



<https://cyberleninka.ru/article/n/metody-otsenki-inzhenernoy-infrastruktury-gorodskoy-territorii> (дата обращения: 25.05.2024), свободный. – Заглавие с экрана. – Рус. яз.

18. Никитина К. В. Особенности развития инжиниринговых систем и комплексов / К. В. Никитина // Инновационные методы проектирования строительных конструкций зданий и сооружений : сборник научных трудов 3-й Всероссийской научно-практической конференции. Курск, 2021. – Курск : Юго-Западный государственный университет, 2021. – С. 164–167. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47349052>, свободный. – Заглавие с экрана. – Рус. яз.

19. Середович А. В. Трехмерное моделирование участков городских территорий для проектирования инженерных объектов / А. В. Середович, О. А. Деметьева, Е. И. Горохова // ГЕО-СИБИРЬ. – 2010. – Т. 1, № 3. – С. 64–68. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18075747> (дата обращения: 23.07.2024), свободный. – Заглавие с экрана. – Рус. яз.

20. Слепнев П. А. Планирование инженерных сетей и оборудования : учебно-методическое пособие / П. А. Слепнев, И. А. Чижиков. – Москва : МИСИ – МГСУ, 2021. – 46 с. – Режим доступа: <https://mgsu.ru/universityabout/Struktura/Kafedri/the-department-of-urban-development/teaching-materials/38.pdf> (дата обращения: 11.06.2024), свободный. – Заглавие с экрана. – Рус. яз.

21. Проектирование городских систем газоснабжения : учебно-методическое пособие / Н. В. Колпакова. – Екатеринбург : Уральский федеральный университет, 2017. – 68 с. – Режим доступа: https://elar.ufu.ru/bitstream/10995/54018/1/978-5-7996-2190-2_2017.pdf (дата обращения: 11.06.2024), свободный. – Заглавие с экрана. – Рус. яз.

22. Озеров М. А. Новая методика определения путевых расходов газа при гидравлическом расчете кольцевых сетей низкого давления / М. А. Озеров, Т. В. Ефремова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2016. – № 1-2 (15-16). – С. 59–63. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26469234> (дата обращения: 06.11.2024), свободный. – Заглавие с экрана. – Рус. яз.

23. Российская Федерация. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений : федеральный закон № 384-ФЗ от 30 декабря 2009 г. (ред. от 25.12.2023) : [принят Государственной Думой 23 декабря 2009 г. ; одобрен Советом Федерации 25 декабря 2009 г.] // КонсультантПлюс. – Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_95720/, свободный. – Заглавие с экрана. – Рус. яз.

24. Егорова И. А. Принципы архитектурно-градостроительного развития жилых кварталов 1950–1970-х гг. застройки в крупных сибирских городах / И. А. Егорова, Р. С. Жуковский // КонсультантПлюс. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41575748> (дата обращения: 06.11.2024), свободный. – Заглавие с экрана. – Рус. яз.

© М. А. Иванкова, Т. В. Костюченко,
Д. И. Саттарова, Э. Г. Мартиросов

Ссылка для цитирования:

Иванкова М. А., Костюченко Т. В., Саттарова Д. И., Мартиросов Э. Г. Отечественный опыт определения потребности в инженерной инфраструктуре при градостроительном развитии территорий // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2024. № 4 (50). С. 65–70.

УДК 526

DOI 10.52684/2312-3702-2024-50-4-70-77

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ НАСЫПЕЙ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Н. В. Купчикова

Купчикова Наталья Викторовна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные конструкции, здания и сооружения», Российский университет транспорта» (РУТ МИИТ); доцент кафедры промышленного и гражданского строительства, Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), г. Москва, Российская Федерация ; e-mail: kupchikova79@mail.ru

Выполнен анализ современных тенденций обеспечения инженерной устойчивости при реконструкции насыпей транспортной инфраструктуры. Приведены практические примеры. Произведен расчет в ПК MIDAS GTS NX и численный анализ фильтрации, устойчивости и консолидации насыпи, сложенной из трех слоев грунтового массива и дамбы, состоящей так же из трех слоев с глинистым ядром и дренажом по правой части в нижнем бьефе, при реконструкции транспортных территорий.

Ключевые слова: насыпь, дренаж, транспортная инфраструктура, реконструкция, численное моделирование, напряженно-деформированное состояние.

NUMERICAL ANALYSIS OF ENSURING THE STABILITY OF EMBANKMENTS DURING THE RECONSTRUCTION OF THE TRANSPORT INFRASTRUCTURE

N. V. Kupchikova

Kupchikova Natalya Viktorovna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Building Structures, Buildings and Structures Department, Russian University of Transport (RUT MIIT); Associate

Professor of Industrial and Civil Engineering Department, Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Moscow, Russian Federation ; e-mail: kupchikova79@mail.ru

The analysis of modern trends in ensuring engineering stability during the reconstruction of embankments of transport infrastructure is carried out. Practical examples are given. A calculation was performed in the MIDAS GTS NX PC and a numerical analysis of the filtration, stability and consolidation of the embankment during the reconstruction of transport territories composed of three layers of a soil massif and a dam, which also consists of three layers with a clay core and drainage on the right side in the lower reaches.

Keywords: *embankment, drainage, transport infrastructure, reconstruction, numerical modeling, stress-strain state.*

Введение

Транспортное строительство является одной из ключевых областей инженерной деятельности, обеспечивающей функционирование и развитие транспортной инфраструктуры. Важным элементом этой инфраструктуры являются насыпи, которые играют центральную роль в формировании устойчивых и безопасных транспортных путей. Реконструкция дорожно-транспортной сети, в свою очередь, представляет собой сложный и многосторонний процесс, в котором насыпям отводится особое место. Они не только служат основой для дорожного покрытия, но и обеспечивают необходимую высоту и уклон, способствующие эффективному водоотведению и предотвращению разрушения дорожной конструкции.

Устойчивость грунтовых насыпей определяется напряженно-деформированным состоянием и прочностью грунтов насыпи. Объемное состояние грунтового массива характеризуется прочностными и физико-механическими характеристиками: модулем деформируемости, удельным весом, удельным сцеплением и углом внутреннего трения.

Насыпь в транспортном строительстве формируется из уплотненного грунта с целью создания основ для различных транспортных путей, таких как дороги, железнодорожные линии и каналы. Основная функция насыпей – сглаживание перепадов высот, которое позволяет обеспечить беспрепятственное движение транспорта, минимизируя при этом влияние на естественный рельеф местности [1].

При реконструкции транспортных насыпей важным аспектом их устойчивости является выбор методов возведения, который зависит от специфики местности, конструктивных требований и доступных технических средств. Основные элементы насыпи включают в себя центральную несущую часть, площадку для укладки верхнего строения и откосные части, которые обеспечивают стабильность всей конструкции [2]. Применение систем устойчивости, таких как фильтры, дренаж и укрепление откосов, также играет значимую роль в обеспечении долговечности насыпей.

Инженеры используют различные подходы для управления устойчивостью конструкции насыпей, включающие предварительное проек-

тирование и моделирование, что позволяет прогнозировать поведение конструкции под ожидаемыми нагрузками. Часто используют методы компьютерного моделирования, чтобы определить оптимальную геометрию и материалы, необходимые для создания устойчивой насыпи [4]. Безопасность транспортных потоков также может быть обеспечена применением разных технологий укладки и дренажа, что позволяет предотвратить водозабор и последующие деформации насыпи. Важным аспектом является контроль за водным режимом вокруг насыпей и в самой насыпи, что достигается за счет грамотного проектирования и строительства дренажных систем. Учитывая, что насыпь работает в условиях изменяющейся нагрузки и воздействий окружающей среды, регулярные проверки и реконструкция данных сооружений становятся необходимыми [5].

Важно отметить, что насыпные конструкции также могут столкнуться с рядом проблем, таких как эрозия откосов и просадки. Применение различных защитных технологий, в частности укрепления откосов с помощью растительности или специальных ограждающих конструкций шпунтов, подпорных стенок, может значительно повысить срок службы насыпей и снизить необходимость частых реконструкций. Эти аспекты имеют большое значение, особенно при изменениях климата, когда погодные условия становятся все более непредсказуемыми [1].

Некоторые практические примеры:

1. Автомобильные дороги

Московская кольцевая автомобильная дорога (МКАД): насыпь была создана для того, чтобы поднять трассу над уровнем окружающей местности и обеспечить беспрепятственное движение автомобилей. Это позволило избежать пересечения с местными дорогами и сократить количество пересечений на одном уровне.

Федеральная трасса М11 Москва – Санкт-Петербург: на многих участках трассы используются насыпи для создания ровного полотна дороги и минимизации перепадов высот между участками трассы.

2. Железнодорожные пути

Байкало-Амурская магистраль (БАМ): в условиях сложного рельефа Сибири и Дальнего Востока насыпи использовались для выравнива-

ния участков железнодорожного пути и преодоления естественных препятствий, таких как реки и овраги.

Транссибирская магистраль: для преодоления холмов и равнин были созданы многочисленные насыпи, обеспечивающие стабильное и безопасное движение поездов.

3. Аэродромные полосы

Международный аэропорт Шереметьево (Москва): взлетно-посадочные полосы аэропорта расположены на насыпях, что позволяет создать ровную поверхность для безопасного взлета и посадки самолетов.

Аэропорт Пулково (Санкт-Петербург): здесь также используются насыпи для выравнивания поверхности аэродрома и обеспечения безопасности полетов.

4. Промышленные дороги

Подъездные пути к портам и заводам: например, подъездные пути к крупным морским портам, таким как Новороссийск или Владивосток, часто строятся на насыпях для обеспечения надежного доступа к терминалам и складам.

В процессах реконструкции необходимо учитывать и взаимодействие между различными слоями насыпи и основанием. Разработка композитных систем, состоящих из геосеток и геоматериала, может помочь распределить нагрузки без концентрации усилий на определенных участках [6]. Оптимальная техника укладки, включающая использование виброплит и катков, позволяет добиваться высокой степени плотности, предотвращая возможные просадки в будущем.



Рис. 1. Этапы реконструкции и работы с насыпью в дорожно-транспортной сети [7]



Рис. 2. Технологии и оборудование для широкополосной укладки и обслуживания насыпей [8]

Современные технологии укладки и обслуживания насыпей становятся важной составляющей реконструкции транспортной инфраструктуры (рис. 1 и 2). С учетом увеличивающегося трафика и воздействия изменений климата внедрение инновационных методов и материалов позволяет улучшить долговечность и качество дорожного покрытия. Одним из направлений является использование долговечных цементобетонных покрытий, которые могут служить до 60 лет

при надлежащем уходе [9]. Это не только сокращает необходимость в частом ремонте, но и снижает затраты на строительство.

В процессе укладки и обслуживания насыпей также используются передовые системы мониторинга, которые помогают выявлять проблемы на ранних стадиях. Эти системы могут базироваться на использовании датчиков и автоматизированных систем, что позволяет в реальном времени отслеживать состояние дорожного покрытия и оперативно реагировать на изменения. Разработка таких систем уже стала реальностью в ряде проектов, дополнительно повысив уровень обслуживания сети дорог и обеспечив более безопасный и комфортный передвижения [9].

При проектировании насыпей в условиях реконструкции транспортных объектов важно учитывать множество факторов: характеристику грунта, экологические требования и технологические возможности. Проблемы, возникающие при возведении насыпей на слабых грунтах, часто требуют комплексного подхода к решению, включающего в себя применение современных технологий и материалов.

Методика расчета устойчивости и осадки дорожной конструкции при реконструкции в сложных условиях

Порядок расчета устойчивости слабого основания сводится к следующему:

1. Определение расчетной нагрузки от веса грунта реконструируемой насыпи:

$$P_{расч} = \gamma_{ср} h_{нас}, \quad (1)$$

где $\gamma_{ср}$ – средневзвешенная плотность грунта насыпи, г/см³; $h_{нас}$ – высота насыпи по оси с учетом существующей осадки, см.

При высоте насыпи менее 3 м дополнительно должна учитываться нагрузка от воздействия транспорта путем условного увеличения высоты насыпи, рассчитанной по методике.

2. Расчет безопасной нагрузки:

$$H_{без.н} = \frac{C_n + \gamma z t g \varphi_n}{\beta}, \quad (2)$$

где C_n – удельное сцепление слабого грунта в основании под существующей насыпью, МПа; φ_n – угол внутреннего трения, то же, град; γ – плотность грунта слабой толщи, г/см³; Z – глубина расположения середины расчетного слоя в основании насыпи, см; γ – плотность грунта расчетного слоя, г/см³; β – коэффициент, величина которого определяется по графикам.

Значения показателей механических свойств слабых грунтов основания устанавливаются по результатам опытов с полной консолидацией образцов или инженерно-геологических изысканий реконструкции дороги под существующей насыпью.

3. Из величин $P_{без}$, рассчитанных по формуле для нескольких расчетных слоев, устанавливается минимальное значение $P_{без.мин}$ с целью оценки общей устойчивости слабого основания под нагрузкой от веса реконструируемой насыпи с уширением.

4. Условия устойчивости для наиболее опасного горизонта в слабом основании, на которое действует наибольшая расчетная нагрузка, а грунт обладает минимальными прочностными свойствами, оцениваются по формуле:

$$K_{без} = \frac{P_{без.мин}}{P_{расч}}, \quad (3)$$

где $P_{без}$ – безопасная нагрузка на основание, МПа; $P_{расч}$ – нагрузка от веса реконструируемой насыпи, МПа.

5. При $K_{без} \geq 1$ устойчивость основания реконструируемой насыпи обеспечена.

При $K_{без} < 1$ устойчивость основания не обеспечена. Для устойчивости насыпи необходимо назначить дополнительные конструктивно-технологические мероприятия.

Порядок расчета осадки слабого основания сводится к следующему:

1. Для условий одномерного сжатия, а именно при соотношении мощности толщи к ширине подошвы $\frac{H}{2b} \leq 0,5$, конечная осадка слабого грунта

рассчитывается в пределах активной зоны сжатия при уплотнении под нагрузкой от веса грунта уширения и от транспорта методом послойного суммирования по формуле:

$$S = 0,001 \sum_1^n e_{pz_i} H_i, \quad (4)$$

где e_{pz_i} – модуль осадки грунта основания, определенный по компрессионной кривой образца, с горизонта Z_i , соответствующий расчетной нагрузке $P_{расч}$, мм/м; n – число расчетных слоев; H_i – мощность расчетного слоя, м.

Нагрузка от транспортных средств, приведенная к эквивалентному слою грунта земляного полотна, определяется в соответствии с ГОСТ Р 52748.

2. Для условий двухмерного сжатия – при соотношении $\frac{H}{2b} > 0,5$ – в качестве характеристики сжимаемости используется штамповый модуль, который определяется по результатам компрессионных испытаний, и рассчитывается конечная осадка по формуле:

$$S = \frac{PH}{E_{ум}^{ср}}, \quad (5)$$

где P – нагрузка от веса грунта реконструируемой насыпи, МПа; H – мощность сжимаемой толщи, см; $E_{ум}^{ср}$ – средневзвешенный штамповый модуль деформации слабого основания, МПа, который определяется по формуле:

$$E_{ум}^{ср} = \frac{\sum H_i}{\sum \frac{H_i}{E_{ум.i}}}, \quad (6)$$

где H_i и $E_{ум.i}$ – мощность и штамповый модуль деформации i -го слоя.

Штамповый модуль деформации грунта слабого слоя рассчитывается по формуле:

$$E_{ум.i} = \frac{E_i}{1 - \mu}, \quad (7)$$

где E_i – модуль деформации, определенный по результатам компрессионных испытаний по ГОСТ Р 54477, МПа; μ – коэффициент бокового расширения грунта (коэффициент Пуассона): супесь – 0,30; суглинок – 0,35; глина – 0,42.

3. Конечная величина осадки должна учитываться в проектной отметке уширения (запас на осадку по красной линии).

Расчет и результаты численного анализа

Выполним расчет фильтрации, устойчивости и консолидации насыпи при реконструкции транспортных территорий. Расчет производится в программном комплексе MIDAS GTS NX. Исходные данные – насыпь из трех слоев грунтового массива и дамбы, состоящей так же из

трех слоев с глинистым ядром и дренажом по правой части в нижнем бьефе (рис. 3).

Таблица со свойствами грунтов, залегающих под основанием, в модели Mohr-Coulomb приведена в таблице.

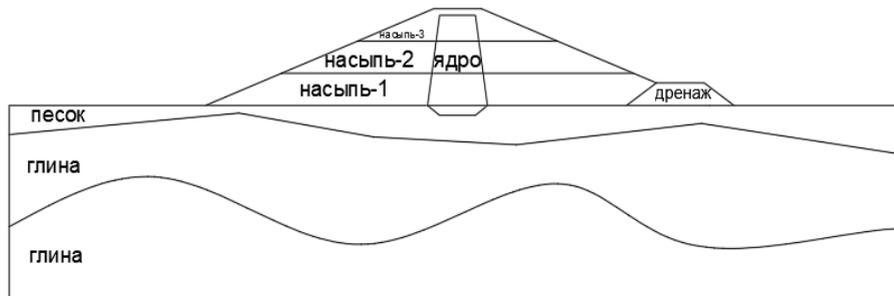


Рис. 3. Исходные данные для численного анализа

Таблица

Свойства грунтов, залегающих под основанием, в модели Mohr-Coulomb

Название	Модуль деформаций	Коэффициент Пуассона	Удельный вес грунта в естественном состоянии	Удельный вес грунта в водонасыщенном состоянии	Коэффициент пористости	Коэффициент фильтрации (x, y, z)			Сцепление	Угол внутреннего трения
						x	y	z		
Насыпной грунт	25000	0,3	20	21	0,6	1,16E-05	1,16E-05	1,16E-05	2	27
Ядро	35000	0,35	18	19	0,45	1,16E-10	1,16E-10	1,16E-10	26	32
Дренаж	20000	0,3	20	21	0,5	0,001157	0,001157	0,001157	1	35
Основание 1	33000	0,3	20	21	0,65	5,79E-06	5,79E-06	5,79E-06	3	30
Основание 2	38000	0,4	21	22	0,4	1,16E-08	1,16E-08	1,16E-08	22	25
Основание 3	43000	0,4	19	20	0,75	1,16E-10	1,16E-10	1,16E-10	39	20

Граничные условия по заданию условий для расчета по круглому цилиндру. Здесь нам нужно задать поле центров, из которых будут проводиться окружности и поле касательных,

к которым из каждого центра будет проходить окружность. Для этого переходим во вкладку Static и выбираем Slip Circular Surface.

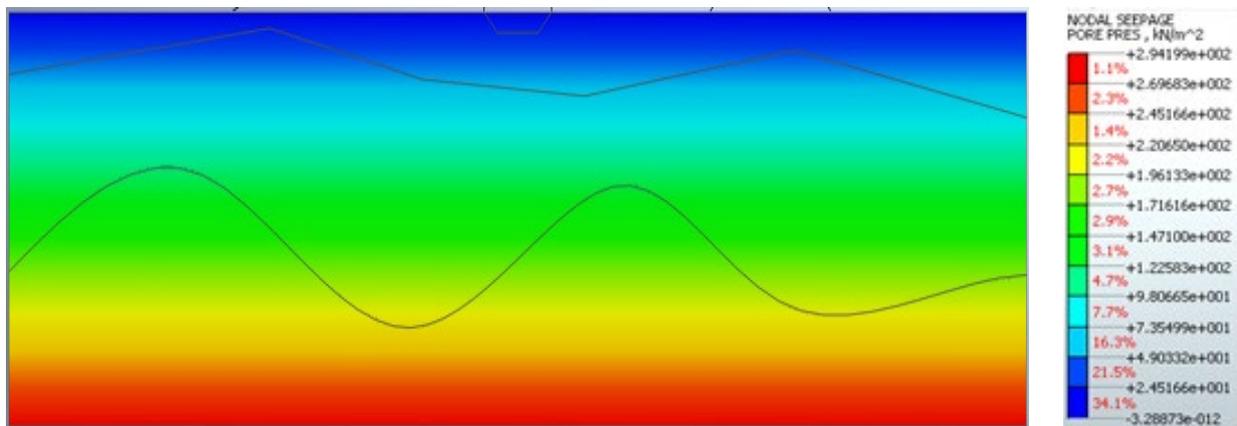


Рис. 4. Поровое давление $P_{max} = 2,94e^2 \text{ кН/м}^2$; $P_{min} = -3,29e^{-12} \text{ кН/м}^2$

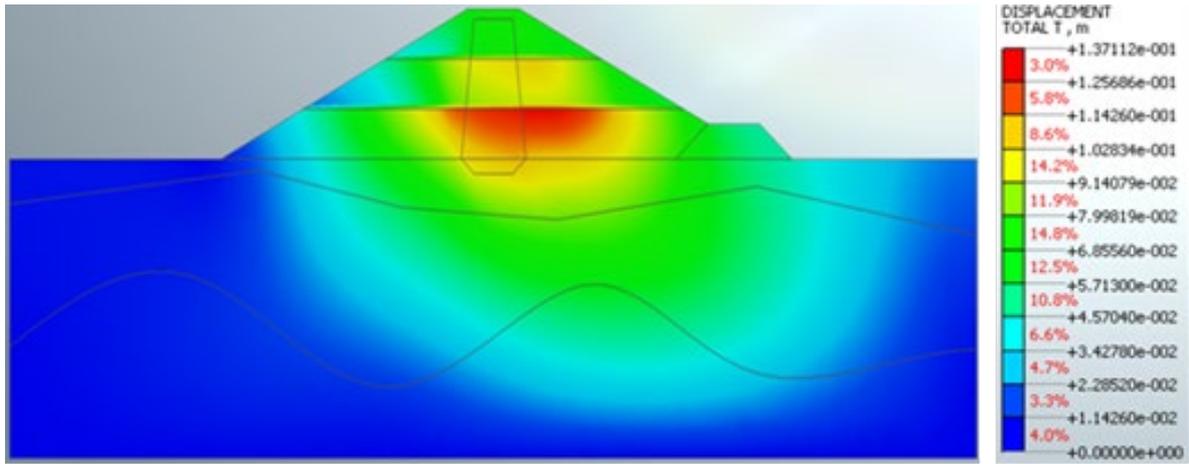


Рис. 5. Геометрическая сумма перемещений вдоль осей X, Y и Z $U_{max} = 0,137$ см; $U_{min} = 0$ см

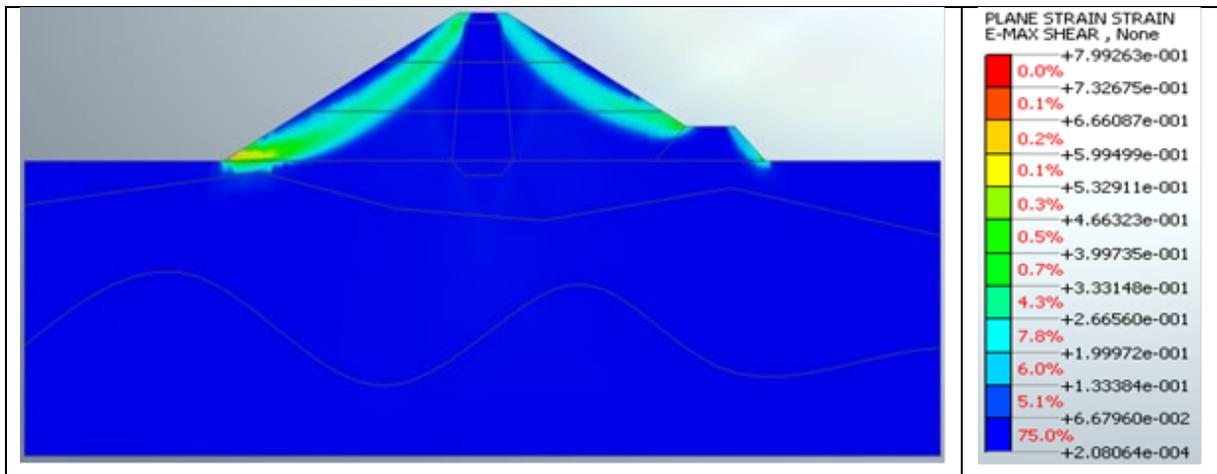


Рис. 6. Максимальная сдвиговая деформация $\gamma_{max} = 7,993e-1$; $\gamma_{min} = 2,081e-4$

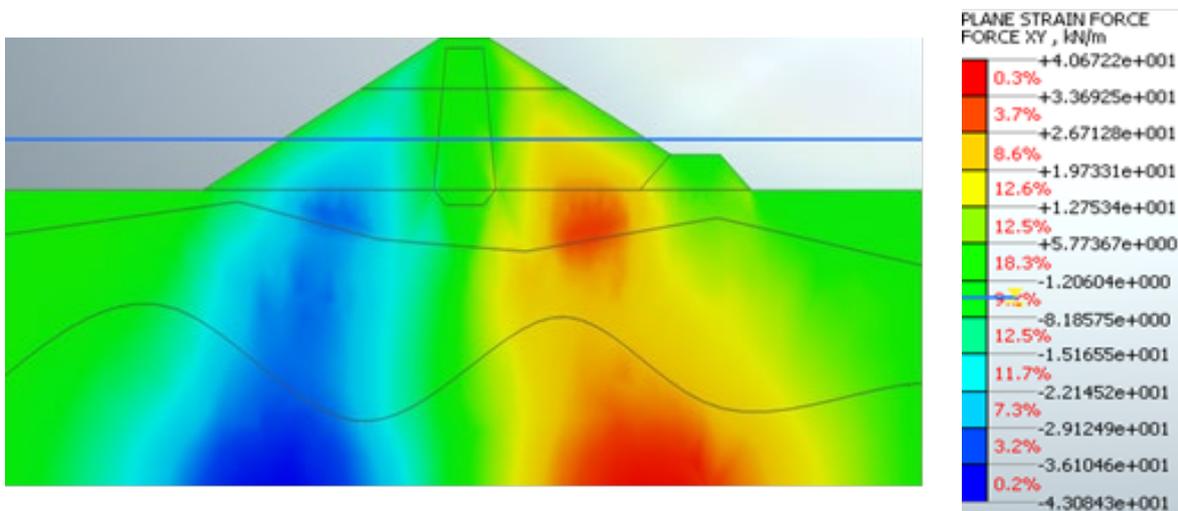


Рис. 7. Сдвиговое усилие в элементах плоской деформации в плоскости XY $\tau_{max} = 4,067e1$ кН/м; $\tau_{min} = -4,308e1$ кН/м

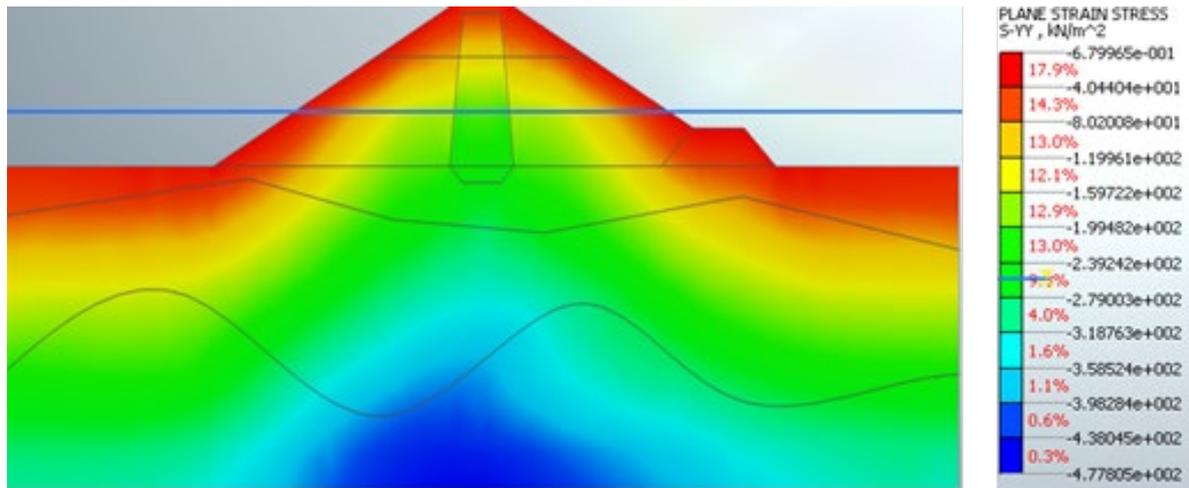


Рис. 8. Напряжение в скелете грунта (эффективное) относительно оси Y
 $\sigma_{max} = -6,799e-1 \text{ кН/м}^2$; $\sigma_{min} = -4,778e2 \text{ кН/м}^2$

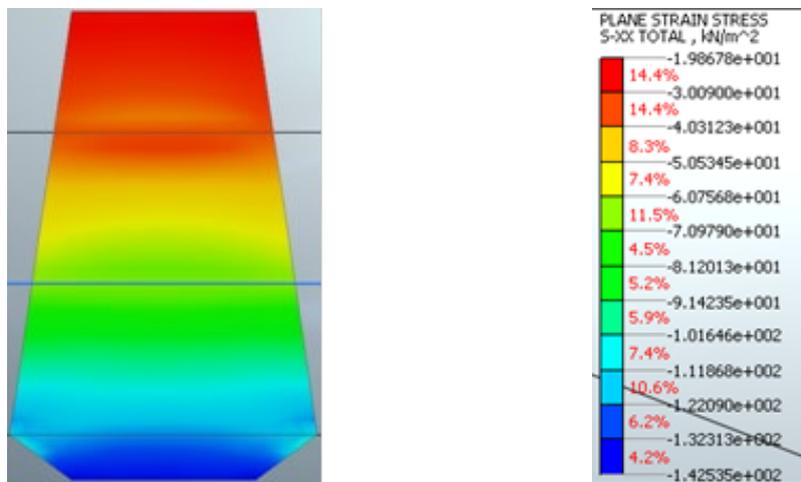


Рис. 9. Общие полные напряжения в ядре относительно оси X $\sigma_{max} = -1,986e1 \text{ кН/м}^2$; $\sigma_{min} = -1,425e2 \text{ кН/м}^2$

Практическая часть нашего исследования включила численный анализ стабильности и безопасности устойчивости грунтовой насыпи с дренажными слоями у основания и ядром жесткости. Геометрическое моделирование и создание конечно-элементной модели стали эффективными инструментами для понимания механизмов, влияющих на долговечность и надежность проектируемых объектов. Важно отметить, что современные методы проектирования учитывают не только физические характеристики материалов, но и геологические условия, в которых будет эксплуатироваться объект [3, 8–10].

После проведения расчета модели были получены результаты напряженно-деформированного состояния всей запроектированной системы (рис. 4–9). Приведем некоторые численные результаты, которые соответствуют условиям устойчивости и деформативности, представленным в формулах (1–7):

- поровое давление $P_{max} = 2,94e2 \text{ кН/м}^2$; $P_{min} = -3,29e-12 \text{ кН/м}^2$;
- сумма всех внешних сил, действующих на узел $F_{max} = 1,228e3 \text{ кН}$; $F_{min} = 9,315e-1 \text{ кН}$;

- сдвиговое усилие в элементах плоской деформации в плоскости XY $\tau_{max} = 4,067e^1 \text{ кН/м}$; $\tau_{min} = -4,308e^1 \text{ кН/м}$;
- геометрическая сумма перемещений вдоль осей X, Y и Z $U_{max} = 0,137 \text{ см}$; $U_{min} = 0 \text{ см}$;
- максимальная сдвиговая деформация $\gamma_{max} = 7,993e^{-1}$; $\gamma_{max} = 2,081e^{-4}$;
- напряжение в скелете грунта (эффективное) относительно оси Y $\sigma_{max} = -6,799e^{-1} \text{ кН/м}^2$; $\sigma_{min} = -4,778e^2 \text{ кН/м}^2$ и др.

Можно выделить следующие причины, приводящие к нарушению устойчивости массивов грунта в транспортных насыпях при реконструкции:

- утяжеление откоса вследствие увлажнения грунта;
- увеличение крутизны откосов;
- возрастание нагрузки на насыпь;
- неверно подобранные или полное отсутствие дренажных слоев в основании;
- уменьшение величины прочностных характеристик грунта тела откоса;
- сейсмическое или динамическое воздействие и др.

Для повышения устойчивости насыпи можно использовать армирование. Укрепленные материалы и грунты обладают лучшими физико-механи-

ческими характеристиками по сравнению с неукрепленными материалами, при этом в основание насыпи можно заложить грунтоцементные сваи.

Список литературы

1. Насыпь (транспорт) // Википедия. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/насыпь_\(транспорт\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/насыпь_(транспорт)), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
2. Насыпь (транспорт) // Рувики. – Режим доступа: [https://ru.ruwiki.ru/wiki/насыпь_\(транспорт\)](https://ru.ruwiki.ru/wiki/насыпь_(транспорт)), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
3. Zolina T. Modeling of seismic load and assessment of its impact on the building frame and foundations of deep laying of bridge supports / T. Zolina, N. Kupchikova // E3S Web of Conferences. – 2024. – Vol. 533. – P. 02014. – DOI: 10.1051/e3sconf/202453302014. – EDN YGYITU.
4. Насыпь – СЦБИСТ – железнодорожный форум, блогги... – Режим доступа: <http://scbist.com/wiki/16126-nasyp.html>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
5. RU2148125C1 – насыпь подходов к искусственному... – Режим доступа: https://yandex.ru/patents/doc/ru2148125c1_20000427, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
6. Устройство земляного полотна – сооружение земляного полотна... – Режим доступа: <https://inslab.ru/blog/ustrojstvo-zemlyanogo-polotna/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
7. АвтоМотоСпец. – Режим доступа: <https://avtomotospec.ru/obzory/kak-zastavit-chinovnikov-sdelat-dorogi-horoshimi-vse-guchagi-kontrolya-za-dorozhnyimi-sluzhbami.html#tops>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
8. Технология строительства дорог, материалы. – Режим доступа: <https://taxi-pesok.ru/stati/materialy-dlya-stroitelstva-dorog>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
9. Купчикова Н. В. Снижение осадки фундамента путем послойного поверхностного и глубинного уплотнения грунта со щебнем под нижним концом буронабивных свай / Н. В. Купчикова // Строительство и реконструкция. – 2013. – № 2 (46). – С. 41–45. – EDN RCHKVH.
10. Травуш В. И. Моделирование поведения сплошного вертикального структурного геотехнического массива – разделительного экрана / В. И. Травуш, В. С. Федоров, О. А. Маковецкий // Строительство и реконструкция. – 2021. – № 1 (93). – С. 65–73. – DOI: 10.33979/2073-7416-2021-93-1-65-73. – EDN WCZZVN.
11. Strigin B. Foundation reconstruction technology / B. Strigin, V. Fedorov // XXIst International Scientific Conference on Advanced in Civil Engineering: Construction – The Formation of Living Environment, FORM 2018, Moscow, April, 25–27 2018. – Moscow : Institute of Physics Publishing, 2018. – P. 062043. – DOI: 10.1088/1757-899X/365/6/062043. – EDN YCBTVZ.

© Н. В. Купчикова

Ссылка для цитирования:

Купчикова Н. В. Численный анализ обеспечения устойчивости насыпей при реконструкции транспортной инфраструктуры // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2024. № 4 (50). С. 70–77.

УДК 624.15

DOI 10.52684/2312-3702-2024-50-4-77-87

УПРОЧНЕНИЕ СЛАБОГО ПОДСТИЛАЮЩЕГО СЛОЯ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ СВАЙНО-ПЛИТНОГО ФУНДАМЕНТА ИЗ БУРОНАБИВНЫХ СВАЙ

Н. В. Купчикова

Купчикова Наталья Викторовна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные конструкции, здания и сооружения», Российский университет транспорт» (РУТ МИИТ); доцент кафедры промышленного и гражданского строительства, Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), г. Москва, Российская Федерация ; e-mail: kupchikova79@mail.ru

Выполнено исследование напряженно-деформированного состояния свайно-плитного фундамента из буронабивных свай с учетом слабого подстилающего слоя грунтового основания под плитой. Произведен расчет в ПК MIDAS GTS NX и численный анализ результатов НДС. Сформулированы основные принципы обеспечения прочностных и деформационных характеристик свайных фундаментов, работающих в грунтовой массе, сложенном слабыми, структурно неустойчивыми грунтами в уровне подстилающего слоя под плитой.

Ключевые слова: упрочнение слабого подстилающего слоя, грунтовое основание, свайно-плитный фундамент, буронабивные сваи, численное моделирование, напряженно-деформированное состояние.

STRENGTHENING THE WEAK UNDERLYING LAYER OF THE SOIL FOUNDATION OF A PILE-PLATE FOUNDATION FROM BORED PILES

N. V. Kupchikova

Kupchikova Natalya Viktorovna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Building Structures, Buildings and Structures Department, Russian University of Transport (RUT MIIT); Associate Professor of Industrial and Civil Engineering Department, Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU), Moscow, Russian Federation ; e-mail: kupchikova79@mail.ru