

## НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 625.141:625.06:620.172.24

DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-6-4>

## Лабораторные исследования материала подбалластного защитного слоя с применением вяжущих материалов



Кирилл ДОРОШЕНКО



Евгений АШПИЗ



Вячеслав КОРОСТЕЛЕВ

Кирилл Андреевич Дорошенко <sup>1</sup>, Евгений Самуилович Ашпиз <sup>2</sup>, Вячеслав Александрович Коростелев <sup>3</sup>

<sup>1, 2</sup>Российский университет транспорта, Москва, Россия.

<sup>3</sup>ООО «Комкор», Краснодар, Россия.

<sup>1</sup> ORCID 0009-0000-1536-5959.

<sup>2</sup> ORCID 0000-0003-1334-2117; РИНЦ SPIN-код: 5412-7662.

✉ <sup>1</sup> inozrelez@mail.ru.

### АННОТАЦИЯ

Важность усиления земляного полотна и в особенности его основной площадки обусловлена увеличением осевой нагрузки поездов.

В статье приведен анализ результатов исследований прочностных и деформационных характеристик материала старогоднего балласта при его мелиорации вяжущими материалами с добавками полимерных стабилизаторов с целью оценки применимости технологии закрепления грунтов при устройстве подбалластного защитного слоя.

В лаборатории получены зависимости прочности на одноосное сжатие и растяжение при изгибе в зависимости от процентного содержания портландцемента и полимерного стабилизатора, а также оценено снижение характеристик материала при воздействии агрессивной среды.

По результатам испытаний был подобран оптимальный состав цемента и стабилизатора для определенного гранулометрического состава подбалластного защитного слоя. Выявлены основные преимущества применения стабилизаторов грунта в сравнении с образцами с применением только цемента.

**Ключевые слова:** железнодорожный транспорт, подбалластный защитный слой, модуль деформации, вяжущие материалы, стабилизаторы, штамповые испытания, элементарные образцы.

Для цитирования: Дорошенко К. А., Ашпиз Е. С., Коростелев В. А. Лабораторные исследования материала подбалластного защитного слоя с применением вяжущих материалов // Мир транспорта. 2023. Т. 21. № 6 (109). С. 34–39. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2023-21-6-4>.

Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.  
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.

## ВВЕДЕНИЕ

Один из ключевых подходов к решению задач роста эффективности железнодорожного транспорта за счёт увеличения объёмов и скорости доставки грузов связан с внедрением поездов с повышенными осевыми нагрузками, на сети Российских железных дорог – до 27 тс. Это в свою очередь должно обеспечиваться стабильностью положения рельсовой колеи, зависящей от состояния земляного полотна. Учитывая, что во многих случаях оно было сооружено более ста лет назад и рассчитано под значительно меньшие нагрузки, повышение их может вызвать деформации земляного полотна в местах его недостаточной несущей способности. Важным поэтому является усиление земляного полотна, и, в первую очередь, его основной площадки.

Существующие технологии усиления основной площадки земляного полотна при выполнении работ по реконструкции или капитальном ремонте пути, зарекомендовавшие себя положительно в России и за рубежом, предполагают устройство подбалластного защитного слоя (ПЗС) из щебеночно-песчано-гравийных смесей (далее – ЩПГС), благодаря чему достигается повышение стабильности пути [1–6]. Достоинством данной технологии является возможность выполнения её без снятия рельсошпальной решетки в ходе выполнения работ по глубокой очистке балласта. Однако широкое внедрение данной технологии сдерживается рядом следующих факторов:

- большой толщиной ПЗС, которая приводит к замедлению темпов производства работ в технологические «окна» и возрастанию стоимости;
- высокой стоимостью материала ЩПГС;
- необходимостью доставки смеси ЩПГС на место производства работ.

Для уменьшения толщины ПЗС с обеспечением его требуемых характеристик по усилению применяют армирование георешетками. Возможность уменьшения толщины ПЗС при применении георешеток обоснована научными исследованиями [5; 6] и закреплена в нормативном документе в России<sup>1</sup>. Но

необходимость доставки нового материала ЩПГС и связанные с этим недостатки все равно остаются, поэтому одним из перспективных вариантов для устройства ПЗС является применение местных материалов, в качестве которых может выступать накопленная толща балластных материалов. Однако, в соответствии с проведенными в РУТ (МИИТ) исследованиями<sup>2</sup>, модуль деформации самой смеси старых балластных материалов составляет не более 65 МПа, и, следовательно, достичь величины модуля деформации по верху ПЗС выше этого значения невозможно. По данным [2], для обеспечения требуемой согласно<sup>1</sup> величины модуля деформации на уровне основной площадки земляного полотна 80 МПа, модуль деформации материала ПЗС должен составлять порядка 150–200 МПа.

В связи с этим предлагается рассмотреть возможность устройства ПЗС из старогодных балластных материалов, получаемых в ходе их очистки с улучшением их характеристик до требуемых величин обработкой вяжущими материалами с добавкой полимерного стабилизатора. Такая технология позволит сократить время выполнения работ за счет исключения операций вывоза слоя балласта и отсутствия необходимости в доставке кондиционных материалов ЩПГС, а также сокращения толщины самого ПЗС.

В настоящее время в автодорожном строительстве распространено применение добавок цемента и полимерно-минеральных композиций для усиления основной площадки и оснований [7; 8], что согласно исследованиям [9] позволяет:

- уменьшить толщину конструктивного слоя;
- сократить расход материалов и время на производство и доставку материалов;
- применять отходы производства вместо их утилизации.

Применение стабилизаторов обусловлено увеличением трещиностойкости конструкции и стойкости к воздействию агрессивных сред [10].

<sup>1</sup> Инструкция по устройству подбалластных защитных слоев при реконструкции (модернизации) железнодорожного пути, утвержденная распоряжением ОАО «РЖД» от 12.12.2012 № 2544р. [Электронный ресурс]: <https://base.garant.ru/406652845/>. Доступ 23.12.2023.

<sup>2</sup> Технические условия к материалу защитного слоя с использованием продуктов от вырезки старого балласта щебнеочистительными комплексами, научно-технический отчет. Этап № 1 «Результаты лабораторных испытаний». Руководитель темы Ашпиз Е.С. – М.: МИИТ 2021. – 111 с.





Рис. 1. Обойма для изготовления образцов [фото авторов].

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью данной работы являлся подбор в лабораторных условиях количества портландцемента и добавок стабилизатора в материал продуктов от очистки старогоднего балласта, позволяющего получить требуемые для материала ПЗС деформационные характеристики.

Исходный материал ПЗС для лабораторных исследований был взят из продуктов от очистки балласта, полученных на Московской железной дороге и использовавшихся ранее в проведенных в РУТ (МИИТ) исследованиях<sup>2</sup>. Гранулометрический состав данного материала приведен в табл. 1.

В данный материал добавлялось разное количество портландцемента и полимерных стабилизаторов и изготавливались образцы для лабораторных испытаний по определению модуля деформации в зависимости от его состава.

Для оценки влияния воздействия влажности на прочностные свойства материала также были запланированы его испытания после водопоглощения.

## МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ

Испытания выполнялись в два этапа. На первом этапе подбиралось количество цемента для материала с выбранным гранулометрическим составом (см. табл. 1). Для подбора количества цемента изготавливались элементарные образцы, представляющие собой цилиндр высотой 60 мм и диаметром 101 мм. Образцы смешивались с 2 %, 3 % и 4 % портландцемента от массы грунта и с водой до достижения оптимальной влажности. Далее

Таблица 1  
Гранулометрический состав материала ПЗС для изготовления образцов

| Фракция, мм | Процентное содержание |
|-------------|-----------------------|
| 25–30       | 2,04                  |
| 20–25       | 18,57                 |
| 12,5–20     | 18,57                 |
| 10–12,5     | 6,40                  |
| 7,5–10      | 9,13                  |
| 5–7,5       | 7,24                  |
| 2,5–5       | 8,43                  |
| 1,25–2,5    | 4,52                  |
| 1–1,25      | 0,72                  |
| 0,63–1      | 9,56                  |
| 0,315–0,63  | 7,15                  |
| 0,16–0,315  | 5,99                  |
| < 0,16      | 1,69                  |

смесь укладывалась в специальную обойму (рис. 1), где подвергалась вибрационному воздействию на вибростоле для лучшего заполнения пустот, образовавшихся в процессе укладки, после чего смесь уплотнялась на прессе под нагрузкой 24 т. После уплотнения образцы выпрессовывались из обоймы и оставлялись для набора прочности в течение семи суток. Суммарно было изготовлено 18 образцов – по шесть на каждое процентное содержание цемента. После набора прочности образцы испытывались на сжатие для определения модуля деформации материала закрепляемого подбалластного защитного слоя, в том числе после водопоглощения, по методике<sup>3</sup>, моделируя укладку подбалластного защитного слоя в сухую погоду и в условиях повышенной влажности. Состав, показавший наиболее оптимальные характеристики, принимался для дальнейших исследований по подбору стабилизатора.

На втором этапе при подобранном содержании цемента определялось рациональное содержание стабилизатора, в качестве которого была выбрана добавка «Nicoфлок», позволяющая вести дальнейшие работы (например, балластировку пути) сразу после уплотнения смеси, что минимизирует время на укладку защитного слоя.

«Nicoфлок» относится к группе редиспергируемых полимерных порошков (РПП), которые придают материалам на минеральной основе большую ударную прочность, сни-

<sup>3</sup>ГОСТ 10180-2012 Бетоны. Метод определения прочности по контрольным образцам. – М.: Стандартинформ, 2018. – 31 с. [Электронный источник]: <https://docs.cntd.ru/document/1200100908>. Доступ 23.12.2023.

Таблица 2

Матрица испытаний по подбору содержания стабилизатора

| Вид образца*)                    | Вид испытания                                  | Количество образцов, шт. | Возраст испытуемых образцов, сут. | Определяемые характеристики      |
|----------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| Контрольные<br>0 % стабилизатора | Прочность на сжатие                            | 9                        | 7, 14, 28                         | Модуль деформации материала, МПа |
|                                  | Прочность на растяжение при расколе            | 3                        | 7                                 | Прочность при расколе, МПа       |
| 5 % стабилизатора                | Прочность на сжатие                            | 9                        | 7, 14, 28                         | Модуль деформации материала, МПа |
|                                  | Прочность на растяжение при расколе            | 3                        | 7                                 | Прочность при расколе, МПа       |
|                                  | Прочность на сжатие в водонасыщенном состоянии | 6                        | 7                                 | Модуль деформации материала, МПа |
| 7 % стабилизатора                | Прочность на сжатие                            | 9                        | 7, 14, 28                         | Модуль деформации материала, МПа |
|                                  | Прочность на растяжение при расколе            | 3                        | 7                                 | Прочность при расколе, МПа       |
|                                  | Прочность на сжатие в водонасыщенном состоянии | 6                        | 7                                 | Модуль деформации материала, МПа |
| 10 % стабилизатора               | Прочность на сжатие                            | 9                        | 7, 14, 28                         | Модуль деформации материала, МПа |
|                                  | Прочность на растяжение при расколе            | 3                        | 7                                 | Прочность при расколе, МПа       |
|                                  | Прочность на сжатие в водонасыщенном состоянии | 6                        | 7                                 | Модуль деформации материала, МПа |

\*) % стабилизатора определяется от количества цемента.

жают хрупкость материала и увеличивают стойкость к агрессивным средам, замедляют сроки схватывания. Химический состав стабилизатора «Nisoflok» представлен следующими компонентами: активированный кремнезем – 40 %, соли кальция – 15 %, соли натрия – 15 %, полимеры на основе лигнинов – 30 % [11].

Для исследования влияния стабилизатора на характеристики материала ПЗС были изготовлены аналогичные образцы с подобранным составом цемента, а также с 5 %, 7 % и 10 % содержания ПМК «Nisoflok» от общей массы цемента (0,15 %, 0,21 %, 0,3 % от массы грунта). Согласно техническим условиям на стабилизатор<sup>4</sup>, не рекомендовано применение более 10 % добавки от массовой доли цемента. Выбор процентного содержания стабилизатора определялся параметрами на сжатие в сухом и водонасыщенном состоянии и прочности на растяжение при расколе по методике<sup>2</sup>, исходя из оценки влияния стабилизатора на деформационные характери-

<sup>4</sup> СТО 13881083.002-2021 Полимерно-минеральная добавка Nisoflok для смесей с неорганическим вяжущим. Технические условия. – СПб.: Никель, 2021. – 30 с.

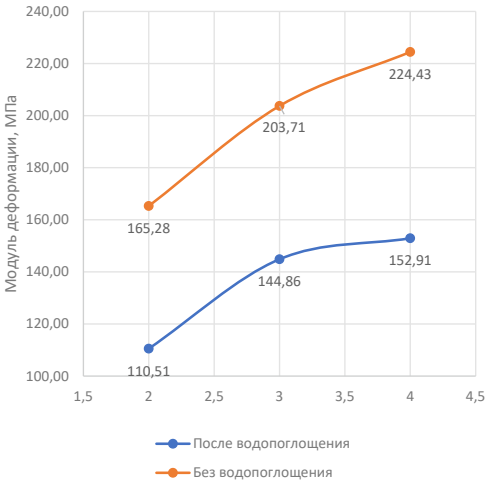


Рис. 2. Зависимость модуля деформации от количества цемента [выполнено авторами].

стики и трещиностойкость материала ПЗС. Матрица выполненных испытаний представлена в табл. 2.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

Результаты испытаний образцов с добавками портландцемента в сухом и водонасыщенном состоянии приведены на рис. 2.



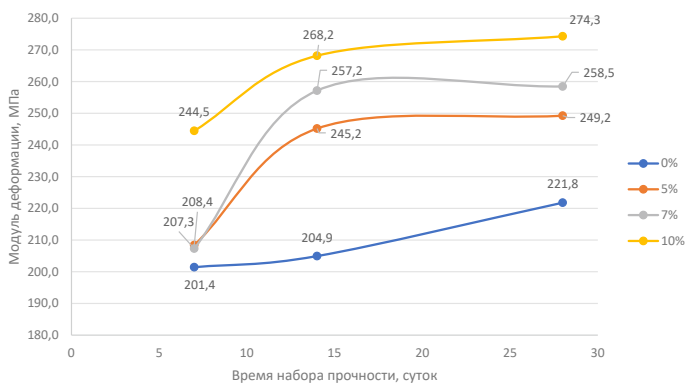


Рис. 3. Зависимость модуля деформации от процентного содержания ПМК «Nicoflo» [выполнено авторами].

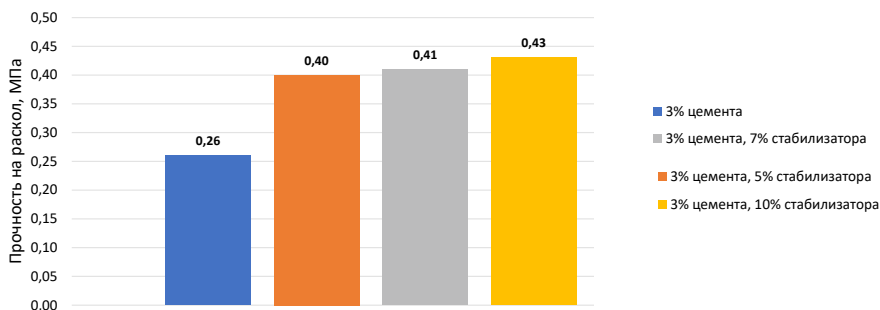


Рис. 4. Результаты испытаний по прочности на раскол в зависимости от процентного содержания ПМК «Nicoflo» [выполнено авторами].

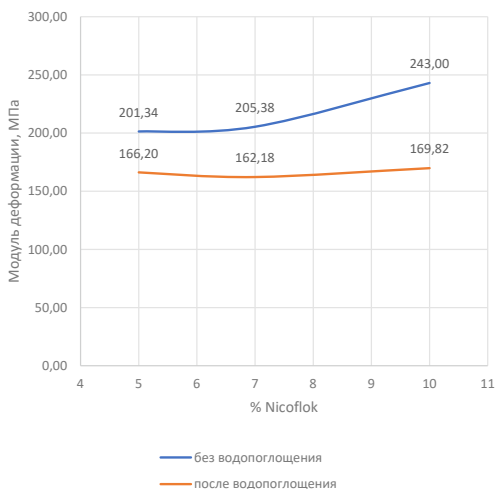


Рис. 5. Результаты испытаний на сжатие образцов с ПМК «Nicoflo» с и без водопоглощения [выполнено авторами].

Анализ данных, представленных на рис. 2, показывает, что при содержании в образце 2 % цемента состав по модулю деформации в водонасыщенном состоянии не удовлетворяет требованиям к ПЗС согласно<sup>1</sup>, а увеличение содержания цемента с 3 % до 4 % изменяет модуль деформации всего в 1,06 раз, что нерационально, поэтому можно рекомендовать добавку в количестве 3 % цемента.

Далее были проведены испытания по подбору процентного содержания стабилизатора грунта при 3 % содержании цемента. Результаты испытаний приведены на рис. 3.

Как видно из результатов испытаний, добавление стабилизатора увеличивает модуль деформации смеси на 12,4–23,6 % в зависимости от его процентного содержания в смеси. Также можно оценить, что основной набор прочности образцов достигается в течение 7 суток (80,6–93,5 % от прочности в возрасте 28 суток), следовательно, основные испытания могут быть проведены в этом возрасте, что позволяет оптимизировать время на дальнейшие исследования.

Для оценки трещиностойкости и стойкости к воздействию агрессивных сред были проведены испытания на прочность при расколе и прочность на сжатие. Результаты испытаний представлены на рис. 4 и 5.

Как видно из графиков, применение стабилизатора увеличивает прочность на раскол на 58–65 %. Исходя из этого следует, что материал, обработанный стабилизатором, будет меньше разрушаться от изгибных напряжений, что скажется на долговечности конструкции ПЗС.

На основании результатов испытаний следует также отметить, что для данного материала ПЗС с 3 % содержания цемента по критериям прочности и деформативности достаточно 5 % добавки «Nisoflok» и дальнейшее её увеличение нецелесообразно.

## ВЫВОДЫ

В процессе исследования суммарно было изготовлено 84 лабораторных образца с различным содержанием добавок портландцемента и стабилизатора, которые были испытаны на сжатие, в том числе с водонасыщением, при разном времени набора прочности, а также на раскол.

Из проведенных лабораторных исследований влияния вяжущих материалов и стабилизаторов грунта на прочностные и деформационные характеристики материала ПЗС, полученного из продуктов очистки балластного слоя, может быть сделан ряд выводов.

1) По результатам испытаний был подобран оптимальный состав цемента и стабилизатора для определенного гранулометрического состава ПЗС.

2) Основные преимущества применения стабилизаторов грунта в сравнении с образцами с применением только цемента:

- увеличение модуля деформации на 12,4–23,6 %;
- увеличение прочности на раскол на 58–65 %;
- уменьшение потерь по модулю деформации после водопоглощения на 17 %.

3) Применение вяжущих материалов в совокупности с полимерными стабилизаторами позволяет увеличить модуль деформации материала в 3,1 раза и достичь значений больше 200 МПа, что делает возможным рассмотреть возможность устройства ПЗС из продуктов от очистки балластного слоя, обеспечив сокращение стоимости и продолжительности работ в технологические «окна», сняв имеющиеся в настоящее время ограничения для его применения.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Блажко Л. С., Чуян С. Н., Захаров В. Б., Черняев Е. В. Анализ способов повышения несущей способности грунтов основной площадки земляного полотна // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2016. – № 3 (48). – С. 328–336. [Электронный ресурс]: <https://izvestiavgups.org/assets/files/10.20295-1815-588X-2016-3/10.20295-1815-588X-2016-3-328-336.pdf>. Доступ 23.12.2023.
2. Track Compendium: Formation, Permanent Way, Maintenance, Economics. 2<sup>nd</sup> edition. Hamburg, Eurailpress, 2011, 634 p. ISBN 978-3-7771-0421-8.
3. Маркин М. А. Решение проблемы устранения локальных выплесков // Путь и путевое хозяйство. – 2021. – № 5. – С. 18–20. EDN: TQEYLF.
4. Воробьев В. Б. Усиление основной площадки земляного полотна подбалластным защитным слоем для повышения пропускной способности железных дорог // Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. – 2022. – № 2 (58). – С. 41–45. EDN: LTYTUA.
5. Кузнецова А. В., Савин А. В. Прогноз накопления деформаций грунта земляного полотна под действием циклической нагрузки на основе результатов компьютерного моделирования // Транспортное строительство. Сб. статей второй всероссийской научно-техн. конференции. – М.: Изд-во «Перо», 2021. – С. 201–208. EDN: AJTBDH.
6. Cook, J., Buckley, J., Dobie, M., Bhavsar, R. The Use of Multiaxial Geogrids in Rail Trackbed Stabilisation. IINHA Conference, Perth, Australia, 2015. [Электронный ресурс]: [https://www.researchgate.net/publication/279195354\\_The\\_Use\\_of\\_Multiaxial\\_Geogrids\\_in\\_Rail\\_Trackbed\\_Stabilisation](https://www.researchgate.net/publication/279195354_The_Use_of_Multiaxial_Geogrids_in_Rail_Trackbed_Stabilisation). Доступ 23.12.2023.
7. Худайкулов Р. М., Мирзаев Т. Л. Применение стабилизаторов для улучшения прочности грунтового основания автомобильных дорог // Транспортные сооружения. – 2019. – Т. 6. – № 1. – С. 12. EDN: NXYZZV.
8. Разуваев Д. А., Ланис А. Л. Использование стабилизаторов грунтов при расширении сети автомобильных дорог местного назначения // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. – 2012. – Т. 3. – С. 223–228. EDN: PXBECJ.
9. Solihu, H. Cement Soil Stabilization as an Improvement Technique for Rail Track Subgrade, and Highway Subbase and Base Courses: A Review. Journal of Civil & Environmental Engineering, 2020, Vol. 10, Iss. 3. DOI: 10.37421/jce.2020.10.344.
10. Дмитриева Т. В., Маркова И. Ю., Строкова В. В. [и др.]. Эффективность стабилизаторов различного состава при укреплении грунтов минеральным вяжущим // Строительные материалы и изделия. – 2020. – Т. 3. – № 1. – С. 30–38. DOI: <https://doi.org/10.34031/2618-7183-2020-3-1-30-38>.
11. Митрофанов Н. Г., Панов И. В., Румянцев Д. А., Шабанова Т. Н., Зенкин И. Н. Патент на изобретение RU 2520118 C2. Композиция для устройства оснований дорожных одежд и других сооружений // Патентообладатель: федеральное государственное бюджетное учреждение высшего профессионального образования «Тюменский государственный архитектурно-строительный университет» // заявл. 03.09.2012; опубл. 20.06.2014, Бюл. № 17. – 11 с. [Электронный ресурс]: [https://rusneb.ru/catalog/000224\\_000128\\_0002520118\\_20140620\\_C2\\_RU/?ysclid=lsdbqbehvj270351254](https://rusneb.ru/catalog/000224_000128_0002520118_20140620_C2_RU/?ysclid=lsdbqbehvj270351254). Доступ 23.12.2023. ●

### Информация об авторах:

**Дорошенко Кирилл Андреевич** – аспирант кафедры пути и путевого хозяйства Российского университета транспорта, Москва, Россия, [inozrelez@mail.ru](mailto:inozrelez@mail.ru).

**Ашпиз Евгений Самуилович** – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой пути и путевого хозяйства Российского университета транспорта, Москва, Россия, [geopika@inbox.ru](mailto:geopika@inbox.ru).

**Коростелев Вячеслав Александрович** – учредитель ООО «Комкор», Краснодар, Россия, [sk2100024@gmail.com](mailto:sk2100024@gmail.com).

Статья поступила в редакцию 06.12.2023, одобрена после рецензирования 22.12.2023, принята к публикации 27.12.2023.

