

УДК 625.12

Об эффективности применения балочных транспортеров при строительстве высокоскоростных железнодорожных магистралей

И. С. Уланов¹, А. В. Горлов¹, С. Я. Луцкий², А. М. Черкасов², Б. А. Варченко²,
А. И. Штейн³

¹ООО «НПС Скоростные технологии», Российская Федерация, 121087, г. Москва, ул Баркляя, 6, стр. 5

²Российский университет транспорта (РУТ (МИИТ)), Российская Федерация, 127994, ГСП-4, Москва, ул. Образцова 9, стр. 9

³Частный независимый эксперт

Для цитирования: Уланов И. С., Горлов А. В., Луцкий С. Я., Черкасов А. М., Варченко Б. А., Штейн А. И. Об эффективности применения балочных транспортеров при строительстве высокоскоростных железнодорожных магистралей // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2025. — Т. 22. — Вып. 2. — С. 362–372. DOI: 10.20295/1815-588X-2025-2-362-372

Аннотация

Цель: Анализ особенностей, проблем и примеров мировой практики применения балочных транспортеров, разработка рекомендаций по их использованию на строительстве объектов инфраструктуры ВСМ. Исследование и расчет устойчивости земляного полотна для принятия решения о возможности применения балочных транспортеров. **Методы:** Проведение геотехнических расчетов прочности и устойчивости земляного полотна с учетом возможных нагрузок от прохода балочного транспортера. Анализ результатов геотехнических исследований и поверочных расчетов. **Результаты:** Рекомендации по повышению эффективности применения балочных транспортеров, ускорению процесса и снижению трудозатрат при монтаже тяжелых балочных конструкций. Выводы о дополнениях нормативных требований к организации процесса перевозки, технологии подготовки земляного полотна и его основания. Указана необходимость исследования стабильности грунтов, контроля качества подъездного пути, организации мониторинга и поверочных расчетов перед началом производства работ в целях профилактики рисков деформаций земляного полотна. **Практическая значимость:** Геотехнические исследования и методика поверочных расчетов, приведенные в данной работе, позволяют определить критические зоны возможной потери устойчивости земляного полотна и разработать меры по их укреплению. Включение в проектную практику результатов исследования позволит обеспечить нормативное качество перевозок тяжелых конструкций ВСМ, безопасную эксплуатацию балочных транспортеров, снизить риски, связанные с деформацией земляного полотна, и сократить сроки строительства.

Ключевые слова: Высокоскоростная железнодорожная магистраль, балочный транспортер, напряженно-деформированное состояние, деформация, геотехнические исследования.

Введение

Строительство высокоскоростных железных дорог связано с необходимостью инновационных и высокотехнологичных решений, одним из которых является применение балочных транспортеров при постройке инженерных сооружений.

Эти устройства играют ключевую роль в транспортировке и установке крупногабаритных железобетонных балок и пролетных строений мостов, эстакад и других объектов инфраструктуры ВСЖМ. В статье приведен анализ преимуществ и проблем применения балочных транспортеров,

примеры мировой практики их использования, а также риски аварий на участках дорог с недостаточной прочностью грунтов. Данный анализ положен в основу нового исследования и рекомендаций по повышению эффективности применения балочных транспортеров в сложных инженерных условиях.

Анализ применения балочных транспортеров в мировой практике

Балочные транспортеры нашли широкое применение в мировой практике. В КНР активно применяются балочные транспортеры при строительстве высокоскоростных железных дорог (HSR), в частности на линиях Пекин — Шанхай и Пекин — Гонконг, для укладки тяжелых железобетонных пролетных строений на эстакадах, имеющих протяженность в десятки километров [1].

В Италии использовались балочные транспортеры при строительстве высокоскоростной линии Турин — Милан [2]. Эти машины были особенно эффективны для укладки безбалластных пролетных строений на участках с ограниченным пространством. Их применение снизило воздействие на окружающую среду и позволило сократить сроки завершения проекта.

В Испании и Франции балочные транспортеры широко использовались при строительстве высокоскоростных линий Мадрид — Севилья, Мадрид — Барселона и Лион — Марсель. Транспортеры применялись для монтажа пролетных строений мостов и эстакад, что помогло сократить сроки строительства и уменьшить воздействие на природный ландшафт. Большинство балочных транспортеров имеют грузоподъемность от 400 до 1000 т, что позволяет перемещать крупные железобетонные балки и пролетные строения. Обычно длина транспортера составляет от 50 до 100 м, что позволяет эффективно распределять нагрузку и поддерживать устойчивость при перемещении тяжелых конструкций. Высота подъема конструк-

ций варьируется от 5 до 20 м, позволяя транспортеру поднимать и устанавливать балки на требуемую высоту при сооружении эстакад и мостов. Транспортеры могут иметь колесный ход или перемещаться по специально подготовленным рельсовым путям, что позволяет обеспечивать высокую точность при установке различных конструкций. Производство транспортеров предусматривает модульную структуру — несколько машин могут быть соединены для транспортировки сверхдлинных и сверхтяжелых компонентов. Возможна индивидуальная конфигурация по грузоподъемности, размеру платформы, количеству осей, наличию разнонаправленных колес, режиму привода. Одним из преимуществ балочных транспортеров является значительное увеличение темпов строительства. Эти устройства способны перемещать многотонные балки на большие расстояния, выполняя установку пролетных строений быстрее и эффективнее, чем при использовании традиционных кранов.

Балочные транспортеры оснащены автоматизированными системами управления, что позволяет выполнять монтаж конструкций с высокой точностью. Автоматизированная система управления позволяет оператору точно позиционировать конструктивные элементы, снижает риск аварий и повышает уровень безопасности на объекте.

Балочные транспортеры создают значительную нагрузку на земляное полотно, и для их безопасной эксплуатации требуется оценка соответствия нормам несущей способности грунта. Для минимизации рисков деформаций или потери устойчивости необходимо проведение детальных геотехнических исследований и, возможно, дополнительных работ по подготовке земляного полотна перед использованием транспортеров.

Балочные транспортеры менее эффективны на участках дорог со сложным рельефом, в горных районах или на участках с крутыми склонами. В этих условиях применение транспортеров

может потребовать выполнения дополнительных мероприятий по подготовке дорог и площадок (укрепление основания, установка временных поддерживающих конструкций и др.). Балочные транспортеры представляют собой дорогостоящее оборудование, которое требует высококвалифицированного технического контроля и обслуживания. Первоначальные затраты на его приобретение, установку и обучение персонала могут быть значительными. Внеплановый ремонт такого устройства может вызвать задержки в строительстве и дополнительные расходы, что делает экономическую обоснованность их использования актуальной только для крупных проектов. Работа балочных транспортеров затруднена в условиях неблагоприятной погоды, особенно при сильных ветрах и осадках. Погодные условия могут повлиять на устойчивость транспортера и безопасность перемещаемых конструкций. Это накладывает дополнительные ограничения на график работ и требует учета при разработке проекта организации строительства (ПОС). Известны несколько случаев аварий, вызванных недостаточной прочностью грунта под балочными транспортерами.

В Турции при строительстве высокоскоростной железной дороги Анкара — Стамбул в 2017 году на одном из участков этой линии произошла авария, связанная с потерей стабильности основания под транспортером, перемещающим железобетонную балку для эстакады. Это привело к частичному наклону транспортера и падению балки. Причиной инцидента стала недостаточная несущая способность грунтов, которые не были должным образом укреплены из-за поспешного начала строительных работ без дополнительных геотехнических исследований [3, 4].

Во Вьетнаме на одном из участков строительства метро в Ханое в 2018 году, где также применялся балочный транспортер для перемещения конструкций, произошло проседание

земляного полотна, вызвавшее смещение транспортера и падение балки на проезжую часть. В результате проект был приостановлен для проведения дополнительных исследований грунта. После инцидента в проект были внесены изменения, потребовавшие проведения комплексных инженерных и геологических изысканий перед использованием тяжелой техники на каждом новом участке [5].

В Китае при строительстве высокоскоростной магистрали в провинции Хэбэй в 2019 году произошла осадка грунта под балочным транспортером, что привело к потере его устойчивости и обрушению балки. Установлено, что грунты основания участка не были должным образом укреплены, не учтены сезонные изменения их физико-механических характеристик после обильных дождей. Этот инцидент подчеркнул необходимость предварительных геотехнических исследований и расчетов, обосновывающих достаточную прочность или необходимость укрепления земляного полотна при использовании тяжелой строительной техники [6].

Результаты проведенного анализа положены в основу методики геотехнического исследования и мониторинга состояния грунтов в дополнение технологического регламента [7] для принятия обоснованного решения о возможности применения балочных транспортеров при строительстве ВСЖМ.

Геотехническое исследование и рекомендации по повышению прочности и устойчивости земляного полотна

Для оценки состояния грунтов под технологической нагрузкой выполнено численное моделирование взаимодействия колесного балочного транспортера и земляного полотна. Конструкция земляного полотна (рис. 1) в соответствии нормами [8] по аналогии европейских норм (Ril 836 [9]) состоит (снизу вверх) из:

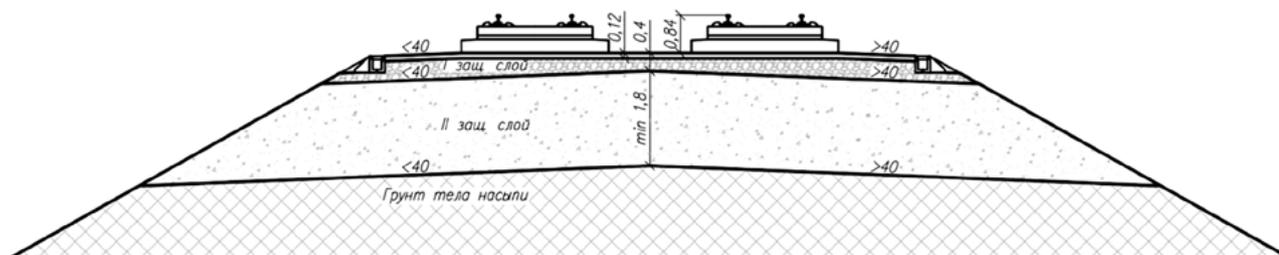


Рис. 1. Конструкция земляного полотна

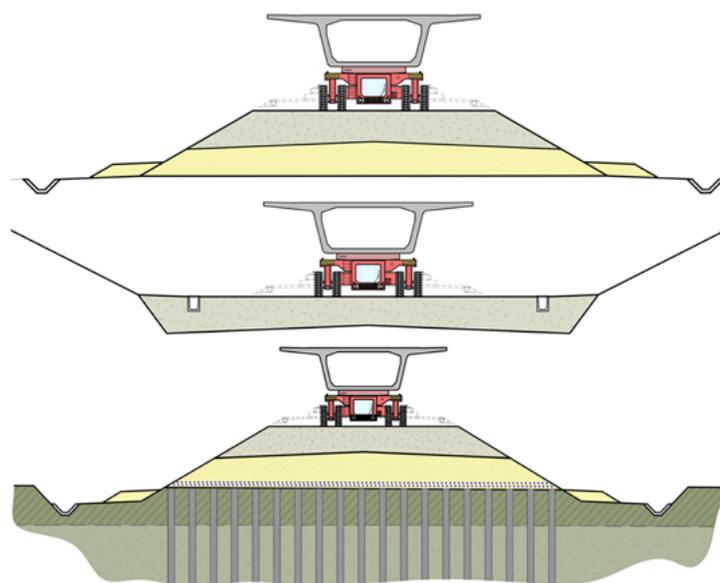


Рис. 2. Три варианта конструкции земляного полотна

- тела насыпи;
- второго (морозоустойчивого) защитного слоя (1,8 м);
- первого защитного слоя (0,4 м);
- слоя асфальтобетона (0,12 м).

Рассмотрены три варианта конструкции земляного полотна (рис. 2) и его основания и оценены возможные их деформации при силовом взаимодействии колес балочного транспортера с грунтом второго защитного слоя.

Первый вариант — насыпь высотой около 5 м. Второй защитный слой и тело насыпи отсыпаны из среднего песка на суглинистом прочном основании.

Второй вариант — выемка глубиной около 1 м.

Третий вариант — насыпь на недостаточно прочном основании, усиленном забивными железобетонными сваями длиной 9 м и сечением

35 × 35 см, расположенными по квадратной сетке через 2 м друг от друга.

Проезд колесного балочного транспортера допускается по второму (морозоустойчивому) защитному слою, до укладки верхнего первого защитного слоя.

В качестве расчетного прототипа принят колесный балочный транспортер типа YL900 (рис. 3), который состоит из главной балки, блока колес, станда-тележки перевозки балки, поворотного механизма, силовой системы, электрической и гидравлической систем [10].

Первый вариант — насыпь высотой 5 м. Необходимо было оценить риск потери устойчивости откоса земляного полотна, а также запас несущей способности грунта второго защитного слоя при проезде балочного транспортера вблизи от его бровки. Были рассмотрены два случая: при



Рис. 3. 16-осный балочный транспортер YL900 [11]

положении крайнего колеса транспортера на расстоянии 1 и 2 м от бровки земляного полотна.

При расчетах по 2D-схеме получено, что коэффициент устойчивости K_y равен 1,13 для давления от колеса на грунт через пятно контакта (525 кПа) и 1,33 для распределенного давления по ширине модели (281 кПа) и при положении колеса на расстоянии 1 м от бровки. Для этого случая, при расчете с применением 3D-модели (рис. 4 и 5), устойчивость несколько выше ($K_y = 1,45$).

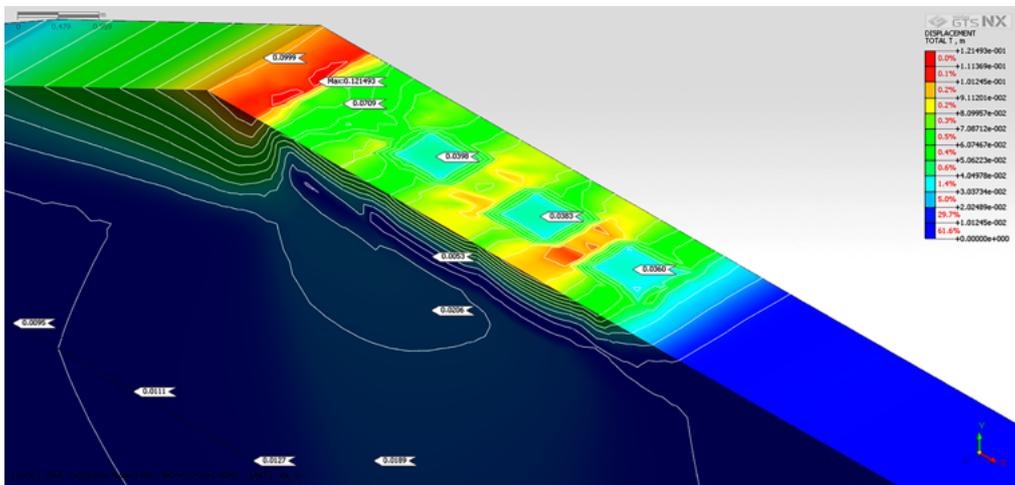


Рис. 4. Изополя полных деформаций земляного полотна при положении крайнего колеса балочного транспортера на расстоянии 1 м от бровки при коэффициенте устойчивости (K_y), равном 1,45

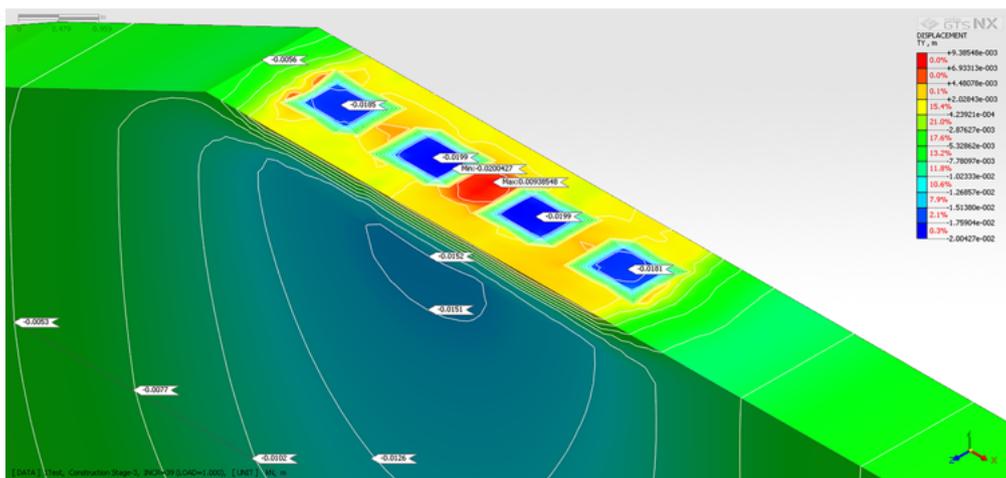


Рис. 5. Изополя вертикальных деформаций земляного полотна при положении крайнего колеса балочного транспортера на расстоянии 1 м от бровки, вертикальные деформации под колесом составили около 2 см, с максимальным выпором между колесами около 9 мм

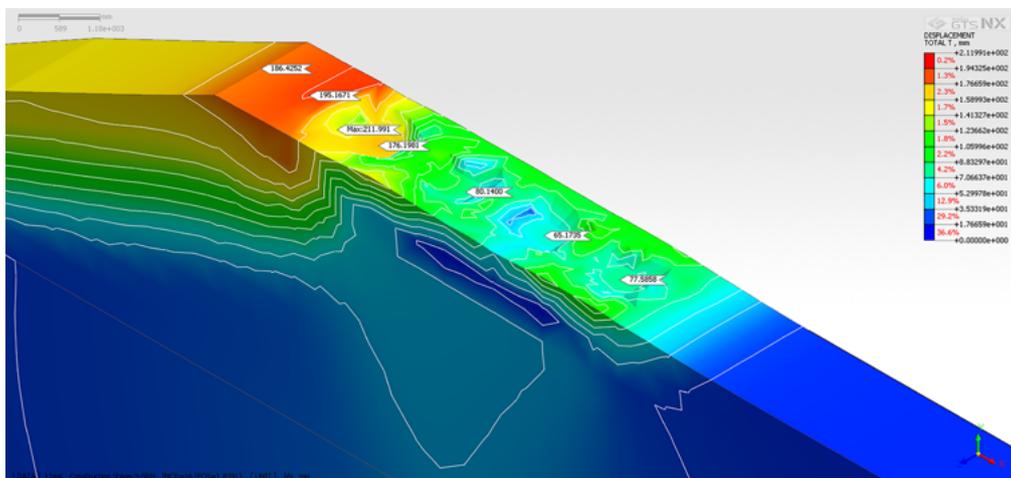


Рис. 6. Изополю полных деформаций земляного полотна при положении крайнего колеса балочного транспортера на расстоянии 2 м от бровки при коэффициенте устойчивости (K_u), равном 1,84

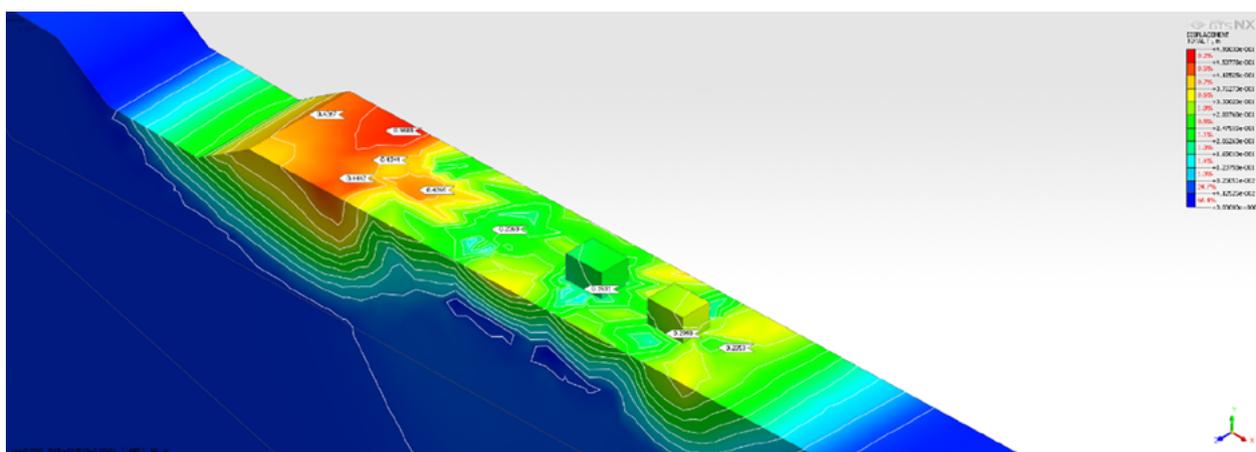


Рис. 7. Изополю полных деформаций земляного полотна при положении крайнего колеса балочного транспортера на расстоянии 1 м от бровки. По результатам расчета коэффициент устойчивости равен 2,6 и 3 при расстоянии от колеса до бровки 1 и 2 м соответственно

На рис. 6 показаны результаты расчетов при положении крайнего колеса транспортера на расстоянии 2 м от бровки земляного полотна.

Величина вертикальных деформаций на уровне низа защитного слоя в зоне под колесным транспортером в результате расчетов составила до 1 см. При положении колеса на расстоянии 2 м от бровки устойчивость земляного полотна существенно повышается и, судя по всему, больше соответствует моменту истощения несущей способности грунта второго защитного слоя.

Второй вариант конструкции — выемка глубиной около 1 м. Для расчетов устойчивости

прочностные параметры грунтов снижаются за счет деления на соответствующий коэффициент надежности по грунту.

Результаты расчетов показали, что вертикальная деформация у бровки составила 11 мм. Боковой выпор в сторону бровки — 8 мм, осадка под ближним к бровке колесом составила 22 мм, под вторым — 24 мм, выпор между колес — до 7 мм. Коэффициент устойчивости равен 2,6 и 3 при расстоянии от колеса до бровки 1 и 2 м соответственно (рис. 7).

Третий вариант конструкции — расчет насыпи на основании, усиленном забивными

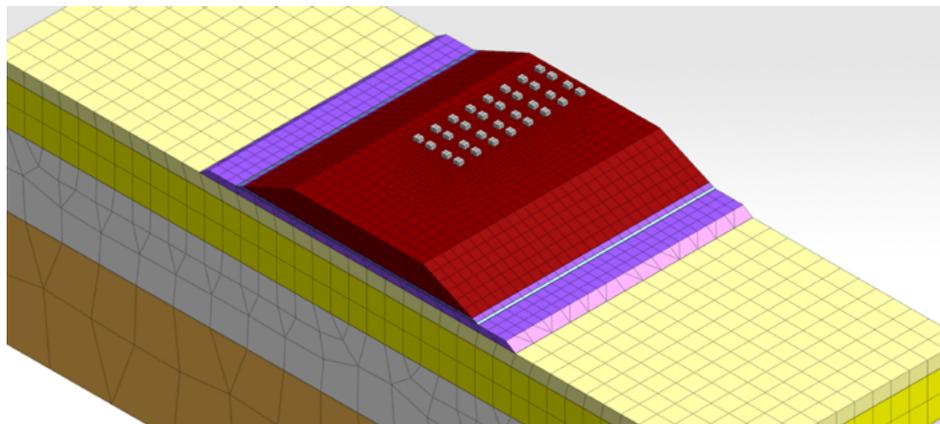


Рис. 8. Расчетная модель

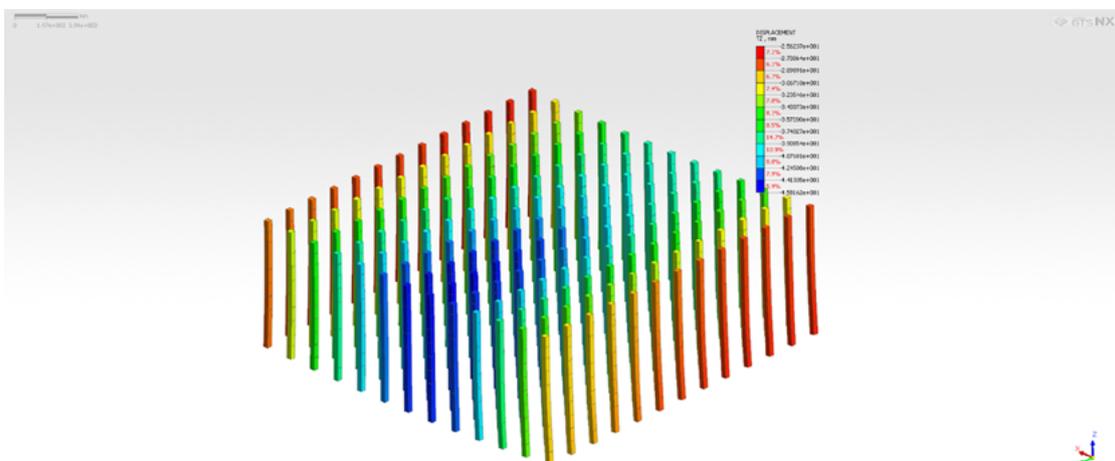


Рис. 9. Вертикальная деформация свай после проезда балочного транспортера

сваями длиной 9 м и сечением 35×35 см [7]. На рис. 8 приведена расчетная модель для случая проезда балочного транспортера на расстоянии 2 м от бровки второго защитного слоя. Учтена симметрия относительно середины длины балочного транспортера

Результаты расчетов показывают, что горизонтальные напряжения в геосетке гибкого ростверка по оси X (поперек пути), вызванные отсыпкой второго защитного слоя земляного полотна, концентрируются над свайными оголовками и не превышают 122 кН/м^2 . В пересчете на одноосное растяжение геосетки шириной 1 м усилие растяжения не превысит $12,2 \text{ кН/м}$ (при моделировании гибкого ростверка расстояние между слоями геосетки принято равным $0,1 \text{ м}$). Горизонтальные напряжения в геосетке гибкого ростверка по оси X

(поперек пути), вызванные воздействием от проезда балочного транспортера, также концентрируются над свайными оголовками менее нагруженных свай и не превышают 163 кН/м^2 . В пересчете на одноосное растяжение геосетки шириной 1 м усилие растяжения не превысит $16,3 \text{ кН/м}$. Непосредственно под балочным транспортером усилие растяжения минимально и составляет $3\text{--}9 \text{ кН/м}$.

Горизонтальные перемещения гибкого ростверка от воздействия проезда балочного транспортера направлены к середине геосетки и составляют $4,2 \text{ мм}$ со стороны менее загруженной подвижной нагрузки и $2,3 \text{ мм}$ со стороны, к которой смещен проезд транспортера. На рис. 9 приведено свайное поле в деформированном состоянии. Синим цветом выделена группа свай, имеющих дополнительную вертикальную дефор-

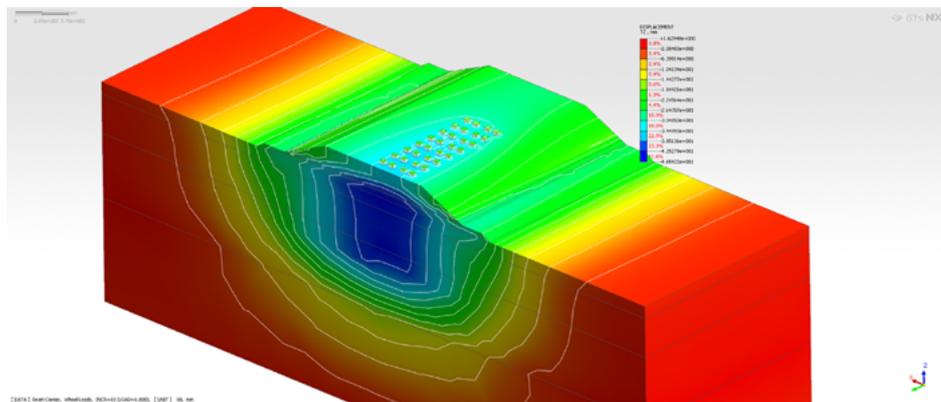


Рис. 10. Вертикальные деформации, вызванные проездом балочного транспорта

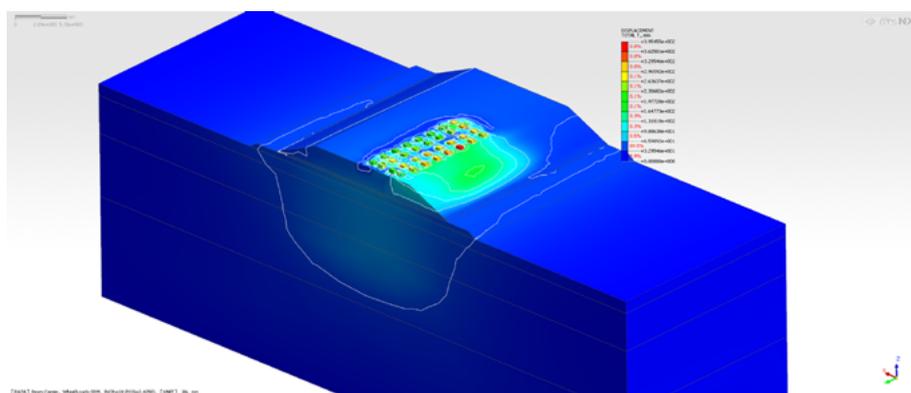


Рис. 11. Результат расчета устойчивости по 3 варианту при коэффициенте устойчивости (K_y), равном 2,4

Сводная таблица с результатами расчетов устойчивости

Параметр	1 вариант		2 вариант		3 вариант		Нормативное значение по СТУ [8]
	1 м от бровки	2 м от бровки	1 м от бровки	2 м от бровки	1 м от бровки	2 м от бровки	
Коэффициент устойчивости (K_y)	1,13* 1,89**	1,50* 1,80**	1,19* 1,60**	1,60* 3,00**	1,80**	2,20**	1,235
Образование колеи, см	7,0* 2,0**	6,4* 1,9**	8,4* 2,4**	8,4* 2,4**	3,7**	3,5**	не нормируется

*При расчете по 2D-схеме. **При расчете по 3D-схеме.

мацию, вызванную проездом балочного транспорта и равную 10 мм.

На рис. 10 приведены изополя вертикальных деформаций земляного полотна под воздействием проезда балочного транспорта. Величина деформаций под шинами на уровне верха второго защитного слоя составила 15 мм. Расчет устойчивости на рис. 11 показал запас несущей способности, соответствующий коэффициенту, равному 2,4.

В таблице представлены результаты расчетов по трем вариантам, а также сравнение полученных параметров с нормативными требованиями.

По результатам проведенных расчетов сделаны выводы:

1. Проезд колесного балочного транспорта типа YL900 по второму защитному слою может быть разрешен.

2. Не рекомендуется проезд по верху второго защитного слоя ближе чем 2 м от бровки второго защитного слоя.

3. Перед пропуском колесного балочного транспортера типа YL900 по второму защитному слою необходимо проверить влажность грунта, и в случае, если она выше допустимой по нормам, проезд не разрешен.

4. Для исключения колееобразования и неравномерного деформирования грунтов ниже основания второго защитного слоя повторные проходы следует выполнять со смещением на ширину колеса.

5. Нагрузка, вызванная проездом колесного балочного транспортера типа YL900, не приводит к деформациям геосинтетики гибкого ростверка, свай и грунтов межсвайного пространства, превышающим допуски по нормам.

6. При недостаточной несущей способности грунтов по результатам геотехнических исследований и поверочных расчетов необходимо провести укрепление земляного полотна за счет применения геосинтетических материалов и (или) стабилизации. На слабых основаниях следует применить интенсивную технологию упрочнения грунтов [7, 12] с устройством дренажных прорезей, защитного слоя и виброуплотнением катками с отжатием воды для снижения влажности.

7. После проезда колесного балочного транспортера типа YL900 второй защитный слой должен быть восстановлен до проектных отметок и уплотнен до нормативной плотности перед укладкой первого защитного слоя.

Заключение

Балочные транспортеры обеспечивают новую технологию строительства инженерных сооружений высокоскоростных железных дорог. Их применение позволяет значительно снизить трудозатраты и повысить точность монтажа тяжелых балочных конструкций. Однако эксплуатация сложной техники связана с дополнительными к нормам требо-

ваниями к стабильности конструкции земляного полотна. Тем не менее, анализ показал наличие ряда рисков, связанных с эксплуатацией балочных транспортеров в сложных геотехнических условиях. Известные случаи аварий, связанные с потерей устойчивости земляного полотна, подчеркивают необходимость комплексного геотехнического мониторинга перед началом строительных работ. Рекомендуется разработать и внедрить комплекс мер по геотехническому мониторингу в процессе строительства и эксплуатации. Особое внимание следует уделить проверке влажности грунта перед началом работ, расчетам устойчивости земляного полотна и регламенту производства работ с применением балочных транспортеров.

Список источников

1. “Hanjiang Heavy Industry’s project cargo important to China’s high-speed rail” / AJOT.COM. — URL: <https://ajot.com/premium/ajot-hanjiang-heavy-industrys-project-cargo-important-to-chinas-high-speed-rail> (дата обращения: 25.02.2025).
2. Santhia Viaduct — High Speed Railway Turin-Milan. Spic Srl. — URL: <https://www.spicsrl.com/references/santhia/> (дата обращения: 25.02.2025).
3. TCDD (Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları). — URL: <https://www.turkiye.gov.tr/tcdd> (дата обращения: 25.02.2025).
4. Anadolu Ajansı. — URL: <https://www.aa.com.tr/> (дата обращения: 25.02.2025).
5. Tuoi Tre News. — URL: <https://tuoitrenews.vn/> (дата обращения: 25.02.2025).
6. 新华网_让新闻离你更近. — URL: <http://www.xinhuanet.com/> (дата обращения: 25.02.2025).
7. Луцкий С. Я. О технологическом регламенте сооружения и контроля качества строительства земляного полотна / С. Я. Луцкий, Т. В. Шепитько, И. С. Уланов // Путь и путевое хозяйство. — 2021. — № 10. — С. 8–11.
8. Специальные технические условия «Проектирование, строительство и эксплуатация высокоскоростной железнодорожной магистрали Москва — Санкт-Петербург (ВСЖМ — 1)». Изменение 1. 960-СТУ.
9. Директива Deutsche Bahn Gruppe, Ril 836.

10. Tyre Transporter — Huada Heavy Industry. Huada Crane. — URL: <https://www.huadacrane.com/casting-yard-equipment/tyre-transporter.html> (дата обращения: 25.02.2025).

11. 【中交西筑YL900型运梁车综合】 — 整机平台管理. — URL: https://www.6300.net/product/detail_1247.html (дата обращения: 25.02.2025).

12. Shepitko T. V. Technological Features of Construction and Reconstruction of Geotechnical Structures in the Arctic Zone / T. V. Shepitko, S. Y. Lutsky, G. I. Nak, A. M. Cherkasov // *Designs*. — 2022. — Vol. 6(2). — DOI: 10.3390/designs6020034

Дата поступления: 26.03.2025

Решение о публикации: 16.04.2025

Контактная информация:

УЛАНОВ Иван Сергеевич — канд. техн. наук,
заместитель генерального директора по инновациям;
i.ulanov@npsst.ru

ГОРЛОВ Александр Вячеславович — главный эксперт;
a.gorlov@npsst.ru

ЛУЦКИЙ Святослав Яковлевич — д-р техн. наук,
проф., главный специалист Научно-исследовательского центра «Тепло- и массообмен в строительстве»; lsy40@mail.ru

ЧЕРКАСОВ Александр Михайлович — канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой «Транспортное строительство в экстремальных условиях»;
miit-niml@mail.ru

ВАРЧЕНКО Богдан Андреевич — аспирант кафедры «Проектирование и строительство железных дорог», техник Научно-исследовательского центра «Тепло- и массообмен в строительстве»;
bogdan_varchenko@inbox.ru

ШТЕЙН Александр Исаакович — канд. техн. наук;
shteyn_alex@mail.ru

Effective Use of Girder Transporters in the Construction of High-Speed Railways

I. S. Ulanov¹, A. V. Gorlov¹, S. Ya. Lutsky², A. M. Cherkasov², B. A. Varchenko², A. I. Stein³

¹NPS High-Speed Technologies LLC, 6, bld, 5, Barklaya str., Moscow, 121087, Russian Federation

²Russian University of Transport, 9, bld 9, GSP-4, Obraztsova Str., Moscow, 127994, Russian Federation

³Private Independent Expert

For citation: Ulanov I. S., Gorlov A. V., Lutsky S. Ya., Cherkasov A. M., Varchenko B. A., Stein A. I. Effective Use of Girder Transporters in the Construction of High-Speed Railways // *Proceedings of Petersburg State Transport University*, 2025, vol. 22, iss. 2, pp. 362–372. (In Russian) DOI: 10.20295/1815-588X-2025-2-362-372

Summary

Purpose: To analyse the specific features, problems and world practices of the use of girder transporters; to develop the recommendations for their use in the construction of HSR infrastructure facilities. To investigate and calculate the roadbed stability in order to make a decision on the possibility of using girder transporters.

Methods: Carrying out geotechnical calculations of the strength and stability of the roadbed taking into account possible loads from the passage of the girder transporter. Analysis of the results of geotechnical studies and verification calculations. **Results:** The recommendations for improving the efficiency of girder transporters, speeding up the process and reducing labour costs during the installation of heavy girder structures. The conclusions on the changes in the regulatory requirements for the organization of the transport operation, as well as on the technology of preparing the roadbed and its foundation. The need to investigate the stability of the soils, to check the quality of the access roads and to monitor and carry out verification calculations before starting work in order to avoid the risk of deformation of the roadbed has been pointed out. **Practical significance:** The geotechnical

investigation and verification calculation methods presented in this paper allow the identification of critical zones of possible loss of roadbed stability and the development of measures to strengthen them. The application of the research results to design practices will ensure the regulatory quality of heavy HSR structures transportation, as well as the safe operation of girder transporters; it will reduce risks associated with roadbed deformation, and reduce construction time.

Keywords: High-speed railway, girder transporter, stress-strain state, deformation, geotechnical investigation.

References

1. “Hanjiang Heavy Industry’s project cargo important to China’s high-speed rail”. AJOT.COM. Available at: <https://ajot.com/premium/ajot-hanjiang-heavy-industrys-project-cargo-important-to-chinas-high-speed-rail> (accessed: February 25, 2025).
2. Santhia Viaduct — High Speed Railway Turin-Milan. Spic Srl. Available at: <https://www.spicsrl.com/references/santhia/> (accessed: February 25, 2025).
3. TCDD (Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları). Available at: <https://www.turkiye.gov.tr/tcdd> (accessed: February 25, 2025).
4. Anadolu Ajansı. Available at: <https://www.aa.com.tr/> (accessed: February 25, 2025).
5. Tuoi Tre News. Available at: <https://tuoitrenews.vn/> (accessed: February 25, 2025).
6. 新华网_让新闻离你更近. Available at: <http://www.xinhuanet.com/> (accessed: February 25, 2025).
7. Lutskiy S. Ya., Shepit’ko T. V., Ulanov I. S. O tekhnologicheskoy reglamente sooruzheniya i kontrolya kachestva stroitel’stva zemlyanogo polotna [On the technological regulations for the construction and quality control of the roadbed]. *Put’ i putevoe khozyaystvo* [Track and track facilities]. 2021, Iss. 10, pp. 8–11. (In Russian)
8. *Spetsial’nye tekhnicheskie usloviya “Proektirovanie, stroitel’stvo i ekspluatatsiya vysokoskorostnoy zheleznodorozhnoy magistrali Moskva — Sankt-Peterburg (VSZhM — 1)”*. *Izmenenie 1. 960-STU* [Special technical conditions “Design, construction and operation of the Moscow — Saint Petersburg high-speed railway (VSZhM-1)”. Amendment 1. 960-STU].
9. Directive of Deutsche Bahn Gruppe, Ril 836.
10. Tyre Transporter — Huada Heavy Industry. Huada Crane. Available at: <https://www.huadacrane.com/casting-yard-equipment/tyre-transporter.html> (accessed: February 25, 2025).
11. 【中交西筑YL900型运梁车综合】 — 整机平台管理. Available at: https://www.6300.net/product/detail_1247.html (accessed: February 25, 2025).
12. Shepitko T. V., Lutsky S. Y., Nak G. I., Cherkasov A. M. Technological Features of Construction and Reconstruction of Geotechnical Structures in the Arctic Zone. *Designs*, 2022, vol. 6(2). DOI: 10.3390/designs6020034.

Received: March 26, 2025

Accepted: April 16, 2025

Author’s information:

Ivan S. ULANOV — PhD in Engineering, Deputy General

Director for Innovation; i.ulanov@npsst.ru

Alexander V. GORLOV — Chief Expert;

a.gorlov@npsst.ru

Svyatoslav Ya. LUTSKY — Dr. Sci. in Engineering,

Professor, Chief Specialist of the Scientific Research

Center “Heat and Mass transfer in Construction”;

lsy40@mail.ru

Alexander M. CHERKASOV — PhD in Engineering,

Associate Professor, Head of the Department “Transport

Construction in Extreme conditions”; miit-niml@mail.ru

Bogdan A. VARCHENKO — Postgraduate Student,

Department “Design and Construction of Railways”;

Technician at the Scientific Research Center “Heat and

Mass Transfer in Construction”;

bogdan_varchenko@inbox.ru

Alexander I. STEIN — PhD in Engineering;

shteyn_alex@mail.ru