

Интернет-журнал «Транспортные сооружения» <https://t-s.today>
Russian journal of transport engineering

2018, №4, Том 5 / 2018, No 4, Vol 5 <https://t-s.today/issue-4-2018.html>

URL статьи: <https://t-s.today/PDF/17SATS418.pdf>

DOI: 10.15862/17SATS418 (<http://dx.doi.org/10.15862/17SATS418>)

Статья поступила в редакцию 07.10.2018; опубликована 27.11.2018

Ссылка для цитирования этой статьи:

Макаров А.С., Краев А.Н., Шанхоев З.Ш. Конструктивно-технологические решения по устройству автомобильных дорог на многолетнемерзлых грунтах // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», 2018 №4, <https://t-s.today/PDF/17SATS418.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/17SATS418

For citation:

Makarov A.S., Kraev A.N., Shankhoyev Z.Sh. (2018). Structural-technological solutions for the construction of roads on permafrost soils. *Russian journal of transport engineering*, [online] 4(5). Available at: <https://t-s.today/PDF/17SATS418.pdf> (in Russian). DOI: 10.15862/17SATS418

УДК 624.139.6

Макаров Алексей Сергеевич

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия
Кафедра «Геотехники»

Аспирант

E-mail: Mak351218@mail.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=927606

Краев Алексей Николаевич

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия
Доцент кафедры «Строительные конструкции»

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: kraev_aln@mail.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=546741

Шанхоев Зураб Шабазгиреевич

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия
Кафедра «Геотехники»

Аспирант

E-mail: zurab_shanhoyev@mail.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=906486

Конструктивно-технологические решения по устройству автомобильных дорог на многолетнемерзлых грунтах

Аннотация. В статье авторами кратко рассмотрена проблема строительства автомобильных дорог на многолетнемерзлых грунтах, возведенных по первому принципу проектирования. Рассмотрены вероятные причины, влияющие на тепловой режим мерзлого грунта в основании автомобильной дороги. С целью стабилизации конструкции автомобильной дороги на многолетнемерзлых грунтах коллективом авторов данной статьи предложены 3 конструктивно-технологических решения по устройству автомобильных дорог в зависимости от условий увлажнения верхней толщии грунтов, рассчитанные для инженерно-геологических и температурно-влажностных условий, характерных для Ямало-Ненецкого автономного округа. Приводятся схема, описание и оценка эффективности каждого предложенного конструктивно-

технологического решения. Оценка эффективности основана на сопоставлении результатов численного моделирования водно-теплого режима насыпей с предложенными конструктивно-технологическими решениями и грунтовыми насыпями автомобильных дорог на многолетнемерзлых грунтах. Представлены результаты проведенного численного моделирования насыпей автомобильных дорог на многолетнемерзлых грунтах. Сформулированы основные выводы по проведенным исследованиям.

Ключевые слова: автомобильная дорога; многолетнемерзлый грунт; конструктивно-технологическое решение; численное моделирование; водно-тепловой режим; насыпь; гранулированный теплоизоляционный материал

На протяжении последнего столетия учеными, инженерами, исследователями накоплен огромный опыт строительства автомобильных дорог на многолетнемерзлых грунтах (ММГ). На основании проведенных исследований работы конструкций автомобильных дорог в условиях залегания многолетнемерзлых грунтов сформированы три принципа строительства на многолетнемерзлых грунтах:

- первый принцип: сохранение многолетнемерзлых грунтов в основании земляного полотна в течение периода эксплуатации дороги;
- второй принцип: обеспечение допустимых деформаций при частичном оттаивании мерзлого грунта в основании земляного полотна на глубину, определяемую расчетом;
- третий принцип: оттаивание мерзлого грунта основания под насыпью до начала строительства на глубину, на которой талые грунты уже не влияют на работу земляного полотна.

Первый принцип строительства автомобильных дорог на многолетнемерзлых грунтах является наиболее значимым в отношении потепления климата. Так с 1990-ых годов во всех регионах Арктики было установлено значительное увеличение среднегодовых температур воздуха, вследствие чего температура грунта на границе амплитуды нулевых колебаний возрастает. Тенденция потепления климата в арктических регионах наблюдается и по сей день [1, 4, 6, 9]. Развитие транспортной инфраструктуры в условиях многолетней мерзлоты также влияет на тепловой режим мерзлого грунта. Многолетнемерзлые грунты, имеющие высокое содержание льда, под теплоизолирующим влиянием насыпи автомобильной дороги подвержены консолидации, что влечет потерю устойчивости конструкции автомобильной дороги.

С целью стабилизировать конструкцию автомобильной дороги на многолетнемерзлых грунтах и предотвратить оттаивание мерзлых грунтов в основании предложено множество способов решения данных проблем таких как:

- армирование геосинтетическим материалом грунтов основания и земляного полотна автомобильной дороги;
- установка термостабилизаторов;
- устройство термослоев в слоях земляного полотна и основания дороги и др. [2, 3, 10].

Коллективом авторов данной статьи предлагаются конструктивно-технологические решения по устройству автомобильных дорог в зависимости от условий увлажнения верхней толщи грунтов, рассчитанные для инженерно-геологических и температурно-влажностных условий, характерных для Ямало-Ненецкого автономного округа. Предложены 3 конструктивно-технологических решения, направленные на:

- увеличение срока эксплуатации автомобильной дороги;
- стабилизацию водно-теплового режима основания и земляного полотна автомобильной дороги;
- сохранение грунта основания в мерзлом состоянии;
- уменьшение объема земляных работ при возведении земляного полотна автомобильной дороги.

Оценка эффективности предложенных конструктивно-технологических решения по устройству автомобильных дорог на многолетнемерзлых грунтах выполнена в программе QFrost¹. QFrost – программа, позволяющая создавать аналоговые теплофизические процессы в грунтах [5, 7, 8]. С целью подтвердить работоспособность предлагаемых конструкций произведено численное моделирование водно-теплового режима насыпи автомобильных дорог на многолетнемерзлых грунтах в общем случае (насыпь из грунта) с дальнейшим сопоставлением результатов моделирования. Численное моделирование осуществлялось на срок 10 лет без учета потепления климата. Результаты численного моделирования всех рассматриваемых конструкций автомобильных дорог на многолетнемерзлых грунтах представлены на первое октября, что обусловлено периодом максимального оттаивания деятельного слоя грунта основания. Высота насыпи автомобильной дороги определялась на основе расчетов на устойчивость, прочность и снегонезаносимость согласно СП 313.1325800.2017.

При моделировании температурных условий использовались климатические данные п. Тазовский за период 2006-2017 гг.² (таблица 1).

Таблица 1
Климатические характеристики п. Тазовский за период 2006-2017 гг.

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Температура воздуха, °С	-23,26	-23,53	-16,32	-10,53	-3,57	6,17	13,31	10,09	5,37	-3,22	-15,00	-19,14
Скорость ветра, м/с	5,94	5,19	5,31	5,66	5,69	5,00	4,84	4,80	4,88	5,21	5,27	5,33
Высота снежного покрова, см	48,01	53,60	62,60	65,18	48,51	21,36	-	-	-	12,02	20,50	38,92

Составлено авторами

¹ URL: http://qfrost.net/index_ru.html. (Дата обращения: 21.11.2018).

² URL: https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Тазовском. (Дата обращения: 21.11.2018).

Из условия увлажнения верхней толщи грунтов для типа 1 (сухие участки) предложено конструктивно-технологическое решение №1 по устройству автомобильных дорог на многолетнемерзлых грунтах. В рассматриваемом конструктивно-технологическом решении №1 предлагается расположить под откосной частью насыпи автомобильной дороги гранулированный теплоизоляционный материал (ГТМ) «ДиатомИК»³ в водонепроницаемых биг-бегах. ГТМ «ДиатомИК» является пористым окатанным материалом в виде гравия разных фракций (0,16-40 мм). Одним из основных свойств ГТМ «ДиатомИК» является малый вес, обеспеченный пористой структурой материала. В связи с этим возникает проблема размещения заданного объема ГТМ «ДиатомИК» в теле насыпи автомобильной дороги. При сильных порывах ветра материал разлетается, теряя первоначально заданную ему форму. Следствием является увеличение трудозатрат по устройству ГТМ «ДиатомИК» в теле насыпи автомобильной дороги. Для устранения данной проблемы предлагается использовать водонепроницаемую оболочку (биг-бэг) для размещения в ней ГТМ «ДиатомИК». С целью гидроизолировать ГТМ и уменьшить деформации конструкции автомобильной дороги предлагается разместить обойму из водонепроницаемого геосинтетического материала в теле насыпи. Предлагаемая схема конструктивно-технологического решения №1 по условиям увлажнения верхней толщи грунтов тип 1 (сухие участки) представлена на рисунке 1.

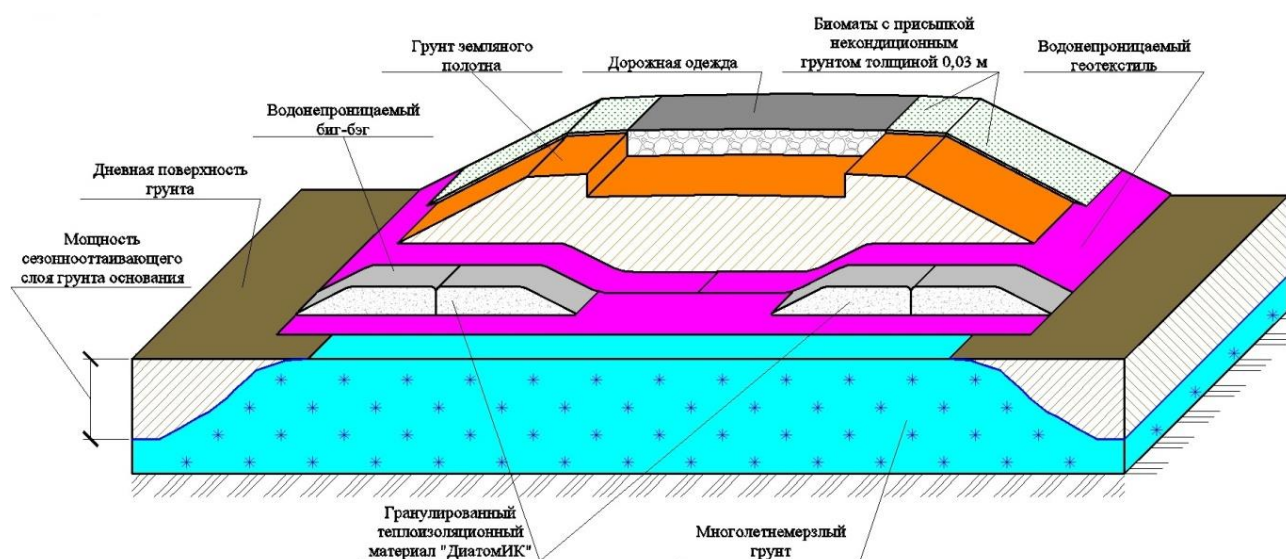
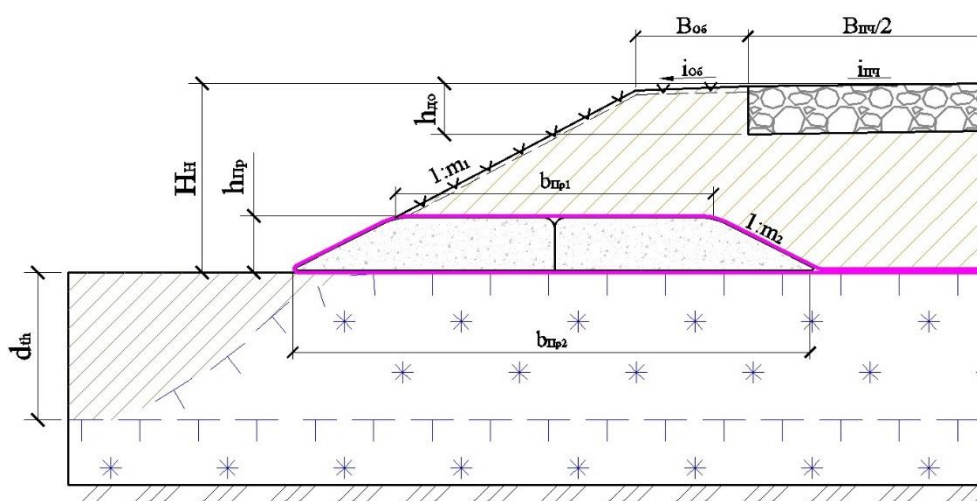


Рисунок 1. Схема конструктивно-технологического решения №1 конструкции автомобильной дороги на участках с условием увлажнения верхней толщи грунтов тип 1 – сухие участки (рисунок выполнен авторами)

На рисунке 2 представлен поперечный профиль предлагаемого конструктивно-технологического решения №1 автомобильной дороги на многолетнемерзлых грунтах.

Сопоставление результатов численного моделирования водно-теплового режима автомобильной дороги на многолетнемерзлых грунтах в общем случае (насыпь из грунта) с предлагаемым конструктивно-технологическим решением №1 представлено на рисунке 3.

³ URL: <http://dtm72.ru>. (Дата обращения 22.11.2018).



$B_{пр}$ – ширина проезжей части; $B_{об}$ – ширина обочины; $b_{пр1}$, $b_{пр2}$ – ширина верхнего и нижнего основания теплоизоляционной призмы в теле насыпи соответственно; $H_н$ – высота насыпи; $h_{пр}$ – высота теплоизоляционной призмы в теле насыпи; $h_{до}$ – толщина дорожной одежды; $d_{гн}$ – мощность сезоннооттаивающего слоя грунта основания; $i_{пр}$, $i_{об}$ – поперечный уклон проезжей части и обочины, соответственно; $1:m_1$ – заложение откоса насыпи; $1:m_2$ – заложение откоса теплоизоляционной призмы в теле насыпи

Рисунок 2. Поперечный профиль конструктивно-технологического решения №1 (рисунок выполнен авторами)



Зеленым цветом обозначен относительный объем талой фазы грунта. Красным, оранжевым, желтым цветом обозначена положительная температура, голубым, синим – отрицательная

Рисунок 3. Результаты численного моделирования водно-теплового режима автомобильной дороги на многолетнемерзлых грунтах в общем случае (слева) и конструктивно-технологического решения №1 (справа) (рисунок выполнен авторами)

Из условия увлажнения верхней толщии грунтов для типа 2 (сырые участки с избыточным увлажнением в отдельные периоды года) предложено конструктивно-технологическое решение №2. Характерным источником увлажнения верхней толщии грунтов типа 2 являются кратковременно стоящие (до 30 суток) поверхностные воды. В рассматриваемом конструктивно-технологическом решении №2 предлагается расположить под откосной частью насыпи автомобильной дороги гранулированный теплоизоляционный материал (ГТМ) «ДиатомИК» в водонепроницаемых биг-бегах выше уровня кратковременно стоящих (до 30 суток) поверхностных вод. С целью гидроизолировать ГТМ и уменьшить деформации конструкции автомобильной дороги предлагается разместить поперек откоса из водонепроницаемого геосинтетического материала в теле насыпи и в основании автомобильной дороги. Для снижения влияния кратковременно стоящих поверхностных вод на предлагаемую конструкцию в основании автомобильной дороги выполняются работы по устройству продольных траншей с вертикальным размещением в ней водонепроницаемого геосинтетического материала. По окончании размещения водонепроницаемого геотекстиля

производится обратная засыпка траншеи выработанным грунтом с последующим уплотнением и устройством полуобоймы. Предлагаемая схема конструктивно-технологического решения №2 по условиям увлажнения верхней толщи грунтов тип 2 (сырые участки с избыточным увлажнением в отдельные периоды года) представлена на рисунке 4.

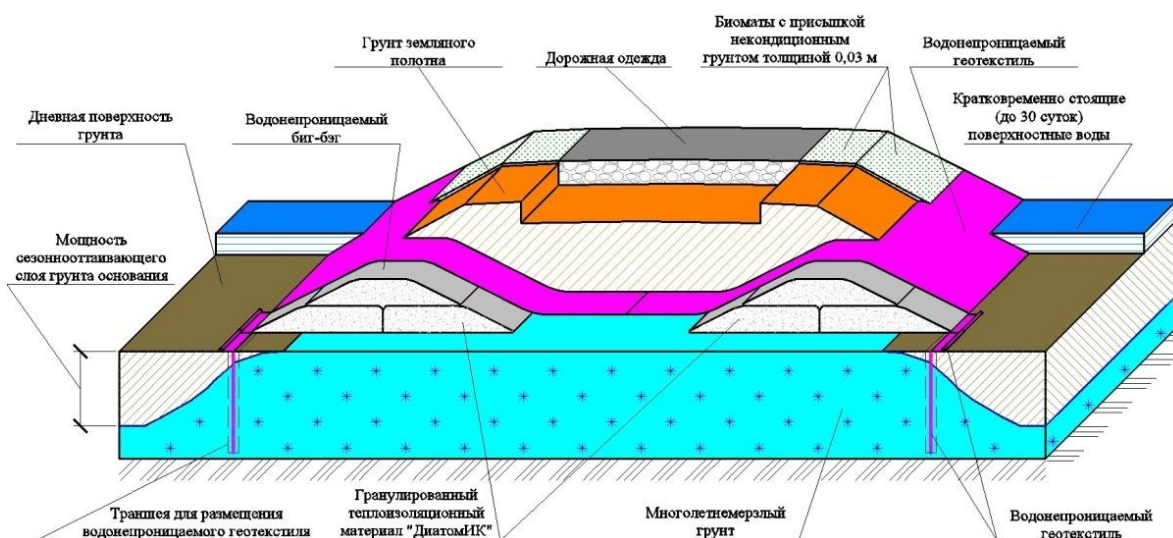
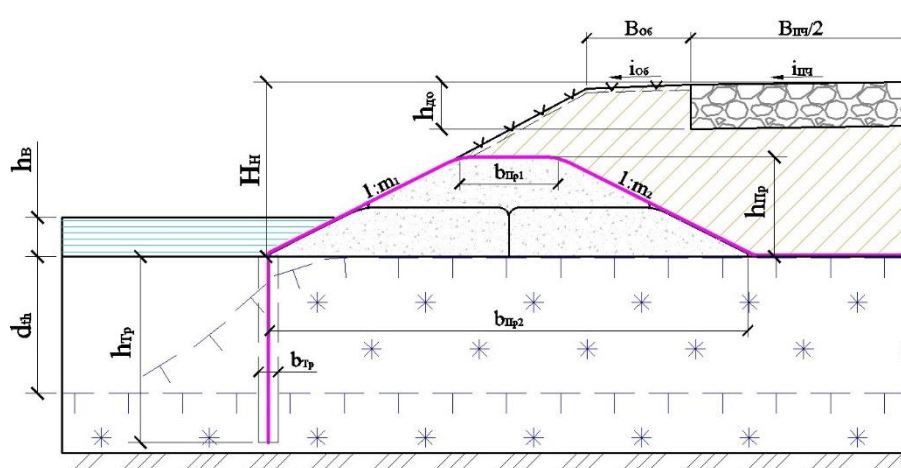


Рисунок 4. Схема конструктивно-технологического решения №2 конструкции автомобильной дороги на участках с условием увлажнения верхней толщи грунтов тип 2 – сырые участки с избыточным увлажнением в отдельные периоды года (рисунок выполнен авторами)

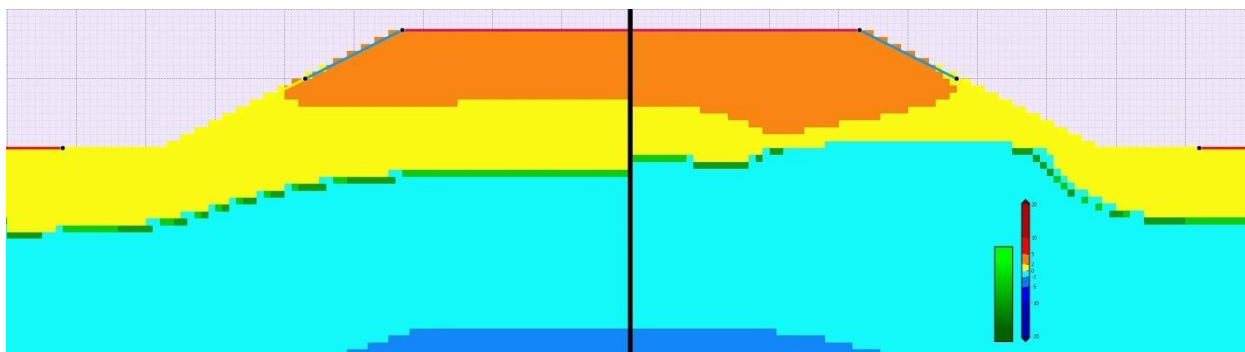
На рисунке 5 представлен поперечный профиль предлагаемого конструктивно-технологического решения №2 автомобильной дороги на многолетнемерзлых грунтах.

Сопоставление результатов численного моделирования водно-теплового режима автомобильной дороги на многолетнемерзлых грунтах в общем случае (насыпь из грунта) с предлагаемым конструктивно-технологическим решением №2 представлено на рисунке 6.



$V_{пр}$ – ширина проезжей части; $V_{об}$ – ширина обочины; $b_{пр1}$, $b_{пр2}$ – ширина верхнего и нижнего оснований теплоизоляционной призмы в теле насыпи соответственно; $b_{тр}$ – ширина траншеи; H_n – высота насыпи; $h_{пр}$ – высота теплоизоляционной призмы в теле насыпи; $h_{до}$ – толщина дорожной одежды; h_v – высота кратковременно стоящих (до 30 суток) поверхностных вод; $h_{тр}$ – глубина траншеи; d_n – мощность сезоннооттаивающего слоя грунта основания; $i_{пр}$, $i_{об}$ – поперечный уклон проезжей части и обочины, соответственно; $1:m_1$ – заложение откоса насыпи; $1:m_2$ – заложение откоса теплоизоляционной призмы в теле насыпи

Рисунок 5. Поперечный профиль конструктивно-технологического решения №2 (рисунок выполнен авторами)



Зеленым цветом обозначен относительный объем талой фазы грунта. Красным, оранжевым, желтым цветом обозначена положительная температура, голубым, синим – отрицательная

Рисунок 6. Результаты численного моделирования водно-теплового режима автомобильной дороги на многолетнемерзлых грунтах в общем случае (слева) и конструктивно-технологического решения №2 (справа) (рисунок выполнен авторами)

Из условия увлажнения верхней толщи грунтов для типа 3 (мокрые участки с постоянным избыточным увлажнением) предложено конструктивно-технологическое решение №3 по устройству автомобильных дорог на многолетнемерзлых грунтах. Характерным источником увлажнения верхней толщи грунтов типа 3 являются длительно стоящие (более 30 суток) поверхностные воды. В рассматриваемом конструктивно-технологическом решении №3 предлагается расположить под откосной частью насыпи и в основании автомобильной дороги гранулированный теплоизоляционный материал (ГТМ) «ДиатомИК» в водонепроницаемых биг-бегах выше уровня длительно стоящих (более 30 суток) поверхностных вод. Идентично к рассматриваемому конструктивно-технологическому решению №2 предлагается разместить полуобойму из водонепроницаемого геосинтетического материала в теле насыпи и в основании автомобильной дороги для гидроизоляции ГТМ и уменьшения деформации конструкции автомобильной дороги. Для снижения влияния длительно стоящих поверхностных вод на водно-тепловой режим конструкции в основании автомобильной дороги выполняются работы по устройству продольных траншей с дальнейшим вертикальным размещением в них водонепроницаемого геосинтетического материала и ГТМ. Предлагаемая схема конструктивно-технологического решения №3 по условиям увлажнения верхней толщи грунтов тип 3 (мокрые участки с постоянным избыточным увлажнением) представлена на рисунке 7.

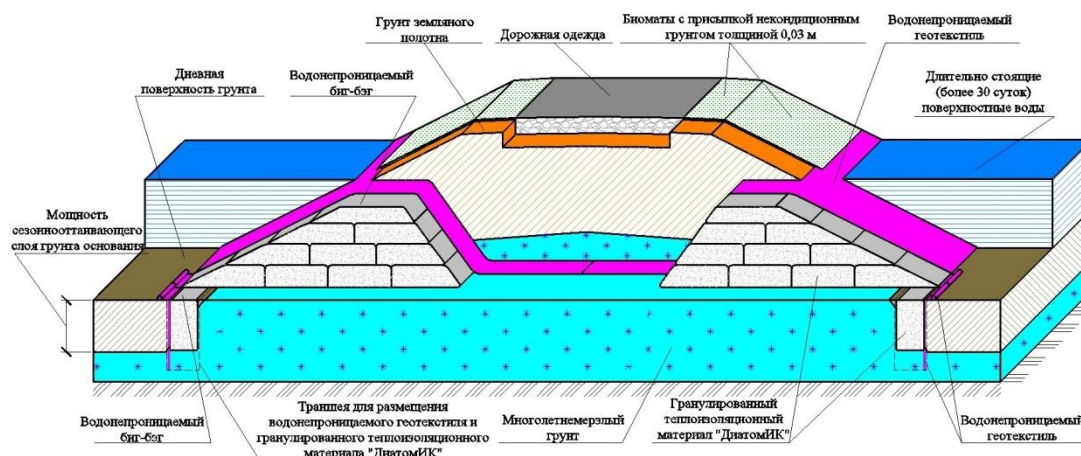
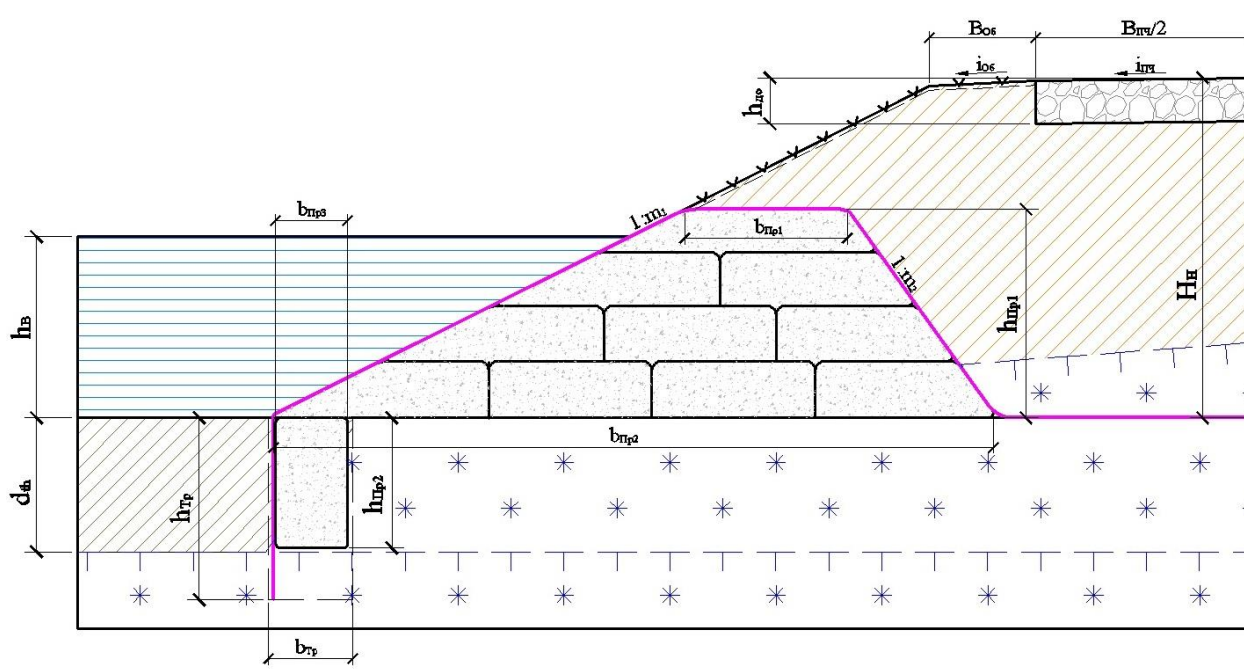


Рисунок 7. Схема конструктивно-технологического решения №3 конструкции автомобильной дороги на участках с условием увлажнения верхней толщи грунтов тип 3 – мокрые участки с постоянным избыточным увлажнением (рисунок выполнен авторами)

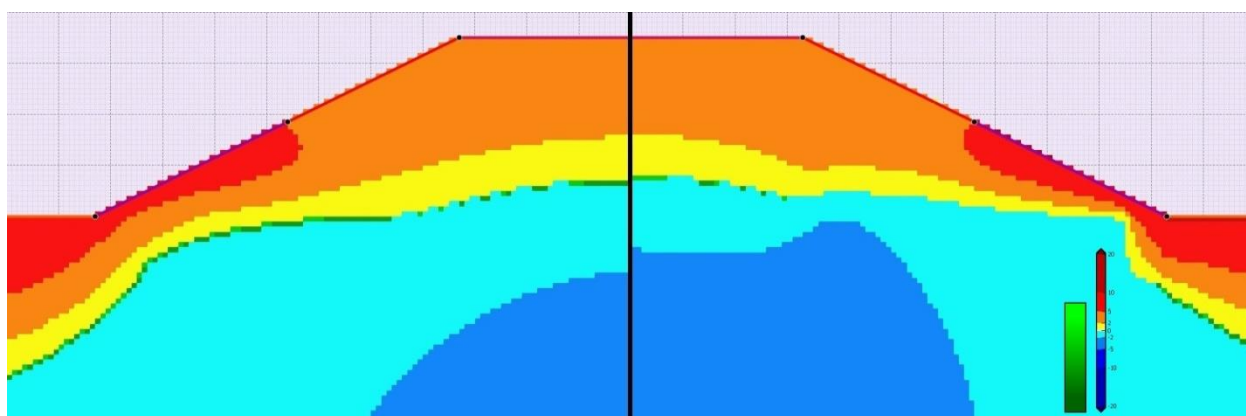
На рисунке 8 представлен поперечный профиль предлагаемого конструктивно-технологического решения №3 автомобильной дороги на многолетнемерзлых грунтах.

Сопоставление результатов численного моделирования водно-теплового режима автомобильной дороги на многолетнемерзлых грунтах в общем случае (насыпь из грунта) с предлагаемым конструктивно-технологическим решением №3 представлено на рисунке 9.



$b_{ПЧ}$ – ширина проезжей части; $B_{об}$ – ширина обочины; $b_{Пр1}$, $b_{Пр2}$ – ширина верхнего и нижнего основания теплоизоляционной призмы в теле насыпи соответственно; $b_{Пр3}$ – ширина теплоизоляционной призмы в основании; $b_{тр}$ – ширина траншеи; $H_{н}$ – высота насыпи; $h_{Пр1}$ – высота теплоизоляционной призмы в теле насыпи; $h_{Пр2}$ – высота теплоизоляционной призмы в основании; $h_{до}$ – толщина дорожной одежды; $h_{в}$ – высота длительно стоящих (более 30 суток) поверхностных вод; $h_{тр}$ – глубина траншеи; d_{th} – мощность сезоннооттаивающего слоя грунта основания; $i_{ПЧ}$, $i_{об}$ – поперечный уклон проезжей части и обочины, соответственно; $1:m_1$ – заложение откоса насыпи; $1:m_2$ – заложение откоса теплоизоляционной призмы в теле насыпи

Рисунок 8. Поперечный профиль конструктивно-технологического решения №3 (рисунок выполнен авторами)



Зеленым цветом обозначен относительный объем талой фазы грунта. Красным, оранжевым, желтым цветом обозначена положительная температура, голубым, синим – отрицательная

Рисунок 9. Результаты численного моделирования водно-теплового режима автомобильной дороги на многолетнемерзлых грунтах в общем случае (слева) и конструктивно-технологического решения №3 (справа) (рисунок выполнен авторами)

При реализации предложенных конструктивно-технологических решений необходимо определить следующие параметры:

- прочностные характеристики водонепроницаемого геосинтетического материала назначаются согласно расчету напряженно-деформированного состояния автомобильной дороги на многолетнемерзлых грунтах в период максимального оттаивания деятельного слоя;
- ширина и глубина продольной траншеи, форма теплоизоляционной призмы в подоткосной части земляного полотна и, в частности для решения №3, основании автомобильной дороги назначается согласно теплотехническому расчету автомобильной дороги на многолетнемерзлых грунтах в период максимального оттаивания деятельного слоя.

Сопоставляя результаты численного моделирования водно-теплового режима насыпей с предложенными конструктивно-технологическими решениями и грунтовыми насыпями автомобильной дороги на многолетнемерзлых грунтах, сделаны следующие выводы:

1. Применение теплоизоляционных призм в теле насыпи и, в частности для конструктивно-технологического решения №3, в основании автомобильной дороги способствует поднятию кровли многолетнемерзлых грунтов в подоткосной части насыпи:

- при конструктивно-технологическом решении №1 кровля ММГ поднялась на 0,7 м;
- при конструктивно-технологическом решении №2 кровля ММГ поднялась на 0,9 м;
- при конструктивно-технологическом решении №3 кровля ММГ поднялась на 0,91 м.

2. Для подтверждения полученных результатов численного моделирования предлагаемых типовых конструкций автомобильных дорог на многолетнемерзлых грунтах необходимо провести серию экспериментов в лабораторных условиях. Оценка идентичности процессов, описываемых численным моделированием предлагаемых типовых конструкций автомобильных дорог на многолетнемерзлых грунтах, будет выполняться путем сопоставления результатов экспериментальных данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бешенцев В.А. Изменение климата как фактор воздействия на криолитозону севера Западной Сибири // Арктика, Субарктика: мозаичность, контрастность, вариативность криосферы: Труды международной конференции / Под ред. В.П. Мельникова и Д.С. Дроздова. – Тюмень: Изд-во Эпоха, 2015. – С. 24-26.
2. Макаров А.С., Краев Ал.Н. Использование некондиционных грунтов в теле насыпи автомобильных дорог в условиях вечной мерзлоты // Сборник материалов XV научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов, соискателей и магистрантов ТюмГАСУ – В 2-х т. – Т. I. – Тюмень: РИО ТюмГАСУ, 2015. – С. 79-85.
3. Макаров А.С., Краев А.Н., Твердохлеб С.А., Шанхоев З.Ш. Результаты экспериментального исследования и численного моделирования плоскопараллельного промораживания образца грунта в экспериментальном стенде // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», Том 4, №4 (2017) –

Режим доступа: <https://t-s.today/PDF/09TS417.pdf>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.

4. Облогов Г.Е., Коростелев Ю.В., Орехов П.Т., Малкова Г.В., Васильев А.А. Межгодовая изменчивость климатических характеристик, определяющих динамику мерзлых толщ на полуострове Ямал // Арктика, Субарктика: мозаичность, контрастность, вариативность криосферы: Труды международной конференции / Под ред. В.П. Мельникова и Д.С. Дроздова. – Тюмень: Изд-во Эпоха, 2015. – С. 265-268.
5. Основы геокриологии. Ч. 5. Инженерная геокриология / под ред. Э.Д. Ершова. – М.: МГУ, 1999. – 526 с.
6. Пономарева О.Е., Гравис А.Г., Устинова Е.В., Бляхарчук Т.А., Москаленко Н.Г., Бердников Н.М. Реакция криогенных ландшафтов северной тайги Западной Сибири на изменение климата // Арктика, Субарктика: мозаичность, контрастность, вариативность криосферы: Труды международной конференции / Под ред. В.П. Мельникова и Д.С. Дроздова. – Тюмень: Изд-во Эпоха, 2015. – С. 300-303.
7. Хрусталева Л.Н., Черкасова Л.Н. Численный метод решения задачи промерзания-оттаивания грунта // Изв. Сибирского отд. А.Н. СССР, серия техн. наук. – 1966. – Т. 6, № 2. – С. 12-24.
8. Хрусталева Л.Н. Основы геотехники в криолитозоне. – МГУ Москва, 2005. – 544 с. Учебник по строительству инженерных сооружений в криолитозоне.
9. Хрусталева Л.Н. Проблемы геотехники в криолитозоне // Материалы Пятой конференции геокриологов России. МГУ имени М.В. Ломоносова, 14-17 июня 2016 г. Т. 1. Пленарные доклады. Часть 1. Инженерная геокриология. Часть 2. Линейные сооружения в криолитозоне. Часть 3. Сезонно-действующие и охлаждающие системы в криолитозоне. Часть 4. Геофизические исследования в криолитозоне при строительстве. – М.: Университетская книга, 2016. – С. 26-38.
10. Чжан А.А. Оценка мероприятий по стабилизации мерзлотных условий в основании железнодорожной насыпи // Материалы Пятой конференции геокриологов России. МГУ имени М.В. Ломоносова, 14-17 июня 2016 г. Т. 1. Пленарные доклады. Часть 1. Инженерная геокриология. Часть 2. Линейные сооружения в криолитозоне. Часть 3. Сезонно-действующие и охлаждающие системы в криолитозоне. Часть 4. Геофизические исследования в криолитозоне при строительстве. – М.: Университетская книга, 2016. – С. 221-228.

Makarov Aleksei Sergeevich

Industrial university of Tyumen, Tyumen, Russian
E-mail: Mak351218@mail.ru

Kraev Alexey Nikolaevich

Industrial university of Tyumen, Tyumen, Russian
E-mail: kraev_aln@mail.ru

Shankhoeff Zurab Shabazgireevich

Industrial university of Tyumen, Tyumen, Russian
E-mail: zurab_shanhoeff@mail.ru

Structural-technological solutions for the construction of roads on permafrost soils

Abstract. In this article, the authors briefly reviewed the problem of building roads on permafrost soils, according to the first engineering principle. The probable causes, affecting the thermal regime of the frozen soil at the base of the road, are also considered. In order to stabilize the road structure on permafrost soils, the team of authors of this article proposed 3 structural-technological solutions for the construction of roads, depending on the moisture levels of the upper soil mass, calculated for geotechnical and temperature-humidity conditions typical for the Yamalo-Nenets Autonomous district. The scheme, description and assessment of the effectiveness of each proposed structural-technological solution is given. Efficiency of the assessment is based on a comparison of the numerical modeling results of the water-thermal mode of mound with the proposed structural-technological solutions and ground embankments of roads on permafrost. The results of the numerical modeling of road embankments on permafrost soils are presented. The main conclusions of the research are formulated.

Keywords: road; permafrost soils; structural-technological solution; numerical simulation; water-thermal mode; embankment; granulated heat insulation material

REFERENCES

1. Beshentsev V.A. (2015). Climate change as a factor of influence on the cryolithozone of the north of Western Siberia. [*Izmenenie klimata kak faktor vozdeystviya na kriolitozonu severa Zapadnoy Sibiri*. Ed. by V.P. Mel'nikova, D.S. Drozdova. Tyumen: Publishing House Epoch, pp. 24-26].
2. Makarov A.S., Kraev A.I.N. (2015). The use of substandard soils in the body of the highway embankment in permafrost conditions. [*Ispol'zovanie nekonditsionnykh gruntov v tele nasypi avtomobil'nykh dorog v usloviyakh vechnoy merzloty*.] Tyumen: RIO TyumGASU, pp. 79-85.
3. Makarov A.S., Kraev A.N., Tverdokhlebov S.A., Shankhoyev Z.Sh. (2017). Results of experimental research and numerical modeling of plane-parallel freezing of a soil sample in an experimental test-bed. *Russian journal of transport engineering*, [online] 4(4). Available at: <https://t-s.today/PDF/09TS417.pdf> (in Russian). DOI: 10.15862/09TS417.
4. Oblogov G.E., Korostelev Yu.V., Orekhov P.T., Malkova G.V., Vasil'ev A.A. (2015). Interannual variability of climatic characteristics that determine the dynamics of frozen strata on the Yamal Peninsula. [*Mezhgodovaya izmenchivost' klimaticheskikh kharakteristik, opredelyayushchikh dinamiku merzlykh tolshch na poluostrove Yamal*. Ed. by V.P. Mel'nikova, D.S. Drozdova. Tyumen: Publishing House Epoch, pp. 265-268].
5. (1999). Fundamentals of geocryology. Part 5. Engineering geocryology. [*Osnovy geokriologii. Chast' 5. Inzhenernaya geokriologiya*. Ed. by Eh.D. Ershova. Moscow: Moscow State University, p. 526].
6. Ponomareva O.E., Gravis A.G., Ustinova E.V., Blyakharchuk T.A., Moskalenko N.G., Berdnikov N.M. (2015). Reaction of cryogenic landscapes of northern taiga in Western Siberia to climate change. [*Reaktsiya kriogennykh landshaftov severnoy taygi Zapadnoy Sibiri na izmenenie klimata*. Ed. by V.P. Mel'nikova, D.S. Drozdova. Tyumen: Publishing House Epoch, pp. 300-303].
7. Khrustalev L.N., Cherkasova L.N. (1966). A numerical method for solving the problem of soil freezing-thawing. *News of the Siberian Branch A.N. the USSR*, 2(6), pp. 12-24.
8. Khrustalev L.N. (2005). The basics of geotechnics in the cryolithozone. [*Osnovy geotekhniki v kriolitozone*.] Moscow: Moscow State University, p. 544.
9. Khrustalev L.N. (2016). Geotechnical problems in the cryolithozone. [*Problemy geotekhniki v kriolitozone*.] Moscow: University Book, pp. 26-38.
10. Chzhan A.A. (2016). Evaluation of measures to stabilize permafrost conditions at the base of the railway embankment. [*Otsenka meropriyatiy po stabilizatsii merzlotnykh usloviy v osnovanii zheleznodorozhnoy nasypi*.] Moscow: University Book, pp. 221-228.