9. Путеукладочный комплекс WZ500 // Zzcyzz.com. URL: https://zzcyzz.com (дата обращения: 10.04.2026).
10. Китайская фабрика на рельсах, или 2 км ВСМ в день // RZD-partner.ru. URL: https://rzd-partner.ru (дата обращения: 15.04.2026).

M. A. Sysoeva, D. S. Sorokin, V. P. Beltiukov, V. B. Zakharov

Design and Repair Technology of Ballastless Track for High-Speed Railway

Sysoeva Maria Alexandrovna — 5th-Year Student of the Department "Railway Track"
Sorokin Dmitrij Sergeevich — 5th-Year Student of the Department "Railway Track"
Bel´tiukov Vladimir Petrovich — Dr. Sci. in Engineering, Professor, Professor of the Department "Railway Track"
Zakharov Vladislav Borisovich — PhD in Engineering, Associate Professor, Associate Professor of the Department "Railway Track"

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint Petersburg, Russia

Abstract. The paper substantiates the design of a slab track for the high-speed railway line Moscow — St. Petersburg (HSR 1) on subgrade with a monolithic foundation and НГП 4.0 slabs. The optimal rail fastening system ICV-5 is determined, and Р65 ДТ350ВС400 rails are recommended. Laying 1,358 km of track requires three WZ500 track-laying complexes. The proposed solutions ensure track geometry stability, reduce maintenance costs, and are suitable for speeds up to 400 km/h.

Keywords: high-speed railway, slab track, WZ500 track-laying complex, monolithic foundation

УДК 624.1

П. Д. Шестаков, В. Н. Кавказский, Е. Б. Шестакова

Оценка устойчивости лба забоя станции метрополитена по деформационным критериям

Шестаков Павел Дмитриевич — студент группы Т-110
Кавказский Владимир Николаевич — кандидат технических наук, доцент кафедры «Тоннели и метрополитены»
Шестакова Екатерина Борисовна — кандидат технических наук, доцент кафедры «Тоннели и метрополитены»

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Рассматривается устойчивость лба забоя односводчатой станции глубокого заложения при моделировании грунтового массива как цельного глинистого и глинистого с песчаными прослойками. Результаты расчета показывают, что моделирование песчаных слоев приводит к существенному снижению коэффициента устойчивости и смещению предельных деформаций в сторону меньших значений, что требует ужесточения деформационных критериев геотехнического мониторинга и усиления предварительного крепления.

Ключевые слова: станция глубокого заложения, лоб забоя, слоистый глинистый массив, коэффициент устойчивости, деформационные критерии, геотехнический мониторинг

Введение

Строительство станций глубокого заложения в Санкт-Петербурге связано с повышенными геотехническими рисками из-за неоднородного грунтового массива, сложных гидрогеологических условий и жестких ограничений по деформациям в плотной застройке. Для большепролетных станций критическим фактором риска является устойчивость лба забоя в глинистых грунтах с песчаными прослойками, которые могут работать как поверхности скольжения и зоны потери устойчивости.

Цель исследования — количественно оценить влияние слоистости глинистого массива на устойчивость лба забоя односводчатой станции глубокого заложения и деформационные критерии геотехнического мониторинга.

Для достижения цели решены следующие задачи:

1. Смоделированы цельный глинистый массив и массив с песчаными прослойками.

2. Выполнен расчет устойчивости лба забоя и получены деформации лба забоя для двух вариантов массива.

3. Сформированы деформационные критерии риска и пороговые значения для системы геотехнического мониторинга с учетом более раннего вывала при наличии песчаных прослоек.

Инженерно-геологические условия, модель и постановка задачи

Физико-механические характеристики глинистого массива: $\gamma = 22$ кН/м^3, $E = 60$ МПа, $c = 150$ кПа, $\varphi = 22°$. Для оценки устойчивости лба забоя выполнено объемное конечно-элементное моделирование в PLAXIS 3D (рис. 1). Слоистость учтена интерфейсами с характеристиками песка ($\varphi = 2°$), заданными по контактам между слоями, что позволяет воспроизвести снижение прочности и локализацию деформаций в зонах потери устойчивости.

Расчетная область принята с боковыми и нижней границами на расстоянии 4D от условного центра станции (где D — условный диаметр выработки), верхняя граница совпадает с дневной поверхностью. Временная крепь, включающая спаренные двутавровые арки, слой набрызг бетона и опережающий трубчатый экран, смоделирована как единый линейно-упругий массив с эквивалентным модулем деформации. Рассмотрены два варианта задания массива: в первом глинистый массив с песчаными прослойками заменен однородным эквивалентным грунтом, во втором песчаные прослойки заданы интерфейсами (пластинчатыми элементами с физико-механическими характеристиками песка).

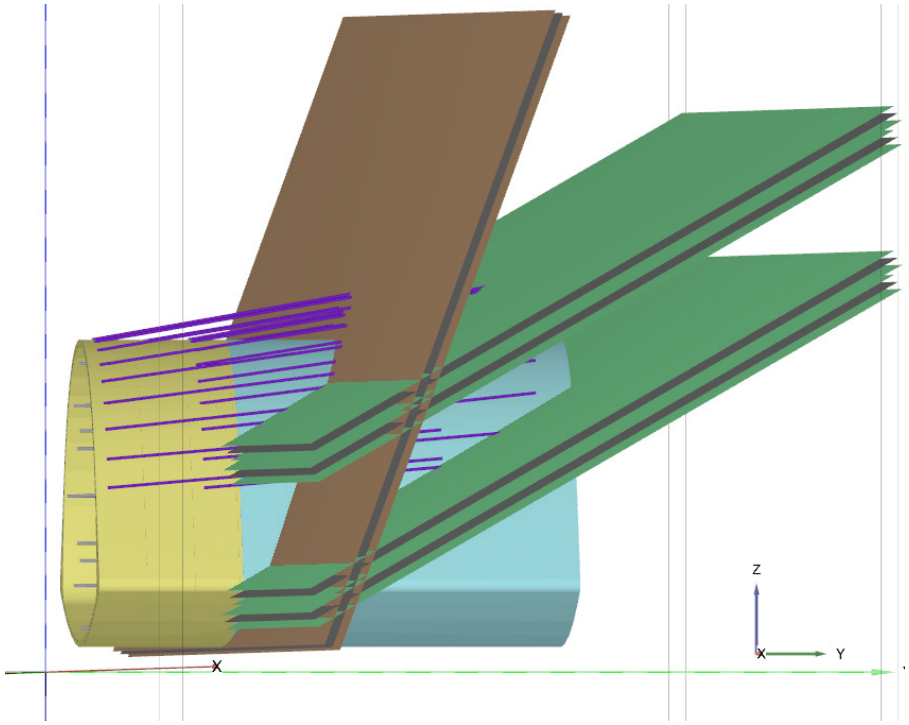


Рис. 1. Общий вид модели грунтового массива в PLAXIS 3D с моделированием прослоек песка

Численное моделирование устойчивости лба забоя

По результатам расчетов для цельного глинистого массива получена форма потери устойчивости с коэффициентом устойчивости $k_{уст}$ = 2,366. Для массива с песчаными прослойками характерна явная зона потери устойчивости, а коэффициент устойчивости снижается до $k_{уст}$ = 1,484 (рис. 2). Также были получены формы деформаций при потере устойчивости (рис. 3).

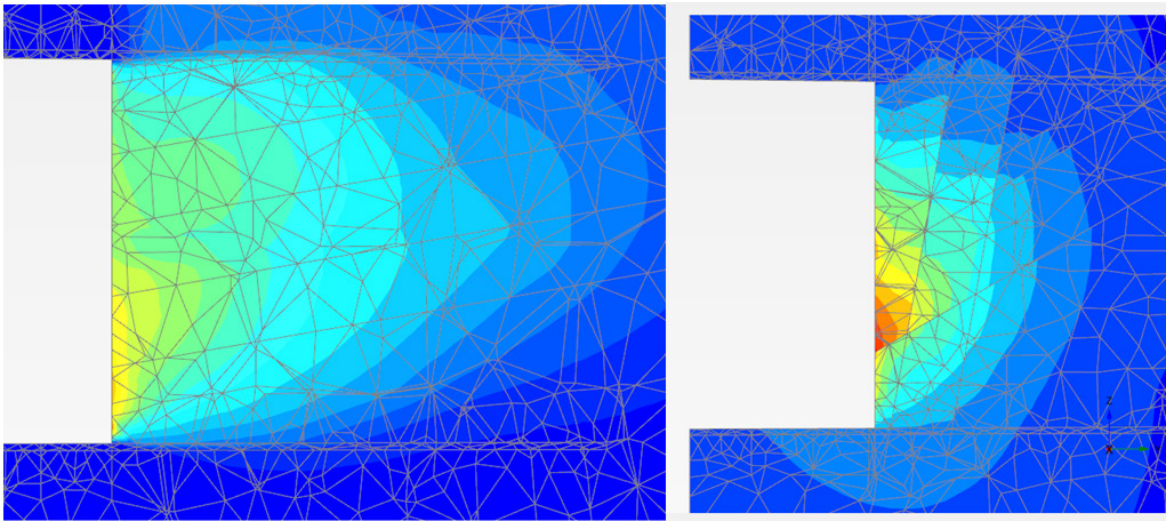


Рис. 2. Форма потери устойчивости лба забоя для цельного массива (слева) и массива с песчаными прослойками (справа)

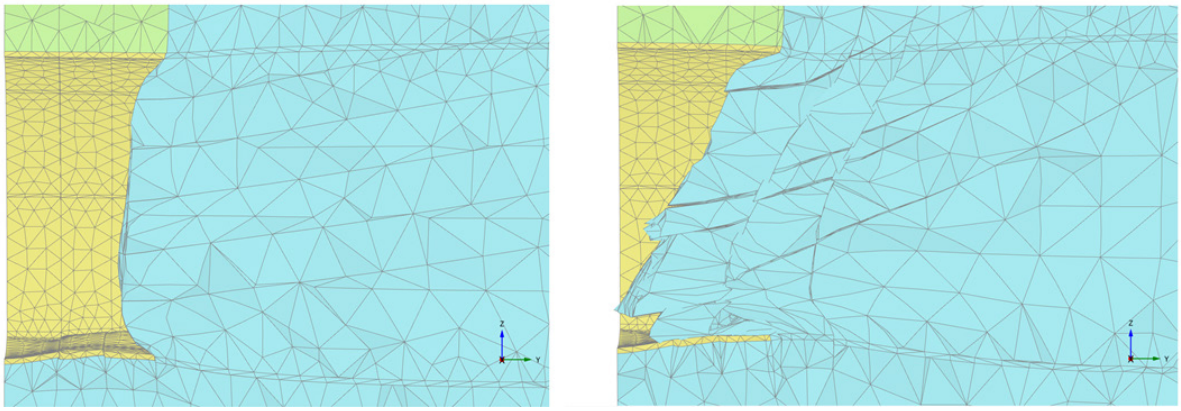


Рис. 3. Форма деформаций при потере устойчивости лба забоя для цельного массива (слева) и массива с песчаными прослойками (справа)

Деформационные критерии риска устойчивости

На основе расчетных данных были сформированы уровни риска устойчивости по деформациям для двух вариантов массива (см. таблицу) и построен график изменения деформаций относительно коэффициента устойчивости (рис. 4).

Заключение

1. Определено, что для станции глубокого заложения, сооружаемой в глинах с песчаными прослойками, расчетный коэффициент устойчивости лба забоя снижается с $k_{уст}$ = 2,366 для цельного массива до $k_{уст}$ = 1,484.

ТАБЛИЦА. Уровни риска устойчивости лба забоя по деформациям цельного и слоистого массива

Вариант грунтовых условий	Ед. изм.	Зеленая зона (нормальная работа, допустимые деформации)	Желтая зона (предупредительный уровень, усиленный контроль)	Красная зона (аварийный уровень, остановка работ)
Вариант 1 — цельный массив $k_{уст}$ = 2,366	мм	≤ 34	с 34 до 56	> 56
Вариант 2 — слоистый массив с песчаными прослойками $k_{уст}$ = 1,484	мм	≤ 14	с 14 до 27	> 27

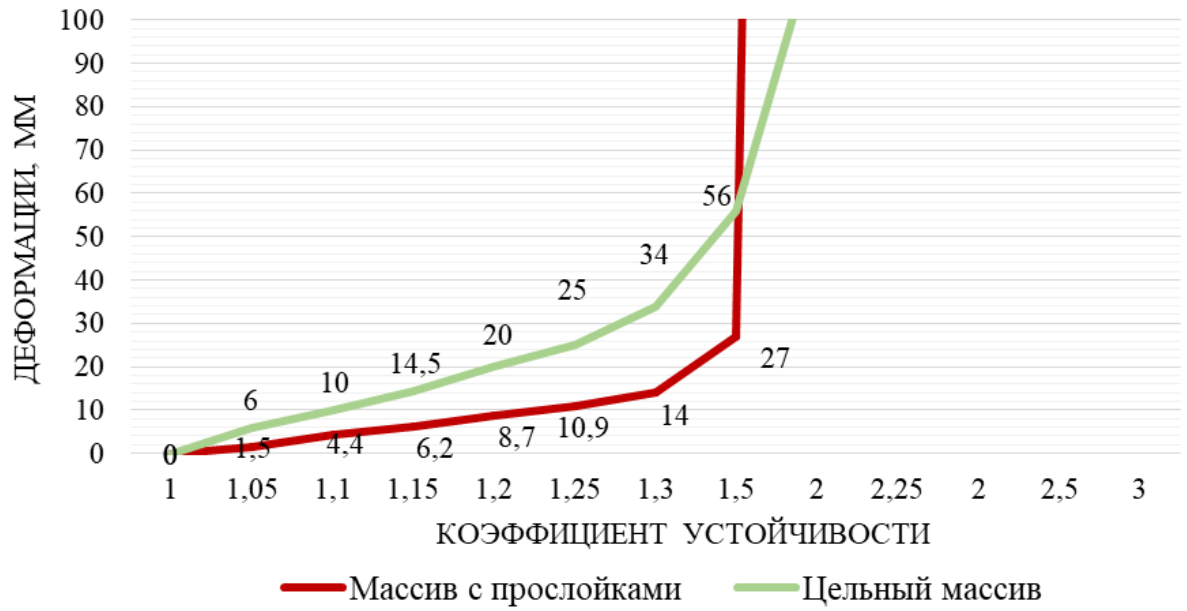


Рис. 4. Зависимость деформаций лба забоя от коэффициента устойчивости для цельного глинистого массива и массива с песчаными прослойками

2. Показано, что при сопоставимом уровне риска потеря устойчивости в слоистом массиве формируется при осадках на 29 мм меньше, чем в цельном массиве, что подтверждается графиками «деформация — коэффициент устойчивости» и обосновывает необходимость занижения деформационных порогов мониторинга.

4. На основе предложенной трехзонной схемы уровней опасности (зеленая, желтая, красная) сформированы рекомендации по настройке системы геотехнического мониторинга и выбору параметров временного крепления. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании и строительстве станций глубокого заложения в аналогичных инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга.

Список источников

1. Фролов Ю. С., Голицинский Д. М., Ледяев А. П. Метрополитены. М.: Стройиздат, 2001. 416 с.
2. Шестакова Е. Б. Цифровой инжиниринг. Основы и примеры из практики. М.: Ай Пи Ар Медиа, 2024. 191 с.
3. Кавказский В. Н., Оленич Д. М. Экспериментально-теоретическое обоснование целесообразности сооружения пилонной станции из монолитного железобетона в инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга // Проектирование, строительство и эксплуатация подземных сооружений транспортного назначения. М.: Перо, 2021. С. 130–143.
4. Ледяев А. П., Коньков А. Н., Сокорнов А. А. Математическое моделирование односводчатой станции метрополитена в объемной постановке // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2025. Т. 22, вып. 4. С. 906–915.
5. Шэнь Цяофэн. Прогноз геомеханических процессов при поэтапном раскрытии выработок большого пролета опережающими забоями в малопрочных скальных грунтах: дис. … канд. техн. наук. СПб.: ПГУПС, 2020.

P. D. Shestakov, V. N. Kavkazskij, E. B. Shestakova

Assessment of Face Stability of a Metro Station Excavation Using Deformation Criteria

Shestakov Pavel Dmitrievich — Student of the Group T-110
Kavkazskij Vladimir Nikolaevich — PhD in Engineering, Associate Professor of the Department "Tunnels and Subways"
Shestakova Ekaterina Borisovna — PhD in Engineering, Associate Professor of the Department "Tunnels and Subways"

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint Petersburg, Russia

Abstract. The stability of the forehead of the face of a single-vaulted station of deep-seated when modeling the soil mass as a solid clay and clay with sandy layers. The calculation results show that the modeling of sandy layers leads to a significant decrease in the stability coefficient and the displacement of the limit deformations in the direction of smaller values, which requires the tightening of deformation criteria of geotechnical monitoring and strengthening of preliminary fastening.

Keywords: deep metro station, excavation face, layered clay mass, stability factor, deformation criteria, geotechnical monitoring