



16. Zakaryukin V.P., Kryukov A.V., Buyakova N.V. Improvement of Electromagnetic Environment in Traction Power Supply Systems. The power grid of the future. Proceeding No. 2. Otto-von-Guericke University Magdeburg. Magdeburg. 2013, pp. 39-44.
17. Buyakova N., Zakaryukin V., Kryukov A. Imitative Modelling of Electromagnetic Safety Conditions in Smart Power Supply Systems. Advances in Intelligent Systems Research. Vol. 158. V International workshop "Critical infrastructures: contingency management, intelligent, agent-based, cloud computing and cyber security" (IWCI 2018), 2018. pp. 20-25.
18. Buyakova N., Zakaryukin V., Kryukov A., Nguyen T. Electromagnetic Safety Enhancing in Railway Electric Supply Systems. E3S, Web of Conferences 58, 01006(2018) RSES 2018, pp. 1-6.
19. Buyakova N.V., Zakaryukin V.P., Kryukov A.V. Modeling of electrical fields in railway engineering structures. Advances in Engineering Research. Vol. 158. International Conference on Aviaemechanical Engineering and Transport (AviaENT 2018). 2018, pp. 219-225.
20. Kats R.A., Perel'man L.S. Raschet elektricheskogo polya trekhfaznoi linii elektroperedachi [Calculation of the electric field of a three-phase power line]. Elektrichestvo [Electricity], No. 1. 1978, pp. 16-19.

### Информация об авторах

*Буякова Наталья Васильевна* – к. т. н., доцент, Ангарский государственный технический университет, e-mail: bn\_900@mail.ru

*Крюков Андрей Васильевич* – д. т. н., профессор, Иркутский государственный университет путей сообщения; Иркутский национальный исследовательский технический университет, e-mail: and\_kryukov@mail.ru

*Середкин Дмитрий Александрович* – аспирант, Иркутский государственный университет путей сообщения, e-mail: dmitriy987@mail.ru

### Authors

*Natal'ya Vasil'evna Buyakova* - Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Angarsk State Technical University, e-mail: bn\_900@mail.ru

*Andrei Vasil'evich Kryukov* - Doctor of Engineering Science, Professor, Irkutsk State Transport University; Irkutsk National Research Technical University, e-mail: and\_kryukov@mail.ru

*Dmitrii Aleksandrovich Seredkin* – Ph.D. student, Irkutsk State Transport University, e-mail: dmitriy987@mail.ru

### Для цитирования

Буякова Н. В. Моделирование электромагнитных полей, возникающих в местах пересечения тяговых сетей и воздушных линий электропередачи / Н. В. Буякова, А. В. Крюков, Д. А. Середкин // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2019. – Т. 64, № 4. – С. 138–147. – DOI: 10.26731/1813-9108.2019.4(64). 138-147

### For citation

Buyakova N. V., Kryukov A. V., Seredkin D. A. Modelirovaniye elektromagnitnykh poley, vznikayushchikh v me-stakh peresecheniya tyagovykh setey i vozdushnykh liniy elektrope-redachi [Modeling electromagnetic fields arising in places of intersection of traction networks and overhead power transmission lines]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2019. Vol. 64, No. 4. Pp. 138–147. DOI: 10.26731/1813-9108.2019.4(64). 138-147

УДК 624.139.62

DOI: 10.26731/1813-9108.2019.4(64).147–155

**Б. Н. Смышляев<sup>1</sup>, Я. А. Швец<sup>1</sup>, В. Д. Кауркин<sup>2</sup>, И. И. Гнатюк<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Дальневосточный государственный университет путей сообщения, г. Хабаровск, Российская Федерация

<sup>2</sup> ООО «ПермафростИнжиниринг», г. Ярославль, Российская Федерация

Дата поступления: 30 сентября 2019 г.

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ОСНОВАНИЙ ОПОР МАЛЫХ И СРЕДНИХ МОСТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «PERMAFROST 3D»

**Аннотация.** В статье изложены результаты численного моделирования температурного режима вечномерзлых оснований малых и средних железнодорожных мостов, эксплуатирующихся в южных районах распространения вечномерзлых грунтов и построенных по принципу I. Повышенная деформативность опор малых и средних мостов, расположенных в районах распространения вечномерзлых грунтов (северная строительно-климатическая зона) обусловлена повышением температуры вечномерзлых грунтов и их деградацией вследствие особенностей влияния природно-климатических, конструктивно-технологических и техногенных факторов. Для обеспечения эксплуатационной надежности малых и средних мостов на транспортных магистралях необходимо выполнять прогноз температурного режима вечномерзлых грунтов в районе расположения сооружения. Разработка модели мостового перехода малого моста выполняется в среде «AutoCAD», а собственно теплотехнический расчет с использованием программного комплекса «Permafrost 3D», позволяющего решать большемерные задачи тепло- и массообмена в трехмерной постановке, и обладает приемлемым для практических целей быстродействием. Разработанную модель вполне возможно с достаточной точностью и адекватностью использовать для прогнозирования температурного режима оснований малых и средних мостов, эксплуатирующихся в южных районах распространения вечной мерзлоты Дальневосточного региона, при различных сценариях изменения природно-климатических и техногенных факторов. Модель может быть использована в практике эксплуатации мостовых сооружений для целей прогноза их деформативности и



своевременного принятия управленческих решений, направленных на обеспечение нормального технического состояния и грузоподъемности искусственных сооружений.

**Ключевые слова:** малые и средние железнодорожные мосты; повышенная деформативность; эксплуатационная надежность; вечномерзлые грунты; температурный режим.

**B. N. Smyshlyayev<sup>1</sup>, Y. A. Shvets<sup>1</sup>, V. D. Kaurkin<sup>1</sup>, I. I. Gnatyuk<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Far Eastern State Transport University, Khabarovsk, the Russian Federation

<sup>2</sup> PermafrostEngineering Company OOO, Yaroslavl', the Russian Federation

Received: September 30, 2019

## MATHEMATICAL MODELING OF TEMPERATURE REGIME OF PERMAFROST PILLAR BASES OF SMALL AND MEDIUM-SIZE BRIDGES USING PERMAFROST 3D SOFTWARE

**Abstract.** The article describes the results of the numerical modeling of temperature regime of permafrost pillar bases of small and medium-size bridges that are built and maintained in the south areas of permafrost. The bridge pillars are constructed in accordance with Principle I (permanently frozen soil during the whole maintenance period of artificial structures). Increase of pillar deformations of small and mid-sized bridges located in the permafrost areas (the North climatic zone) is due to in elevation of permafrost temperature and its degradation. It is caused by the influence of climatic, structural, technological and technogenic factors. To ensure maintenance reliability of small and medium-size bridges on major traffic arteries, it is necessary to forecast the thermal regime of permafrost soils in the bridge area. Models of the bridge are developed in AutoCAD software. Thermotechnical calculation is performed using Permafrost 3d software, which allows one to calculate oversized three-dimensional problems of heat exchange and mass transfer. This program has an acceptable performance for practical purposes. The developed model can be used to precisely and adequately enough predict the temperature regime of pillar bases of small and medium-size bridges that are maintained in the south areas of permafrost of Far East region, considering different changes in climatic and man-made factors. The model can be used in the practice of maintenance of bridges to predict their deformability and to make timely managerial decisions ensuring the good technical state and carrying capacity of artificial structures.

**Keywords:** small and medium-size railway bridges, severe climate, permafrost soils, temperature regime.

### Введение

Участок Новый Ургал – Тында Северного широтного хода (СШХ) Дальневосточной железной дороги (ДВЖД) расположен в южных районах распространения вечномерзлых (многолетнемерзлых) грунтов. В этом регионе среднегодовые температуры воздуха составляют от  $-3$  до  $-5$  °С, вечномерзлые грунты сплошного (редко островного) распространения мощностью от 15–30 до 100 м при температуре на уровне нулевых годовых амплитуд от  $-0,5$  до  $-1,5$  °С.

Рассматриваемая железнодорожная линия была построена в начале 80-х гг. прошлого века, т. е. срок ее эксплуатации относительно небольшой, порядка 30–35 лет.

Изучение материалов проектной и исполнительной документации на возведение малых и средних искусственных сооружений (ИССО) указывает на то, что основания опор мостов выполнены на буроопускных столбах с использованием вечномерзлых грунтов по принципу I. При этом в проектной документации каких-либо теплотехнических расчетов по прогнозу температурного режима вечномерзлых грунтов в зоне опор малых и средних мостов не было обнаружено, т. е. подход к назначению глубины заложения столбчатых опор был эмпирическим, основанным на обработке данных натурных наблюдений [1–5].

Материалы натурных наблюдений за температурным режимом вечномерзлых грунтов в зоне опор мостов [5–7], а также наблюдения за техническим состоянием малых и средних мостов, эксплуатирующихся на рассматриваемом участке, показывают, что их деформативность в 2–3 раза превышает аналогичный показатель для ИССО, расположенных в умеренных климатических условиях.

Повышенная деформативность ИССО, расположенных в районах распространения вечномерзлых грунтов (северная строительно-климатическая зона), и запроектированных по принципу I, обусловлена повышением температуры вечномерзлых грунтов и их деградацией вследствие особенностей влияния природно-климатических, конструктивно-технологических и техногенных факторов, а также изменения отдельных из этих факторов за период эксплуатации.

### Разработка модели и выполнение расчетов

В связи с отмеченным можно сделать вывод, что для обеспечения эксплуатационной надежности и необходимых потребительских свойств ИССО, запроектированных по принципу I, необходимо иметь данные о динамике температурного режима вечномерзлых грунтов в основаниях их опор. Эта проблема может быть достаточно эф-



фективно решена с использованием методов математического моделирования.

Численным методам моделирования температурного режима в основаниях зданий и сооружений посвящены исследования многих ученых [6–14], однако в данных работах не в полной мере отражено влияние специфических природно-климатических, техногенных и конструктивных факторов, характерных для ИССО транспорта. Кроме того, на соответствующих этапах разработки этих методов задачи решались не в полном объеме – чаще в одномерной или двумерной постановке с последующим наложением или суммированием полученных результатов (методом суперпозиций).

В настоящее время научными коллективами разработаны программные комплексы для решения большемерных задач тепло- и массообмена, а именно – «Permafrost 3D» (ООО «ПермафростИнжиниринг»), «Frost 3D Universal» (ООО «НТЦ «СИММЭЙКЕРС»), «Femmodels» (профессор С.А.Кудрявцев, Дальневосточный государственный университет путей сообщения), «РТТ30» (В.В. Пассек, Научно-исследовательский институт транспортного строительства).

Анализ работоспособности этих программных комплексов показывает, что для целей моделирования теплового взаимодействия ИССО транспорта с вечномерзлыми основаниями наиболее приемлем программный комплекс «Permafrost 3D», который имеет следующие положительные характеристики:

- позволяет формировать объемную модель сооружений и их грунтовых оснований;
- относительно прост в плане задания

начальных и граничных условий;

– обладает приемлемым для практических целей быстродействием решения крупноразмерных задач по нахождению тепловых полей в основаниях мостовых переходов.

Данный комплекс разработан специалистами ООО «ПермафростИнжиниринг» для выполнения трехмерных нестационарных теплотехнических расчетов взаимодействия грунтов и инженерных сооружений с учетом фазовых переходов и фильтрационных свойств грунтов. Программа «Permafrost 3D» имеет сертификат соответствия, а также свидетельство о государственной регистрации программного продукта.

Учитывая сказанное, было принято решение о формировании расчетной модели в среде «AutoCAD» с последующей конвертацией в программный комплекс «Permafrost 3D» для расчета температурных полей грунтов. Расчетная модель выполняется в среде «AutoCAD 3D» с использованием как базовых инструментов, так и специально разработанных lisp-программ для ускорения и автоматизации процессов формирования расчетной модели.

На начальном этапе, на базе чертежей (фасад, план и разрез) мостового перехода отдельными блоками формируются его основные элементы – грунты основания, подходные насыпи и опоры моста. В качестве примера приводится выполненная в среде «AutoCAD» модель мостового перехода (рис. 1).

Граничные условия (ГУ) формируются также в среде «AutoCAD» в виде отдельных групп блоков, «накрывающих» те или иные зоны формирования ГУ в пределах мостового перехода. При

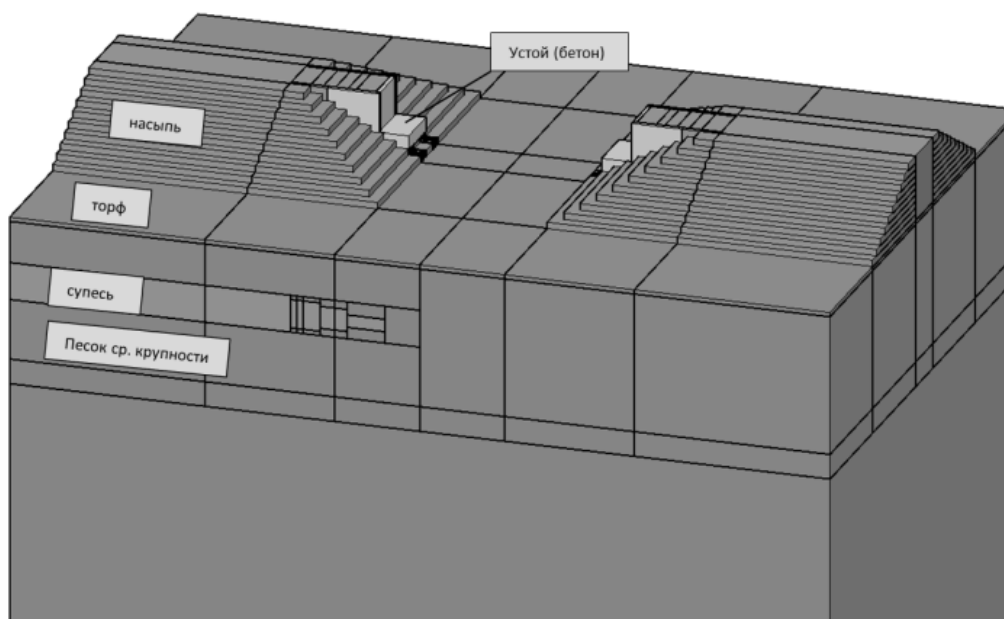
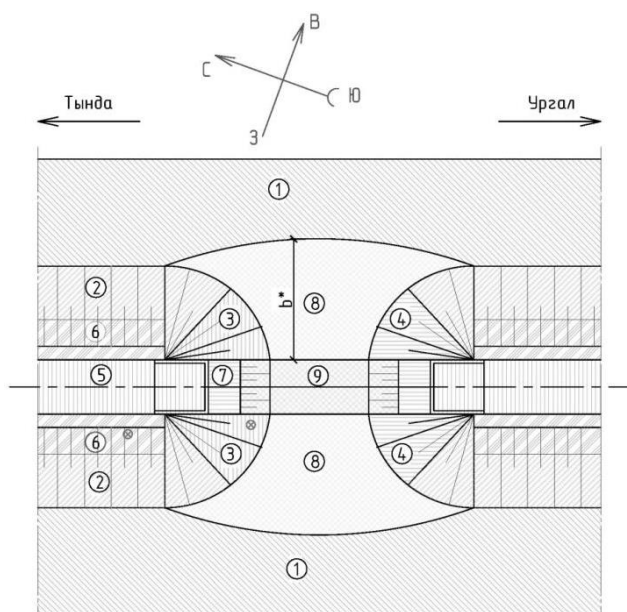


Рис. 1. Модель мостового перехода



этом количество зон для разных объектов (мостов) может быть различным и зависит от принятых проектных решений, особенностей ландшафта, условий строительства и эксплуатации.

Анализ работ [15–17] и натурных наблюдений позволяет выделить зоны расположения ГУ, наиболее характерных для малых мостов, эксплуатирующихся на ДВЖД в южных районах распространения вечной мерзлоты. В качестве примера показана наиболее распространенная картина распределения зон с разными ГУ для мостовых переходов северного широтного хода (рис. 2).



**Рис. 2. Картина распределения зон с различными граничными условиями для условий южных участков Дальневосточной железной дороги на примере однопролетного моста:**

- 1 – зона естественных условий (поле); 2 – откос насыпи (с уклоном  $i$ ) ориентации восток-запад; 3 – откос насыпи (с уклоном  $i$ ) южной ориентации; 4 – откос насыпи (с уклоном  $i$ ) северной ориентации; 5 – основная площадка, оголенная от снега и растительности; 6 – снежный вал на откосе (шириной 3 м); 7 – оголенная поверхность насадки и шкафного блока устоя; 8 – зона снежных отложений переменной толщины (в зависимости от высоты подмостового габарита  $h$ ); 9 – подмостовое пространство свободное от снежного покрова

Для однопролетного малого моста, расположенного на суходоле, формирование ГУ определяются влиянием природно-климатических, конструктивно-технологических и техногенных факторов, т. е. должны учитываться геометрические особенности (длина моста, отверстие моста, высота моста, крутизна откосов подходов насыпей и

др.) мостового перехода, его расположение (ориентация) в пространстве, влияние формирования снежных отложений и растительности, а также особенности проектных решений и эксплуатации (наличие охлаждающих мероприятий, полости под устоем, засыпка балластом откосов, отсутствие снега на основной площадке и др.). Таким образом, для рассматриваемой модели моста было выделено 9 зон формирования ГУ (см. рис. 2).

На следующем шаге в ПК «Permafrost 3D» задаются теплофизические параметры грунтов оснований и параметры граничных условий – температуры воздуха и коэффициенты теплообмена для соответствующих зон их формирования. Затем в программном комплексе выставляется время начала и конца моделирования и производится расчет.

Для апробации и проверки корректности разработанной модели было принято решение выполнить расчет по определению теплового режима вечномерзлых оснований и подходов насыпей конкретного (реального) мостового перехода.

Авторами в сотрудничестве с Тындинской мерзлотной станцией было произведено обследование ряда искусственных сооружений на Верхнезейской дистанции на предмет установления деформаций, а также натурные измерения температур в основании мостовых сооружений [18–20]. Кроме того, был произведен анализ измерений теплового режима мостов за последние 35 лет (с момента строительства БАМа), эти данные представлены Тындинской мерзлотной станцией. Следует отметить, что речь идет о малых мостах, построенных по принципу I, с сохранением мерзлоты в основании в течение всего периода эксплуатации.

Таким образом, для расчета было принято сооружение, имеющее наибольшее количество рабочих термотрубок (натурных измерений температур), а именно, малый мост по схеме 1x15,8, расположенный на км 2725 ПК 2+95 Верхнезейской дистанции пути ДВЖД (рис. 3).

После создания расчетной модели моста в среде «AutoCAD» выполняется ее конвертация в программный комплекс «Permafrost 3D» по указанному алгоритму.

Далее представлены исходные данные теплофизических характеристик материалов конструкций, грунтов насыпи и основания мостового перехода (табл. 1), приведенные температуры воздуха (при среднегодовой многолетней температуре воздуха  $-4,1$  °C) и значения расчетных коэффициентов теплоотдачи на различных зонах мостового перехода (табл. 2, 3).

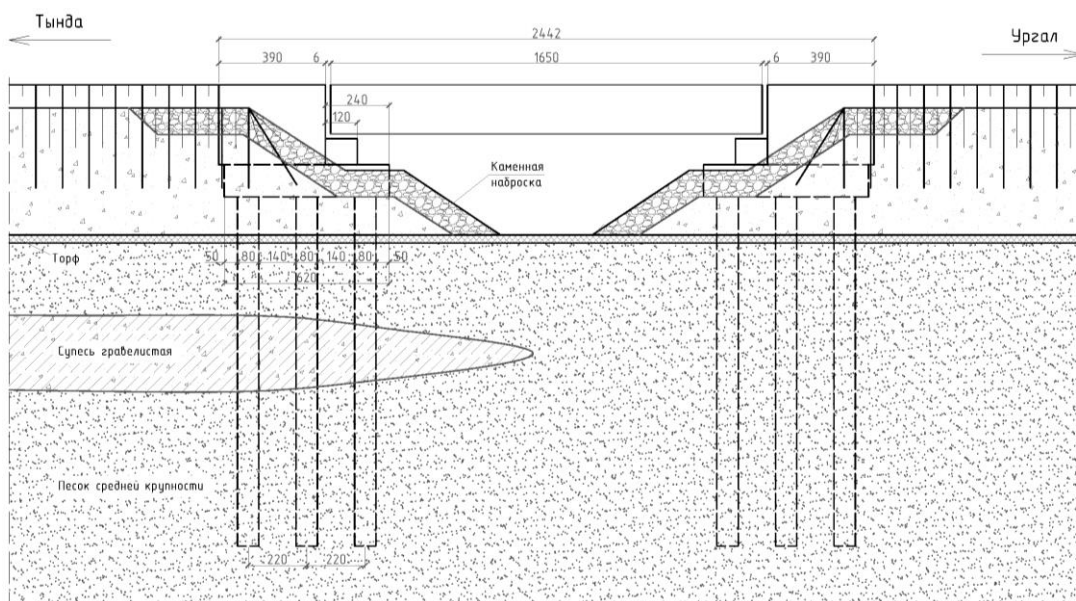


Рис. 3. Схема моста на км 2725 ПК 2+95

Таблица 1

**Теплофизические характеристики материалов конструкций, грунтов насыпи и основания мостового перехода**

Вид грунта (материала)	Плотность сухого грунта (материала) $\rho_d$ , кг/м <sup>3</sup>	Суммарная влажность грунта, $W_{tot}$ , Д. е.	Коэффициент теплопроводности, Вт/м·°С		Объемная теплоемкость, кДж/м <sup>3</sup> ·°С		Температура начала заморзания, °С
			$\lambda_{th}$	$\lambda_f$	$C_{th}$	$C_f$	
Насыпной грунт (гравийно-галечниковый)	1 800	0,1	1,98	2,21	2 410	2 030	-0,1
Песок средней крупности оторфованный, насыщенный водой	1 790	0,28	2,67	2,84	3 170	2 410	-0,1
Супесь гравелистая оторфованная, содержание льда 45 %, при оттаивании текучая	700	1,0	1,9	2,1	3 600	2 100	-0,15
Торф, при оттаивании насыщенный водой	300	3,0	0,5	1,4	4 150	2 400	-0,25
Бетон	2 500	0,01	2,04	2,04	2 016	2 016	-0,1

Примечание. Зависимость содержания незамерзшей воды от температуры для каждого вида грунта задается в ПК «Permafrost 3D» в виде графика  $W_w = f(T)$ .

Таблица 2

**Приведенные температуры воздуха на различных зонах мостового перехода**

Номер граничных условий	Номера месяцев по порядку												Среднее значение
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	-30,7	-23,5	-11,8	3,6	10,3	17,4	19,8	17,0	9,4	-2,0	-21,3	-30,6	-3,5
2	-30,8	-23,5	-11,8	3,4	12,5	20,2	22,5	19,3	10,9	-1,9	-19,9	-30,4	-2,5
3	-17,8	-16,0	-12,7	-3,1	1,0	6,6	10,3	11,1	7,1	4,3	-2,3	-11,9	-2,0
4	-30,7	-23,5	-11,8	3,6	12,3	19,5	21,7	18,4	10,4	-2,0	-21,3	-30,6	-2,8



5	– 30,8	–23,5	–11,8	3,4	12, 5	20,2	22, 5	19,3	10,9	–1,9	–19,9	–30,4	–2,5
6	– 28,8	–20,7	–7,9	4,8	14, 4	22,1	24, 6	21,0	12,1	–0,2	–21,3	–29,4	–0,8
7	– 30,7	–23,5	–11,8	3,6	12, 3	19,5	21, 7	18,4	10,4	–2,0	–21,3	–30,6	–2,8
8	– 30,0	–23,5	–12,2	– 0,1	8,9	15,8	18, 2	15,7	8,5	–2,5	–19,1	–29,4	–4,1

*Примечание.* Зоны граничных условий: 1 – зона естественных условий (поле); 2 – откос насыпи (1:2) ориентации восток – запад; 3 – откосы насыпи (1:1,5) южной и северной ориентации, покрытые каменной наброской; 4 – основная площадка, оголенная от снега и растительности; 5 – снежный вал на откосе (шириной 3 м); 6 – оголенная поверхность насадки и шкафного блока устоя; 7 – зона снежных отложений переменной толщины (в зависимости от высоты  $h$ ); 8 – подмостовое пространство свободное от снежного покрова.

Таблица 3

## Значения расчетных коэффициентов теплоотдачи на различных зонах мостового перехода

Номер граничных условий	Номера месяцев по порядку												Среднее значение
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	0,55	0,52	0,4 9	1,17	0,85	0,85	0,84	0,84	0,84	1,1 2	0,59	0,44	0,55
2	0,55	0,52	0,4 9	1,17	17,34	16,32	15,08	14,24	14,99	1,1 2	0,59	0,44	0,55
3	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
4	2,36	2,48	2,6 4	16,51	17,34	16,32	15,08	14,24	14,99	2,6 2	2,50	2,33	2,36
5	0,38	0,35	0,3 3	0,80	17,34	16,32	15,08	14,24	14,99	0,7 7	0,40	0,30	0,38
6	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
7	0,53	0,50	0,4 8	1,08	3,30	3,26	3,21	3,17	3,20	1,0 4	0,57	0,43	0,53
8	5,63	6,36	7,4 8	10,29	17,34	16,32	15,08	14,24	14,99	6,3 0	5,57	4,79	5,63

*Примечание.* Для зон 3 и 6 принимается граничное условие 1-го рода.

Собственно задача по определению теплового режима в основании однопролетного малого моста выполняется в несколько основных этапов:

1. Решение обратной задачи по подбору коэффициента теплообмена для зоны естественных условий (поле) в одномерной постановке.

2. Определение теплового поля грунтов основания в трехмерной постановке без сооружения (мостового перехода) для граничных условий, установленных на этапе 1.

3. Определение температурного режима грунтов основания после строительства мостового перехода, с использованием данных этапа 2.

Ниже приведены результаты расчетов по определению температурного режима грунтов основания и насыпей мостового перехода (по оси моста) на 35 год его эксплуатации (рис. 4), показаны результаты определения температурного режима вечномерзлого основания устоя № 1 на

35 год эксплуатации по натурным и расчетным данным (рис. 5).

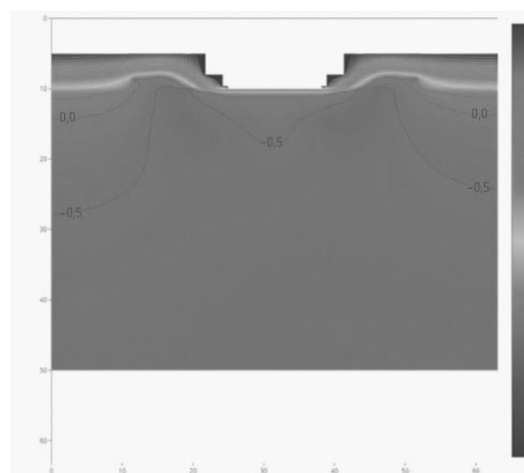


Рис. 4. Тепловой режим грунтов в основании искусственного сооружения (по оси моста) на 35 год эксплуатации



Анализ выполненных расчетов показывает, что расчетная модель достаточно адекватно описывает имеющиеся «в натуре» условия. Незначительные различия расчетных и натуральных параметров, очевидно, обусловлены недостаточно точно определенными граничными условиями вследствие сложности определения коэффициента теплоотдачи для реальных условий.

Несмотря на имеющиеся проблемы отсутствия подробных замеров теплового режима оснований сооружений, по нашему мнению, разработанная модель может использоваться для прогнозирования температурного режима оснований малых сооружений (мостов), эксплуатирующихся в южных районах распространения вечной мерзлоты Дальневосточного региона, при различных сценариях изменения природно-климатических и техногенных факторов.

#### Заключение

1. Для обеспечения эксплуатационной надежности и требуемых потребительских свойств малых и средних мостов на транспортных магистралях, расположенных в северной строительной климатической зоне, необходимо выполнять про-

гноз температурного режима вечномёрзлых грунтов в районе расположения сооружений.

2. Достаточно оперативно эта проблема может быть решена с использованием методов математического моделирования. Наиболее приемлемым для этих целей является программный комплекс «Permafrost 3D».

3. Разработанная математическая модель была реализована для конкретного ИССО, эксплуатирующегося 35 лет на Верхнезейской дистанции пути ДВЖД. Выбор данного объекта обусловлен наличием многолетних натуральных термометрических наблюдений за грунтами в его основании.

4. Выполненные расчеты показали работоспособность модели и ее адекватность. Данные по температурному режиму вечномёрзлых оснований, полученные по результатам моделирования, весьма близки к данным натуральных измерений.

Разработанная математическая модель может быть использована в практике эксплуатации мостовых сооружений для целей прогноза их деформативности и своевременного принятия управленческих решений, направленных на обеспечение нормального технического состояния и грузоподъемности ИССО.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рекомендации по проектированию и постройке опор автодорожных и железнодорожных мостов на вечномёрзлых грунтах / Н.М. Глотов и др. М. : ЦНИИС, 1988. 107 с.
2. Дмитриев Ю.В., Бахарев И.И. Оптимальные типы и конструкции малых искусственных сооружений для условий БАМа // Проектирование, строительство и эксплуатация БАМа. Л., 1978. С. 91–93.
3. К вопросу о проектировании фундаментов малых и средних мостов в условиях центральной части БАМ / Опарин А.А. и др. // Труды НИИЖТ. Новосибирск, 1975.
4. Руководство по проектированию и постройке столбчатых фундаментов и опор малых и средних мостов БАМ на вечномёрзлых грунтах, используемых в основании по принципу I / ВНИИТС. М., 1978. 12 с.
5. Wallace A.J., Williams P.J. Problems of building roads in the north. *Canadian Geogr. J.*, 1974. Vol. 89, №1-2, P. 40–47.
6. Пассек В.В., Пассек Вяч.В. Совершенствование алгоритма расчета на ЭВМ температурного режима вечномёрзлых грунтов оснований транспортных сооружений // Сб. науч. тр. ЦНИИСа. М., 1996. С. 91–97.
7. Герасимова Е.И. Влияние мостового устоя на формирование температурного режима грунтов основания в условиях БАМ. Температурный режим и вопросы повышения устойчивости и долговечности транспортных сооружений на БАМ. М., 1980. С. 33–39.
8. Пассек В.В. Расчёт на ЭВМ трёхмерных температурных полей в транспортных сооружениях. // Транспортное строительство. 1978. № 10. С. 37–38.
9. Кудрявцев С.А., Юсупов С.Н. Исследование распределения температурных полей в насыпи на участке Забайкальской железной дороги. Хабаровск : Изд-во ДВГУПС. 2004. С. 27–32.
10. Exadaktylos G. E. Freezing–Thawing Model for Soils and Rocks. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2006. Vol. 18. №. 2. P. 241–249.
11. Coutts R. J., Konrad J. M. Finite Element Modelling of Transient None-Linear Heat Flow Using the Node State Method. *Intl. Ground Freezing Conf. France*, 1994.
12. Barna Lynette A., Shoop Sally A., Coutermarsh Barry A. One-dimensional computer models to estimate frost depth // *Cold Regions Engineering*. 2009. P. 110–118.
13. Saarelainen S. Modelling frost heaving and frost penetration in soil at some observation sites in Finland. The SSR model. Espoo 1992, VVT, VVV Publication 95. 120 p.
14. Liu Jiankun, Li Dongqing, Ma Wei, Zhang Luxin. Modeling of the Sun-Precipitation Shed in Protecting Roadbed-cut on Permafrost in Tibet, China. *Permafrost Engineering. Proceedings of the Fifth Symposium on Permafrost Engineering*. Yakutsk: Permafrost Institute Press. 2002. Vol. 2.
15. Пассек В.В. Методика прогнозирования температурного режима грунтов оснований для проектирования мостовых переходов в условиях заполярья. : дис. кандидата техн. наук : 05.23.15.- Москва, 2000.- 182 с.
16. Вербух Н.Ф. Конструктивные решения земляного полотна и искусственных сооружений на автомобильных дорогах для условий центральной Якутии : дис. ... канд. техн. наук. М., 2008.



17. СП 32-101-95. Проектирование и устройство фундаментов опор мостов в районах распространения вечномерзлых грунтов. М. : Транстрой, 1996. 95 с.

18. Миронов В.А., Гаврилов И.И. Температурный мониторинг земляного полотна зоны БАМ в современных природно-климатических условиях // материалы конф. (Чтения, посвященные профессору Г.М. Шахунянца). М. : МИИТ, 2009. 223 с.

19. Кропачев Д.Ю., Гаврилов И.И. Наблюдения за температурой в вечномерзлых грунтах // Путь и путевое хозяйство. 2014. № 12 С. 12–16.

20. Швец. Я.А., Гаврилов И.И. Влияние изменения климата на температурный режим многолетнемерзлых оснований эксплуатируемых искусственных сооружений // Транспортное строительство. 2018. № 10. С. 10–13.

## REFERENCES

1. Glotov N.M., Passek V.V., Drobyshevskii B.A. et al. Rekomendatsii po proektirovaniyu i postroike opor avtodorozhnykh i zheleznodorozhnykh mostov na vechnomerzlykh gruntakh [Recommendations for the design and construction of pillars for road and railway bridges on permafrost soils]. Moscow: TsNIIS Publ., 1988, 107 p.

2. Dmitriev Yu.V., Bakharev I.I. Optimalnye tipy i konstrktsii malykh iskusstvennykh sooruzhenii dlya uslovii BAMA [Optimal types and designs of small artificial structures for BAM conditions]. *Proektirovanie, stroitel'stvo i ekspluatatsiya BAMA [Design, construction and operation of BAM]*. L., 1978, pp. 91-93.

3. Oparin A.A. et al. K voprosy o proektirovanii fundamentov malykh i srednikh mostov v usloviyakh tsentral'noi chasti BAM [To the question of designing the foundations of small and medium-size bridges in the conditions of the central part of the BAM]. *Trudy NIIZhT [Proceedings of Railway Research Institute]*, 1975.

4. Rukovodstvo po proektirovaniyu i postroike stolbchatykh fundamentov i opor malykh i srednikh mostov BAM na vechnomerzlykh gruntakh, ispol'zuemykh v osnovanii po printsipu I [Guidance on the design and construction of columnar foundations and pillars of small and medium-sized BAM bridges in permafrost soils used in the foundation according to principle I]. VNIITS Publ., 1978, pp12 .

5. Wallace A.J., Willyams P.J. Problems of building roads in the north. *Canadien Geogr. J.*, 1974, Vol. 89, No.1-2, pp. 40-47.

6. Passek V.V., Passek V.V. Sovershenstvovanie algoritma rascheta na EVM temperaturnogo rezhima vechnomerzlykh gryntov osnovanii transportnykh sooryzhenii [Improving the calculation algorithm on electro-computers of the temperature regime of permafrost soils of the foundations of transport structures.]. *Sbornik nauchnykh trudov TsNIISa [Collection of scientific works of CNRIS]*, 1996, pp. 91-97.

7. Gerasimova E.I. Vliyaniye mostovogo ustoya na formirovaniye temperaturnogo rezhima gruntov osnovaniya v usloviyakh BAM [The influence of bridge abutment on the formation of the temperature regime of foundation soils under the conditions of BAM]. *Temperaturnyi rezhim i voprosy povysheniya ustoychivosti i dolgovchnosti transportnykh sooryzhenii na BAM [Temperature conditions and issues of increasing the stability and durability of transport facilities at BAM]*. Moscow: 1980, pp. 33-39.

8. Passek V.V. Raschet na EVM trekhmernykh temperaturnykh polei v transportnykh sooruzheniyakh [Calculation on electric computers of three-dimensional temperature fields in transport facilities]. *Transportnoe stroitel'stvo [Transport construction]*, 1978, No. 10, pp. 37-38.

9. Kydryavtsev S.A., Yusypov S.N. Issledovanie raspredeleniya temperaturnykh polei v nasypi na uchastke Zabaikalskoi jeleznoi dorogi [Study of the distribution of temperature fields in the embankment in the section of the Trans-Baikal Railway]. DVGUPS Publ., 2004, pp. 27-32.

10. Exadaktylos G. E. Freezing–Thawing Model for Soils and Rocks. *Journal of Materyals in Civil Engineering*. 2006, Vol. 18, No. 2, pp. 241-249.

11. Coutts R. J., Konrad J. M. 1994. Finite Element Modelling of Transient None-Linear Heat Flow Using the Node State Method. *Intl. Ground Freezing Conf.* France. November.

12. Barna L. A., Shoop S. A., Coutermarsh B. A. One-dimensional computer models to estimate frost depth. *Cold Regions Engineering*, 2009, pp. 110-118.

13. Saarelainen S. Modelling frost heaving and frost penetration in soil at some observation sites in Finland. The SSR model. Espoo 1992, VVT, VVV Publication 95. 120 p.

14. Liu J., Li D., Ma W., Zhang L. Modeling of the Sun-Precipitation Shed in Protecting Roadbed-cut on Permafrost in Tibet, China. *Permafrost Engineering. Proceedings of the Fifth Symposium on Permafrost Engineering*. Yakutsk: Permafrost Institute Press. 2002 — Vol. 2.

15. Passek V.V. Metodika prognozirovaniya temperaturnogo rezhima gruntov osnovanii dlya proektirovaniya mostovykh perekhodov v usloviyakh zapolyarya: dissertatsiya na soiskanie uchenoi stepeni kand. tekhn. nauk [The methodology for predicting the temperature regime of foundation soils for the design of bridge crossings in the Arctic. Ph.D. (Engineering) diss.]. Moscow, 2000. 182 p.

16. Verbykh N.F. Konstruktivnye resheniya zemlyanogo polotna i iskusstvennykh sooruzhenii na avtomobil'nykh dorogakh dlya uslovii tsentral'noi Yakytii: dis. na soiskanie uchenoi stepeni kand. tekhn. nauk. Nauchno-issledovatel'skii institut transportnogo stroitel'stva [Constructive solutions of the subgrade and artificial structures on highways for the conditions of central Yakutya. Ph.D. (Engineering) diss. Research Institute of Transport Construction]. Moscow, 2008.

17. SP 32-101-95. Proektirovanie i ustroistvo fundamentov opor mostov v raionakh rasprostraneniya vechnomerzlykh gruntov [SP 32-101-95. Design and construction of bases of bridge pillars in areas of permafrost soils]. Moscow, Korporatsiya «Transstroj» Publ., 1996, 95 p.

18. Mironov V.A., Gavrilo I.I. Temperaturnyi monitoring zemlyanogo polotna zony BAM v sovremennykh prirodno-klimaticheskikh usloviyakh [Temperature monitoring of the subgrade of the BAM zone in modern climatic conditions]. *Trudy chteniya, posvyashchennye 105-letiyu professora G.M.Shahunyantsa [Readings dedicated to the 105th anniversary of Prof. G.M. Shakhunyants]*. Moscow: MIIT Publ. 2009, pp. 223

19. Kropachev D.Yu., Gavrilo I.I. Nablyudeniya za temperaturoi v vechnomerzlykh gruntakh [Observations of temperature in permafrost soils]. *Put' i putevoe khozyaistvo [Track and track facilities]*, 2014. No. 12, pp. 12-16.

20. Shvets Ya.A., Gavrilo I.I. Vliyaniye izmeneniya klimata na temperaturnyi rezhim mnogoletneмерzlykh osnovanii ekspluatiruemyykh iskusstvennykh sooruzhenii [The impact of climate change on the temperature regime of permafrost of exploited artificial structures]. *Transportnoe stroitel'stvo [Transport construction]*, 2018. No 10, pp. 10-13.



**Информация об авторах****Authors**

*Смышляев Борис Николаевич* – к. т. н., доцент кафедры мостов, тоннелей и подземных сооружений, Дальневосточный государственный университет путей сообщения, г. Хабаровск, e-mail: smbn19@festu.khv.ru

*Швец Ярослав Алексеевич* – преподаватель кафедры мостов, тоннелей и подземных сооружений, Дальневосточный государственный университет путей сообщения, г. Хабаровск, e-mail: yarus.19@mail.ru

*Кауркин Василий Дмитриевич* – директор по проектированию ООО «ПермафростИнжиниринг», г. Ярославль, e-mail: kaurkinvd@pf-eng.ru

*Гнатюк Иванна Игоревна* – аспирант кафедры геокриологии, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, e-mail: gnatukii@pf-eng.ru

*Boris Nikolaevich Smyshlyaev* - Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Subdepartment of Bridges, Tunnels and Underground Constructions, Far Eastern State Transport University, Khabarovsk, e-mail: smbn19@festu.khv.ru

*Yaroslav Alekseevich Shvets* – Faculty member of the Subdepartment of Bridges, Tunnels and Underground Constructions, Far Eastern State Transport University, Khabarovsk, e-mail: yarus.19@mail.ru

*Vasilii Dmitrievich Kaurkin* – Project Engineer, PermafrostEngineering Company, Yaroslavl, e-mail: kaurkinvd@pf-eng.ru

*Ivanna Igorevna Gnatyuk* – Ph.D. student, the Subdepartment of Geology, Moscow State University, Moscow, e-mail: gnatukii@pf-eng.ru

**Для цитирования****For citation**

Смышляев Б. Н. Математическое моделирование температурного режима вечномерзлых оснований опор малых и средних мостов с использованием программного комплекса «Permafrost 3D» / Б. Н. Смышляев, Я. А. Швец, В. Д. Кауркин, И. И. Гнатюк // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2019. – Т. 64, № 4. – С. 147–155. – DOI: 10.26731/1813-9108.2019.4(64).147-155

Smyshlyaev B. N., Shvets Y. A., Kaurkin V. D., Gnatyuk I. I. Matematicheskoe modelirovanie temperaturnogo rezhima vech-nomerzlyh osnovanij opor malyh i srednih mostov s ispol'zovaniem programmno kompleksa "Permafrost 3D" [Mathematical modeling of temperature regime of permafrost pillar bases of small and medium-size bridges using permafrost 3d software]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2019. Vol. 64, No. 4. Pp. 147–155. DOI: 10.26731/1813-9108.2019.4(64).147-155

УДК 656.02

DOI: 10.26731/1813-9108.2019.4(64).155–161

**Н. В. Кроль, Н. Н. Григорьева, В. А. Оленцевич, Р. Ю. Упырь**

*Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация*

*Дата поступления: 17 сентября 2019 г.*

## **ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ХОЗЯЙСТВЕННОГО МЕХАНИЗМА ПРИ РАЗВИТИИ КЛИЕНТСКОЙ БАЗЫ ГРУЗОВЫХ ПЕРЕВОЗОК**

**Аннотация.** При значительном количестве перевозчиков пассажиров и грузов вопрос клиентоориентированности занимает приоритетное место при развитии транспортных компаний. В статье рассматриваются факторы, влияющие на ценообразование тарифа за перевозку груза на железнодорожном транспорте, приводится анализ размеров погрузки по группам грузов за период 2016–2018 гг., где отражается динамика роста за счет низкомаржинального сегмента. Приводится методика расчета тарифной платы за перевозку одной тонны груза, вагона, а также формула экономических потерь грузовладельцев. На основе классификации факторов, оказывающих влияние на величину потерь грузовладельцев при пользовании услугами железнодорожного транспорта, произведен расчет оценки экономических потерь клиента при использовании услуги «железнодорожная перевозка», который показал линейную зависимость конечного результата от объема груза и сроков доставки. Принимая во внимание результаты, полученные при расчете, сделан вывод о необходимости создания новой технологии перевозок, которая позволит значительно уменьшить время доставки грузов, стоимость перевозки и, соответственно, положительно настроит потенциального клиента к пользованию услугами железнодорожного транспорта. При формировании новой системы тарифного регулирования необходимо решить задачи проработки обоснованных принципов тарифного регулирования; формирования системного подхода к регулированию как инструменту проведения структурной реформы железнодорожного транспорта; создания формализованной и удобной в применении тарифной идеологии с учетом принципов клиентоориентированности.

**Ключевые слова:** железнодорожные перевозки; клиентоориентированность; тарифное регулирование; транспортные издержки; инфраструктура; экономические потери; инновации.

**Н. В. Krol', N. N. Grigor'eva, V. A. Olentsevich, R. Yu. Upyr'**

*Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation*

*Received: September 17, 2019*