

## Исследование конструкции земляного полотна на свайном основании с гибким ростверком

Д. В. Серебряков

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

**Для цитирования:** *Серебряков Д. В.* Исследование конструкции земляного полотна на свайном основании с гибким ростверком // Бюллетень результатов научных исследований. — 2023. — Вып. 1. — С. 61–68. DOI: 10.20295/2223-9987-2023-1-61-68

### Аннотация

**Цель:** Исследовать земляное полотно автомобильной дороги в конструкции свайного основания, объединенного гибким ростверком из геосинтетического материала. Исследовать, каким образом геосинтетический материал будет работать в таком ростверке. Создать аналитическую модель свайного основания с гибким ростверком. Определить прочность тканого материала, используемого в конструкции. Проанализировать достоинства и недостатки существующих методик расчета конструкции свайного основания, объединенного гибким ростверком из геосинтетического материала. **Методы:** Расчет параметров конструкции из гибкого ростверка, армированного геосинтетическим материалом, производился по трем методикам: британский стандарт BS 8006-2010, немецкая методика EBGEO, метод расчета гибких нитей. **Результаты:** Изучен возникающий в теле насыпи арочный эффект. Просчитаны прогибы в геосинтетическом материале при разных уровнях нагрузки конструкции грунтом. Получены экспериментальные значения усилий в геосинтетическом материале. Установлена «критическая высота» — расстояние от верха сваи, в пределах которого образуется арочный эффект. Установлено численное значение равномерной осадки, при которой на поверхности не проявляется разная жесткость свайного основания. Оценена прочность геосинтетического материала гибкого ростверка основания насыпи автомобильной дороги. Проанализированы существующие методики расчета на соответствие результатам эксперимента. **Практическая значимость:** Разработаны технические решения для конструкций гибких ростверков двух типов, как комбинированных, так и гибких с использованием одного или нескольких слоев высокопрочного геотекстиля с песком в виде геообоймы. Разработанные технические решения удовлетворяют всем требованиям существующих нормативных документов и полученным расчетным показателям, а также требованиям по прочности, надежности и долговечности конструкции. Предложенные конструкции могут быть рекомендованы к практическому использованию.

**Ключевые слова:** Слабые грунты, конструкция земляного полотна, свайное основание, гибкий ростверк, геосинтетические материалы.

### Введение

Условия строительства линейных объектов на территории Российской Федерации достаточно трудные.

Во многом это связано с тем, что на значительной части нашей страны находятся зоны с грунтами, обладающими недостаточными прочностными и деформативными характеристиками.

Такие зоны образовались после схода ледяного покрова, в результате чего избыточное увлажнение грунта привело к ухудшению его характеристик.

Особенно часто территории с залеганием слабых грунтов встречаются на северо-западе России.

Строительство на таких участках может быть организовано по одному из трех основных методов:

- замена слабого грунта на привозной грунт, обладающий лучшими прочностными характеристиками;
- устройство эстакад на участках расположения слабых грунтов;
- применение мероприятий, которые обеспечивают устойчивость грунтов слабого основания.

Последний метод достаточно часто и успешно применяется [1–4].

Одним из таких решений является конструкция земляного полотна на свайном основании с гибким ростверком из геосинтетического материала.

Геосинтетический материал изготавливается из синтетических или природных полимеров, неорганических веществ и широко применяется в практике дорожного строительства [5].

### **Исследование особенностей работы гибкого ростверка из геосинтетического материала**

По сравнению с традиционной конструкцией жесткого ростверка, который устраивается из железобетона, применение гибкого ростверка из геосинтетических материалов позволяет значительно снизить стоимость строительства. При этом надежность сооружения будет обеспечена при соблюдении всех требований нормативной, проектной и технологической документации.

Насыпь на свайном основании с гибким ростверком считается безосадочной и обеспечивает не только устойчивость сооружения, но и снижение временных затрат на выдержку насыпи до завершения процесса консолидации, а также исключает деформации, связанные с ползучестью слабых грунтов.

При расчете конструкции свайного основания, объединенного гибким ростверком из геосинтетического материала, необходимо учитывать так называемый арочный эффект (сводообразование), который перераспределяет напряжения на сваи.

При сводообразовании внутри грунта, если имеется свайное основание, формируется арка между отдельными сваями. В результате такого арочного эффекта на величину суммарной нагрузки будут влиять: высота дорожной насыпи, характеристики грунтов, из которых эта насыпь отсыпана, а также расположение свай в конструкции свайного основания, объединенного гибким ростверком из геосинтетического материала.

Специалисты ПГУПС изучали эффект сводообразования с помощью эксперимента [6], целью которого было выявление всех характеристик, необходимых для проведения расчетов по трем различным методикам. Важнейшим моментом эксперимента являлось определение так называемого коэффициента сводообразования. В дальнейшем, после достижения всех необходимых условий, заданных при проведении эксперимента, рассчитывались напряжения, возникающие в геосинтетическом материале.

Для выполнения эксперимента была создана модель (рис. 1).



Рис. 1. Общий вид экспериментальной модели

Данная модель имитирует реальную насыпь для автомобильных дорог. Сваи упираются в более мощный слой грунта, роль которого в данной модели играет лист фанеры размером  $50 \times 50$  см. В качестве свай в данной модели выступают деревянные квадратные бруски  $50 \times 50$  мм. Чтобы показать упор свай в более крепкий грунт, все бруски были закреплены к листу фанеры на анкерные болты.

Таким образом была образована конструкция участка свайного поля с определенным расстоянием между сваями.

Куст свай объединен гибким ростверком. В качестве материала, выполняющего его роль, была выбрана пленка толщиной 200 мкм. Сверху пленка закреплена на объемную конструкцию, собранную так, чтобы сверху имелась возможность засыпать грунт и таким образом загрузить конструкцию свайного основания.

После сборки аналитической модели был проведен эксперимент для получения данных по прогибу материала гибкого ростверка и необходимых значений для изучения явления сводообразования.

Последовательность проведения эксперимента представлена на рис. 2 и 3.

Экспериментальная конструкция устанавливалась в исходное положение. Замерялся уровень прогиба пленки, который принимался за начальный.

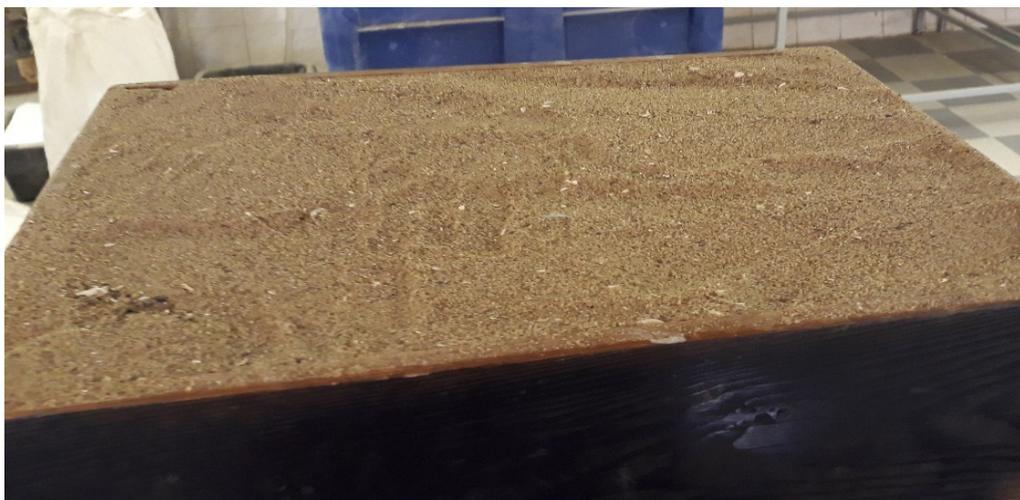


Рис. 2. Засыпка конструкции грунтом



Рис. 3. Прогиб геосинтетического материала под нагрузкой

Внутри экспериментальной конструкции слоями засыпался песок (рис. 2). Масса первого слоя составляла 5 кг. Масса второго слоя еще 5 кг, что в сумме с первым слоем составляло уже 10 кг. Масса третьего слоя составляла 10 кг, что в сумме с двумя предыдущими слоями давало уже 20 кг нагрузки и т. д.

После того, как производилась засыпка каждого слоя, измерялись значения прогиба пленки в разных точках экспериментальной модели (рис. 3). Эти значения использовались для расчета конструкции свайного основания, объединенного гибким ростверком из геосинтетического материала, на прочность.

В результате эксперимента была определена высота слоя грунта, при которой прекращается прогиб геосинтетического материала, и вся дальнейшая нагрузка воспринимается свайным основанием.

### **Расчет параметров конструкции с гибким ростверком, армированным геосинтетическим материалом**

Расчет параметров конструкции с гибким ростверком, армированным геосинтетическим материалом, выполнялся по трем методикам: британский стандарт BS 8006—2010 [7], немецкая методика EBGEO [8], метод расчета гибких нитей [9]. Расчеты были приведены в соответствии с уровнем равномерной осадки, установленным ранее.

Проанализированы все достоинства и недостатки каждой из методик расчета. Все они по-разному зависят от геометрии конструкции свайного основания, от характеристик грунта. Кроме того, каждая из методик различается описанием возникновения арочного эффекта, а также различными свойствами, которые проявляются по мере проведения расчета.

По результатам расчета все методики проанализированы на соответствие результатам эксперимента.

Наиболее подходящей методикой расчета, исходя из результатов анализа, была принята методика EBGEO, которая учитывает деформации как в поперечном, так и в продольном направлении.

### **Заключение**

В ходе данной работы были проанализированы различные варианты конструкций земляного полотна, опирающегося на слабое основание. Были выявлены их преимущества и недостатки. Подробно описана конструкция насыпи на свайном основании с гибким ростверком.

Детально изучен возникающий в теле насыпи арочный эффект. С этой целью была создана экспериментальная модель. Были просчитаны прогибы в геосинтетическом материале при разных уровнях нагрузки конструкции грунтом. Получены экспериментальные значения усилий в геосинтетическом материале. А также был установлен уровень равномерной осадки, когда грунтовая нагрузка воздействует только на оголовки свай.

Был проведен расчет конструкции модели по трем методикам: британский стандарт BS 8006-2010, немецкая методика EBGEO, метод расчета гибких нитей. В соответствии с результатами оценена прочность геосинтетического материала гибкого ростверка основания насыпи автомобильной дороги. А также все

существующие методики расчета были проанализированы на соответствие результатам эксперимента.

На основании полученных прочностных характеристик были разработаны типовые технические решения для конструкций гибких ростверков двух типов, как комбинированных, так и гибких с использованием одного или нескольких слоев высокопрочного геотекстиля с песком в виде геобоймы. Они удовлетворяют всем требованиям существующих нормативных документов и стандартов, а также требованиям по прочности, надежности и долговечности конструкции.

## Библиографический список

1. Петряев А. В. Опыт применения передовых конструктивно-технологических решений при возведении земляного полотна мостового перехода через р. Волхов в Ленинградской области / А. В. Петряев, В. В. Ганчиц // Транспортное строительство. — 2018. — № 2. — С. 4–7.

2. Петряев А. В. Деформируемость железнодорожного балласта, армированного геосинтетическими материалами / А. В. Петряев // Транспорт Урала. — 2019. — № 1(60). — С. 49–53.

3. Петряев А. В. Несущая способность железнодорожного земляного полотна, армированного геосинтетическими материалами / А. В. Петряев // Транспорт Урала. — 2019. — № 1(60). — С. 71–75.

4. Kolos A. Study on railway elastic substructure vibration under heavy axle load / A. Kolos, A. Petriaev, A. Konon // AIP Conference Proceedings. Ser.: “Proceedings of the Scientific Conference on Railway Transport and Engineering, RTE 2021”. — 2021. — P. 060006.

5. ГОСТ Р 55028—2012. Дороги автомобильные общего пользования. Материалы геосинтетические для дорожного строительства. Классификация, термины и определения. — М.: Стандартинформ, 2019. — 11 с.

6. Манафова Д. А. Исследование особенностей работы геосинтетического материала в гибком ростверке / Д. А. Манафова, Т. А. Ткачук, Д. В. Серебряков // Сборник статей V Международной научно-практической конференции. — Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение», 2020. — С. 40–43.

7. BSI BS 8006-1 + A1-2010. Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills — CORR: June 30, 2012; AMD: July 31, 2016.

8. Kempfert H.-G. Berechnung von geokunststoffbewehrten Tragschichten über Pfahlelementen / H.-G. Kempfert, M. Stadel, D. Zaeske // Bautechnik. — 1997. — Vol 74. — Iss. 12.

9. Меркин Д. Р. Введение в механику гибкой нити / Д. Р. Меркин. — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1980. — 240 с.

Дата поступления: 23.12.2022

Решение о публикации: 16.02.2023

## Контактная информация:

СЕРЕБРЯКОВ Дмитрий Владимирович — канд. техн. наук, доц.; master-cat@bk.ru

# Investigation of Subgrade Construction on Pile Foundation with Flexible Grillage

D. V. Serebriakov

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

**For citation:** Serebriakov D. V. Investigation of Subgrade Construction on Pile Foundation with Flexible Grillage. *Bulletin of scientific research results*, 2023, iss. 1, pp. 61–68. (In Russian) DOI: 10.20295/2223-9987-2023-1-61-68

## Summary

**Purpose:** To investigate the roadbed in the construction of pile foundation united by flexible grillage made of geosynthetic material. To investigate how geosynthetic material will work in such a grillage. To create analytical model of pile foundation with flexible grillage. To determine the strength of such textile material used in the construction. To analyze the advantages and flaws of existing methods for calculating pile foundation structure united by flexible grillage made of geosynthetic material. **Methods:** Structure parameters of flexible grillage reinforced with geosynthetic material, were calculated using three methodologies: British standard BS 8006-2010, German EBGeo methods, flexible thread calculating method. **Results:** Arched effect arising in mound body has been studied. Deflections in geosynthetic material were calculated at different loading levels of the structure by soil. Experimental values of forces in geosynthetic material are obtained. “Critical height” is set - the distance from pile top which within, arched effect is formed. Numerical value of uniform emptying has been established which at, pile foundation different rigidity is not revealed on surface. The strength of geosynthetic material of flexible grillage of highway mound foundation is estimated. Existing calculation methods for compliance with experiment results are analyzed. **Practical importance:** Technical solutions have been developed for two types of flexible grillage structures, both, combined and flexible ones with the use of one or more layers of high-strength geotextile with sand in the form of geo-confining. The developed technical solutions meet all requirements of existing regulatory documents and obtained calculated indicators as well as the requirements for strength, reliability and structure durability. The proposed constructions can be recommended for practical use.

**Keywords:** Weak soils, subgrade construction, pile foundation, flexible grillage, geosynthetic materials.

## References

1. Petryaev A. V., Ganchits V. V. Opyt primeneniya peredovykh konstruktivno-tekhnologicheskikh resheniy pri vozvedenii zemlyanogo polotna mostovogo perekhoda cherez r. Volkhov v Leningradskoy oblasti [Experience in the use of advanced structural and technological solutions in the construction of the subgrade of the bridge over the river. Volkhov in the Leningrad region]. *Transportnoe stroitel'stvo* [Transport construction]. 2018, Iss. 2, pp. 4–7. (In Russian)
2. Petryaev A. V. Deformiruemost' zheleznodorozhnogo ballasta, armirovannogo geosinteticheskimi materialami [Deformability of railway ballast reinforced with geosynthetic materials]. *Transport Urala* [Transport of the Urals]. 2019, Iss. 1(60), pp. 49–53. (In Russian)
3. Petryaev A. V. Nesushchaya sposobnost' zheleznodorozhnogo zemlyanogo polotna, armirovannogo geosinteticheskimi materialami [Bearing capacity of a railway subgrade reinforced with

geosynthetic materials]. *Transport Urala* [Transport of the Urals]. 2019, Iss. 1(60), pp. 71–75. (In Russian)

4. Kolos A., Petriaev A., Konon A. Study on railway elastic substructure vibration under heavy axle load. AIP Conference Proceedings. Ser.: “Proceedings of the Scientific Conference on Railway Transport and Engineering, RTE 2021”. 2021, p. 060006.

5. *GOST R 55028—2012. Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Materialy geosinteticheskie dlya dorozhnogo stroitel'stva. Klassifikatsiya, terminy i opredeleniya* [GOST R 55028-2012. Public automobile roads. Geosynthetic materials for road construction. Classification, terms and definitions]. Moscow: Standartinform Publ., 2019, 11 p. (In Russian)

6. Manafova D. A., Tkachuk T. A., Serebryakov D. V. *Issledovanie osobennostey raboty geosinteticheskogo materiala v gibkom rostverke. Sbornik statey V Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Study of the features of the work of geosynthetic material in a flexible grillage. Collection of articles of the V International Scientific and Practical Conference]. Penza: MTsNS “Nauka i Prosveshchenie” Publ., 2020, pp. 40–43. (In Russian)

7. BSI BS 8006-1 + A1-2010. Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills — CORR: June 30, 2012; AMD: July 31, 2016.

8. Kempfert H.-G., Stadel M., Zaeske D. Berechnung von geokunststoffbewehrten Tragschichten über Pfahlelementen. *Bautechnik*, 1997, vol 74, Iss. 12.

9. Merkin D. R. *Vvedenie v mekhaniku gibkoy niti* [Introduction to the mechanics of a flexible thread]. Moscow: Nauka. Gl. red. fiz.-mat. lit. Publ., 1980, 240 p. (In Russian)

Received: December 23, 2022

Accepted: February 16, 2023

**Author's information:**

Dmitrii V. SEREBRIAKOV — PhD in Engineering, Associate Professor; master-cat@bk.ru