

Интернет-журнал «Транспортные сооружения» / Russian Journal of Transport Engineering <https://t-s.today>

2024, Том 11, № 2 / 2024, Vol. 11, Iss. 2 <https://t-s.today/issue-2-2024.html>

URL: <https://t-s.today/PDF/03SATS224.pdf>

DOI: 10.15862/03SATS224 (<https://doi.org/10.15862/03SATS224>)

2.1.8. Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей (технические науки)

УДК 624.21/8

Новые подходы к проектированию и строительству железных и автомобильных дорог в криолитозоне

¹Сахаров И.И., ²Кудрявцев С.А., ³Парамонов В.Н., ²Вальцева Т.Ю.

¹АО «Всероссийский научно-исследовательский институт
гидротехники имени Б.Е. Веденеева», Санкт-Петербург, Россия

²ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный
университет путей сообщения», Хабаровск, Россия

³ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет
путей сообщения Императора Александра I», Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Вальцева Татьяна Юрьевна, e-mail: vtu25@mail.ru

Аннотация. В данной статье обоснована необходимость развития сети железных дорог, в связи с перспективами увеличения грузопотоков, рассмотрены причины и проблемы применения традиционных конструктивных решений.

Авторами представлены примеры аварий железных дорог в криолитозоне, обусловленные деградацией протаивающих мерзлых оснований. Показано, что ввиду метеорологических прогнозов во всём мире в целом, в криолитозоне Российской Федерации в частности, аварийность существующих дорог будет возрастать. Авторами проведен обзор расчетного обеспечения конструктивных решений в криолитозоне, и подвергнут критическому анализу. Обращено внимание на то обстоятельство, что в настоящее время ОАО РЖД планирует резкое увеличение инвестиций в развитие Транссиба и БАМа,

предполагающее увеличение пропускной и провозной способности железнодорожных линий за счет увеличения скоростей движения, увеличения нагрузок на оси вагонов и уменьшения интервалов попутного следования поездов. Такие мероприятия требуют отказа от традиционных методов строительства дорог с использованием насыпей и переходом на эстакады. Предложено решение в виде эстакад, которые помимо обеспечения заявленных скоростей и интервалов движения, позволяют минимизировать объемы инженерных изысканий, а также резко упростить проектирование всех элементов высокоскоростных магистралей.

Ключевые слова: железная дорога; криолитозона; эстакада; многолетнемерзлый грунт; деформации; многопролетные строения; протаивание

New approaches to design and construction of railways and motorways in permafrost zone

¹Igor I. Sakharov, ²Sergey A. Kudryavtsev, ³Vladimir N. Paramonov, ²Tatiana Y. Valtseva

¹Vedeneev VNIIG, Saint Petersburg, Russia

²Far Eastern State Transport University, Khabarovsk, Russia

³Emperor Alexander I Saint Petersburg State Transport University, Saint Petersburg, Russia

Corresponding author: Tatiana Y. Valtseva, e-mail: vtu25@mail.ru

Abstract. This article substantiates the necessity of railway network development in connection with the increase of traffic density prospects, considers the reasons and problems of traditional design solutions application.

The authors present examples of railway accidents in the permafrost zone caused by the degradation of thawing permafrost bases. It is shown that in view of meteorological forecasts in the whole world in general and in the permafrost zone of the Russian Federation in particular, the accident rate of existing roads will increase. The authors have reviewed the design support of structural solutions in the permafrost zone and critically analysed them. Attention is drawn to the fact that at present JSC Russian Railways is planning a sharp increase in investment in the development of the Trans-Siberian

Railway and Baikal-Amur Mainline, which implies an increase in the throughput and carrying capacity of railway lines by increasing the speed of traffic, increasing the loads on the axles of cars and reducing the train spacing. Such measures require abandoning traditional road construction methods using embankments and switching to overpasses. The solution in the form of overpasses is proposed, which in addition to providing the declared speeds and traffic intervals, allow to minimise the engineering investigations volume, as well as dramatically simplify the design of all elements of high-speed highways.

Keywords: railway; permafrost zone; overpasse; permafrost ground; deformations; multi-span structures; thawing

Данная статья доступна по лицензии Creative Commons “Attribution” («Атрибуция») 4.0 Всемирная

This article is available under the Creative Commons “Attribution” 4.0 Global License



1. Необходимость железных и автомобильных дорог для Российской Федерации в обозримом будущем

1. Necessity of railways and motorways for the Russian Federation in the foreseeable future

Территория Российской Федерации по площади превосходит размеры всех других стран в мире. Без сомнений, развитие сети железных и автомобильных дорог обеспечивает «сшивку» государства и обеспечивает интеграцию регионов в единый хозяйственный механизм. Именно этими соображениями диктовалась постройка Транссибирской железной дороги, начатая еще в девятнадцатом веке. Это понимали и руководители советского периода, сооружая Байкало-Амурскую магистраль и начиная сооружение автомобильной дороги «Амур». Тем не менее в конце 20-ого и начале 21 века эти магистрали считались дотационными и, в особенности Байкало-Амурская магистраль, приходили в запустение. Полностью был заброшен северный широтный ход Салехард — Игарка, практически полностью возведенный руками заключенных после войны [1].

Вместе с тем, изменение политической ситуации в 2022 году, заставляет в короткие сроки переориентировать экономику России на страны Востока и, прежде всего Китай. Сложившаяся ситуация означает, что дороги широтного направления становятся всё более востребованы, в том числе в долгосрочной перспективе. При этом различные взаимодействия и коммуникации вблизи границы с Китаем приобретают ярко выраженное коммерческое значение, а северный широтный ход должен будет укрепить, прежде всего, военный потенциал нашего государства. Таким образом, в настоящее время строительство нескольких дорог различного назначения, прежде всего железных, как обеспечивающих максимальный объем перевозок грузов и пассажиров, является острой необходимостью. Однако такие затратные объекты строительства должны выполняться с обязательным учетом современных требований к перспективным скоростям и интенсивности перевозок [2; 3], принимая во внимание самые новые мировые современные конструктивные и технологические решения.

2. Типовые конструктивные решения прежних лет

2. Typical design solutions of previous years

Дороги широтных направлений в России характеризуются достаточно большой протяженностью. При этом наиболее важным

является то обстоятельство, что на значительных участках и направлениях (а северный широтный ход — даже на всем протяжении) дороги прокладываются в криолитозоне, то есть при залегании в их основании вечномёрзлых грунтов [4]. Особенностью таких вечномёрзлых грунтов являются происходящие в них различные процессы, приводящие к деформации оснований и потере устойчивости насыпей при их постепенном растеплении [5]. Традиционные методы и способы сокращения до минимума такой деградации вечномёрзлых грунтов (охлаждающие трубы, скальные насыпи, бермы и наброски, сезонные охлаждающие устройства и др.) не способствуют сохранению мерзлого состояния проблемных грунтов основания, что становится особенно очевидным при повсеместно отмечаемом на Севере потеплении, повышении среднегодовых температур наружного воздуха [6]. Немаловажным является также тот факт, что широко используемые в северном строительстве сезонные охлаждающие устройства (СОУ), для зданий, а также для нефтегазовых объектов, способны эффективно работать только при существенном движении воздуха у конденсаторов, в то время как вблизи дорог, особенно после их обязательной систематической расчистки от снежного покрова, может отмечаться полное безветрие. Таким образом, возникает необходимость в разработке новых конструктивных решений, которые максимально сократят или полностью ликвидируют деформации оснований конструкций железных и автомобильных дорог в виду деградации мерзлых грунтов.

3. Аварийность дорог в криолитозоне

3. Accident rate of roads in the permafrost zone

Необходимо отметить, что аварийность железных дорог Севера и Сибири в Российской Федерации чрезвычайно высока и продолжает неуклонно расти с течением времени [7]. Происходит искривление рельсового пути при осадках насыпи, крен опор контактных сетей, неэффективность сезонных охлаждающих устройств при малых скоростях ветра.

Рельсошпальная плеть и опоры контактной сети испытывают достаточно существенные деформации, вызванные деформацией оснований в связи с повышением температуры грунтов и их оттаиванием. Деформации такого порядка требуют систематического исправления, так как в противном случае скорость движения поездов вынужденно будет снижаться до минимальных значений вплоть до их полной остановки.

Этот факт заставляет практически на каждом разъезде создавать и содержать ремонтные бригады, а также располагать достаточным количеством времени для качественной и оперативной под штопки

железнодорожных путей, что возможно только лишь при малой интенсивности движения железнодорожных составов.

4. Метеорологические прогнозы в мире и в криолитозоне Российской Федерации на ближайшие десятилетия

4. Meteorological forecasts in the world and in the permafrost zone of the Russian Federation for the next decades

Последнее время проблема глобального потепления и изменения климата широко освещается в средствах массовой информации и изучается учеными различных уровней [8].

Если не рассматривать все вероятные причины этого явления, то можно отметить, что систематические замеры температур воздуха и грунтовых температур, регулярно производимые с начала прошлого века и продолжающиеся по настоящее время, показывают устойчивый рост температур во всем мире. Особенно интенсивно повышение температур проявляется в Сибири.

Так, тренды повышения температур в отдельных районах криолитозоны Российской Федерации, начиная с 70-х годов прошлого века, достигают 2 и более градусов за 50 лет, что имеет существенное значение. Это означает, что к середине 21 века температуры мерзлых грунтов на обширных территориях Российской Федерации будут значительно повышены, а в ряде районов многолетняя мерзлота вообще рискует прекратить свое существование ввиду полной ее деградации. Очевидно, что проектирование и строительство новых дорог, а также реконструкция существующих сооружений должны вестись с учетом этих климатических особенностей.

5. Расчетное обеспечение конструктивных решений дорог в криолитозоне и его критическое осмысление

5. Calculation support of roads structural solutions in the permafrost zone and its critical understanding

Современное проектирование линейных сооружений в криолитозоне опирается на теплофизические и деформационные расчеты. Пример такого расчета по программе «Termoground» приведен на рисунках 4–7 [9–11].

На рисунке 1 представлена расчетная схема поперечного профиля железнодорожной насыпи.

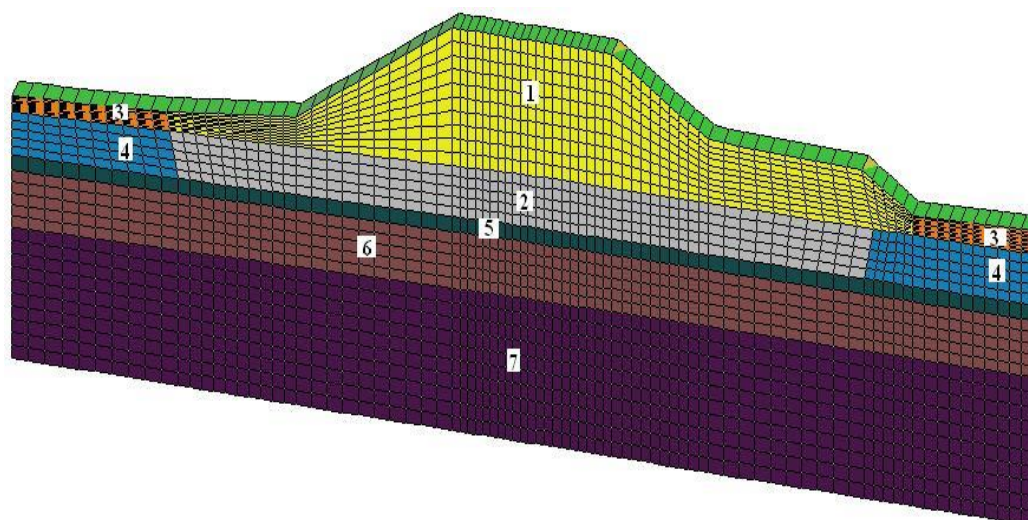


Рисунок 1. Расчетная схема поперечного профиля железнодорожной насыпи. Цветом показаны разные виды грунта (разработано авторами)

Figure 1. Design scheme of the railway embankment cross section. Colours are showing different types of soil (developed by the authors)

На рисунке 2 представлены изолинии и эпюры распределения температур в теле насыпи и в основании при теплотехническом моделировании конструкции.

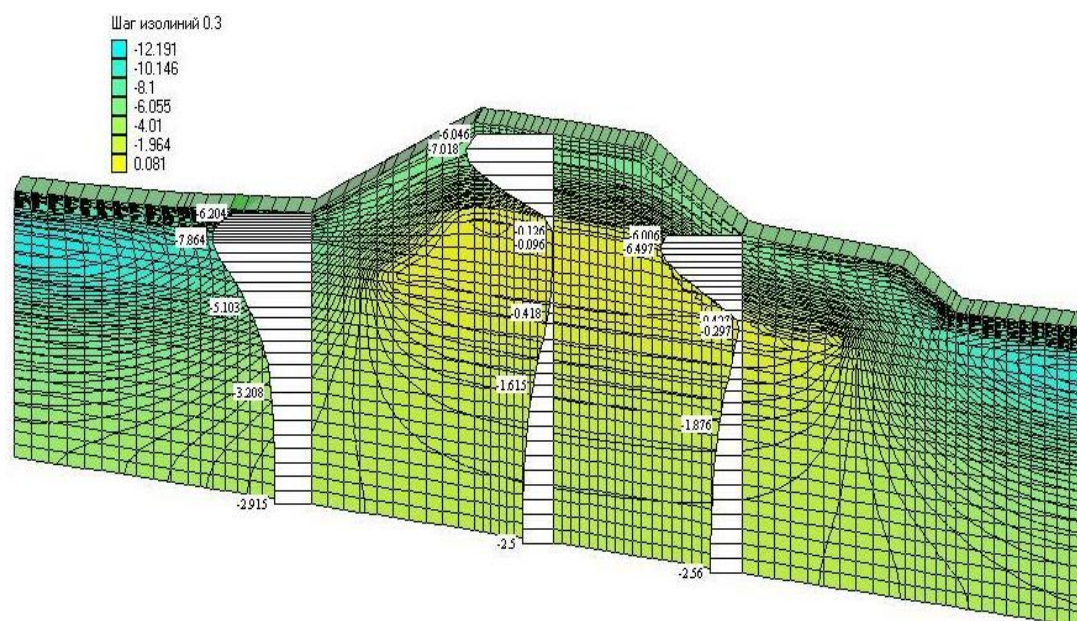


Рисунок 2. Изолинии и эпюры распределения температур в теле насыпи и в основании (разработано авторами)

Figure 2. Temperature distribution isolines and epures in the back of the ballast bed and in the base (developed by the authors)

На рисунке 3 представлены зоны промерзания и оттаивания грунта, мощность оттаявшего грунта по поверхности насыпи и эпюры распределения температур в теле насыпи.

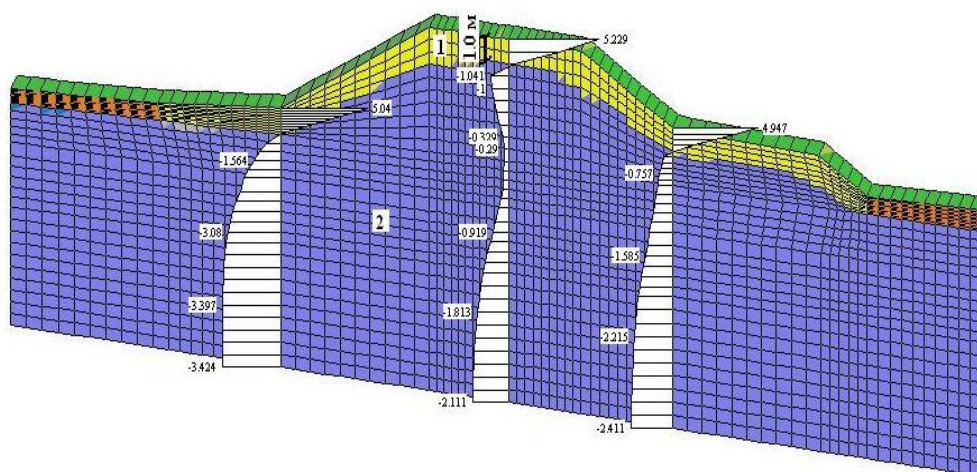


Рисунок 3. Зоны оттаивания грунта
(фиолетовый цвет — мерзлый грунт) (разработано авторами)

Figure 3. Ground thawing zones
(purple colour — frozen ground) (developed by the authors)

На рисунке 4 представлена деформированная конструкция поперечного профиля железнодорожной насыпи.

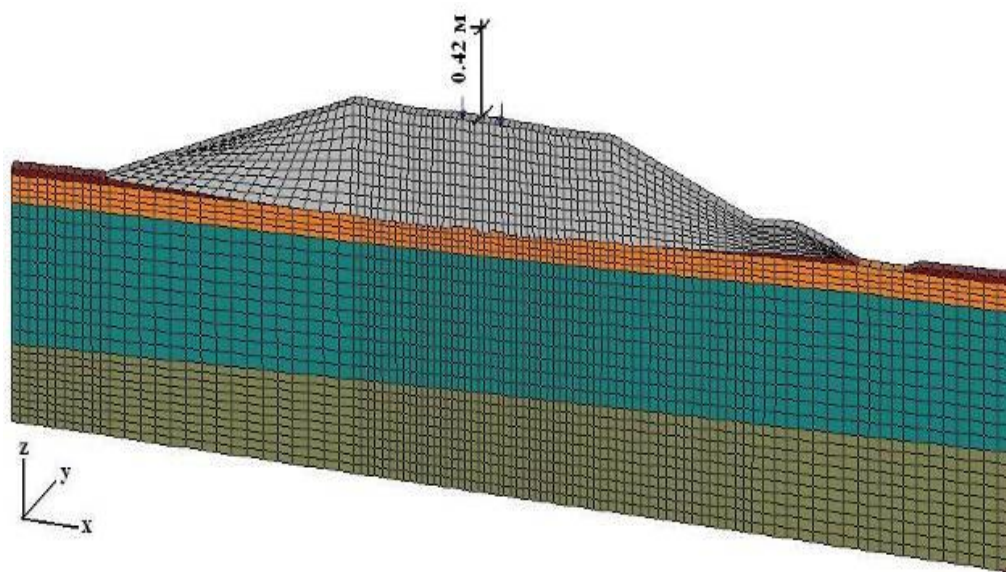


Рисунок 4. Осадка основной площадки насыпи (разработано авторами)

Figure 4. Settlement of the main embankment site (developed by the authors)

Как видно из представленных выше рисунков, математическое численное моделирование предполагает точное расположение разных слоев грунта конструкции (рис. 4), наделенных соответствующими теплофизическими и деформационными характеристиками. При этом температурные расчеты выполняются исходя из конкретных температур, ожидаемых хотя бы в годовом цикле промерзания и оттаивания конструкции. Однако прогноз температур воздуха никогда не может быть точным. Кроме того, такие расчеты, как правило, не учитывают параметры

снегового покрова (толщина и плотность), а также инсоляции. Влияние инсоляции показано на рисунках 8–10 [12; 13]. На рисунке 5 представлен неравномерный нагрев участков поверхности насыпи и основания. Нагрев южного края конструкции насыпи превышает нагрев северного края в два раза, это видно по температурам моделируемой конструкции.

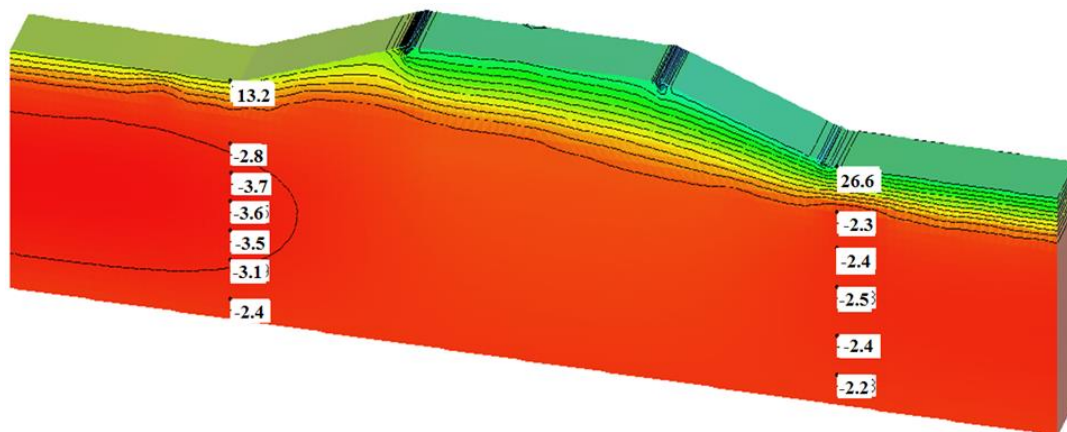


Рисунок 5. Неравномерный нагрев южного (справа) и северного (слева) краев насыпи при инсоляции (цифры — значения температур) (разработано авторами)

Figure 5. Uneven heating of the southern (right) and northern (left) edges of the embankment during insolation (numbers — temperature values) (developed by the authors)

На рисунке 6 показана глубина оттаивания различных участков насыпи и основания. Неравномерный нагрев ведет к разным глубинам оттаивания грунта основания.

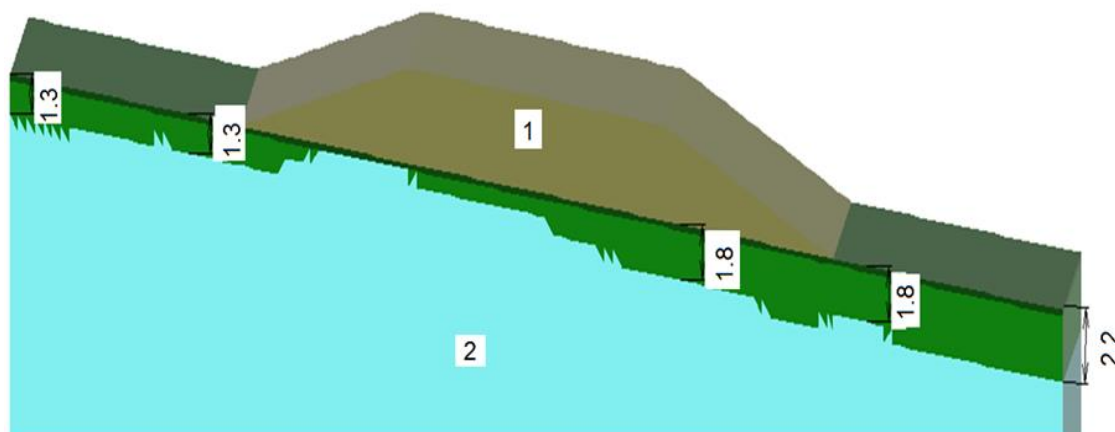
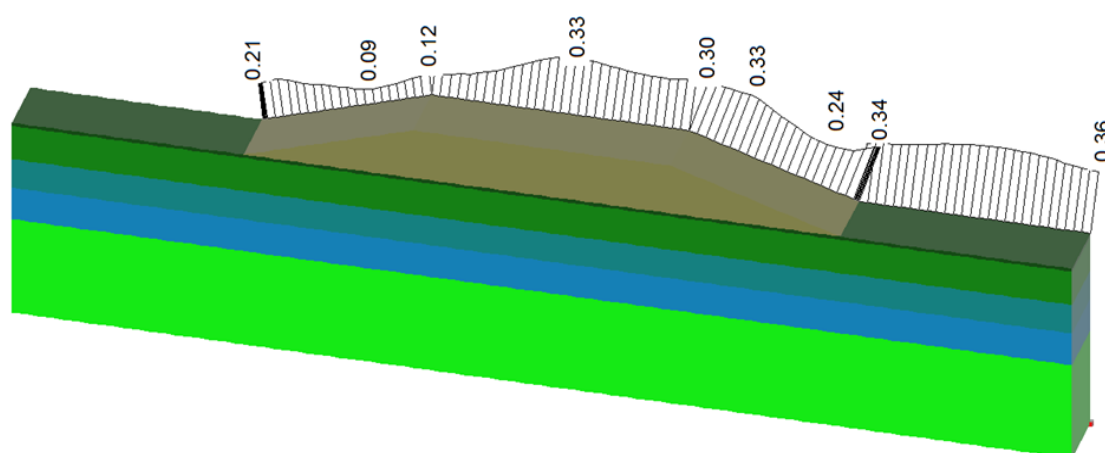


Рисунок 6. Различная глубина оттаивания под краями насыпи, м (голубым цветом показан мерзлый грунт) (разработано авторами)

Figure 6. Different thaw penetration under the embankment edges, m (light blue colour shows frozen ground) (developed by the authors)

На рисунке 7 показаны эпюры осадок конструкции насыпи и основания. Неравномерное оттаивание конструкции приводит к кренам и деформациям насыпей, трассированных в широтном направлении.



*Рисунок 7. Эпюры осадок, м, южного (справа)
и северного (слева) краев насыпи (разработано авторами)*

Figure 7. Settlement epures, m, of the southern (right)
and northern (left) embankment edges (developed by the authors)

Рисунки 1–7 показывают, что корректные численные расчеты требуют совершенно точного расположения слоев грунта в конструкции, а, следовательно, чрезвычайно подробных и корректных инженерно-геологических изысканий. Иными словами, это предполагает, по меньшей мере, бурения нескольких скважин в поперечном профиле с шагом не более 10 метров по длине. Однако ввиду огромной длины проектируемых дорожных конструкций такой объем изысканий будет практически невозможно реализовать в реальности. При этом необходимые для температурных расчетов теплофизические характеристики пока не могут определяться полевыми экспресс методами и, соответственно, требуют трудоемких лабораторных измерений. С учетом неточности прогноза годовых температур воздуха, о которых говорилось выше, можно заключить, что, несмотря на относительно совершенный расчетный аппарат, какие-либо относительно точные расчеты дорожных профилей невозможны. Еще более становится невозможной точность, если в поперечниках предусмотрены сезонные охлаждающие устройства, производительность которых напрямую связана с температурами воздуха.

6. Допустимые параметры дорог при требуемых скоростях движения

6. Valid road parameters for the required traffic speeds

В настоящее время у компании ОАО «Российские железные дороги» имеются широкие планы по развитию Байкало-Амурской магистрали и Транссиба. РЖД скорректировала программу модернизации Восточного полигона (Байкало-Амурская магистраль и Транссибирская железная дорога), сообщил в июле 2024 г. на брифинге заместитель генерального

директора госкомпании Андрей Макаров. Общая стоимость второго этапа программы достигнет примерно 1,1 трлн руб. со сроком завершения в 2025 г. Третий этап предполагает разделение на три разных этапа. На реализацию первого из них понадобится еще более 460 млрд руб. Но деньги из бюджета и Фонда Национального Благосостояния на эти работы пока не заложены.

По словам А.С. Макарова, вложения 1,1 трлн руб. рассчитаны до конца 2025 г. для строительства 280 объектов. Второй этап рассчитан до 2024 г., но после завершения основных работ часть средств пойдет на завершающие — например, на строительство выемок, откосов, канав, добавил топ-менеджер. Он напомнил, что провозные способности Восточного полигона после завершения второго этапа модернизации составят 180 млн тонн в год. (брифинг ОАО «РЖД» август 2023 г.). Компания «Российские железные дороги» собирается внедрить новую прорывную технологию интервального регулирования движения поездов. Это позволит существенно увеличить пропускную и провозную способность действующих железнодорожных линий за счет уменьшения интервалов попутного следования поездов. На Восточном полигоне в 2024 году интервал будет составлять 10 минут, а к 2030 году — 6 минут. К 2024 году, благодаря комплексной модернизации, проводимой ОАО «РЖД», провозная способность должна увеличиться до 180 млн тонн в год, что сообщалось на правительственной комиссии по транспорту под руководством первого заместителя председателя правительства РФ Андрея Белоусова в январе 2023 г. Там поставлена стратегическая цель — выстраивания транспортно-логистических коридоров, а это большая системная работа. Она включает развитие железнодорожной инфраструктуры и портовых мощностей, расширение возможностей пунктов пропуска коридора «Север — Юг», а также на Востоке — на границе с Китаем.

Таким образом, руководство ОАО «Российские железные дороги» предполагает, прежде всего, резко интенсифицировать движение поездов. При этом озвучиваются также предложения по изменению конструкций вагонов с увеличением нагрузок на оси. Также, помимо увеличения осевых нагрузок, резко должны возрасти скорости движения поездов. Вместе с тем, указанные предложения должны предусматривать внедрение новых технологий по строительству, ремонту и эксплуатации объектов инженерной инфраструктуры. Такая необходимость обоснована тем, что значительное увеличение нагрузок на деградирующее многолетнемерзлое основание насыпей приведет к еще большим осадкам, в том числе за счет ползучести, которые нет возможности устранить под штопкой и отсутствие возможности оперативного ремонта при частом следовании поездов груженых длинномерными составами.

Рассмотрим, каковы должны быть параметры железнодорожных путей при заявленных проектных нагрузках, интенсивности движения и сокращении интервалов движения. Очевидно, речь должна идти о дорогах со скоростями движения более чем 300 км/час, то есть о высокоскоростных магистралях (ВСМ). К таким транспортным артериям предъявляются очень жесткие требования по предельным осадкам (20–30 мм) и углу перелома профиля (1‰), то есть ограничения, не виданные ранее в дорожном строительстве.

Ранее отмечалось, что традиционные насыпи в криолитозоне подвержены систематическим осадкам, вызванными протаиванием мерзлых оснований. Причиной протаивания является, прежде всего, скопление талой воды у краев насыпи, предотвратить которое невозможно. Пропуск же воды через трубы или фильтрующие насыпи практически неосуществим, так как во многих районах криолитозоны уклоны местности очень малы для таких мероприятий.

Появление воды в теплый период года обусловлено не только таянием снега, но и объясняется гидрографией районам — практически весь Север включает в себя большое количество рек и озер. Это вынуждает при трассировании дороги устраивать огромное количество мостовых переходов. Например, при ж/д дороге на Эльгинское месторождение на длине 320 км было устроено 194 моста, т. е. мосты идут через 1,5 км. Но любой мост — это высокая отметка низа пролетного строения для пропуска паводковых вод, достигающих нескольких метров. А это в свою очередь диктует высокие отметки подходных насыпей, и, как следствие, большие объемы инертных материалов, дефицитных на Севере. Кроме этого, укладка насыпей с необходимым уплотнением требует проведения таких работ при наличии положительных температур. Отсюда неизбежно возникает очевидная мысль, что нужно сделать один сплошной мост или эстакаду под дорогу на всем ее протяжении.

7. Преимущества эстакад перед традиционными решениями

7. Overpasses advantages over traditional solutions

Рассмотрим основные преимущества устройства эстакад по сравнению с традиционными решениями, представленными насыпями. Таковыми являются следующие.

1. Простота инженерных изысканий.
2. Простота проектирования.
3. Полная консервация мерзлоты.

4. Простота ремонта.
5. Соблюдение экологических требований.
6. Длительность безремонтной эксплуатации.

Прокомментируем кратко перечисленные пункты. Под простотой изысканий подразумевается то, что не требуется бурение скважин по поперечникам, а достаточным явится бурение всего одной скважины под опору. Проектирование отдельно стоящей опоры также достаточно просто, так как полностью исключает трудоемкие теплофизические расчеты и иные работы. Консервация мерзлых грунтов обеспечивается отрывом путевых пролетов от грунта и, следовательно, устранением теплового влияния надземной части на основание сооружения. Заметим, что подобное конструктивное решение, как устройство здания с проветриваемым подпольем, вполне успешно применяется для объектов промышленно-гражданского строительства еще с начала 20 века. При этом такой отрыв существенно облегчает любые возможные ремонтные работы — как пролетного строения, так и фундаментов сооружений. Отдельно стоящие опоры практически не вносят тепловых и силовых возмущений в окружающую среду, особенно при окраске и теплоизоляции тела опор с южной стороны, что обеспечивает требования экологии. И, наконец, важнейшим фактором преимущества эстакад является их долговременная эксплуатация, обеспеченная как стабильностью работы опор, так и современными средствами диагностики, в оперативном режиме передающими информацию о состоянии всех конструктивных элементов и температур грунта в любую точку мира.

8. Особенности строительства эстакадных путей

8. Peculiarities of overpass track construction

Строительство эстакадных путей предполагает возведение отдельно стоящих опор на естественном основании или на сваях [14], что является достаточно простой и легкорееализуемой задачей. В необходимых случаях возле опор возможно применение сезонных охлаждающих устройств, что также не вызывает затруднений.

Существенно более трудной задачей является технология монтажа пролетных строений. В этом случае целесообразно использовать опыт наших ближайших соседей — Китая. Китай имеет большой опыт строительства подобных эстакад. Для монтажа пролетных строений китайцы в последнее время используют мостоукладчик SLJ900/32 размерами 90 м в длину, 9 в ширину и 8 м в высоту. Этот гигант весом более 580 т способен укладывать пролеты весом до 900 т. Вместо использования гусеничного крана SLJ900/32 сам становится на

следующую опору и толкает балку пролетного строения под собой, пока она не встанет на место.

Вид мостоукладчика в транспортном состоянии, а также в процессе работы показан на рисунках 8–10.



Рисунок 8. Мостоукладчик SLJ900/32 в транспортном состоянии (источник: <https://www.techeblog.com/sl900-32-is-the-massive-580-ton-machine-they-use-to-build-bridges-these-videos-show-how/> Автор: Jackson Chung)

Figure 8. SLJ900/32 Launching gantry in transport condition (source: <https://www.techeblog.com/sl900-32-is-the-massive-580-ton-machine-they-use-to-build-bridges-these-videos-show-how/> Author: Jackson Chung)

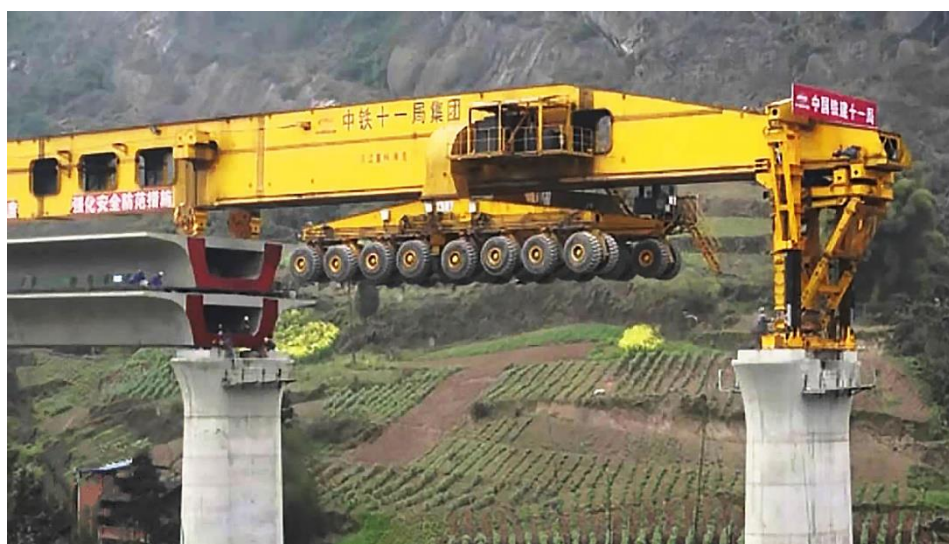


Рисунок 9. Надвижка пролетного строения (источник: <https://www.techeblog.com/sl900-32-is-the-massive-580-ton-machine-they-use-to-build-bridges-these-videos-show-how/> Автор: Jackson Chung)

Figure 9. Deck launching (source: <https://www.techeblog.com/sl900-32-is-the-massive-580-ton-machine-they-use-to-build-bridges-these-videos-show-how/> Author: Jackson Chung)



Рисунок 10. Надвижка пролетного строения (источник: <https://www.techeblog.com/slj900-32-is-the-massive-580-ton-machine-they-use-to-build-bridges-these-videos-show-how/> Автор: Jackson Chung)

Figure 10. Deck launching (source: <https://www.techeblog.com/slj900-32-is-the-massive-580-ton-machine-they-use-to-build-bridges-these-videos-show-how/> Author: Jackson Chung)

Заметим, что к настоящему времени с помощью описанной технологии в Китае построено более 17 000 км качественного дорожного полотна. Таким образом, при применении такой технологии, может быть и с участием коллег из Китая, многие участки ВСМ в России могут быть быстро возведены.

9. Требования к используемым материалам

9. Requirements for the materials used

Многопролетные пролетные строения эстакад должны иметь повышенные параметры прочности в сочетании с меньшим весом [15]. Снижение нагрузки пролётного строения на опоры мостов и на многолетнемерзлые основания за счёт снижения средней плотности бетона можно использовать для увеличения длины пролёта с последующей корректировкой типового проекта мостового сооружения по числу опорных конструкций. Так, нагрузка одного пролётного строения из тяжёлого бетона на опорные конструкции с типовыми размерами снижается в 1,7 раза по сравнению с изготовленным из высокопрочного легкого бетона. Благодаря сочетанию свойств конструкционного лёгкого бетона обеспечиваются широкие возможности при проектировании и высокая экономическая эффективность строительства за счёт увеличения полезной нагрузки конструкций, улучшения сейсмостойкости,

пожаробезопасности, возможности уменьшения сечения конструкций, снижения материалоемкости (бетона и арматурной стали), а также дополнительные преимущества при транспортировке и монтаже сборных элементов.

В качестве примера можно указать, что в настоящее время в Хабаровском крае проводятся исследования высокопрочного легкого бетона, где в качестве заполнителя применяется туф Святогорского месторождения. Совместно со специалистами из Российской академии архитектуры и строительных наук выполняются сопоставление свойств высокопрочных лёгких бетонов классов В55-В70 с разными вариантами заполнителей. Значения модуля упругости легкого бетона на Светлогорском туфе находятся на уровне 28–30 ГПа, в зависимости от состава бетонной смеси.

Выводы

Conclusions

1. Развитие Байкало-Амурской магистрали и Транссиба, предусматривающее резкое увеличение интенсификации и скоростей движения должно опираться на передовые методы проектирования и строительства.
2. Высокоскоростные магистрали, которые позволяют пропускать поезда при скоростях порядка 300 км/час и более, выставляют ограничения по осадкам путей не более 3 см, что требует категорического применения таких конструкций, как эстакады.
3. Эстакады, помимо обеспечения заявленных скоростей и интервалов движения, позволяют минимизировать объемы инженерных изысканий, а также резко упростить проектирование всех элементов высокоскоростных магистралей.
4. Технология строительства высокоскоростных магистралей в криолитозоне может быть увязана с опытом строительства, отработанного в Китайской Народной Республике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Изыскания и проектирование трассы Байкало-Амурской магистрали: Справочно-методическое пособие. — под ред. Д.И. Федорова. — М.: Транспорт, 1977. — 280 с. — URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01007673458> (дата обращения: 21.01.2024).

2. **Васянин, А.К.** Перспективные направления развития железнодорожных перевозок на Дальнем Востоке / А.К. Васянин, М.Г. Дружинина // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Новокузнецк, 14–16 мая 2019 года / Под общей редакцией М.В. Темлянцева. Том Выпуск 23. Часть VII. / Новокузнецк: Сибирский государственный индустриальный университет, 2019. — С. 221–224. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42445111>. — EDN TIMXZA. (дата обращения: 21.01.2024).
3. **Болотин, К.А.** Развитие железнодорожной логистики на Дальнем Востоке России: вызовы и возможности в эпоху политики разворота на Восток / К.А. Болотин // Цифровые технологии в финансовой сфере: Сборник материалов Международной студенческой конференции, Москва, 27 ноября 2023 года / Москва: Издательство "КноРус", 2023. — С. 33–36. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=56016888>. — EDN RXBGLA. (дата обращения: 21.01.2024).
4. **Пятков, Д.А.** Строительство железных дорог на вечномёрзлых грунтах / Д.А. Пятков // Интеграция, эволюция, модернизация: пути развития науки и образования: Сборник статей Международной научно-практической конференции, Екатеринбург, 10 января 2023 года / Уфа: Аэтерна, 2023. — С. 31–36. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50089698>. — EDN DTHXVI. (дата обращения: 21.01.2024).
5. **Дашенко, С.В.** Влияние деградации вечной мерзлоты районов Крайнего Севера на состояние железнодорожной инфраструктуры / С.В. Дашенко, С.М. Меньших // Специальная техника и технологии транспорта. — 2023. — № 19. — С. 174–183. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54881738>. — EDN RVNSSM. (дата обращения: 21.01.2024).
6. **Порфирьев, Б.Н.** Сценарная оценка ожидаемого ущерба от деградации многолетней мерзлоты: региональный и отраслевой аспекты / Б.Н. Порфирьев, Д.О. Елисеев. — DOI <https://doi.org/10.47711/0868-6351-200-124-135> // Проблемы прогнозирования. — 2023. — № 5. — С. 124–135. — URL: <https://ecfor.ru/publication/otsenka-ozhidaemogo-ushherba-ot-degradatsii-mnogoletnej-merzloty/>. — EDN OXANSL. (дата обращения: 21.01.2024).
7. Особенности проектирования трассы железной дороги в условиях вечной мерзлоты / Н.С. Бушуев, С.В. Шкурников, В.А. Герасимов [и др.]. — DOI [https://doi.org/10.26731/1813-9108.2019.3\(63\).135-142](https://doi.org/10.26731/1813-9108.2019.3(63).135-142) // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. — 2019. — Т 63. — № 3. — С. 135–142. — URL: <https://stsam.irgups.ru/2019.3%2863%29.135%E2%80%9393142>. — EDN AJWVQA. (дата обращения: 21.01.2024).
8. Деградация мерзлоты: результаты многолетнего геокриологического мониторинга в западном секторе российской Арктики / А.А. Васильев, А.Г. Гравис, А.А. Губарьков [и др.]. — DOI [https://doi.org/10.21782/KZ1560-7496-2020-2\(15-30\)](https://doi.org/10.21782/KZ1560-7496-2020-2(15-30)) // Криосфера Земли. — 2020. — Т 24. — № 2. — С. 15–30. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42698739>. — EDN HROYGC. (дата обращения: 21.01.2024).
9. Bed — Structure System Analysis for Soil Freezing and Thawing Using the Termoground Program / V.M. Ulitskii, V.N. Paramonov, I.I. Sakharov, S.A. Kudryavtsev. — DOI <https://doi.org/10.1007/s11204-015-9335-7> // Soil Mechanics and Foundation Engineering. — 2015. — Т 52. — № 5. — С. 240–246. — URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11204-015-9335-7>. — EDN WRULIL. (дата обращения: 09.02.2024).
10. **Paramonov, V.** Forecast the Processes of Thawing of Permafrost Soils under the Building with the Large Heat Emission / V. Paramonov, I. Sakharov, S. Kudryavtsev. — DOI <https://doi.org/10.1051/mateconf/20167305007> // MATEC Web Conf. — 2016. — Т 73. — С. 5007. — URL: https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/abs/2016/36/mateconf_tpacee2016_05007/mateconf_tpacee2016_05007.html. (дата обращения: 09.02.2024).
11. **Kudriavtsev, S.** Strengthening Thawed Permafrost Base Railway Embankments Cutting Berms / S. Kudriavtsev, V. Paramonov, I. Sakharov. — DOI <https://doi.org/10.1051/mateconf/20167305002> // MATEC Web Conf. — 2016. — Т 73. — С. 5002. — URL: https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/abs/2016/36/mateconf_tpacee2016_05002/mateconf_tpacee2016_05002.html. (дата обращения: 09.02.2024).
12. **Sakharov, I.I.** The account of frost heave and thawing processes when designing road embankments in cold regions / I.I. Sakharov, V.N. Paramonov, S.A. Kudryavtsev. — DOI https://doi.org/10.1007/978-981-15-0450-1_3 // Transportation Soil Engineering in Cold Regions: Proceedings of TRANSOILCOLD 2019. (Series: Lecture Notes in Civil Engineering, volume 49), Saint Petersburg, 15–22 апреля 2019 года. Vol. 1 / Сингапур: Springer, 2019. — С. 19–24. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43229378>. — EDN XMTNNQ. (дата обращения: 09.02.2024).

13. **Кудрявцев, С.А.** Создание условий нормативного состояния деградирующих многолетнемерзлых оснований зданий и сооружений Дальневосточного федерального округа и Арктики / С.А. Кудрявцев, И.И. Сахаров, В.Н. Парамонов // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2021 году: Сборник научных трудов РААСН / Российская академия архитектуры и строительных наук. Том 2 / Москва: АСВ, 2022. — С. 157–164. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49500352>. — EDN ZTPVTI. (дата обращения: 09.02.2024).
14. Разработка методики выявления растепления многолетнемерзлых грунтов основания опор мостов на основе вибродиагностики / Л.А. Полякова, А.А. Лебедев, К.А. Плесовских [и др.]. — DOI https://doi.org/10.52170/1815-9265_2023_66_81 // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. — 2023. — № 3. — С. 81–92. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54814239>. — EDN NETMYK. (дата обращения: 09.02.2024).
15. **Смирнов, В.Н.** Особенности строительства мостовых сооружений для высокоскоростных железнодорожных магистралей (ВСЖМ) в России / В.Н. Смирнов, А.А. Антонюк // Новые технологии в мостостроении. 140 лет кафедре "Мосты": Сборник трудов Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 18–19 мая 2023 года / Санкт-Петербург: Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2023. — С. 55–63. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=60039631>. — EDN UCBWDS. (дата обращения: 09.02.2024).

Сведения об авторах:

Сахаров Игорь Игоревич — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры, АО «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники имени Б.Е. Веденеева», Санкт-Петербург, Россия, e-mail: sakharov2014@yandex.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=828665

Кудрявцев Сергей Анатольевич — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Мосты, тоннели и подземные сооружения», ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный университет путей сообщения», Хабаровск, Россия, e-mail: olgakudr56@mail.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=614674
WoS: <https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AAA-6935-2020>
SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=8257641200>

Парамонов Владимир Николаевич — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Основания и фундаменты», ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», Санкт-Петербург, Россия, e-mail: parvn@georec.spb.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=404519
SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=7006181075>

Вальцева Татьяна Юрьевна — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Мосты, тоннели и подземные сооружения», ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный университет путей сообщения», Хабаровск, Россия, e-mail: vtu25@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2566-1924>
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=912351

Статья получена: 11.04.2024. Принята к публикации: 28.06.2024. Опубликовано онлайн: 12.07.2024.

REFERENCES

1. Fedorov D.I. ed. [Surveys and design of the Baikal-Amur Mainline route: Reference and methodological manual]. Moscow: Transport; 1977. Available at: <https://search.rsl.ru/ru/record/01007673458> (accessed 21st January 2024). (In Russ.).

2. Vasyanin A.K., Druzhinina M.G. [Promising directions for the development of railway transportation in the Far East]. In: [*Science and youth: problems, searches, solutions: Proceedings of the All-Russian Scientific Conference of Students, Postgraduate Students and Young Scientists, Novokuznetsk, May 14–16, 2019 / Under the general editorship of M.V. Temlyantseva. Volume Issue 23. Part VII.*]. Novokuznetsk: Siberian State Industrial University; 2019. p. 221–224. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42445111> (accessed 21st January 2024). (In Russ.).
3. Bolotin K.A. [Development of railway logistics in the Russian Far East: challenges and opportunities in the era of the policy of turning to the East]. In: [*Digital technologies in the financial sector: Collection of materials of the International Student Conference, Moscow, November 27, 2023.*] Moscow: Publishing house "KnoRus"; 2023. p. 33–36. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=56016888> (accessed 21st January 2024). (In Russ.).
4. Pyatkov D.A. Construction of Railways on Permafrost Soils. In: [*Integration, evolution, modernization: ways of development of science and education: Collection of articles of the International Scientific and Practical Conference, Yekaterinburg, January 10, 2023.*] Ufa: Aeterna; 2023. p. 31–36. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50089698> (accessed 21st January 2024). (In Russ., abstract in Eng.).
5. Dashchenko S.V., Menshikh S.M. The Impact of Permafrost Degradation in The Far North on The State of The Railway Infrastructure. [*Special equipment and transport technologies*]. 2023;(19): 174–183. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54881738> (accessed 21st January 2024). (In Russ., abstract in Eng.).
6. Porfiriev B.N., Eliseev D.O. Scenario Forecasts of Expected Damage from Perma-frost Degradation: Regional and Industry Issues. *Studies on Russian Economic Development*. 2023;(5): 124–135. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: <https://doi.org/10.47711/0868-6351-200-124-135>.
7. Bushuev N. S., Shkurnikov S. V., Gerasimov V. A. et al. Design aspects of railway lines in permafrost conditions. *Modern Technologies. System Analysis. Modeling*. 2019;63(3): 135–142. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: [https://doi.org/10.26731/1813-9108.2019.3\(63\).135-142](https://doi.org/10.26731/1813-9108.2019.3(63).135-142).
8. Vasiliev A.A., Gravis A.G., Gubarkov A.A. et al. Permafrost Degradation: Results of the Long-Term Geocryological Monitoring in The Western Sector of Russian Arctic. *Earth's Cryosphere*. 2020;24(2): 15–30. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: [https://doi.org/10.21782/KZ1560-7496-2020-2\(15-30\)](https://doi.org/10.21782/KZ1560-7496-2020-2(15-30)).
9. Iitskii, V.M., Sakharov, I.I., Paramonov, V.N. et al. Bed — Structure System Analysis for Soil Freezing and Thawing Using the Termoground Program. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2015;52(5): 240–246. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1007/s11204-015-9335-7>.
10. Paramonov V., Sakharov I., Kudryavtsev S. Forecast the Processes of Thawing of Permafrost Soils under the Building with the Large Heat Emission. *MATEC Web Conf*. 2016;73: 5007. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1051/matecconf/20167305007>.
11. Kudryavtsev S., Paramonov V., Sakharov I. Strengthening Thawed Permafrost Base Railway Embankments Cutting Berms. *MATEC Web Conf*. 2016;73: 5002. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1051/matecconf/20167305002>.
12. Sakharov I.I., Paramonov V.N., Kudryavtsev S.A. The account of frost heave and thawing processes when designing road embankments in cold regions. In: *Transportation Soil Engineering in Cold Regions: Proceedings of TRANSOILCOLD 2019. (Series: Lecture Notes in Civil Engineering, volume 49), Saint Petersburg, April 15–22, 2019. Vol. 1.* Singapore: Springer; 2019. p. 19–24. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43229378> (accessed 9th February 2024). (In Eng.) DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-15-0450-1_3.
13. Kudryavtsev S.A., Sakharov I.I., Paramonov V.N. Creating Conditions for The Regular State of Degrading Permafrost Buildings and Structures in The Far Eastern Federal District and The Arctic. In: [*Fundamental, exploratory and applied research of the RAASN on scientific support for the development of architecture, urban planning and the construction industry of the Russian Federation in 2021: Collection of scientific works of the RAASN / Russian Academy of Architecture and Construction Sciences. Volume 2.*] Moscow: ASV; 2022. p. 157–164. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49500352> (accessed 9th February 2024). (In Russ., abstract in Eng.).
14. Polyakova L.A., Lebedev A.A., Plesovskikh K.A., Pushkarev V.E. et al. Development of a Methodology for Detecting the Thawing Permafrost Soils at The Base of Bridge Supports Based on The Oscillation Frequencies Diagnostics. *Siberian Transport University Bulletin*. 2023;(3): 81–92. (In Russ., abstract in Eng.) DOI: https://doi.org/10.52170/1815-9265_2023_66_81.

15. Smirnov V.N., Antonyuk A.A. Features of the Construction of Bridge Structures for High-Speed Rail Lines (HSR) In Russia. In: [*New technologies in bridge construction. 140 years of the Department of Bridges: Collection of proceedings of the International Scientific and Practical Conference, St. Petersburg, May 18–19, 2023.*] Saint Petersburg: Emperor Alexander I Petersburg State Transport University; 2023. p. 55–63. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=60039631> (accessed 9th February 2024). (In Russ., abstract in Eng.).

Information about the authors:

Igor I. Sakharov — Vedeneev VNIIG, Saint Petersburg, Russia, e-mail: sakharov2014@yandex.ru
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=828665

Sergey A. Kudryavtsev — Far Eastern State Transport University, Khabarovsk, Russia, e-mail: olgakudr56@mail.ru
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=614674
WoS: <https://www.webofscience.com/wos/author/rid/AAA-6935-2020>
SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=8257641200>

Vladimir N. Paramonov — Emperor Alexander I Saint Petersburg State Transport University, Saint Petersburg, Russia, e-mail: parvn@georec.spb.ru
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=404519
SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=7006181075>

Tatiana Y. Valtseva — Far Eastern State Transport University, Khabarovsk, Russia, e-mail: vtu25@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2566-1924>
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=912351

Submitted: 11th April 2024. Revised: 28th June 2024. Published online: 12th July 2024.