

## Анализ проектирования железобетонных косоуров на металлических сваях по насыпи жилой застройки на просадочном грунте

*Е.С.Кашина<sup>1</sup>, В.В. Габова<sup>1</sup>, М.В. Быкодеров<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Волгоградский государственный технический университет*

*<sup>2</sup> Автономное учреждение Ямало-Ненецкого автономного округа «Управление государственной экспертизы проектной документации»*

**Аннотация:** В статье приведён расчёт по устройству насыпи и по проектированию железобетонных косоуров на металлических сваях для лестницы. Границы насыпи располагаются на территории жилого комплекса с большим перепадом высот. Грунтовое основание является просадочным. Приведён расчёт перевода грунта из II типа просадочности в I тип методом трамбовки, который обеспечит прочность и надёжность тела насыпи. Описаны конструктивные мероприятия для обеспечения устойчивости откоса. Запроектированы металлические сваи с вынужденным стыковочным узлом и железобетонные косоуры в виде балочной системы.

**Ключевые слова:** насыпь, просадочный грунт, благоустройство, плотная городская застройка, осадка, плотность грунта, призма обрушения, радиус скольжения, метод трамбовки, свая.

В настоящее время появляется всё больше жилых комплексов, которые имеют малые размеры земельных участков со значительными высотными перепадами в пределах плотной городской застройки [1, 2], либо на местности, которая ранее казалась невозможной для строительства. Сложностью таких застроек является необходимость вписать требуемое благоустройство, автопарковки, детские площадки и другие зоны в сильно ограниченное пространство.

При разработке генерального плана есть возможность изменить вертикальную планировку участка, однако при большой разнице в высоте чаще всего прибегают либо к конструкции подпорных стен, либо выполняют устройство насыпи — искусственный склон, выполненный из насыпного и уплотнённого грунта.

В исследовании предлагается актуальный подход к проектированию и возведению тела насыпи с монолитными косоурами для лестницы благоустройства в условиях сложного грунтового основания.

**1 этап:** разработка устройства насыпи. В рассматриваемом варианте насыпь располагается между двух автостоянок (рис.1).

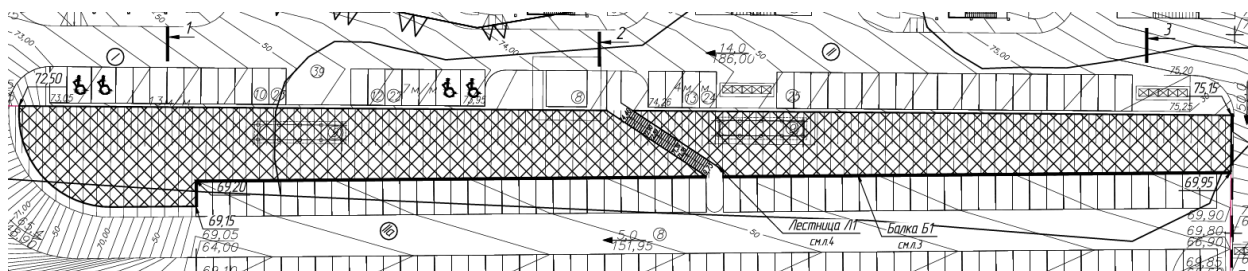


Рис. 1. – Фрагмент генерального плана с границами насыпи

Данный участок под застройку располагается на слабом основании. По полученным данным инженерно-геологического изыскания был найден слой грунта, который проявляет просадочные свойства при замачивании под нагрузкой. При выполнении лабораторных испытаний были взяты несколько проб из разных скважин и определено, что большая часть насыпи располагается на втором типе просадочности, но присутствует и первый тип. Осадка под собственным весом составляет 5 – 15 см. Геологический разрез представлен на рис.2. Физико-механические свойства ИГЭ представлены в таблице 1.

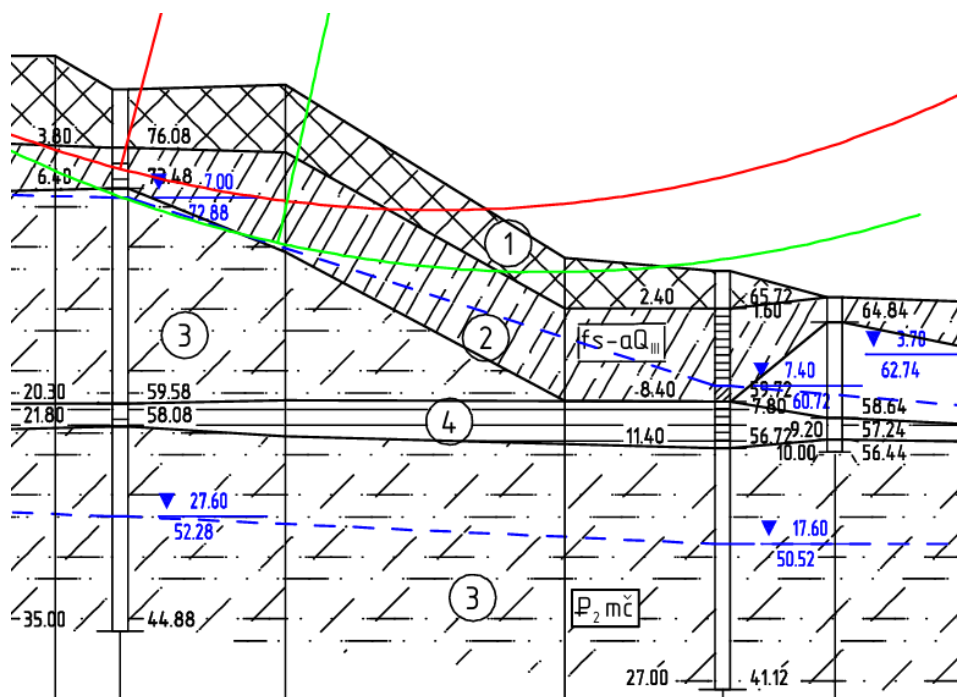


Рис.2. – Фрагмент геологического разреза

Таблица № 1

## Физико-механические свойства ИГЭ

№ ИГЭ	W, доли ед.	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho_d$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho_{ss}$ , г/см <sup>3</sup>	e, доли ед.	S <sub>г</sub> , доли ед.	W <sub>L</sub> (%)	W <sub>P</sub> (%)	I <sub>p</sub> (%)	ИЛ водонасыщ.
1	0.16	1.91	1.65	2.71	0.656	0.68	27	17	10	0.68
2	0.10	1.75	1.59	2.71	0.706	0.38	25	17	8	1.12
3	0.25	1.91	1.55	2.72	0.762	0.88	38	25	13	0.28
4	0.31	1.86	1.42	2.75	0.938	0.90	67	32	35	0.06

Просадочные грунты, особенно второго типа, не являются надёжным основанием как для конструкций, так и для насыпи. Для перехода от II типа к I существует несколько решений: котлован заливают водой на длительный период времени или выполняют трамбовку участка. В расчётном случае рассматривается второй вариант [3, 4].

Обязательно выполняется полная экскавация грунта 1 (насыпные грунты – данный ИГЭ не может являться естественным основанием). Далее ИГЭ-2 суглинки – для устранения просадочности II типа на участке строительство производится частичная замена грунта с последующей трамбовкой конечной толщи просадочного ИГЭ-2 с переводом в I тип, со значением деформации просадки равной 1,5 см [5, 6]. Экскавация грунта производится до отметки заложения ИГЭ-2 и на толщину в 2 метра выполняется уплотнение. ИГЭ-3 песчано-алевритовые породы, которые могут являться естественным основанием.

Необходимая плотность грунта назначается не менее 1,65-1,70 т/м<sup>3</sup> для того чтобы достичь полного устранения просадочных свойств, задаётся средним значением плотности сухого грунта в уплотнённом состоянии и значением на его нижней границе уплотняемого участка – не менее 1,6 т/м<sup>3</sup>.

Тяжелые трамбовки применяются для всех видов грунтов, которые могут находиться как в естественном залегании, так и при возведении насыпей, обратных засыпках и других. Глубина и эффективность уплотнения

тяжелыми трамбовками  $h_s$  зависит от характеристик грунта: плотность, влажность, структурная прочность, и от средства механизации: диаметр и масса трамбовки, режим уплотнения, высота сбрасывания. При оптимальной влажности принимается по формуле (1):

$$h_s = k \cdot d = 1,8 \cdot 1,2 = 2,16 \text{ м}; \quad (1)$$

$k = 1,8$  – коэффициент, принимаемый по данным экспериментальных исследований для супесей и суглинков (п.3.86 «Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений (к СНиП 2.02.01-83\*)»);

$d = 1,2$  – диаметр основания трамбовки.

Величина недобора грунта до проектной отметки заложения щебеночной подушки  $\Delta h$ , определяется по формуле (2):

$$\Delta h = 1,2 h_s \left(1 - \frac{p_s}{p_{ds}}\right) = 1,2 \cdot 2,16 \cdot \left(1 - \frac{1,60}{1,65}\right) = 0,078 \text{ м}; \quad (2)$$

$p_s = 1,60 \text{ т/м}^3$  – среднее значение плотности сухого грунта до уплотнения (по данным инженерно-геологического отчета);

$p_{ds} = 1,65 \text{ т/м}^3$  – среднее значение плотности сухого грунта в пределах уплотнённого слоя.

Принимаем величину недобора грунта 100 мм.

Диаметр и масса трамбовок назначаются из условия, что статическое давление на грунт составляет не менее 15 кПа. Тогда при трамбовке статическим давлением на грунт  $p = 20 \text{ кПа}$  масса составляет (3):

$$m = p \frac{F}{g} = 20 \cdot \frac{1,13}{9,81} = 2,30 \text{ т}; \quad (3)$$

$F = 1,13 \text{ м}^2$  – площадь основания трамбовки диаметром 1,2 м;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – ускорение свободного падения.

Наибольшая эффективность уплотнения котлована достигается при оптимальной или близкой к ней влажности грунта. Её определяют по результатам опытного уплотнения или приближенно принимается равной (4):

$$W_0 = W_p - 0,02 = 0,17 - 0,02 = 0,15; \quad (4)$$

$W_p = 0,17$  – влажность на границе раскатывания несущего слоя основания.

После трамбовки выполняется обратная засыпка [7] песком средней крупности с плотностью не менее  $p_s = 1,60 \text{ т/м}^3$  до нижней отметки корыта асфальтового покрытия (нижней автостоянки).

На этапе проектирования был определён максимальный уклон насыпи – 1:1.59, по таблице 7.3 СП 34.13330.2021 «Автомобильные дороги» определено, что насыпь находится в нормальных условиях эксплуатации. Однако любой грунт, находящийся в наклонном состоянии, имеет свой радиус скольжения и тело призмы обрушения. Конструктивно по радиусу скольжения выполняем подушку из щебня 450 мм фракции 40-70 с заходом под верхний участок на 3 м.

Основное тело насыпи выполняется из суглинка с коэффициентом уплотнения  $K_{com} = 0,95$ .

Последним выполняется покрытие насыпи. По проекту благоустройства по насыпи должен быть произведён посев травы, тогда пирог будет выглядеть следующим образом:

- растительный грунт,
- георешетка 150 мм,
- геотекстиль,
- щебень (фракция 5-20) 100 мм,
- уплотнённое основание  $K_{com} = 0,95$ .

Георешетка крепится к телу насыпи с помощью анкеров из арматуры А500С. Полная схема устройства откоса насыпи представлена на рис.3. Высота решетки зависит от уклона и грунта насыпи, в расчёте наибольший угол получился  $31^\circ$ , тогда принимается высота 150 мм.

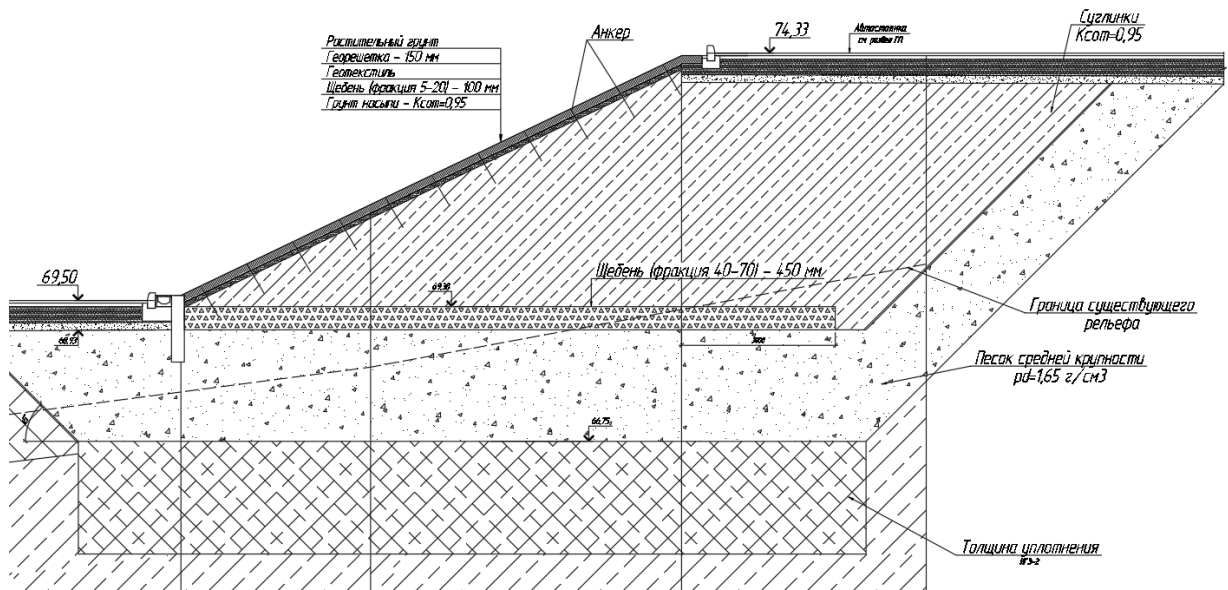


Рис.3. – Схема устройства откоса насыпи

2 этап: разработка конструкций железобетонных косоуров на металлических сваях (рис.4).

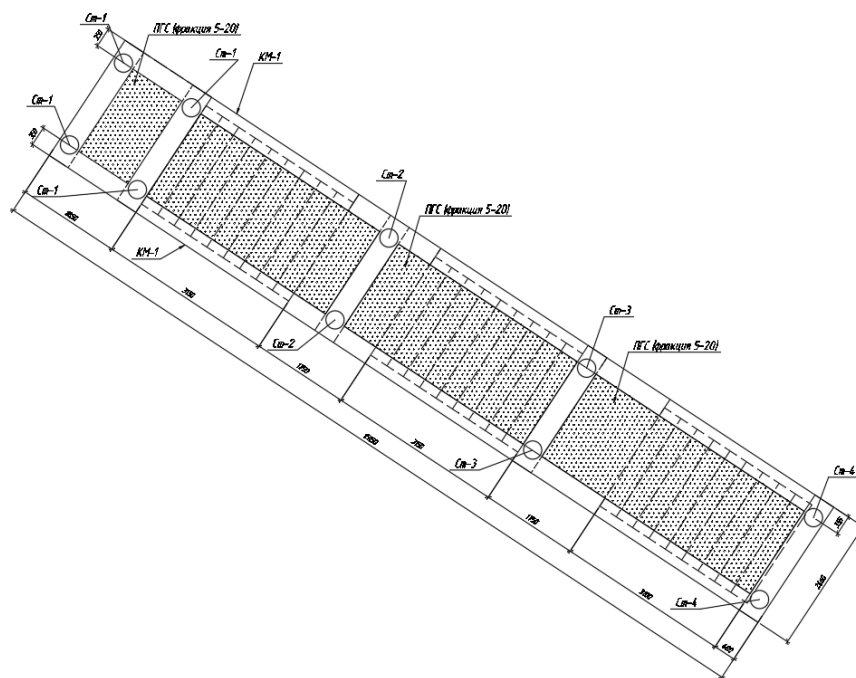


Рис.4. – Схема расположения стальных свай и монолитных косоуров

Металлические сваи выполняются из трубы 325x8 ГОСТ 10704-91. Особенностью данных свай является поэтапное их наращивание [8], так как несущим слоем для них является ИГЭ-3 (рис.3) выше которого существует

конструктивный щебеночный слой по обратной песчаной засыпке. Устройство свай выполняется за два этапа со стыковочным швом (рис.5). На первом этапе трубу погружают в грунт ИГЭ-3 до проектной отметки, верхний конец сваи находится на 500 мм выше отметки устройства щебеночной подготовки под тело насыпи. Свая заполняется бетоном класса В7,5 и после устройства щебеночной подготовки выполняется второй этап – наращивание металлической сваи по узлу. Узел выполняется с помощью четырёх сегментов трубы такого же диаметра. Далее производится восстановление гидроизоляции по месту стыка.

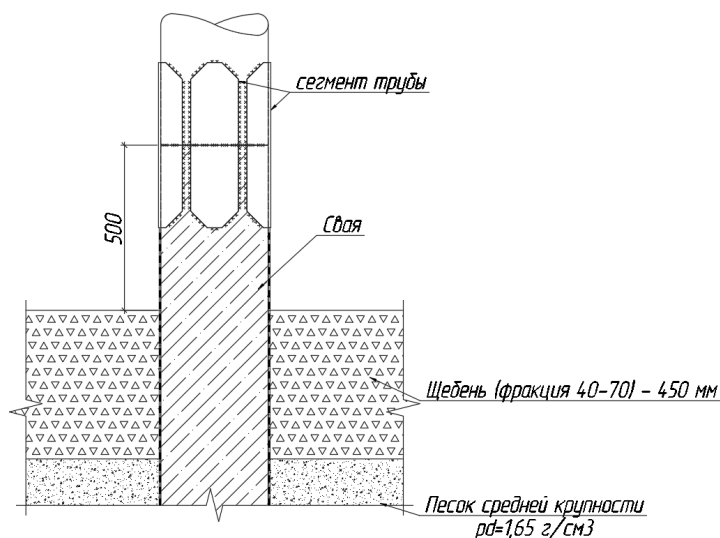


Рис.5. – Стыковочный узел

Металлические сваи соединены с железобетонными балками [9, 10] с размерами 650x400 мм с помощью дополнительной арматуры, которая приварена к телу сваи снаружи по кругу и выходит наверх на 400 мм. Для выдержки анкеровки стержни соединяются между собой с помощью 3-х приваренных полос. Между собой балки соединяются поперечными косоурами 600x400 мм. Учитывая раздел 10 СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции», принят для монолитных косоуров защитный слой 40 мм, конструкция располагается в грунте, следовательно, выполняется обязательная гидроизоляция (рис.6,7).

Балки армируются  $8\text{Ø}16\text{ A500C}$  и соединяются между собой хомутами поперечного армирования  $\text{Ø}8\text{ A240}$  с шагом  $200\text{ мм}$  и шпильками  $\text{Ø}6\text{ A240}$ . Для выполнения последующего благоустройства, всё пространство между балками заполняется песчано-гравийной смесью (фракция 5-20).

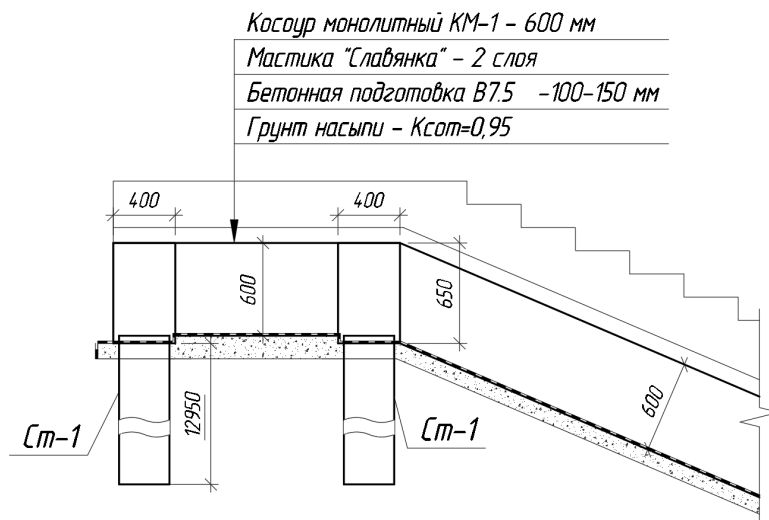


Рис.6. – Фрагмент опалубки косоура

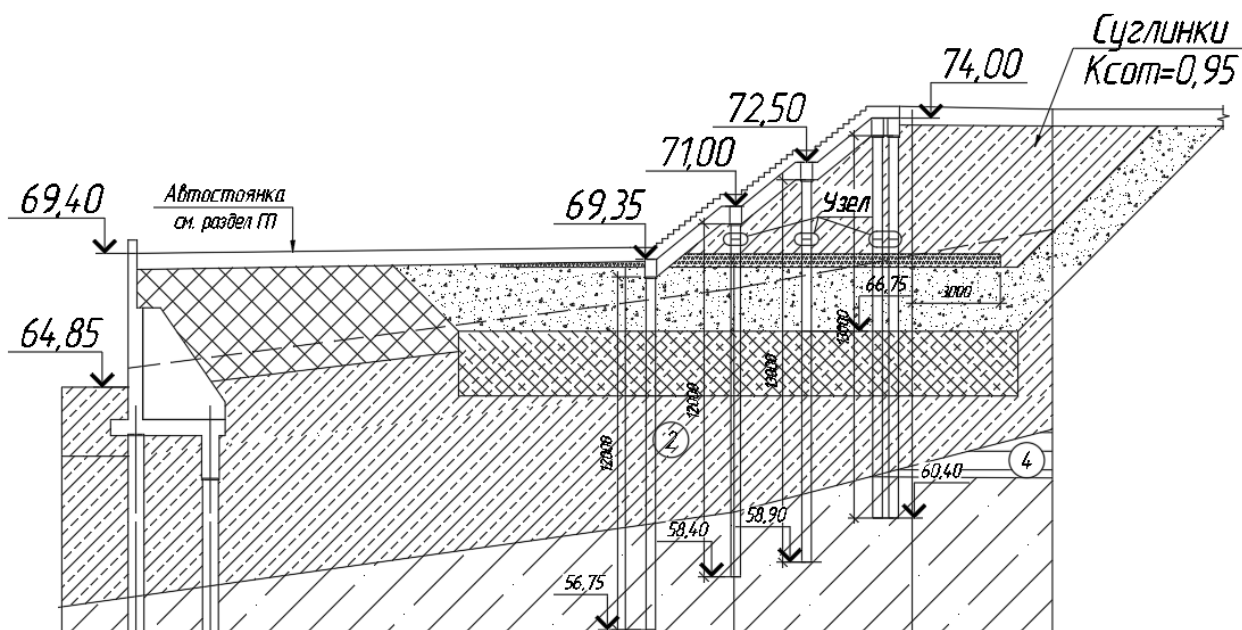


Рис.7. – Железобетонный косоур на сваях в теле насыпи



## Вывод

При проектировании любых строительных конструкций на искусственной насыпи важно рассматривать несколько задач в совокупности. Каждая из них подразумевает проведение расчетов и принятие решений для обеспечения безопасности эксплуатации. В процессе разработки могут потребовать дополнительные этапы возведения, которые обязательно должны быть учтены. Прибегая к использованию уже имеющейся литературной базы и создавая новые методы и подходы к проектированию, можно достичь надежности, долговечности и эффективности в каждом новом проекте.

## Литература

1. Кашина Е.С., Габова В.В. Применение свайных фундаментов в условиях плотной городской застройки // Актуальные проблемы и перспективы развития строительного комплекса: сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф., 13-14 дек. 2023 г., Волгоград / Волгогр. гос. техн. ун-т ; под ред. О. В. Бурлаченко. - Волгоград, 2023. - С. 40-45.

2. Зильберова И.Ю., Петров К.С., Киселева Е.В., Горников С.С. Мероприятия по организации "зеленых зон" в условиях плотной застройки города // Инженерный вестник Дона. – 2018. – № 1. – URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4723](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4723)

3. Шумилов Н.Н., Сергеева Н.Д. К вопросу комплексно-механизированной организации технологических процессов вытрамбовки котлованов под устройство фундаментов // Вестник магистратуры. – 2024. – № 7(154). – С. 18-23.

4. Свенторжицкий М.П. Влияние точности определения значения коэффициента переуплотнения на расчетные параметры грунтов // Инженерные исследования. – 2024. – № 1(16). – С. 37-44.

5. Wesley L.D. Soil Compaction. In *Fundamentals of Soil Mechanics for Sedimentary and Residual Soils*, Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2009, pp. 391–404.

6. Mohajerani A., Nguyen Bao Thach, Wang Zh., Antequera M. A practical technique for the compaction control of sand in road construction: using a dynamic lightweight cone penetrometer. *Road Mater. Pavement Des.*, vol. 22, no. 1, pp. 200–214, 2019.

7. Федоров С.А., Плотникова А.С. Особенности уплотнения грунтов обратной засыпки в траншеях // *Дальний Восток. Автомобильные дороги и безопасность движения: Сборник научных трудов.* – Хабаровск : Тихоокеанский государственный университет, 2024. – С. 102-104.

8. Алексеев А.Г., Сазонов П.М., Поверенный Ю.С., Зеленин Д.А., Фефелов А.В., Сайтов А.В. Усовершенствование конструкции стальных свай в многолетнемерзлых грунтах // *Промышленное и гражданское строительство.* 2022. № 1. С. 34-38. DOI: 10.33622/0869-7019.2022.01.34-38.

9. Пшеничкина В.А., Аладил Ясир Амер Абд, Маджед Мохаммед Али Мохаммед Салех. Сравнительный анализ различных типов соединенных железобетонных балок // *Актуальные проблемы и перспективы развития строительного комплекса: сб. ст. междунар. науч.-практ. конф., 1-2 декабря 2020 г., Волгоград: в 2-х ч. / М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Волгогр. гос. техн. ун-т. - Волгоград, 2020. - Ч. 1. - С. 31-36.*

10. Маилян Д.Р., Несветаев Г.В, Коллеганов Н.А. К определению трещиностойкости железобетонных балок из различных видов бетонов // *Инженерный вестник Дона.* – 2023. – № 1. – URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2023/8175](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2023/8175)

### References

1. Kashina E.S., Gabova V.V. Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya stroitel'nogo kompleksa: sb. tr. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., 13-14 dek. 2023



- g., Volgograd. Volgogr. gos. tekhn. un-t ; pod red. O. V. Burlachenko. Volgograd, 2023. pp. 40-45.
2. Zil'berova I.Yu., Petrov K.S., Kiseleva E.V., Gornikov S.S. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018, № 1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4723](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4723)
  3. Shumilov N.N., Sergeeva N.D. Vestnik magistratury. 2024. № 7(154). pp. 18-23.
  4. Sventorzhičij M.P. Inzhenernye issledovaniya. 2024. № 1(16). pp. 37-44.
  5. Wesley L.D. Fundamentals of Soil Mechanics for Sedimentary and Residual Soils, Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2009, pp. 391–404.
  6. Mohajerani A., Nguyen Bao Thach, Wang Zh., Antequera M. Road Mater. Pavement Des., vol. 22, no. 1, pp. 200–214, 2019.
  7. Fedorov S.A., Plotnikova A.S. Dal'nij Vostok. Avtomobil'nye dorogi i bezopasnost' dvizheniya : Sbornik nauchnyh trudov. Habarovsk : Tihookeanskij gosudarstvennyj universitet, 2024. pp. 102-104.
  8. Alekseev A.G., Sazonov P.M., Poverennyj Yu.S., Zelenin D.A., Fefelov A.V., Saitov A.V. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2022. № 1. pp. 34-38. DOI: 10.33622/0869-7019.2022.01.34-38.
  9. Pshenichkina V.A., Aladil Yasir Amer Abd, Madzhed Mohammed Ali Mohammed Salekh. Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya stroitel'nogo kompleksa: sb. st. mezhdunar. nauch.-prakt. konf., 1-2 dekabrya 2020 g., Volgograd: v 2-h ch. M-vo nauki i vyssh. obrazovaniya Ros. Federacii, Volgogr. gos. tekhn. un-t. Volgograd, 2020. Ch. 1. pp. 31-36.
  10. Mailyan D.R., Nesvetaev G.V, Kolleganov N.A. Inzhenernyj vestnik Dona 2023. № 1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2023/8175](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2023/8175)

**Дата поступления: 23.12.2024**

**Дата публикации: 29.01.2025**