

Е.В. Ладыгин<sup>1</sup>, Е.А. Чабан<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Красноярский институт железнодорожного транспорта, г. Красноярск, Российская Федерация

## КОМПЛЕКСНАЯ ЗАЩИТА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОЛОТНА ОТ МОРОЗНОГО ПУЧЕНИЯ

**Аннотация.** В условиях сурового климата, характерного для значительной части территории Российской Федерации, железнодорожная инфраструктура регулярно подвергается неблагоприятному воздействию природных факторов, в частности — морозное пучение грунтов. Это явление, вызываемое замерзанием влаги в порах грунта, приводит к образованию деформаций земляного полотна, нарушению геометрии рельсового пути, ускоренному износу конструктивных элементов и, как следствие, снижению уровня безопасности и надёжности функционирования железных дорог. В данной статье подробно рассмотрены современные подходы к обеспечению устойчивости земляного полотна в условиях сезонного промерзания. Проведён анализ существующих и перспективных методов защиты от морозного пучения, включая механические, теплофизические и инженерно-строительные решения. Особое внимание уделено применению геосинтетических материалов, армирующих конструкций и цементно-композитных покрытий нового поколения, таких как Concrete Canvas, отличающихся высокой прочностью, водонепроницаемостью и долговечностью. Описаны конструктивные особенности, методики укладки и сферы применения данных материалов в различных климатических зонах. Также предложен вариант комплексного подхода, включающего установку пассивных термостабилизаторов в сочетании с геосинтетическими слоями, направленного на долговременное устранение причин пучения. Дана оценка преимуществ такого подхода как в техническом, так и в экономическом аспектах. Представленные решения по устранению причин пучения для земляного полотна могут быть эффективно использованы в рамках государственной программы модернизации железнодорожной сети, особенно в регионах с экстремальными климатическими условиями.

**Ключевые слова:** железнодорожная инфраструктура, морозное пучение, земляное полотно, геосинтетика, Concrete Canvas, термостабилизация, инновационные технологии.

E. V. Ladygin<sup>1</sup>, E. A. Chaban<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Krasnoyarsk Institute of Railway Transport, Krasnoyarsk, Russian Federation

## MODERN APPROACHES TO PROTECTING THE RAILWAY TRACKBED FROM FROST HEAVING USING GEOSYNTHETIC MATERIALS

### Abstract.

In the harsh climate typical for a significant part of the territory of the Russian Federation, the railway infrastructure is regularly exposed to adverse effects of natural factors, in particular, frost heaving of soils. This phenomenon, caused by the freezing of moisture in the pores of the soil, leads to the formation of deformations of the roadbed, disruption of the geometry of the track, accelerated wear of structural elements and, as a consequence, a decrease in the level of safety and reliability of the functioning of railways.

This article examines in detail modern approaches to ensuring the stability of the roadbed in conditions of seasonal freezing. An analysis of existing and promising methods of protection against frost heaving is carried out, including mechanical, thermal and physical and engineering solutions. Particular attention is paid to the use of geosynthetic materials, reinforcing structures and new generation cement-composite coatings, such as Concrete Canvas, which are characterized by high strength, water resistance and durability. The design features, installation methods and application areas of these materials in various climatic zones are described. In addition, the author's version of a comprehensive approach is proposed, including the installation of passive thermal stabilizers in combination with geosynthetic layers, aimed at long-term elimination of the causes of heaving. The advantages of this approach are considered, both in technical and economic aspects. The presented solutions can be effectively used within the framework of the state program for modernization of the railway network, especially in regions with extreme climatic conditions.

**Keywords:** railway infrastructure, frost heaving, roadbed, geosynthetics, Concrete Canvas, thermal stabilization, innovative technologies.

## Введение

Надёжность и безопасность железнодорожного сообщения играет ключевую роль в транспортной системе России [1]. Особенно это актуально для удалённых регионов, где альтернативные виды транспорта менее развиты. В таких условиях стабильность земляного полотна становится важнейшим фактором, обеспечивающим бесперебойную эксплуатацию железнодорожных линий. Одна из основных проблем, препятствующих этому – сезонное морозное пучение грунтов. Данное явление способно вызывать серьёзные отклонения в геометрии пути, что требует постоянного контроля, технического вмешательства и значительных затрат на восстановительные мероприятия [2]. В этой связи становится всё более актуальным поиск новых технологий и конструктивных решений, способных не просто устранять последствия, но и предотвращать само явление пучения на ранних стадиях его проявления.

Морозное пучение представляет собой физико-геологический процесс, при котором происходит расширение влажных грунтов в результате замерзания содержащейся в них воды. Это приводит к значительным вертикальным и горизонтальным перемещениям земляного полотна, что оказывает разрушительное воздействие на его структуру [3]. В зависимости от глубины промерзания, характера грунтов и климатических условий проявления пучения могут различаться, однако все они сопровождаются нарушением равномерности и устойчивости основания железнодорожного пути. Это обстоятельство является причиной появления просадок на поверхности земляного полотна, разрушения шпал, ослабления креплений и деформации балластной призмы железнодорожного пути. Подобные изменения снижают прочностные характеристики пути в целом, включая балластную призму, шпалы и рельсы. Способствуют увеличению динамических нагрузок на подвижной состав и представляют потенциальную угрозу безопасности движения [4]. Таким образом при текущем содержании пути появляются дополнительные расходы на выправку пути, замену повреждённых элементов и проведение неотложных восстановительных мероприятий, особенно в зимне-весенний период, когда пучение достигает наибольшей активности.

По данным ОАО «РЖД» протяженность земляного полотна сети железных дорог составляет 86,5 тыс. км, из них дефектных – 8,6 тыс. км, что составляет 10% от общей протяженности сети железных дорог (рис. 1). Основное количество дефектов земляного полотна связано с нарушением его геометрических очертаний – 42% от протяженности дефектного и деформирующегося земляного полотна. Деформации тела насыпи (осадки, сплывы) составляют 15%. Дефекты и деформации основной площадки (балластные корыта, пучины) составляют 11%. Остальные 30% распределяются между такими деформациями земляного полотна, как водоразмывы, оползни, обвалы и сели.

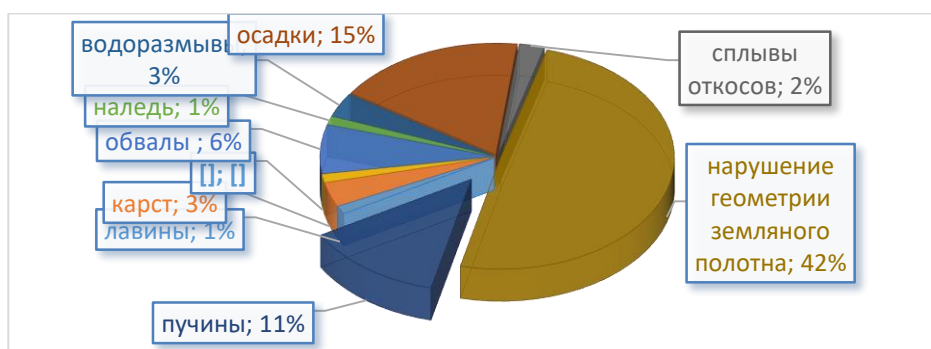


Рис 1. Диаграмма дефектов земляного полотна по видам

На основании диаграммы, представленной на рис. 1, можно сделать вывод, что пучины являются распространённым дефектом земляного полотна на сети железных дорог ОАО «РЖД». В условиях текущего содержания железнодорожного пути для обеспечения безопасности движения подвижного состава данное обстоятельство приводит к необходимости вве-

дения ограничений скорости для подвижного состава и проведения трудоемких работ по выправке пути. В практике эксплуатации железных дорог с целью борьбы с последствиями проявления пучинности земляного полотна наибольшее распространение получили такие методы, как укладка временных противопучинных карточек, сезонная выправка пути. Хотя эти меры позволяют оперативно устранить дефекты, но они не могут оказать влияния на причины пучения и вынуждают ежегодно повторять мероприятия по устранению неисправностей, связанных с пучением грунтов, имеющие высокие показатели трудоемкости и временных затрат.

В северных регионах и регионах с резким континентальным климатом, где продолжительность зимнего периода достигает шести месяцев, такие подходы оказываются особенно неэффективными из-за глубокого промерзания грунтов, резких температурных колебаний и длительного воздействия отрицательных температур, что приводит к интенсивному морозному пучению и деформации земляного полотна [5].

В весенне-летний период на пучинистых участках выполняются работы по устранению наслоений карточек, замене пучинных костылей на обычные, замене дефектных промежуточных скреплений и шпал с разработанными костыльными отверстиями, а также рихтовка и выправка пути по уровню. В зимний период приходится ежедневно контролировать промеры пути, неоднократно укладывать карточки для устройства отводов и поддержания уровня нитей, заменять размочаленные карточки и устранять отклонения в плане путем перешивки пути. Очевидно, что выполнение этих работ требует значительных временных затрат и трудовых ресурсов.

Для иллюстрации масштабов проблемы можно привести следующие цифры [6]. Устранение последствий морозного пучения на Московско-Курской железной дороге ежегодно обходится в среднем более чем в 320 000 рублей, на Николаевской железной дороге – более чем в 270 000 рублей, на Уральской – более чем в 200 000 рублей. По приблизительным оценкам, общая стоимость работ по устранению пучин на всех железных дорогах России превышает 7,5 миллионов рублей в год. Эти данные подчёркивают актуальность поиска и внедрения эффективных и долговечных решений для борьбы с морозным пучением. В этой связи необходим переход от реактивной к превентивной стратегии защиты земляного полотна.

Современные материалы позволяют создавать устойчивые конструкции земляного полотна, защищённые от капиллярного поднятия влаги и образования наледи. Геотекстиль, армированные плёнки, георешётки и дренажные маты применяются для укрепления и осушения насыпей [7]. Одним из наиболее прогрессивных решений является Concrete Canvas — цементно-композитный материал, активируемый водой (рис 2) [8-9]. После укладки и увлажнения он формирует твёрдую бетонную оболочку, которая защищает тело насыпи от проникновения влаги, механических повреждений и температурных перепадов.



**Рис 2. Устройство бетонного полотна Concrete Canvas**

Материал прост в транспортировке, не требует тяжёлой техники, его можно укладывать вручную даже в труднодоступных местах. Concrete Canvas показывает устойчивость к морозу, химическим реагентам, УФ-излучению, обладает длительным сроком службы (до 120 лет) и

высокой механической прочностью. Его применение эффективно в условиях высокой влажности, вечномерзлых грунтов и при наличии интенсивного движения.

Монтаж Concrete Canvas может выполняться с минимальным использованием специализированного оборудования. Для работы требуются только стандартные строительные инструменты. Компактные рулоны материала легко транспортировать и раскатывать вручную, что делает его идеальным решением для использования в труднодоступных местах. Благодаря гибкости материала укладка на криволинейных и поворотных участках не вызывает затруднений.

К числу существенных достоинств данной технологии следует отнести сокращённые сроки монтажа. Укладка Concrete Canvas может быть выполнена в 10 раз быстрее, чем с использованием традиционных бетонных растворов. Перед укладкой не требуется проводить длительные подготовительные работы – достаточно придать основанию требуемую форму и удалить острые и выступающие объекты. Монтаж можно проводить даже в проливной дождь и укладывать бетонное полотно прямо в воду, что значительно ускоряет темп выполнения работ. Кроме того, при проведении строительных работ рядом с проезжей частью или железнодорожными путями нет необходимости останавливать движение. Примеры различного возможного применения Concrete Canvas представлены на рис. 3.

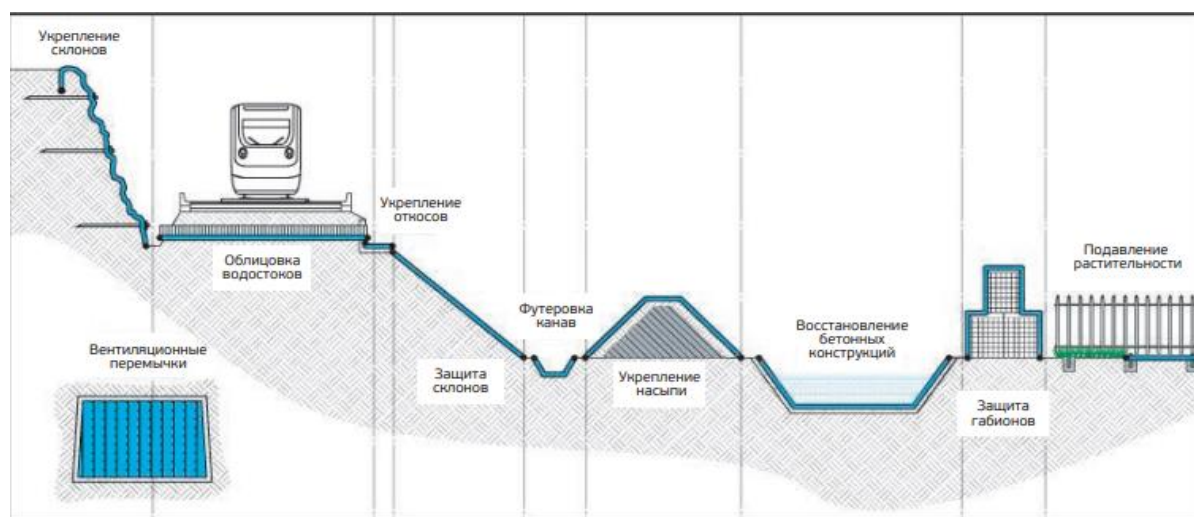


Рисунок 3 – Применение бетонного полотна Concrete Canvas

Еще одним из инновационных способов борьбы с пучением грунта является применение пассивных термостабилизаторов (рис 4.), представляющие собой трубчатые металлические конструкции, в которых находится летучий хладагент [10-13]. Эти устройства помогают контролировать глубину промерзания грунта, регулируя его температуру с помощью фазового изменения хладагента. Когда температура наружного воздуха понижается, хладагент в нижней части трубы испаряется, поглощая тепло из окружающей среды. Когда температура повышается, хладагент конденсируется в верхней части трубки, выделяя тепло обратно в грунт. Таким образом, термостабилизатор помогает регулировать температуру грунта, предотвращая его промерзание.

Особенность таких термостабилизаторов заключается в их пассивном режиме работы, что означает отсутствие необходимости в подключении к внешним источникам энергии. Они эффективны в условиях низких температур и могут работать даже в местах, где невозможно использовать активные системы отопления или другие энергозависимые решения.

Для защиты земляного полотна от морозного пучения важно не только снизить негативное влияние низких температур, но и улучшить механическую устойчивость насыпи. Таким образом предлагаемая концепция заключается в применении комплексной системы, которая объединяет геосинтетические материалы, пассивные термостабилизаторы и инновационные

строительные материалы, такие как Concrete Canvas. Эта методика позволяет эффективно контролировать температуру и влажность в грунте, минимизируя процесс замерзания и пучения.

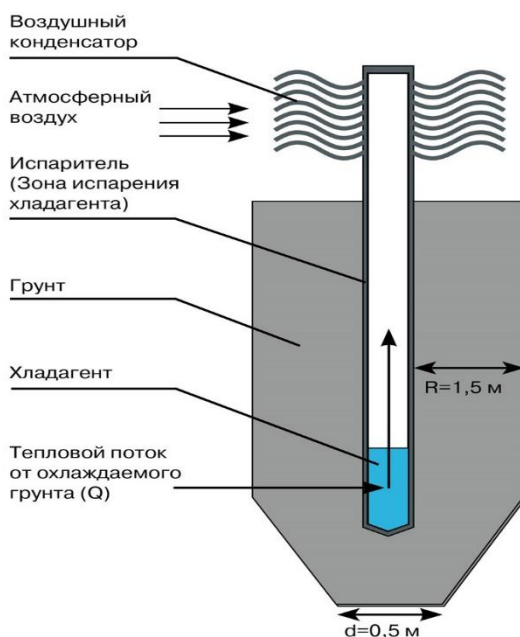


Рис. 4. Конструкция термостабилизатора

Комплексный подход к термостабилизации насыпи представляет собой интеграцию нескольких передовых технологий, направленных на защиту земляного полотна от морозного пучения [14-15]. Этот подход сочетает в себе использование геосинтетических материалов и пассивных термостабилизаторов, что позволяет эффективно минимизировать влияние низких температур и избыточной влаги, являющихся главными факторами, способствующими пучению грунтов. Вместе эти технологические решения создают многослойную систему защиты, которая значительно улучшает долговечность и эксплуатационные характеристики железнодорожной инфраструктуры. Такой подход обеспечивает стабильность земляного полотна, позволяя предотвращать не только последствия пучения, но и саму его причину. Это в свою очередь снижает потребность в частых ремонтах, сокращает эксплуатационные расходы и увеличивает безопасность движения, особенно в регионах с экстремальными климатическими условиями.

### Заключение

Комплексная защита железнодорожного пути от морозного пучения – это не только технологическая, но и стратегическая задача, особенно для регионов с экстремальными климатическими условиями с уровнем температур в зимний период эксплуатации достигающим минус 40 °С. Предлагаемый подход, основанный на сочетании геосинтетических покрытий и термостабилизаторов, позволяет эффективно устранять причины деформаций, что в свою очередь будет способствовать продлению срока службы элементов конструкции верхнего строения пути и повышению безопасности эксплуатации железнодорожного пути.

Использование инновационных материалов, таких как Concrete Canvas, в сочетании с инженерно обоснованными мерами терморегуляции открывает новые возможности в строительстве и модернизации железнодорожной инфраструктуры России. С учётом масштабов протяжённости железных дорог в стране, перспективы применения описанных технологий представляются весьма обнадеживающими. Их внедрение особенно актуально для полигонов Западной и Восточной Сибири, Урала, Якутии, где климатические условия создают экстремальные нагрузки на земляное полотно. Кроме того, использование таких решений позволит существенно снизить эксплуатационные издержки, увеличить межремонтные интервалы и мини-

мизировать вмешательства в инфраструктуру без необходимости прекращения движения поездов. Массовое внедрение этих технологий может стать частью государственной стратегии повышения надёжности и адаптации транспортной сети к климатическим изменениям и росту интенсивности перевозок.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года, утвержденная Распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 года № 3363-р.
2. Инструкция по применению геосинтетических материалов при строительстве, реконструкции и ремонте земляного полотна железнодорожного пути. ОАО «РЖД», 2014.
3. Типовые решения по восстановлению несущей способности дорожной одежды на пучинистых участках: сайт. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data1/7/7968/index.htm> (дата обращения 10.05.2025).
4. Мионов А. Н. Комплексная защита от морозного пучения: опыт внедрения. // Наука и техника транспорта, 2023, № 5. С. 38-55.
5. Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути (ЦП-774). М.: Транспорт, 2000.
6. ОАО «РЖД». Отчет о состоянии земляного полотна. М., 2020.
7. Белов А.П., Захаров Д.В. Геосинтетические материалы при строительстве железнодорожных насыпей в условиях вечной мерзлоты. // Пути сообщения, 2018, № 2. С. 22-35.
8. Производитель бетонного полотна Concrete Canvas Ltd: сайт URL: <https://www.concretcanvas.com> (дата обращения 10.05.2025).
9. Иванов И. А., Петров С. А. Инновационные цементно-композитные покрытия в дорожном строительстве. // Вестник СибАДИ, 2021, № 2. С. 50-62.
10. Романов П. Е., Михайлов А. Н. Инженерные системы термостабилизации. // Современные технологии, 2021, №2. С. 26-40.
11. Денисов С.В. Анализ теплофизических свойств термостабилизаторов. // Вестник МИИТа, 2020, №3. С. 15-27.
12. Шашков Д. П. Преимущества комплексного подхода к защите земляного полотна от морозного пучения. // Транспорт России, 2024, № 4. С. 15-28.
13. Лаптев Ю. Н. Новые подходы к реконструкции железнодорожных насыпей в условиях Крайнего Севера. // Инженерный вестник, 2020, № 6. С. 12–20.
14. Горбунов Ю.Н. и др. Эффективность применения геотекстилей на пучинистых грунтах. // Геотехника, 2019, № 4. С. 40-53.
15. Зверев П. К. Экономическая эффективность превентивных решений против морозного пучения. // Транспортная наука, 2020, № 4. С. 30-45.

## REFERENCES

1. *Transportnaya strategiya Rossiyskoy Federatsii do 2030 goda s prognozom na period do 2035 goda*, utverzhennaya Rasporyazheniem Pravitelstva Rossiyskoy Federatsii ot 27 noyabrya 2021 g. No 3363-r. [Transport Strategy of the Russian Federation until 2030 with a Forecast for the Period until 2035, approved by Decree of the Government of the Russian Federation No. 3363-r dated November 27, 2021]
2. *Instruktsiya po primeneniyu geosinteticheskikh materialov pri stroitelstve, rekonstruktsii i remonte zemlyanogo polotna zheleznodorozhnogo puti*. ОАО "RZhD" [Guidelines for the use of geosynthetic materials in the construction, reconstruction and repair of railway roadbed. JSC "RZD"] 2014.
3. *Tipovye resheniia po vosstanovleniiu nesushchei sposobnosti dorozhnoi odezhdy na puchinistykh uchastkakh*: сайт.[ Typical Solutions for Restoring the Load-Bearing Capacity of Pavement Structures on Frost-Heaving Soils] URL: <https://files.stroyinf.ru/Data1/7/7968/index.htm> (retrieved on 10.05.2025).

4. Mironov A.N. Kompleksnaya zashchita ot moroznogo pucheniya: opyt vnedreniya. [Comprehensive protection against frost heaving: implementation experience] // *Nauka i tekhnika transporta*, [Science and Transport Technology] 2023, №5. Pp. 38-55.
5. *Instruksiya po tekushchemu sodержaniyu zheleznodorozhnogo puti (TsP-774)*. [Instruction for current maintenance of railway track (CP-774)] M.: Transport, 2000.
6. OAO "RZhD". *Otchet o sostoyanii zemlyanogo polotna*. [Report on the condition of railway roadbed] M., 2020.
7. Belov A.P., Zakharov D.V. Geosinteticheskie materialy pri stroitelstve zheleznodorozhnykh nasy-pay v usloviyakh vechnoy merzloti. [Geosynthetic materials in the construction of railway embankments in permafrost conditions] // *Puti soobshcheniya*, [Transport Routes] 2018, №2. Pp. 22-35.
8. Proizvoditel betonogo polotna *Concrete Canvas Ltd.* [Concrete Canvas Ltd. Manufacturer of concrete lining] URL: <https://www.concretecanvas.com>. (retrieved on 10.05.2025).
9. Ivanov I.A., Petrov S.A. Innovatsionnye tsementno-kompozitnye pokrytiya v dorozhnom stroitelstve. [Innovative cement-composite pavements in road construction] // *Vestnik SibADI*, [Bulletin of SibADI] 2021, №2. Pp. 50-62.
10. Romanov P.E., Mikhailov A.N. Inzhenernye sistemy termostabilizatsii. [Engineering systems for thermal stabilization] // *Sovremennye tekhnologii* [Modern Technologies] 2021, №2. Pp. 26-40.
11. Denisov S.V. Analiz teplofizicheskikh svoystv termostabilizatorov. [Analysis of thermophysical properties of thermal stabilizers] // *Vestnik MIITa*, [Bulletin of MIIT] 2020, №3. Pp. 15-27.
12. Shashkov D.P. Preimushchestva kompleksnogo podkhoda k zashchite zemlyanogo polotna ot moroznogo pucheniya. [Advantages of an integrated approach to protecting railway roadbed from frost heave] // *Transport Rossii*, [Transport of Russia] 2024, №4. Pp. 15-28.
13. Laptev Yu. N. Novye podkhody k rekonstruktsii zheleznodorozhnykh nasypey v usloviyakh Kraynego Severa. [New approaches to the reconstruction of railway embankments in the conditions of the Far North] // *Inzhenernyy vestnik* [Engineering Bulletin], 2020, No. 6. Pp. 12–20.
14. Gorbunov Yu.N. i dr. Effektivnost primeneniya geotekstiley na puchinistykh gruntakh. [Effectiveness of using geotextiles on frost-susceptible soils] // *Geotekhnika* [Geotechnics], 2019, №4. Pp. 40-53.
15. Zverev P.K. Ekonomicheskaya effektivnost preventivnykh resheniy protiv moroznogo pucheniya. [Economic efficiency of preventive measures against frost heave] // *Transportnaya nauka*, [Transport Science] 2020, №4. Pp. 30-45.

#### **Информация об авторах**

Чабан Елена Анатольевна – к. т. н., доцент кафедры «Строительство железных дорог», Красноярский институт железнодорожного транспорта Иркутского государственного университета путей сообщения, г. Красноярск e-mail: [chaban\\_tm@mail.ru](mailto:chaban_tm@mail.ru)

Ладыгин Евгений Вячеславович – студент гр. СЖД 2-23-1, Красноярский институт железнодорожного транспорта Иркутского государственного университета путей сообщения, г. Красноярск, e-mail: [Ladygin-12@mail.ru](mailto:Ladygin-12@mail.ru)

#### **Information about the authors**

Chaban Elena Anatolyevna – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, the Krasnoyarsk Institute of Railway Transport of Irkutsk State University of Railways, Krasnoyarsk, e-mail: [chaban\\_tm@mail.ru](mailto:chaban_tm@mail.ru)

Ladygin Evgeniy Vyacheslavovich – student of gr. RWC 2-23-1, the Krasnoyarsk Institute of Railway Transport of Irkutsk State University of Railways, Krasnoyarsk, email: [Ladygin-12@mail.ru](mailto:Ladygin-12@mail.ru)