



Информация об авторах

Лундалин Антон Александрович – магистрант, Иркутский национальный исследовательский университет, г. Иркутск, e-mail: anton.lundalin@yandex.ru

Пузина Елена Юрьевна – к. т. н., доцент кафедры электроснабжения и электротехники, Иркутский национальный исследовательский университет, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: lena-rus05@mail.ru

Худонов Игорь Анатольевич – д. т. н., профессор кафедры электроэнергетики транспорта, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: Hudonogovi@mail.ru

Кашковский Виктор Владимирович – д. т. н., профессор кафедры информационных систем и защита информации, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: viktor.kashkovskij@mail.ru

Authors

Anton Aleksandrovich Lundalin – Master's student, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, e-mail: anton.lundalin@yandex.ru

Elena Yur'evna Puzina – Ph.D. in Engineering Science, Assoc. Prof. at the Subdepartment of Power Supply and Electrical Engineering, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: lena-rus05@mail.ru.

Igor' Anatol'evich Khudonogov – Doctor of Engineering Science, Prof. at the Subdepartment of Electric Power Industry of Transport, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: Hudonogovi@mail.ru

Viktor Vladimirovich Kashkovskiy – Doctor of Technical Science, Professor of information systems and information protection Department, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: viktor.kashkovskij@mail.ru

Для цитирования

Лундалин А. А. Анализ надежности электроснабжения транспортных систем в зависимости от состояния устройств релейной защиты и автоматики / А. А. Лундалин, Е. Ю. Пузина, И. А. Худонов, В. В. Кашковский // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2019. – Т. 63, № 3. – С. 127–135. – DOI: 10.26731/1813-9108.2019.3(63).127–135

For citation

Lundalin A. A., Puzina E. Yu., Khudonogov I. A., Kashkovskiy V. V. Analiz nadezhnosti elektrosnabzheniya transportnykh sistem v zavisimosti ot sostoyaniya ustroystv releinoi zashchity i avtomatiki [The analysis of reliability of power supply of transport systems, depending on the condition of devices of relay protection and automation]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2019. Vol. 63, No. 3, pp. 127–135. DOI: 10.26731/1813-9108.2019.3(63).127–135

УДК 625.11

DOI: 10.26731/1813-9108.2019.3(63).135–142

Н. С. Бушуев¹, С. В. Шкурников¹, В. А. Герасимов², В. А. Голубцов¹, О. С. Морозова¹

¹ Петербургский государственный университет путей сообщения Александра I, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

² АО «ГИПРОТРАНСПРОЕКТ», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Дата поступления: 25 апреля 2019 г.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРАССЫ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ В УСЛОВИЯХ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

Аннотация. В последнее время в Российской Федерации быстрыми темпами развивается строительство железных и автомобильных дорог за Полярным кругом в зоне повсеместного распространения вечной мерзлоты. Построена железная дорога общего пользования «Обская – Бованенково». В ближайшей перспективе последует ее продление до порта Сабетта. В рамках инвестиционного проекта «Создание Северного широтного хода» предполагается строительство на территории Ямало-Ненецкого автономного округа железнодорожной линии «Обская – Салехард – Надым – Пангоды – Новый Уренгой – Коротчаево» (включая строительство мостового перехода через р. Обь в районе г. Салехард) общей протяженностью 707 км. Сооружение железных дорог в районах распространения многолетней мерзлоты – одно из основных научных направлений, развивающееся со времен строительства Забайкальского и Дальневосточного участков Транссибирской магистрали и активно совершенствующееся в настоящий момент. В данной статье рассмотрены вопросы трассирования железных дорог в условиях вечной мерзлоты. Многолетняя мерзлота – это часть криолитозоны, характеризующаяся отсутствием периодического оттаивания. Многолетнемерзлые грунты занимают значительные территории России. Вечная мерзлота непосредственно связана с климатическими условиями на планете, а происходящие в последнее время глобальные изменения приводят к интенсивному повышению средней температуры, что сказывается и на вечной мерзлоте. Последствия климатических изменений влияют на проекты новых и эксплуатацию существующих объектов железнодорожной инфраструктуры. В работе учитывается влияние изменения климата на мерзлые породы с точки зрения устойчивости железной дороги. Проектирование железной дороги в условиях вечной мерзлоты может осуществляться как с полным сохранением вечномерзлых грунтов, так и с учетом частичного оттаивания. В статье подробно описаны особенности определения местоположения трассы железнодорожной линии в условиях вечной мерзлоты.

Ключевые слова: вечная мерзлота, трасса железнодорожной дороги, проектирование железнодорожной линии, освоение земляного полотна, минимальная высота железнодорожной насыпи.



N. S. Bushuev¹, S. V. Shkurnikov¹, V. A. Gerasimov², V. A. Golubtsov¹, O. S. Morozova¹

¹ Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg, the Russian Federation

² AO "GIPROTRANSPROYEKT", St. Petersburg, the Russian Federation

Received: April 25, 2019

DESIGN ASPECTS OF RAILWAY LINES IN PERMAFROST CONDITIONS

Abstract. Recently, the construction of railways and highways beyond the Arctic Circle in the zone of widespread permafrost has been developing rapidly in the Russian Federation. The railroad of non-public use Obskaya - Bovanenkovo was built. In the near future, it will be extended to the port of Sabetta. Within the framework of the investment project "Creating the Northern Latitudinal Railway", it is planned to build the Obskaya – Salekhard – Nadym – Pangody – Novy Urengoy – Korotchaevo railway line in the Yamal-Nenets Autonomous Okrug (including the construction of a bridge across the Ob River in the Salekhard city area) with a total length of 707 km. The construction of railways in the areas of permafrost is one of the main scientific fields that has been developing since the construction of the Trans-Baikal and Far Eastern sections of the Trans-Siberian Railway and is being actively improved at the moment. This article discusses the issues of railways tracing in the conditions of permafrost. Permafrost is part of the permafrost zone, characterized by the absence of periodic thawing. Permafrost soils occupy large areas of Russia. Permafrost is directly related to climatic conditions on the planet, and recent global changes lead to an intensive increase in average temperature, which also affects permafrost. The effects of climate change affect new projects and the operation of existing railway infrastructure. The paper takes into account the impact of climate change on frozen rocks in terms of railway sustainability. The design of the railway in permafrost conditions can be carried out both with full preservation of permafrost soils and taking into account partial thawing. The article describes in detail the features of determining the location of the railway line in permafrost.

Keywords: permafrost, location of the railway line, design of the railway line, railway subgrade, minimum height of railway embankment.

Введение

В последнее время в Российской Федерации быстрыми темпами развивается строительство железных и автомобильных дорог за Полярным кругом в зоне повсеместного распространения вечной мерзлоты. Построена железная дорога необщего пользования «Обская – Бованенково», самая северная из действующих железных дорог. В ближайшей перспективе последует ее продление до порта Сабетта. Единая железная дорога «Обская – Бованенково – Сабетта» поспособствует увеличению протяженности и пропускной способности инфраструктуры железнодорожного транспорта на полуострове Ямал и обеспечит связь расположенного на маршруте Северного морского пути порта Сабетта с железнодорожной сетью общего пользования ОАО «РЖД».

Инвестиционный проект «Создание Северного широтного хода» является современным преемником одной из крупнейших, но не реализованных транспортных строек середины XX в. – «Трансполярная магистраль».

В рамках проекта предполагается строительство на территории Ямало-Ненецкого автономного округа железнодорожной линии «Обская – Салехард – Надым – Пангоды – Новый Уренгой – Коротчаево» (включая строительство мостового перехода через р. Обь в районе г. Салехарда) общей протяженностью 707 км.

Реализация инвестиционного проекта «Создание Северного широтного хода» позволит связать единой транспортной артерией объекты Бованенковского месторождения полуострова Ямал, крупнейшие города региона (Надым, Салехард,

Новый-Уренгой), Новоуренгойский газохимический комплекс, месторождения Тазовского полуострова.

Строительство железнодорожной линии создаст благоприятные условия для усиления портовой инфраструктуры на Северном морском пути посредством реализации проекта многофункционального порта Сабетта и железнодорожных подходов к нему (железнодорожная линия «Бованенково – Сабетта»).

«Северный широтный ход» снимет инфраструктурные ограничения в транспортном сообщении Ямало-Ненецкого автономного округа с промышленными предприятиями и портами, расположенными в Европейской части России, что позволит оптимизировать логистическое обеспечение объектов ПАО «Газпром», предназначенных для добычи и транспортировки природного газа на территории Ямало-Ненецкого автономного округа, до качественно нового уровня.

Потенциальные объемы перевозок, которые могут быть перенаправлены ПАО «Газпром» на «Северный широтный ход» с других железнодорожных направлений составят ориентировочно 5,3 млн т в год (всего планируемый объем перевозок составит 23,9 млн т в год).

В перспективе предполагается вовлечение железнодорожной линии «Обская – Салехард – Надым – Пангоды – Новый Уренгой – Коротчаево» в полигон применения железнодорожной тяги с использованием природного газа в качестве моторного топлива.

Проблемой эксплуатации железных дорог в зонах распространения вечной мерзлоты также

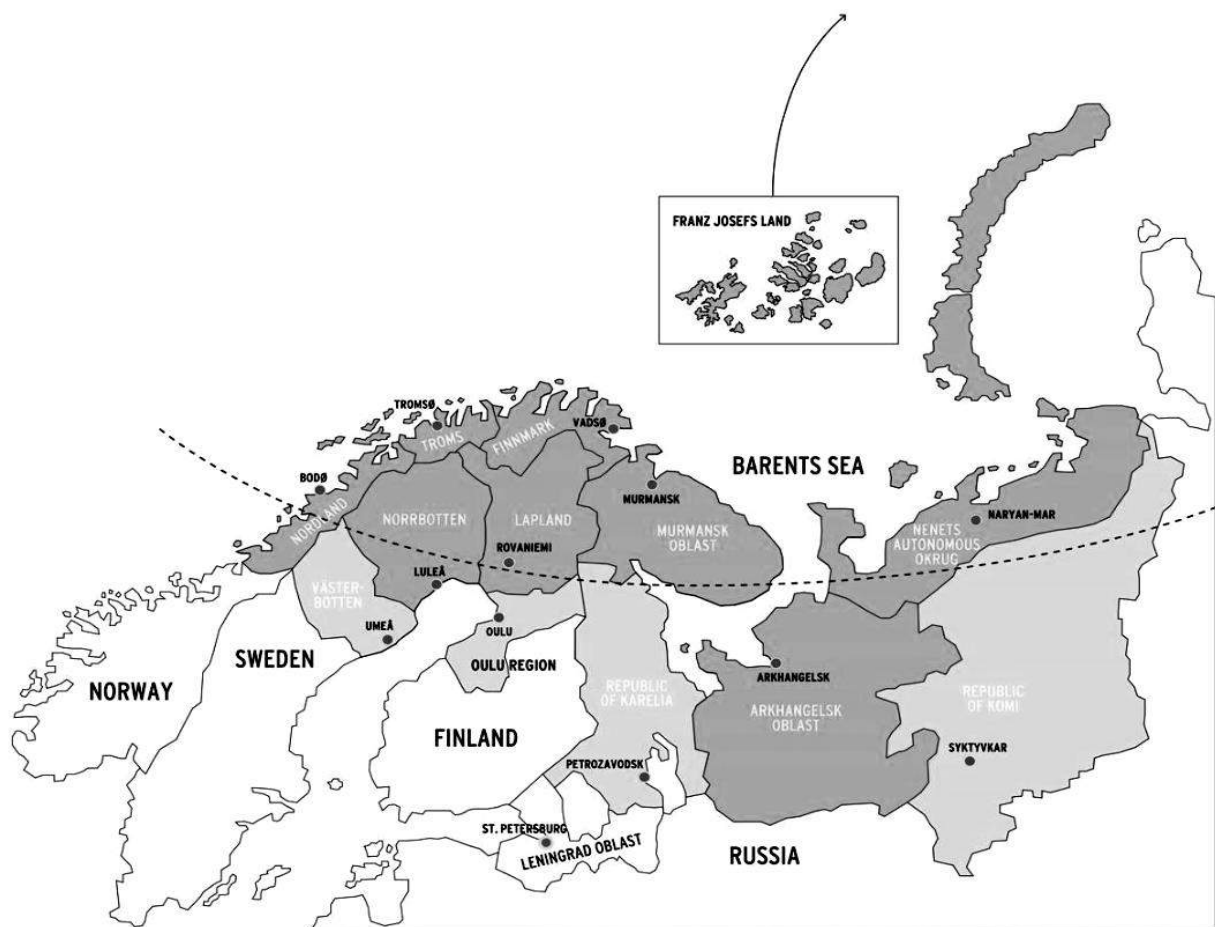


Рис. 1. Территория KOLARCTIC

озаботилось правительство Норвегии, Швеции и Финляндии. В результате чего появилась международная программа «СВС KOLARCTIC» – Инфраструктура арктических Международных железных дорог в регионе KOLARCTIC (ARINKA) (рис. 1).

Территория KOLARCTIC включает в себя Лапландию в Финляндии, Норрботтен в Швеции, Финнмарк, Тромс и Нурланн в Норвегии, а также Мурманскую, Архангельскую области и Ненецкий автономный округ на территории Российской Федерации. В регионе пролегают границы между двумя государствами ЕС, Норвегией и Россией. Общая граница между Норвегией, Финляндией и Россией, являющаяся границей между Шенгенской зоной и Россией, составляет приблизительно 700 км.

Основная часть

Вечная мерзлота (многолетняя мерзлота, многолетнемерзлые породы) – это часть криолитозоны, характеризующаяся отсутствием периодического оттаивания.

Вечная мерзлота – довольно распространенное явление на планете. Практически на всех континентах Земли, за исключением Австралии, име-

ются территории, где присутствует это явление. Даже в высокогорных областях Южной Америки и Африки можно найти зоны, где встречаются вечномерзлые грунты и породы. Общая площадь, занимаемая вечной мерзлотой на Земле, составляет примерно 35 млн км².

Вечномерзлые грунты занимают значительные территории и в России. Общая площадь районов распространения вечной мерзлоты равна примерно 10,7 млн км², что составляет около 63 % от всей территории современной России (рис. 2). Стоит также упомянуть, что в России (СССР) в 1982 г. был зафиксирован самый глубокий уровень залегания многолетней мерзлоты, который составил 1 370 м и располагался в верховьях р. Вилюй в республике Якутия.

Вечная мерзлота непосредственно связана с климатическими условиями на планете, а происходящие в последнее время глобальные изменения приводят к интенсивному повышению средней температуры, что сказывается и на вечной мерзлоте. С начала XX в. средняя планетарная годовая температура воздуха увеличилась приблизительно на 0,7 °С. Повышение температуры произошло и в областях распространения вечномерзлых грунтов,

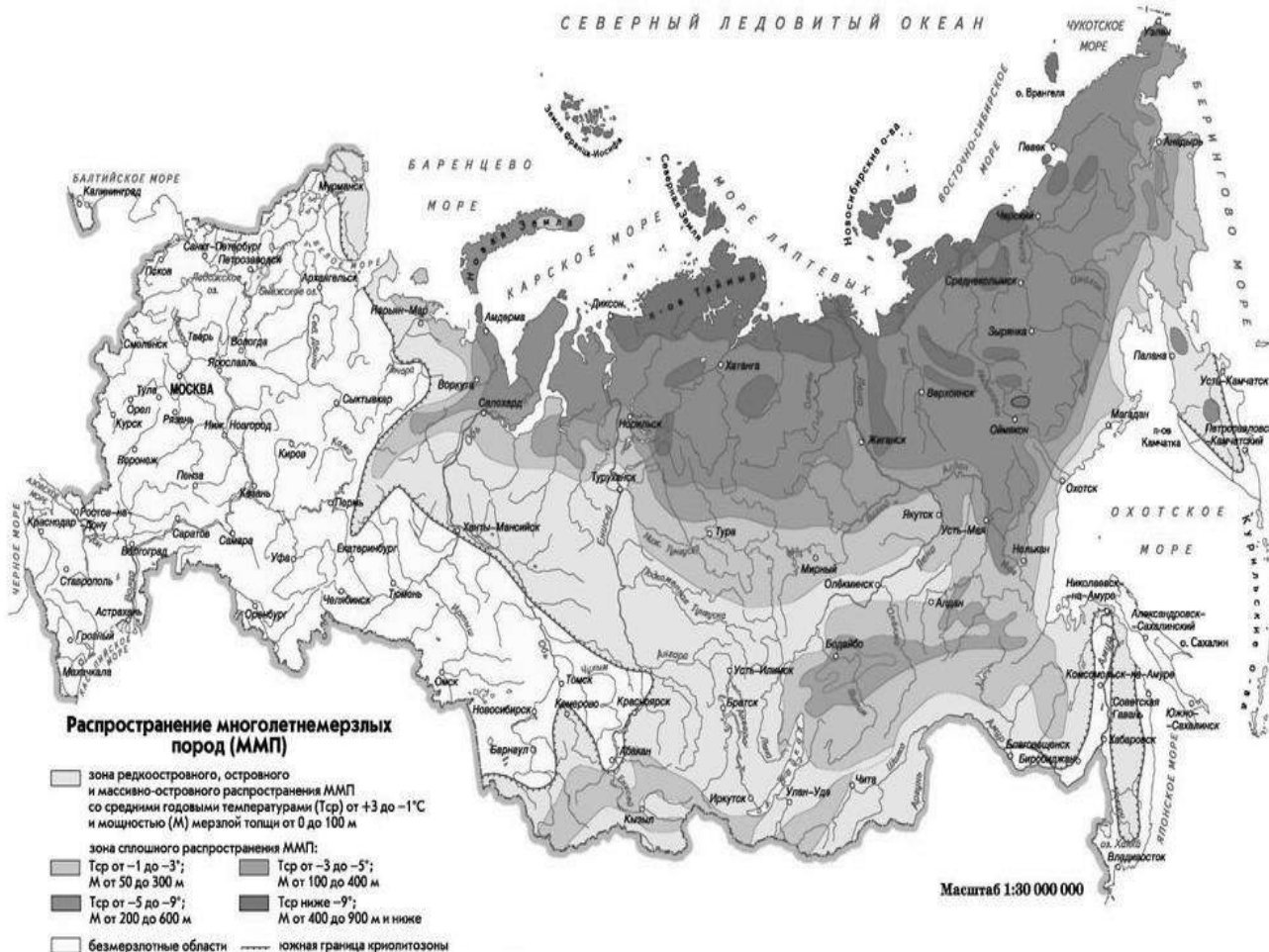


Рис. 2. Схема районирования вечномерзлых грунтов на территории России

где местами достигло 4–6 °С и может привести к их оттаиванию. Рост температуры воздуха в зимнее время сопровождается увеличением мощности снежного покрова, оказывающего отепляющее воздействие на термическое состояние грунтов.

Последствия климатических изменений влияют на проекты новых и эксплуатацию существующих объектов железнодорожной инфраструктуры вследствие появления просадок, затопления и заболачивания территорий и других негативных явлений, которые скажутся на устойчивости [6, 7].

В результате потребуются серьезные усилия, финансовые и людские ресурсы для ликвидации этих изменений, которые фактически могут привести к необходимости полной перестройки существующих объектов.

В таких условиях поиск наиболее целесообразного положения трассы железной дороги на местности требует учета множества различных факторов, к которым относят физико-географические, климатические, инженерно-геологические и гидрологические условия в районе

проектирования. Кроме этого, необходимо учесть и решить целый ряд политических, экономических, организационных, строительных и эксплуатационных вопросов, связанных с реализацией проекта будущей железнодорожной линии [1–5].

Трассирование дороги наиболее рационально по кратчайшему направлению между опорными пунктами и фиксированными точками на местности, однако такому трассированию препятствует не только рельеф местности, но и наличие в районе проектируемой железной дороги такого неблагоприятного явления, как вечная мерзлота с ее специфическими особенностями (термокарст, солифлюкции, наледи, мари и пр.). Поэтому наилучшее в топографическом отношении положение трассы может оказаться неблагоприятным.

В таких условиях кардинальным решением при трассировании является обход вечной мерзлоты. Если обход невозможен, то следует предусмотреть пересечение этой зоны в наиболее узком месте с применением мероприятий, которые обеспечат надежность проектируемых объектов же-



лезнодорожной инфраструктуры. Мероприятия, гарантирующие надежность, в обязательном порядке должны быть предусмотрены на всем протяжении трассы и, как следствие, для всех связанных с ней сооружений в районе распространения вечномерзлых грунтов.

При проектировании трассы железной дороги в условиях вечной мерзлоты, стабильность земляного полотна во многом будет зависеть от решений, связанных с отводом воды. Неверные решения могут привести к изменению термического режима грунтов и деформациям. Трассу следует располагать с возможностью организации естественного стока воды по подошве насыпи без устройства водоотводных канав. Наличие деятельного (сезоннооттаивающего) слоя, толщина которого может увеличиться в результате проведения различных работ в придорожной полосе, в том числе вследствие уничтожения растительного слоя, также осложняет проектирование, поскольку все инженерные сооружения фактически располагаются на этом слое либо в нем. Проектирование может осуществляться как с полным сохранением вечномерзлых грунтов, так и с учетом частичного оттаивания.

Эти условия следует принять за основные при выборе приемов трассирования.

Укладывая трассу линии железной дороги, следует обходить крупные льдонасыщенные участки, подверженные пучению, неустойчивые косогоры с солифлюкцией, термокарстовыми процессами, развитием оползней и оплывин, а в случаях, когда это невозможно или экономически нецелесообразно – минимизировать протяженность таких участков.

Проектирование должно вестись преимущественно насыпями и избегая выемок с целью сохранения теплового режима грунтов. С другой стороны, полный отказ от выемок может привести к значительному удорожанию строительства. В этой связи необходимо тщательно подходить к выбору величины руководящего уклона, значение которого непосредственно влияет на возможности трассирования в стесненных условиях. Использование более крутого уклона позволит упростить прокладку трассы железной дороги и сократит строительные расходы, однако может привести к снижению провозной способности и увеличению эксплуатационных расходов. Поэтому технико-экономическое обоснование выбора уклона позволит сократить издержки на всех стадиях существования проекта и обеспечит надежность всех устройств и сооружений.

Минимальная (оптимальная) высота проектируемой насыпи в районах распространения вечной мерзлоты предложенная кандидатом технических наук А.Л. Ястребовым [14] может быть определена по формуле:

$$H_{\text{опт}} = H_H - \frac{H_H \cdot S}{H_T} \left(\frac{1}{\delta} - 1 \right) - S. \quad (1)$$

где H_H – глубина сезонного оттаивания конструкции насыпи (в конструкцию насыпи, кроме самого тела насыпи, включен балластный слой), м; H_T – глубина сезонного оттаивания грунтов основания насыпи до ее устройства (как правило, определяется по картам оттаивания грунтов), м; δ – относительное сжатие грунтов основания при оттаивании под нагрузкой (величина, определяемая по номограммам); S – расчетная осадка насыпи (допускаемая осадка оттаявшего грунта).

В выемках в вечномерзлых грунтах, как правило, встречаются два вида деформаций. Первый – сползание откосов при оттаивании, второй – осадка основной площадки земляного полотна. Для исключения или уменьшения этих явлений откосы выемки следует проектировать возможно более пологими, устраивать теплоизоляцию, либо разрабатывать выемку сверх проектного очертания под насыпь. Может применяться и комбинированный подход.

Такая конструкция земляного полотна обеспечивает ее устойчивость, так как сохраняется верхняя граница слоя вечномерзлых грунтов на определенном уровне, что предотвращает осадку земляного полотна в оттаявшем основании сверх допускаемой величины.

Расположение трассы на террасах, сложенных морскими отложениями, характеризуется отсутствием местных сухомерзлых строительных грунтов, что приводит к широкому использованию в конструкциях земляного полотна геосинтетических материалов.

В любом случае, требуются индивидуальный подход на всех стадиях проектирования и инновационные решения, учитывающие конкретные физико-геологические условия.

Поскольку положение трассы в значительной степени определяется условиями рельефа местности, то при трассировании предпочтение следует отдавать вариантам, проходящим по водоразделам и ближайшим наветренным склонам с наименьшими снегоотложениями. Целесообразно максимальное использование попутных водоразделов с минимальным использованием поперечно-водоразделных ходов. При расположении трассы на склонах следует учитывать, что на склонах, особенно на участках у подошвы, распространены



неблагоприятные геокриологические процессы (термоэрозия и солифлюкция), а также наличие пластовых и повторножильных льдов.

Долинные хода также благоприятны для укладки трассы при условии учета ряда рекомендаций: ось следует располагать на второй и третьей надпойменной террасах, где обеспечивается наилучший поверхностный сток; трассирование может вестись непосредственно в пойме, сложенной дренирующими грунтами; насыпь трассы, должна быть сложена из дренирующих грунтов.

Следует избегать расположения трассы в межозерных перешейках. Опасность расположения трассы между близкорасположенными озерами заключается в возможной разгрузке верхового озера с разрушением перемычки. В случае расположения на межозерных перешейках трассы и наличия большой разницы в отметках урезов воды, необходимо предполагать устройство мостовых переходов в наинижней точке межозерного перешейка.

На участках с распространением марей, на заболоченных террасах трассу следует прокладывать по местности, имеющей поперечный уклон для обеспечения стока. В данном случае можно рекомендовать искусственное развитие линии с целью обеспечения естественного продольного водоотвода с уклоном не менее 3–5 ‰ даже на участках вольного хода.

В пределах наледоопасных участков трасса не должна стать препятствием распространению ледяных полей и наоборот избежать условий обра-

зования «мерзлотного пояса». Особо актуально это условие в основании бассейна водосбора, где приток воды наибольший. Для снижения вероятности появления этого явления, трассу следует располагать на возможно более высоких отметках, с целью уменьшения площади бассейна водосбора и количества притекаемой к ней воды. Необходимо применять конструкции насыпи, которые исключают поднятие верхней границы вечной мерзлоты, либо проходить данные участки эстакадами.

При наличии термокарстовых образований следует учитывать то, что их обход не всегда целесообразен. Это связано с тем, что зона их распространения не всегда может быть достаточно точно околонтурена для принятия верного решения. В данном случае оптимальным может быть решение с пересечением рассматриваемой территории по кратчайшему расстоянию с реализацией мероприятий, гарантирующих безопасную эксплуатацию устройств и сооружений [8–15].

Заключение

В заключение, можно отметить, что вопросы проектирования, в частности трассирование железных дорог в условиях вечной мерзлоты, предполагают наличие обширных знаний в области данного явления, а также учет конструктивных и технологических особенностей проектирования различных инфраструктурных объектов. Решение задачи осложняется также недостаточной изученностью рассматриваемого явления и большим разнообразием климатических условий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Характеристика термокарстовых котловин в районе постового перехода ж.-д. Обская-Бованенково через р. Юрибей / А.И. Баженов, А.А. Эрмак и др. // Ресурсы и риски регионов с вечной мерзлотой в меняющемся мире : тезисы Десятой Международной конф. по мерзлотоведению (ТМСОР). Тюмень, 2012. Т. 5. С.19–20.
2. Герасимов В.А. Тараканов А.С., Суворов С.Г. Инновационные технологии, применяемые при выполнении текущего цикла геотехнического мониторинга, объектов путевого комплекса новой железнодорожной линии Обская – Бованенково // Строительство железных и автомобильных дорог в районах вечной мерзлоты : науч. тр. ОАО ЦНИИС. Вып. 263. Ч. 5. М. : ЦНИИС. 2011. С. 81–118.
3. Герасимов В.А. Особенности теплового влияния климатических и мерзлотно-грунтовых условий на деформации водопропускных труб // Строительство железных и автомобильных дорог в районах вечной мерзлоты : науч. тр. ОАО ЦНИИС. Вып. 263. Ч. 5. М. : ЦНИИС. 2011. С. 69–80.
4. Герасимов В.А. Особенности учета климатических и мерзлотно-грунтовых условий при проектировании водопропускных труб и фильтрующих прорезей на дорогах севера Западной Сибири : авт. дисс. ... канд. техн. наук. М., 2015. 22 с.
5. ВСН 61-89. Изыскания, проектирование и строительство железных дорог в районах вечной мерзлоты : утв. приказом Минтрансстроя СССР от 20.07.1989, № МО 437.
6. Кудрявцев В.А. Общее мерзлотоведение (геокриология). М. : Изд-во МГУ, 1978. 253 с.
7. Павлов А.В. Закономерности формирования криолитозоны при современных изменениях климата // Известия РАН. Сер. География. 1997. № 4. С.61–73.
8. Пассек В.В. Герасимов В.А., Величко В.П. Влияние мерзлотного состояния насыпи на напряженно-деформированное состояние водопропускной трубы // Строительство железных и автомобильных дорог в районах вечной мерзлоты : науч. тр. ОАО ЦНИИС. Вып. 263. Ч. 5. М. : ЦНИИС. 2011. С.81–95.
9. Пассек В.В., Пасков М.В., Андреев В.С. Возведение насыпей в сложных мерзлотно-грунтовых условиях при наличии погребенных льдов и льдогрунтов заполярной и приполярной тундры // Нефть и газ Западной Сибири : материалы Международной науч.-техн. конф., посвящ. 90-летию со дня рождения Косухина А. Н. 2015. С. 270–275.
10. Пассек В.В. Величко В.П., Герасимов В.А. Тепловое и напряженно-деформированное состояние насыпи в зоне водопропускной трубы на вечной мерзлоте // Путь и путевое хозяйство. 2015. № 11. С. 8–13.



11. Пособие по проектированию железных и автомобильных дорог промышленных предприятий в районах вечной мерзлоты : к СНиП 2.05.07-85*. Вып. 5602. М. : Госстрой СССР, 1990. 117 с.
12. СП 119.13330.2017. СНиП 32-01-95 Железные дороги колеи 1520 мм. Введ. 2013-01-01. М. : Минрегион России, 2012.
13. СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*. Введ. 2013-01-01.
14. Справочник по строительству на вечномёрзлых грунтах / под ред. Ю.Я. Велли, В.В. Докучаева, Н.Ф. Федорова. Л. : Стройиздат, Ленинград. отд-ние, 1977. 552 с.
15. The impact of engineering-geologic conditions on the development of railway subgrade design solutions / V.A. Alpysova, N.S. Buchuev, S. V. Shkurnikov et al. // Procedia Engineering. 2017. № 189. С. 752–758.

REFERENCES

1. Bazhenov A.I., Ermak A.A., Kurchatova A.N., Slagoda E.A. Kharakteristika termokarstovykh kotlovin v raione postovogo perekhoda zh. d. Obskaya-Bovanenkovo cherez r. Yuribei [Characteristics of thermokarst basins in the area of the Obskaya-Bovanenkovo railway crossing point across the Yuribey river]. *Desyataya Mezhdunarodnaya konferentsiya po merzlotovedeniyu (TICOP): Resursy i riski regionov s vechnoi merzlotoi v menyayushchemsya mire. Tom5: Rasshirennye tezisy na russkom yazyke [Tenth International Conference on Permafrost Research (TICOP): Resources and risks of permafrost regions in a changing world. Volume 5: Extended abstracts in Russian]*, 2012. Pp.19–20.
2. Gerasimov V. A., Tarakanov A. S., Suvorov S. G. Innovatsionnye tekhnologii, primenyaemye pri vypolnenii tekushchego tsikla geotekhnicheskogo monitoringa, ob'ektov putevogo kompleksa novoi zheleznodorozhnoi linii Obskaya – Bovanenkovo [Innovative technologies used in the current cycle of geotechnical monitoring, track facilities of the new Obskaya - Bovanenkovo railway line]. *Stroitel'stvo zheleznykh i avtomobil'nykh dorog v raionakh vechnoi merzloty. Nauchnye trudy OAO TsNIIS [Construction of iron and roads in permafrost areas. Scientific works of the Scientific Research Institute of Transport Construction OAO]*. Issue 263. Part 5. Moscow: OAO Scientific Research Institute of Transport Construction Publ., Pp. 81–118.
3. Gerasimov V. A. Osobennosti teplovogo vliyaniya klimaticheskikh i merzlotno-gruntovykh uslovii na deformatsii vodopropusnykh trub [Features of the thermal effect of climatic and permafrost-soil conditions on the deformation of culverts]. *Stroitel'stvo zheleznykh i avtomobil'nykh dorog v raionakh vechnoi merzloty. Nauchnye trudy OAO TsNIIS [Construction of iron and roads in permafrost areas. Scientific works of the Scientific Research Institute of Transport Construction OAO]*. Iss. 263. Part 5. Moscow, OAO Scientific Research Institute of Transport Construction Publ. Pp.69–80.
4. Gerasimov V. A. Osobennosti ucheta klimaticheskikh i merzlotno-gruntovykh uslovii pri proektirovanii vodopropusnykh trub i fil'truyushchikh prorezei na dorogakh severa Zapadnoi Sibiri: avt. diss. kand. tekhn. nauk [Features of taking into account climatic and permafrost-soil conditions when designing culverts and filter slots on the roads of the north of Western Siberia: Author's abstract of Ph.D. (Engineering) diss.]. Moscow, 2015. 22 p.
5. VSN 61-89. Izsskaniya, proektirovanie i stroitel'stvo zheleznykh dorog v raionakh vechnoi merzloty" (utv. Prikazom Mintransstroya SSSR ot 20.07.1989 N MO 437) [VSN 61-89. Surveys, design and construction of railways in permafrost regions" (approved by the Order of the USSR Ministry of Transport from 07.20.1989 N MO 437)].
6. Kudryavtsev V. A. Obshchee merzlotovedenie (geokriologiya) [General permafrost science (geocryology)]. Moscow: MSU Publ., 1978,253 p.
7. Pavlov A. V. Zakonomernosti formirovaniya kriolitozony pri sovremennykh izmeneniyakh klimata [Patterns of cryolithozone formation under modern climate changes]. *Izvestiya RAN, seriya geogr. [A Journal of Russian Academy of Sciences. Geography series]*, 1997. No.4. Pp.61–73.
8. Passek V. V., Gerasimov V. A., Velichko V. P. Vliyanie merzlotnogo sostoyaniya nasypi na napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie vodopropusnoi tuby [Influence of the frozen state of the embankment on the stress-strain state of the culvert]. *Stroitel'stvo zheleznykh i avtomobil'nykh dorog v raionakh vechnoi merzloty. Nauchnye trudy OAO TsNIIS [Construction of railways and roads in permafrost areas. Scientific works of the Scientific Research Institute of Transport Construction OAO]*. Iss. 263. Part 5. Moscow, OAO TsNIIS Publ., Pp. 81–95.
9. Passek V.V., Paskov M.V., Andreev V.S. Vozvedenie nasypei v slozhnykh merzlotno-gruntovykh usloviyakh pri nalichii pogrebennykh l'dov i l'dogrunтов запolyarnoi i pripolyarnoi tundry [The construction of embankments in difficult permafrost conditions in the presence of buried ice and ice soils of the polar and subpolar tundra]. *Neft' i gaz Zapadnoi Sibiri Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii, posvyashchennoi 90-letiyu so dnya rozhdeniya Kosukhina Anatoliya Nikolaevicha [Oil and Gas of Western Siberia Materials of the International Scientific and Technical Conference dedicated to the 90th birthday of Anatoly Nikolaevich Kosukhin]*, 2015. Pp. 270–275.
10. Passek V. V., Velichko V. P., Gerasimov V. A. Teplovoe i napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie nasypi v zone vodopropusnoi trubyy na vechnoi merzlotе [The thermal and stress-strain state of the embankment in the area of the culvert in permafrost]. *Put' i putevoe khozaystvo [Railway Track and Facilities]*, 2015. No. 11. Pp. 8–13.
11. Pособие по проектированию железных и автомобильных дорог промышленных предприятий в районах вечной мерзлоты (к СНиП 2.05.07-85*) [A guide for the design of railways and roads of industrial enterprises in permafrost areas (to SNiP 2.05.07-85 *)].
12. СП 119.13330.2017 СНиП 32-01-95 Железные дороги колеи 1520 мм [SP 119.13330.2017 SNiP 32-01-95 Railways with a 1520 mm gauge].
13. СП 131.13330.2012 Stroitel'naya klimatologiya. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 23-01-99* [SP 131.13330.2012 Construction climatology. Updated edition of SNiP 23-01-99*].
14. Velli Yu.Ya., Dokuchaev V.V., Fedorov N.F. (eds.). Spravochnik po stroitel'stvu na vechnomerzlykh gruntakh [The reference book for construction on permafrost soils]. Leningrad, Stroizdat Publ., Leningrad dept., 1977, 552 p.
15. Alpysova V. A., Buchuev N.S., Shkurnikov S. V. et al. The impact of engineering-geologic conditions on the development of railway subgrade design solutions. *Procedia Engineering*. No.189. 2017. Pp.752–758.

**Информация об авторах**

Бушуев Николай Сергеевич – к. т. н., доцент, профессор кафедры изыскания и проектирования железных дорог, Петербургский государственный университет путей сообщения императора Александра I, г. Санкт-Петербург, e-mail: 2009bushuev@rambler.ru.

Шкурников Сергей Васильевич – к. т. н., доцент, заведующий кафедрой изыскания и проектирования железных дорог, Петербургский государственный университет путей сообщения императора Александра I, г. Санкт-Петербург, e-mail: 3123810@mail.ru.

Герасимов Василий Анатольевич – к. т. н., первый заместитель генерального директора АО «ГИПРОТРАНСПРОЕКТ», г. Санкт-Петербург, e-mail: vagerasimov@yandex.ru.

Голубцов Владимир Анатольевич – старший преподаватель кафедры изыскания и проектирования железных дорог, Петербургский государственный университет путей сообщения императора Александра I, г. Санкт-Петербург, e-mail: kipjd@pgups.edu.

Морозова Ольга Сергеевна – аспирант кафедры изыскания и проектирования железных дорог, Петербургский государственный университет путей сообщения императора Александра I, г. Санкт-Петербург, e-mail: olya.morozova51@gmail.com.

Authors

Nikolai Sergeevich Bushuev – Ph.D. in Engineering Science, Assoc. Prof., Prof. of the Subdepartment of Surveying and Designing of Railways, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg, e-mail: 2009bushuev@rambler.ru.

Sergei Vasil'evich Shkurnikov – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Head of the Subdepartment of Surveying and Designing of Railways, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg, e-mail: 3123810@mail.ru.

Vasilii Anatol'evich Gerasimov – Ph.D. in Engineering Science, the First Deputy of General Director of "GIPROTRANSPROEKT" OOO, St. Petersburg, e-mail: vagerasimov@yandex.ru.

Vladimir Anatol'evich Golubtsov – Asst. Prof. at the Subdepartment of the Surveying and Designing of Railways, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg, e-mail: kipjd@pgups.edu.

Olga Sergeevna Morozova – Ph.D. student at the Subdepartment of Surveying and Designing of Railways, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg, e-mail: olya.morozova51@gmail.com.

Для цитирования

Бушуев Н. С. Особенности проектирования трассы железной дороги в условиях вечной мерзлоты / Н. С. Бушуев, С. В. Шкурников, В. А. Герасимов, В. А. Голубцов, О. С. Морозова // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2019. – Т. 63, № 3. – С. 135–142. – DOI: 10.26731/1813-9108.2019.3(63).135–142

For citation

Bushuev N. S., Shkurnikov S. V., Gerasimov V. A., Golubtsov V. A., Morozova O. S. Osobennosti proektirovaniya trassy zheleznoi dorogi v usloviyakh vechnoi merzloty [Design aspects of railway lines in permafrost conditions]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2019. Vol. 63, No. 3, pp. 135–142. DOI: 10.26731/1813-9108.2019.3(63).135–142

УДК 625.113

DOI: 10.26731/1813-9108.2019.3(63).142–148

А.И. Богданов

Дальневосточный государственный университет путей сообщения, г. Хабаровск, Российская Федерация

Дата поступления: 22 апреля 2019 г.

ОБЩАЯ МОДЕЛЬ ПЛАНА И ПРОФИЛЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ НОВЫХ И РЕКОНСТРУИРУЕМЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Аннотация. В статье описывается общая модель плана и продольного профиля трассы как новых, так и реконструируемых железных дорог и общая модель критерия эффективности. Модель плана и продольного профиля разработана на основе кусочно-линейных функций, которые задаются координатами своих вершин. Кусочно-ломаными линиями в моделях профиля новых и реконструируемых железных дорог являются профиль земли и профиль существующей головки рельса. В качестве кусочно-ломанных линий в модели плана приняты угловые диаграммы новой и реконструируемой линии. Модель критерия эффективности разработана в виде минимума профильного объема земляных работ, который аналогичен критерию минимума суммы квадратов, применяемого в задачах аппроксимации. Разработаны способы расчета профильного объема земляных работ как при проектировании продольного профиля, так и плана новых и реконструируемых железных дорог. На основе общих моделей плана и профиля и критерия эффективности разработан общий метод автоматизированного проектирования плана и профиля новых и реконструируемых железных дорог. Общий метод разработан на основе синтеза формализованных основных принципов и закономерностей классической теории трассирования, принципа декомпозиции сложных систем и многофакторного анализа. Декомпозиция сложных систем позволяет исключить трудности проектирования плана и профиля, обусловленные наличием пред- и после истории. Многофакторный анализ позволяет построить метод проектирования аналогичный традиционным классическим методам. Классическая теория трассирования, выработанная и проверенная более 180-летней практикой проектирования железных дорог, представляет собой метод оптимального проектирования плана и профиля трассы новых и реконструируемых железных дорог и вторых путей.

Ключевые слова: аппроксимация, продольный профиль, новые и реконструируемые железные дороги, кусочно-линейные функции, критерий эффективности, декомпозиция сложных систем, многофакторный анализ, автоматизированное проектирование.