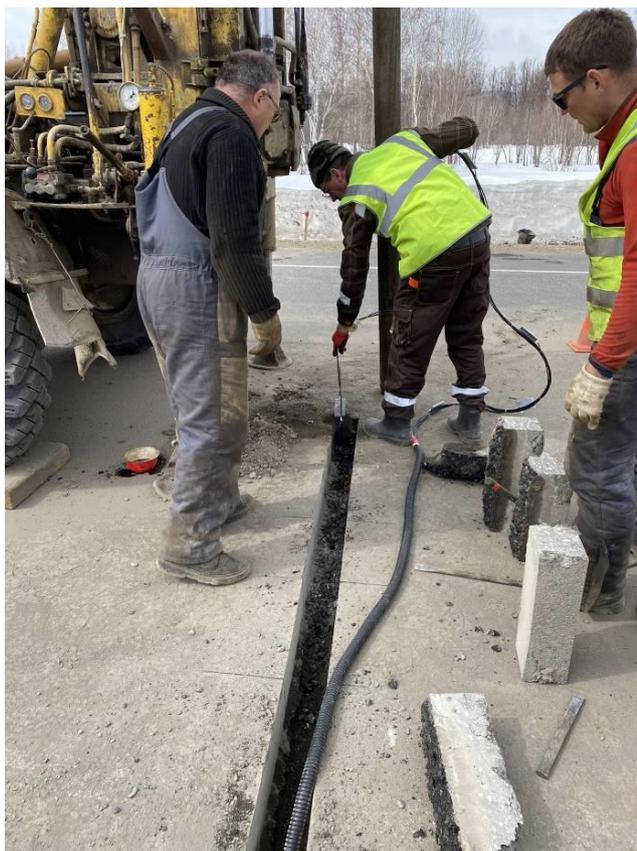
Номер скважины	Номер термокосы	Привязка к существующему километражу	Наличие термокосы	Глубина скважины
1	№1	км 237+950 вправо от оси 5,30 м	Есть	6,3 м
2	№2	км 237+950 вправо от оси 4,20 м	Есть	5,6 м
3	№3	км 237+950 вправо от оси 1,00 м	Есть	6,5 м
4	№4	км 250+000 вправо от оси 5,64 м	Есть	5,0 м
5	№5	км 250+000 влево от оси 5,90 м	Есть	6,0 м
6	№6	км 250+000 влево от оси 1,30 м	Есть	5,5 м
7	-	км 254+230 вправо от оси 4,95 м	Нет	5,0 м
8	-	км 254+230 влево от оси 6,35 м	Нет	5,0 м
9	№7	км 256+620 вправо от оси 5,20 м	Есть	5,2 м
10	№8	км 256+620 влево от оси 4,65 м	Есть	5,0 м
11	№9	км 256+630 вправо от оси 4,80 м	Есть	5,0 м
12	№10	км 256+685 влево от оси 4,80 м	Есть	5,0 м
13	-	км 257+520 влево от оси 4,90 м	Нет	5,5 м

Для этого от устья скважины до обочины в асфальтобетонном покрытии нарезали штробу механизированными дорожными фрезами на всю толщину покрытия (рис. 6). Далее производили укладку «хвоста» термометрической косы в покрытие, а другая часть косы с утяжелителем на конце погружалась в буровую скважину (рис. 7). После прокладки кабелей косы производили обратную засыпку термометрической скважины сыпучим грунтом, а распилованный асфальт помещали обратно в штробу и промазывали битумной мастикой для предотвращения попадания влаги в конструкцию дорожной одежды (рис. 8).

Для сохранения целостности термометрических кос герметичные ящики были выведены в откосную часть земляного полотна (рис. 9). Напротив, каждого ящика была выставлена опознавательная веха. Для исключения поломки ящика при наезде автомобильным транспортом, герметичные ящики были погружены в шурфы глубиной до 0,5 м.



*Рисунок 6. Бурение скважины (слева).  
Подготовка штрыбы в покрытии (справа) (фото автора)*



*Рисунок 7. Процесс погружение термометрической косы в скважину №6 (фото автора)*



*Рисунок 8. Засыпка скважины сыпучим грунтом (слева). Заделка штробы распилованным асфальтом с промазкой битумной мастикой (справа) (фото автора)*



*Рисунок 9. Установка герметичного ящика в откосную часть земляного полотна (слева). Измерение сопротивления термодатчиков (справа) (фото автора)*

Для измерения температурного поля в откосной части насыпи термокосы были уложены в шурфы, выкопанные с помощью экскаватора. Участок для укладки термокос в шурфы приняли на км 250+00 автомобильной дороги. Было выкопано параллельно четыре шурфа глубиной 0,5 м, 1,0 м, 1,5 м и 2,0 м от поверхности откоса земляного полотна. После промера глубины шурфа, в него помещали и растягивали термокосы нижним концом вниз по откосу

(рис. 10), выносили измерительный герметичный ящик на откос к бровке земляного полотна, осуществляли присыпку косы грунтом и обратную засыпку шурфа экскаватором с бульдозерным отвалом. По окончании работ осуществили маркировку мест расположения термокос надписью на покрытии автомобильной дороги (рис. 11). Для исследования температурного режима основания насыпи у ее подошвы, в кювете, был выкопан шурф глубиной 1,5 м, в который, вертикально поместили термокосу, установив шаг термодатчиков 0,25 м.



*Рисунок 10. Укладка термометрической косы в шурф на глубину 0,5 м (слева) и на глубину 2,0 м (справа) (фото автора)*



*Рисунок 11. Присыпка косы грунтом, обратная засыпка шурфа (слева). Маркировка шурфов с термокосами (справа) (фото автора)*

### Обсуждение

Наблюдение за температурой грунтов земляного полотна осуществлялось путем периодического измерения электрического сопротивления термодатчиков. Для этого специалист выезжал на место установки термокос, откапывал герметический бокс и цифровым измерителем сопротивления, используемым при тарировке термокос, выполнял измерения. Результаты измерений заносились в специальный бланк с указанием даты и времени измерений, температуры наружного воздуха, фамилии специалиста, осуществляющего замеры, номера терморезистора и глубины его расположения в косе. Как было указано выше, для изготовления одного термодатчика было использовано два терморезистора, что позволяло определять на одной глубине два параллельных показания температуры. Для последующего анализа в качестве измеренного значения температуры принимали среднее значение из двух показаний. Общее число измерений на одной термокосе составляло 20. Как показала практика, установка двух терморезисторов на одном термодатчике не была лишней. В процессе эксперимента три терморезистора вышло из строя.

Обработка результатов измерений температуры предусматривала построение графиков изменения температуры в земляном полотне по глубине и по времени (рис. 12). Как видно из примера представленного графика по скважине №4 имеют место следующие закономерности:

- Чем ближе термодатчик расположен к поверхности покрытия или откоса земляного полотна, тем больше на его показания (и соответственно температуру в этом слое грунта) оказывает влияние температура окружающей среды. Колебание температуры воздуха с некоторым запозданием повторяется в колебаниях в верхней части земляного полотна. Это подтверждается пилообразным профилем показания датчика на глубине 0,5 м.
- Следует отметить значительную амплитуду колебания температуры в верхней части грунта земляного полотна в июле и январе месяце. Именно в эти периоды года, в районе нахождения опытных участков, наблюдается и значительное колебание температуры окружающей среды.
- Чем глубже от поверхности располагается слой грунта земляного полотна, тем температура в нем более стабильная, график изменения температуры плавный.

Для визуализации процесса промерзания грунта земляного полотна следует иметь картину промерзания в плоской постановке, позволяющей наглядно оценить ход промерзания и оттаивания всей конструкции земляного полотна. Такая визуализация позволит качественно отследить эпюру промерзания в земляном полотне и использовать ее для последующих расчетов величины морозного пучения и плоского напряженно-деформированного состояния дорожной конструкции.

Для построения изолиний температурного поля в земляном полотне был предложен и реализован следующий алгоритм:

- Используя инструментальную съемку, была получена координатная модель поперечного профиля автомобильной дороги на км 250+00 в условной системе координат (X, Y).
- Зная линейную привязку всех термокос на км 250+00, были определены координаты каждого термометрического датчика в системе координат проекта ( $x_i$ ,  $y_i$ ). На рассматриваемом участке трассы расположено три косы в буровых скважинах №3, 4 и 5 (табл. 1), четыре косы в штуфах откосной части земляного полотна и одна коса в кювете.

- Рассматривая координатную модель поперечного профиля и нанеся на нее термодатчики (рис. 13) имеется возможность построить температурные поля, получение по результатам непосредственных измерений температуры. Для этого показания температурного датчика следует интерпретировать как отметку при построении рельефа местности в горизонталях.
- Для построения изолиний температурного поля по предложенному алгоритму был использован программный комплекс TopomaticRobur.

Реализация предложенного алгоритма визуализации процесса промерзания и оттаивания грунта земляного полотна на 16.01.2021 представлена на рис. 14–17.

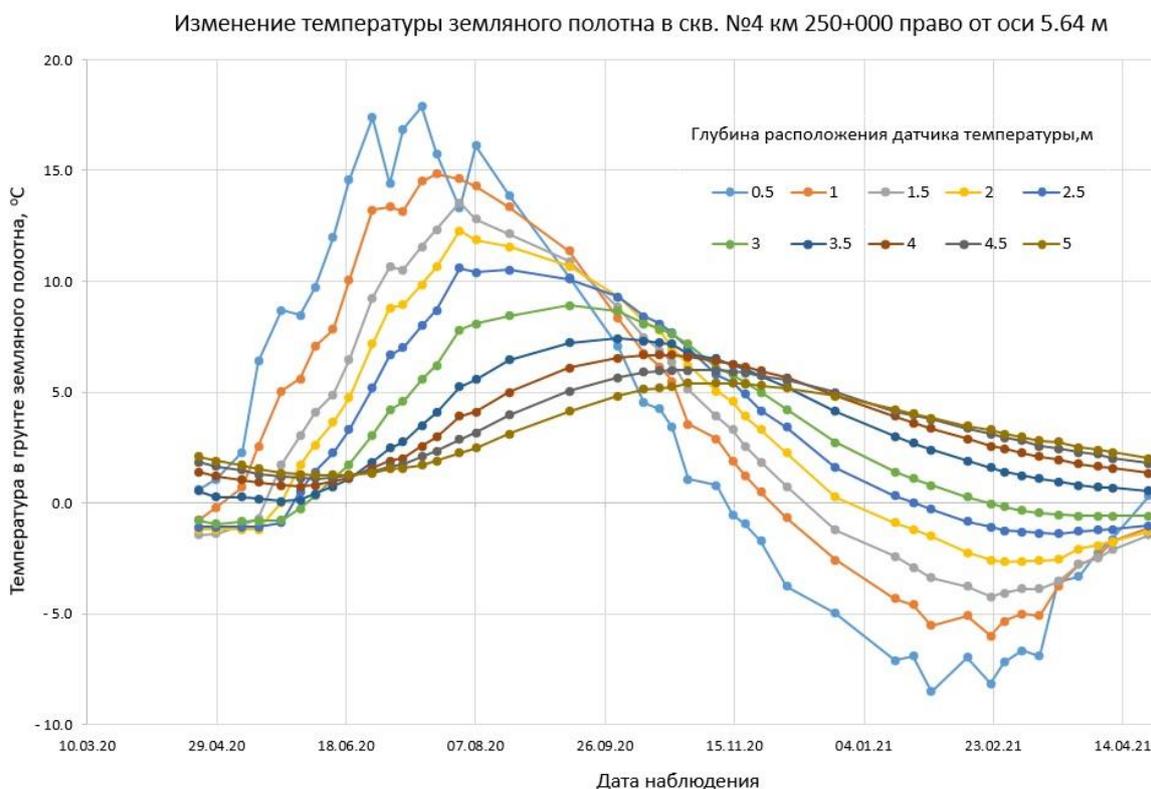
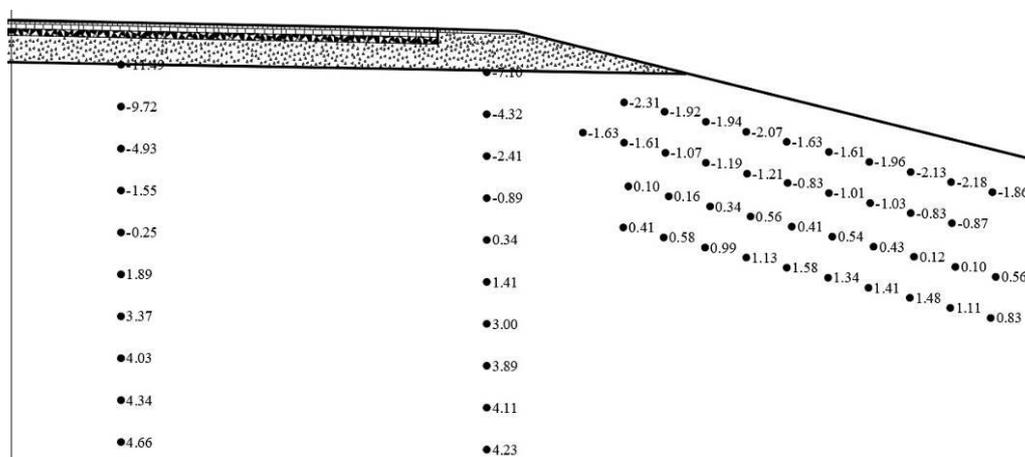
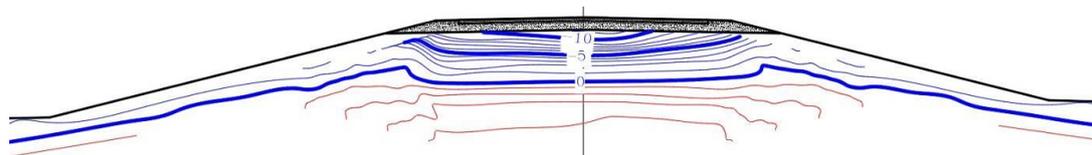
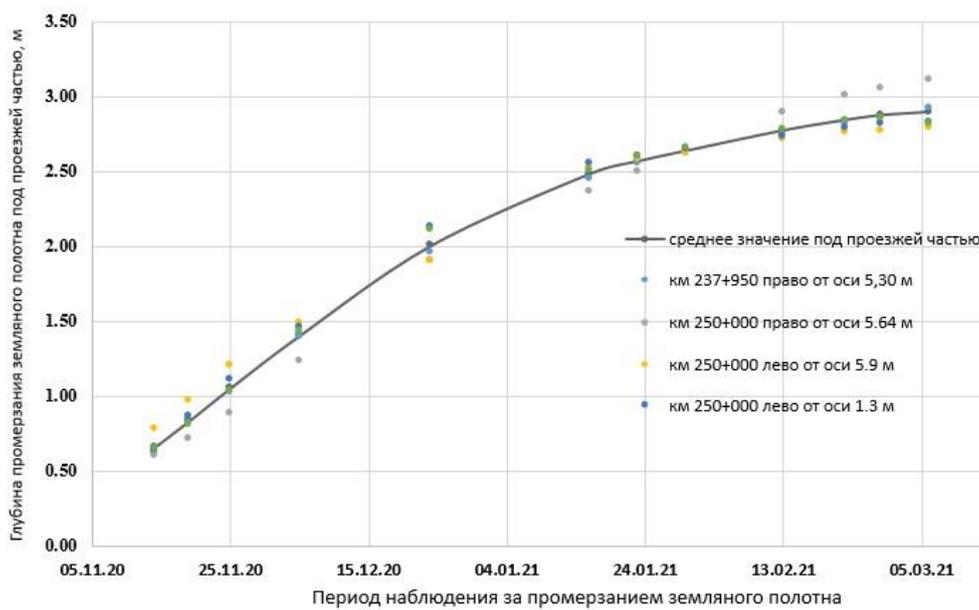


Рисунок 12. Результат измерения температуры в скважине №4 (составлено автором)

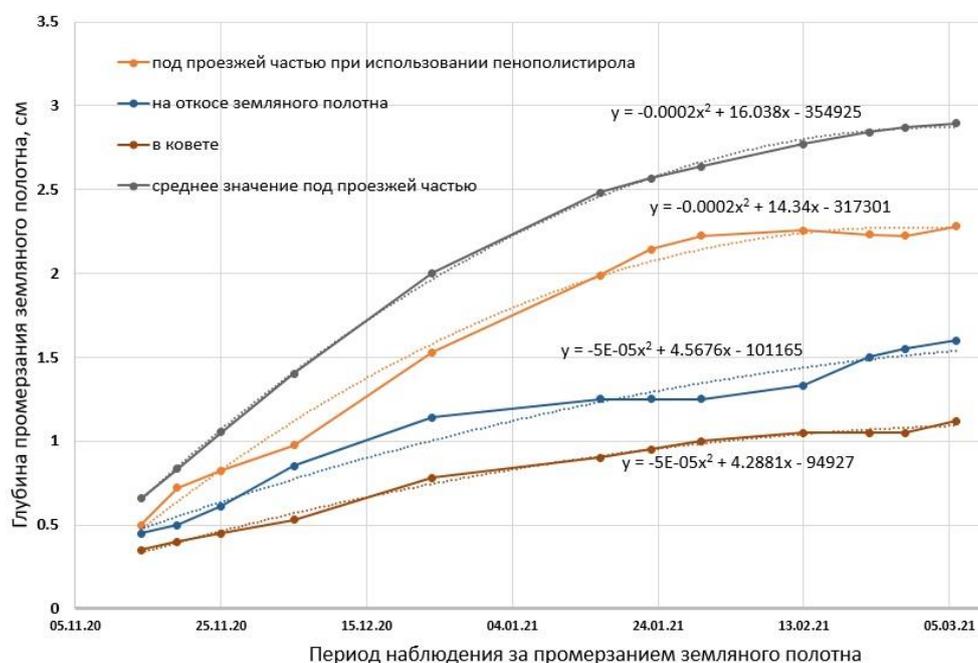




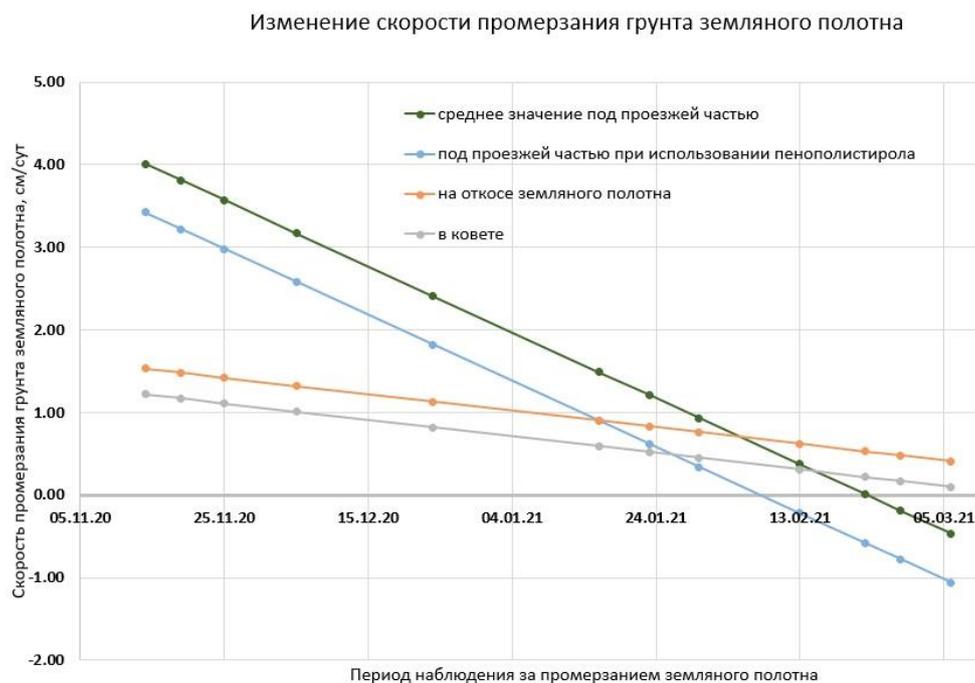
**Рисунок 14.** Температурное поле на 16.01.21, км 250+00 автомобильной дороги Петропавловск-Камчатский – Мильково (составлено автором)  
Изменение глубины промерзания под проезжей частью



**Рисунок 15.** Результат измерения глубины промерзания земляного полотна под проезжей частью (составлено автором)  
Изменение глубины промерзания земляного полотна



**Рисунок 16.** Глубина промерзания под различными элементами земляного полотна (составлено автором)



*Рисунок 17. Скорость промерзания земляного полотна (составлено автором)*

### Выводы

По результатам проведенных исследований были определены и числовые характеристики режима промерзания земляного полотна и дорожной конструкции исследуемого участка автомобильной дороги с применением статистических методов [19].

Наиболее важной является оценка глубины и скорости промерзания. При применении стандартной дорожной конструкции промерзание под проезжей частью составило в среднем 2,9 м (рис. 15), а максимальная скорость промерзания 4 см/сут. имела место в начале зимы и вплоть до января месяца скорость промерзания составляла не менее 2 см/сут.

При применении в дорожной конструкции слоя пенополистирола толщиной 5 см на границе с грунтом земляного полотна максимальная глубина промерзания покрытия под проезжей частью составила 2,25 м (рис. 16), а скорость промерзания в начале зимы не превышала 3,5 см/сут. и до середины декабря месяца составляла не менее 2 см/сут. (рис. 17).

Промерзание на откосах земляного полотна, вследствие значительной толщины снегового покрова, составила около 1,5 м, а скорость промерзания около 1 см/сут.

Промерзания основания насыпи в кювете составило около 1 м, при скорости менее 1 см/сут.

При промерзании земляного полотна в результате морозного пучения происходит изменение напряженно-деформированного состояния дорожной конструкции [20]. Полученные числовые характеристики режима промерзания земляного полотна и дорожной конструкции будут использованы при расчете напряженно-деформированного состояния на предмет образования продольных трещин на поверхности дорожного покрытия.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Hashemyan L., Bayat A. (2016) Three-year monitoring of the automated test road IRRF. In: Aguiar-Moya J., Vargas-Nordkbeck A., Leyva-Villacorta F., Loria-Salazar L. (eds.) The role of accelerated pavement testing in ensuring pavement stability. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-42797-3\\_54](https://doi.org/10.1007/978-3-319-42797-3_54).
2. Naghi N.T., Hashemian L., Bayat A. Effects of seasonal variation on the load-bearing capacity of pavements composed of insulation layers. *Transportation Research Record*. 2016. No. 2579. Pp. 87–95.
3. Xu J., Niu F.-J., Niu Y.-H., Lin Z.-J., Xu Z.-Y. The design parameters of roadbed with insulation in seasonal frozen ground. *Journal of Civil, Architectural and Environmental Engineering*. No. 31(3). Pp. 83–89.
4. Liu G., Zhang B. Experimental study on the thermal conductivity of light soil mixed with EPS particles. *Fifth Asian Regional Conference on Geosynthetics: Geosynthetics for Sustainable Adaptation to Climate Change*. 2012. Pp. 463–466.
5. Edgar T., Potter C., Mathis R. Frost Heave Mitigation Using Polymer Injection and Frost Depth Prediction. *Proceedings of the International Conference on Cold Regions Engineering*. 2015. Pp. 416–427.
6. Пугач, В.Н. Опыт применения и новые разработки систем мониторинга температуры вечномёрзлых грунтов производства АО "НПП "эталон" / В.Н. Пугач, С.В. Бойцов // Автоматизация и ИТ в нефтегазовой области. – 2019. – №1(35). – С. 34–40.
7. Цыганков, В.Д. Применение автоматизированных систем измерений температур (логгеров), для мониторинга состояния грунта земляного полотна на многолетнемерзлых грунтах. / В.Д. Цыганков, Г.В. Бойкачева // Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути. Труды XIII Международной научно-технической конференции. Чтения, посвященные памяти профессора Г.М. Шахунянца. – 2016. С. 49–53.
8. Лопашук, В.В. Устройство термометрических скважин для наблюдения за температурным режимом грунта земляного полотна. / В.В. Лопашук, А.В. Лопашук, В.Н. Ермолин, М.В. Черевко // Дальний Восток. Автомобильные дороги и безопасность движения: международный сборник научных трудов / – Хабаровск: Издательство ТОГУ, 2020. – №20. с. 49–53.
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. Пермикин, А.С. Анализ напряжённо-деформированного состояния фундаментов дорожно-транспортных сооружений на сезоннопромерзающих грунтах. / А.С. Пермикин, И.Г. Овчинников, А.И. Грицук // Транспортные сооружения. 2020. Т. 7. №4. С. 1.
11. Краев, А.Н. Моделирование деформированного состояния земляного полотна автомобильной дороги на многолетнемерзлых грунтах / А.Н. Краев, З.Ш. Шанхоев // Транспортные сооружения, 2019 №1.
12. Агутин К.А. Морозное пучение горных пород. // Природопользование. 2008. №14. С. 193–196.

13. Стоянович, Г.М. Оценка состояния и определение прочности взлетно-посадочных полос аэродромов. / Г.М. Стоянович, Н.И. Горшков, В.В. Пупатенко // Особенности проектирования и строительства железных дорог в условиях Дальнего Востока. Межвузовский сборник научных трудов. – Хабаровск, 2009. С. 160–181.
14. Горшков, Н.И. Исследование причин возникновения продольных трещин в асфальтобетонном покрытии автомобильной дороги. / Н.И. Горшков, М.А. Краснов, А.В. Лопашук // Дальний Восток. Автомобильные дороги и безопасность движения. Международный сборник научных трудов. под ред. А.И. Ярмолинского. – Хабаровск, 2015. С. 42–58.
15. Шапран, В.В. Факторы, оказывающее влияние на развитие продольных профильных деформаций земляного полотна в криолитозоне. / В.В. Шапран, З.Т. Фазилова // Мир транспорта. 2020. Т. 18. №2 (87). С. 82–101.
16. Телтаев, Б.Б. Сравнительный анализ температуры в дорожных конструкциях в разных регионах Казахстана. / Б.Б. Телтаев, К.А. Айтбаев, Е.А. Суппес // Вестник Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им. Н. Исанова. 2016. №1 (51). С. 124–130.
17. 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.
18. Лопашук, А.В. Использование терморезисторов для исследования температурного режима грунта земляного полотна. / А.В. Лопашук, В.В. Лопашук, В.Н. Ермолин, М.В. Черевко // Дальний Восток. Автомобильные дороги и безопасность движения: международный сборник научных трудов. – Хабаровск: Издательство ТОГУ, 2020. – №20. с. 45–48.
19. Леонович, И.И. Статистический метод определения глубины промерзания грунтов / И.И. Леонович, Н.П. Вырко, М.Н. Демидко // Труды БГТУ. №2. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. – 2015. – №2(175). – С. 27–31.
20. Кушнир, С.Я. Влияние морозного пучения основания на напряженное состояние насыпи дороги. / С.Я. Кушнир, А.И. Горковенко, Н.В. Казакова // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2000. №6. С. 79–82.

**Lopashuk Victor Vladimirovich**

Pacific national university, Khabarovsk, Russia  
E-mail: V Lopashuk@27PRO.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2005-6055>

**Lopashuk Andrei Victorovich**

Pacific national university, Khabarovsk, Russia  
E-mail: A Lopashuk@27PRO.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7823-3889>

**Ermolin Vyacheslav Nikolaevich**

Pacific national university, Khabarovsk, Russia  
E-mail: Ermolin@27PRO.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3715-5607>

**Kazarinov Andrei Yegorovich**

Pacific national university, Khabarovsk, Russia  
E-mail: dwostok1@mail.ru  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9304-9150>

## Roadbed temperature regime research of Petropavlovsk-Kamchatsky – Milkovo highway

**Abstract.** On the instructions of the Department of Highways of the Kamchatka Krai, Pacific National University performed research work on the inspection of road structures to prevent the cracks formation in the newly built asphalt pavement and highways reconstructed sections.

As the practice of construction and operation of the Petropavlovsk-Kamchatsky – Milkovo highway has shown, after the completion of construction, after the first winter period, longitudinal cracks appear on the coating surface. The cracks appearance, of course, is associated with the peculiarities of the road structure water-thermal regime. This article is devoted to the research roadbed soil temperature regime of Petropavlovsk-Kamchatsky – Milkovo highway.

Two reconstruction sites were selected for the roadbed survey and road surface structures: km 231 – km 249 and km 249 – km 260. In the first section, a layer of insulation made of expanded polystyrene with a thickness of 5 cm was laid in the road surface construction on the border with the roadbed ground, and in the second section, a non-woven synthetic material "dornit" was used to drain the roadbed.

The research program provided for the observation of the roadbed ground temperature both under the roadway and on embankment slopes.

The article describes the manufacturing and calibration of thermometric sensors method, the temperature regime sites of observations arrangement technology, and the results of observations. The authors describe the methodology for processing the obtained data and analyze the results of the performed studies. The obtained experimental data will be used in modeling the flat stress-strain state of the road structure for the cracks formation during the roadbed freezing, using real freezing regime data from observations.

**Keywords:** thermistor; thermometric well; roadbed; roadway; freezing depth; freezing speed; water-thermal regime

## REFERENCES

1. Hashemyan L., Bayat A. (2016) Three-year monitoring of the automated test road IRRF. In: Aguiar-Moya J., Vargas-Nordkbeck A., Leyva-Villacorta F., Loria-Salazar L. (eds.) The role of accelerated pavement testing in ensuring pavement stability. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-42797-3\\_54](https://doi.org/10.1007/978-3-319-42797-3_54).
2. Haghi N.T., Hashemian L., Bayat A. Effects of seasonal variation on the load-bearing capacity of pavements composed of insulation layers. *Transportation Research Record*. 2016. No. 2579. Pp. 87–95.
3. Xu J., Niu F.-J., Niu Y.-H., Lin Z.-J., Xu Z.-Y. The design parameters of roadbed with insulation in seasonal frozen ground. *Journal of Civil, Architectural and Environmental Engineering*. No. 31(3). Pp. 83–89.
4. Liu G., Zhang B. Experimental study on the thermal conductivity of light soil mixed with EPS particles. *Fifth Asian Regional Conference on Geosynthetics: Geosynthetics for Sustainable Adaptation to Climate Change*. 2012. Pp. 463–466.
5. Edgar T., Potter C., Mathis R. Frost Heave Mitigation Using Polymer Injection and Frost Depth Prediction. *Proceedings of the International Conference on Cold Regions Engineering*. 2015. Pp. 416–427.
6. Pugach, V.N. Experience of application and new developments of systems for monitoring the temperature of permafrost soils produced by JSC "NPP" etalon " / V.N. Pugach, S. V. Boitsov // *Automation and IT in the oil and gas region*. – 2019. – №1(35). – Pp. 34–40.
7. Tsygankov, V.D. Application of automated temperature measurement systems (loggers) for monitoring the state of the ground surface on permafrost soils. / V.D. Tsygankov, G.V. Boykacheva // *Modern problems of railway track design, construction and operation. Proceedings of the XIII International Scientific and Technical Conference. Readings dedicated to the memory of Professor G.M. Shakhunyants*. – 2016. pp. 49–53.
8. Lopashuk, V.V. Device of thermometric wells for monitoring the temperature regime of the soil of the earthbed. / V.V. Lopashuk, A.V. Lopashuk, V.N. Ermolin, M.V. Cherevko // *Far East. Automobile roads and traffic safety: international collection of scientific papers* / – Khabarovsk: Publishing House of TOGU, 2020. – No. 20. pp. 49–53.
9. Gevorkyan S.G. Influence of the temperature of soil freezing on the process of its frost heaving. // *Actual problems of the humanities and natural sciences*. 2018. No. 8. pp. 23–27.
10. Permikin, A.S. Analysis of the stress-strain state of the foundations of road transport structures on seasonally frozen soils. / A.S. Permikin, I.G. Ovchinnikov, A.I. Gritsuk // *Transport facilities*. 2020. Vol. 7. No. 4. p. 1.
11. Kraev, A.N. Modeling of the deformed state of the road surface on permafrost soils / A.N. Kraev, Z.Sh. Shankhoyev // *Transport structures*, 2019 No. 1.
12. Agutin K.A. Frost heaving of rocks. // *Nature management*. 2008. No. 14. pp. 193–196.

13. Stoyanovich, G.M. Assessment of the state and determination of the strength of the runways of airfields. / G.M. Stoyanovich, N.I. Gorshkov, V.V. Pupatenko // Features of the design and construction of railways in the conditions of the Far East. Interuniversity collection of scientific papers. – Khabarovsk, 2009. pp. 160–181.
14. Gorshkov, N.I., Krasnov, M.A., Lopashuk, A.V., Investigation of the causes of longitudinal cracks in the asphalt-concrete pavement of the automobile road. Highways and traffic safety. International collection of scientific papers. edited by A.I. Yarmolinsky. – Khabarovsk, 2015. pp. 42–58.
15. Shapran, V.V. Factors influencing the development of longitudinal profile deformations of the earth bed in the cryolithozone. / V.V. Shapran, Z.T. Fazilova // World of Transport. 2020. Vol. 18. No. 2 (87). pp. 82–101.
16. Teltaev, B.B. Comparative analysis of temperature in road structures in different regions of Kazakhstan. / B.B. Teltaev, K.A. Aitbayev, E.A. Suppes // Bulletin of the Kyrgyz State University of Construction, Transport and Architecture named after N. Isanov. 2016. No. 1 (51). pp. 124–130.
17. Burgonutdinov, A.M. Modeling of the road surface freezing process (on the example of the Perm Region). / A.M. Burgonutdinov, K.S. Stetsyuk, A.G. Okuneva // Modernization and scientific research in the transport complex. 2015. Vol. 1. pp. 351–354.
18. Lopashuk, A.V. The use of thermoresistors for the study of the temperature regime of the soil of the earthen bed. / A.V. Lopashuk, V.V. Lopashuk, V.N. Ermolin, M.V. Cherevko // Far East. Highways and traffic safety: an international collection of scientific papers. – Khabarovsk: Publishing House of TOGU, 2020. – No. 20. p. 45–48.
19. Leonovich, I.I. Statistical method for determining the depth of soil freezing / I.I. Leonovich, N.P. Vyrko, M.N. Demidko // Trudy BSTU. No. 2. Forest and woodworking industry. – 2015. – №2(175). – Pp. 27–31.
20. Kushnir, S.Ya. Influence of frost heaving of the base on the stress state of the road embankment. / S.Ya. Kushnir, A.I. Gorkovenko, N.V. Kazakova // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Oil and gas. 2000. No. 6. pp. 79–82.