

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 транспорта» (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



A study of the stress-strain state (VAT) of a pile-slab foundation made of bored piles has been performed, taking into account the weak underlying layer of the soil base under the slab. The calculation was performed in the MIDAS GTS NX PC and the numerical analysis of the VAT results. As a result of the work, the basic principles of ensuring the strength and deformation characteristics of pile foundations operating in a soil mass composed of weak, structurally unstable soils at the level of the underlying layer under the slab are formulated.

Keywords: strengthening of a weak underlying layer, soil foundation, pile-slab foundation, bored piles, numerical modeling, stress-strain state.

Введение

Слабый подстилающий слой грунта под свайно-плитным фундаментом – это слой, у которого расчетное сопротивление меньше, чем у грунта рабочего слоя.

Слабыми считают сильно сжимаемые, насыщенные водой грунты, которые теряют прочность при обычной скорости приложения внешних нагрузок, характерной для строительных работ. К таким грунтам относятся пылевато-глинистые в текучем состоянии, заторфованные, илы и пески в рыхлом состоянии.

При наличии слабого подстилающего слоя требуется проверка допустимости передающегося на него суммарного давления от вышележащего грунта и сооружения. Чем больше будет расстояние от подошвы фундамента до кровли слабого подстилающего слоя, тем выше вероятность того, что условие проверки будет удовлетворено.

Для улучшения физико-механических характеристик слабых грунтов могут применяться, например, такие методы: устройство грунтовых подушек, снижение влажности грунта, уплотнение и его закрепление.

Цель работы – исследование напряженно-деформированного состояния свайно-плитного фундамента из буронабивных свай с учетом слабого подстилающего слоя грунтового основания под плитой.

Задачи исследования:

- обзор методов исследования деформации свай с учетом подстилающего слоя;
- проведение численного моделирования напряженно-деформированного состояния свай в грунтовом массиве с применением ПК MIDAS GTS NX;
- разработка основных предпосылок эффективного обеспечения прочностных и деформационных характеристик свайных фундаментов, работающих в грунтовом массиве, сложенном слабыми, структурно неустойчивыми грунтами и рекомендации при проектировании.

Практическая значимость работы заключается в том, что ее результаты могут использоваться в инженерной строительной практике.

В практике проектирования довольно частыми являются случаи, когда верхние слои грунта, на которые опирается фундамент, подстилаются менее прочными, то есть учет подстилающего слоя слабого грунта становится определяющим в выборе формообразования подземной конструкции, что в значительной

степени влияет на экономическую целесообразность выбора фундамента.

В строительном производстве свайные фундаменты, работающие в условиях слабого подстилающего грунтового слоя, классифицируют по следующим признакам, определяющим или влияющим на методы их устройства:

- материалу – железобетонные, бетонные и стальные;
- методам устройства – погружаемые и набивные, которые изготавливают на поверхности земли и затем погружают в грунт в вертикальном или наклонном положении или устраивают непосредственно в самом грунте;
- виду армирования – с напрягаемой и ненапрягаемой продольной арматурой, поперечным армированием и без него;
- конструкции – квадратные, прямоугольные и многоугольные, круглые, с уширением и без него, цельные и составные, призматические и конические, пустотелые, сплошного сечения, винтовые сваи-колонны.

Стандартные схемы работы групп свай и одиночных конструкций представлены на рисунке 1.

Многочисленные исследования, проведенные А. А. Лугой и В. Н. Голубковым, были посвящены определению несущей способности большого числа свай и свайных фундаментов, в том числе со слабым подстилающим слоем, с целью обобщения статических испытаний в различных грунтовых условиях, что легло в основу написания тогда еще СНиПа, а сейчас уже свода правил, а именно были составлены таблицы соответствующих расчетных сопротивлений грунта под нижним концом и по боковой поверхности свай.

В работах прошлого века П. Г. Абраменко, А. А. Бартоломея, Б. В. Бахолдина, Н. Т. Игонькина, Г. С. Колесника, В. Б. Шахирева, А. И. Моргуна, Г. П. Таланова, П. П. Лычева наиболее полно нашло отражение исследование распределения сил трения по боковой поверхности и доля нагрузки, приходящаяся на острие, что легло в основу разработки теоретических методов расчета свай, которые учитывают выявления особенностей работы свай со слабым подстилающим основанием.

В настоящее время при расчете свай, работающих в условиях слабого подстилающего грунтового слоя, используется методика, изложенная в своде правил «Свайные фундаменты», а также методы расчета с использованием компьютерного моделирования, что наиболее полно представлено в главе 4.

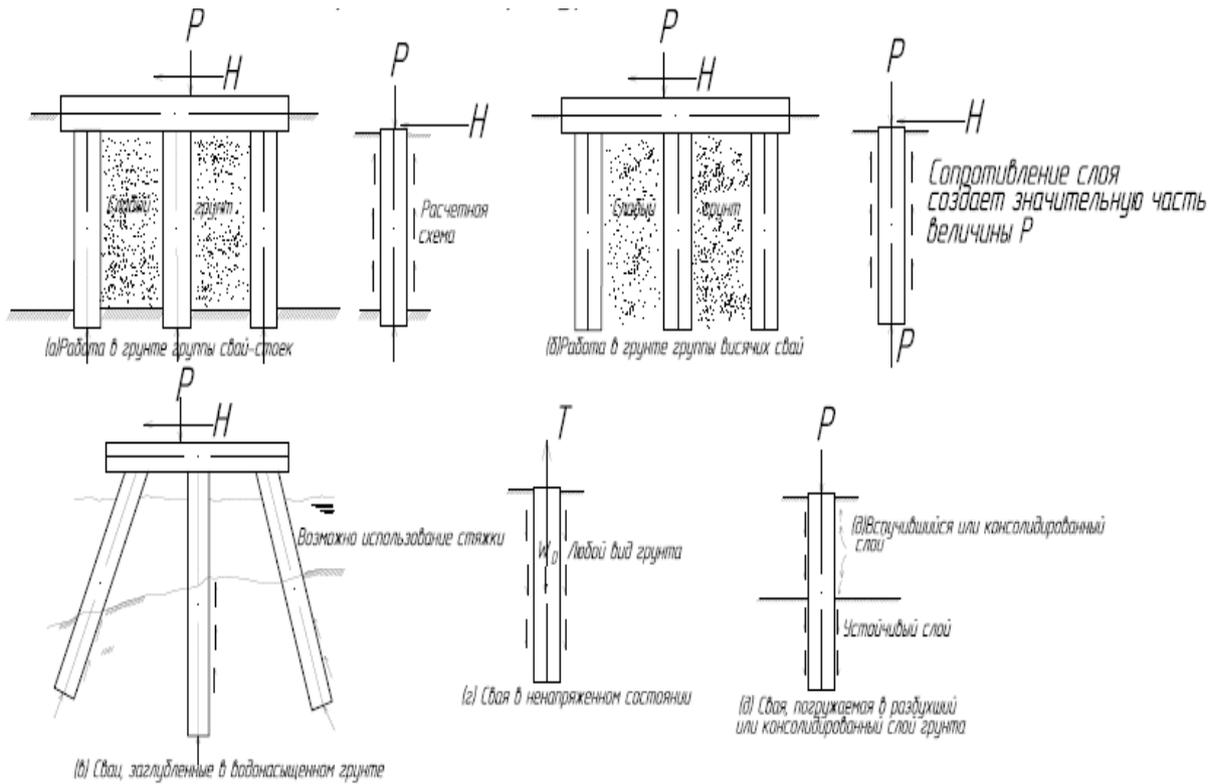


Рис. 1. Стандартные расчетные схемы свай:

- (а) – работа в грунте группы свай – стоек;
- (б) – работа в грунте группы свай;
- (в) – сваи, заглубленные в водонасыщенном грунте;
- (г) – сваи в ненапряженном состоянии;
- (д) сваи, погруженные в разбухший или консолидированный слой грунта

Схема давления на подстилающий слой грунта под подошвой фундамента и распределение расчетного сопротивления грунтовой толщи представлены на рисунке 2.

Основным и достаточным условием в работе фундаментов со слабым подстилающим слоем является определение полного давления от остова здания или сооружения, веса фундамента и грунта на кровельный слой и сравнение его с расчетным сопротивлением грунта:

$$G_{zp} + G_{zg} \leq R_z, \quad (1)$$

где вычисление расчетного сопротивления R_z производят по общепринятой формуле свода правил:

$$R = \frac{\gamma_{c1} \cdot \gamma_{c2}}{k} [M_{\gamma} k_z b_{yc} \gamma_{II} + M_q d_1 \gamma'_{II} + (M_q - 1) d_b \gamma'_{II} + M_c c_{II}], \quad (2)$$

а коэффициенты определяют для слабого подстилающего слоя.

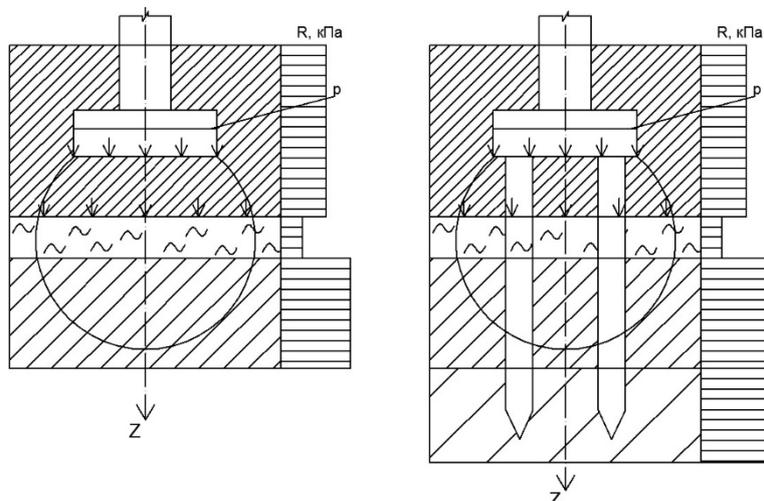


Рис. 2. Схема давления на подстилающий слой грунта под подошвой фундамента и распределение расчетного сопротивления грунтовой толщи

Анализ работы автора над проблематикой показал, что помимо природных условий такая ситуация всегда имеет место при проектировании искусственных оснований, когда прочность грунта, как известно, оценивается по значению сопротивления сдвиговым деформациям, которое зависит от нормальных напряжений, если грунт способен уплотняться. Было выявлено, что проверку слабого подстилающего слоя грунта необходимо вести при сопоставлении касательных напряжений, развивающихся от действующих нагрузок на его

кровле, со значениями сопротивления слабого грунта сдвигу. Особенно стоит выделить, что проверку следовало бы производить для нескольких точек на кровле слабого слоя ввиду рассеивания напряжений от местной нагрузки с глубиной. Один из примеров построения эпюр природного и вспомогательного давления для определения осадки свайного фундамента методом элементарного суммирования, прорезающего слабый грунт, представлен на рисунке 3.

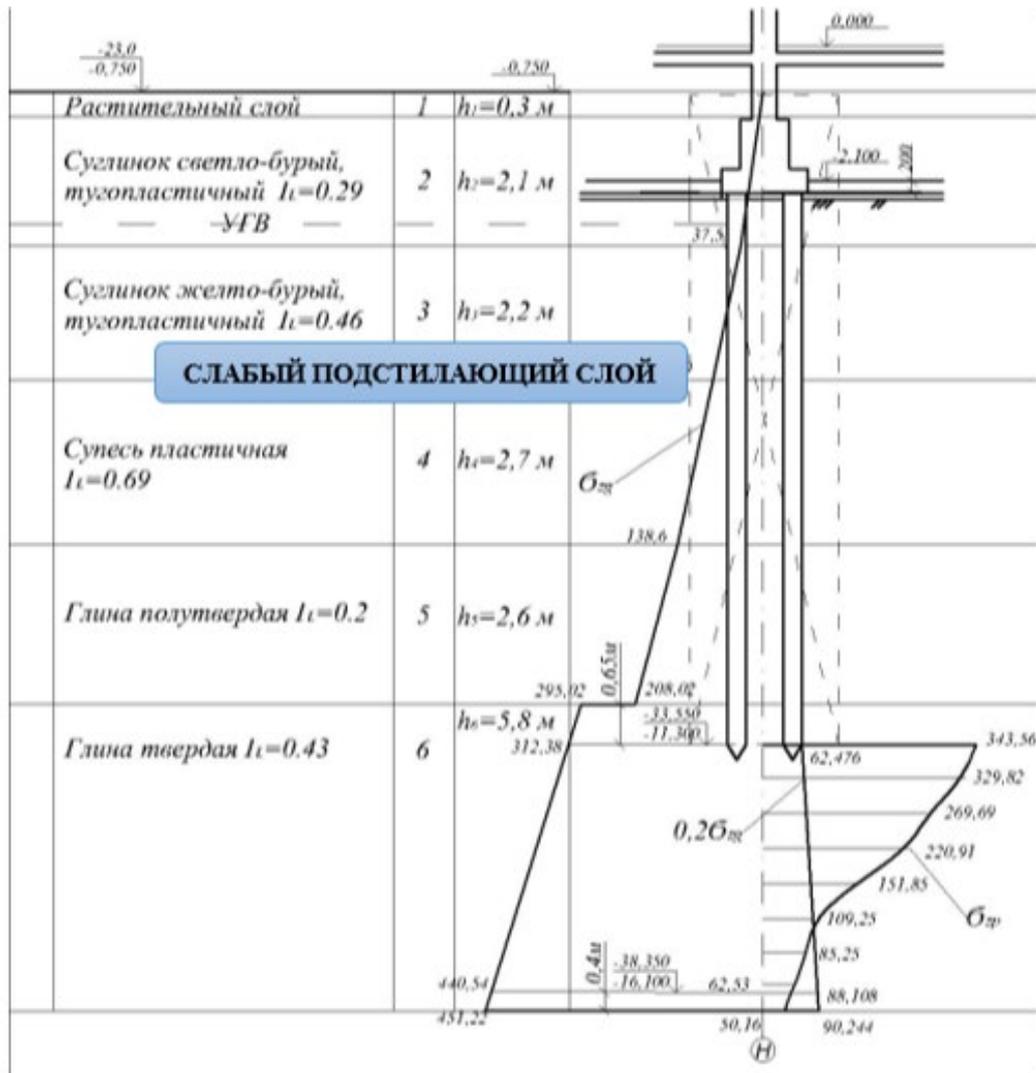


Рис. 3. Построение эпюр природного и вспомогательного давления для определения осадки свайного фундамента методом элементарного суммирования, прорезающего слабый грунт

В первом приближении и для упрощения процедуры проверки пользуются не значениями сопротивления грунта сдвигу, а величиной расчетного сопротивления R_z , вычисленного для условного фундамента, который как бы опирается на кровлю слабого слоя. Ввиду привлечения понятий «условный фундамент» и «расчетное сопротивление грунта пониженной прочности для условного фундамента» последнее

должно сопоставляться со значениями давлений по подошве условного фундамента [1–10].

Метод

Наиболее широко методика расчета свайных фундаментов с учетом слабого подстилающего слоя грунтового основания рассматривается в форме математического моделирования, основанного на дифференциальных уравнениях непосредственно в той форме, в которой они были выведены при помощи одного из двух подходов,

используемых в настоящее время в численном моделировании:

- первый подход основан на аппроксимации дифференциальных уравнений более простыми алгебраическими соотношениями, их принято называть конечно-разностными, или метод конечных разностей;

- второй подход базируется на аппроксимации реальной среды в виде конечных элементов, или метод конечных элементов.

Системы алгебраических уравнений довольно высокого порядка в методе конечных разностей не получили широкого распространения ввиду того, что учет граничных условий часто является трудно программируемой громоздкой задачей,

а точность численного решения зависит от количества узлов, которые образуют конечно-сеточное моделируемое грунтовое полупространство.

Разбиение грунтового массива и тела фундамента глубокого заложения на отдельные элементы в использовании метода конечных элементов базируется на условии, что в результате внешних и внутренних воздействий реакция каждого элемента отражает реакции малой области тела, а точность результирующего напряженно-деформированного состояния достигается наибольшим разбиением на элементы, и чем больше размеры элементов, тем меньше число уравнений. При этом условие непрерывности между элементами налагается обычно в узлах, а не на всем протяжении границ раздела.

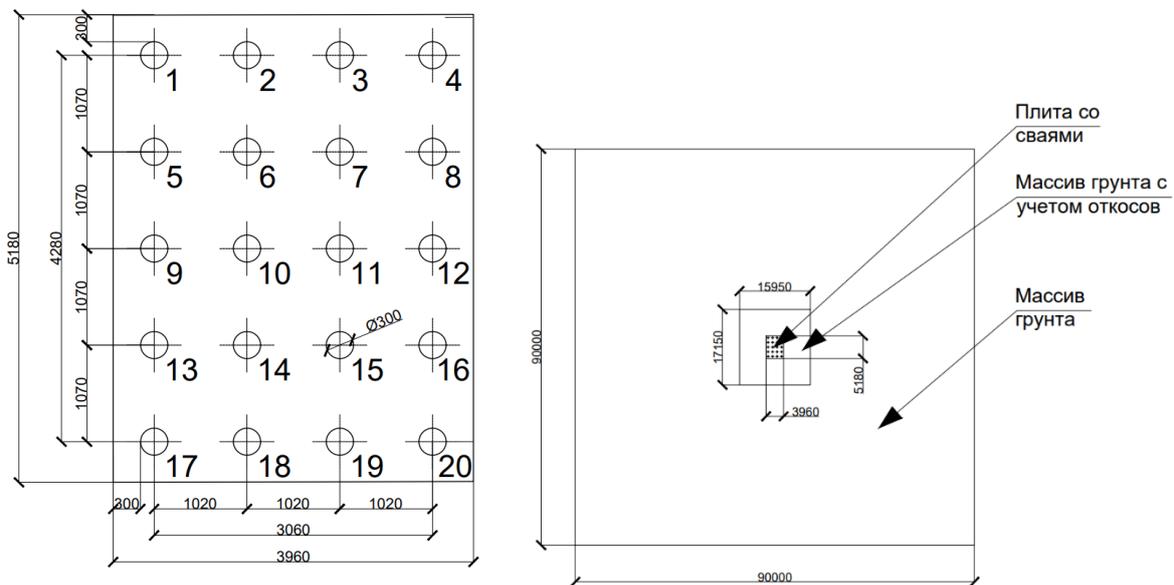


Рис. 4. Конструирование свайно-плитного фундамента из буронабивных свай

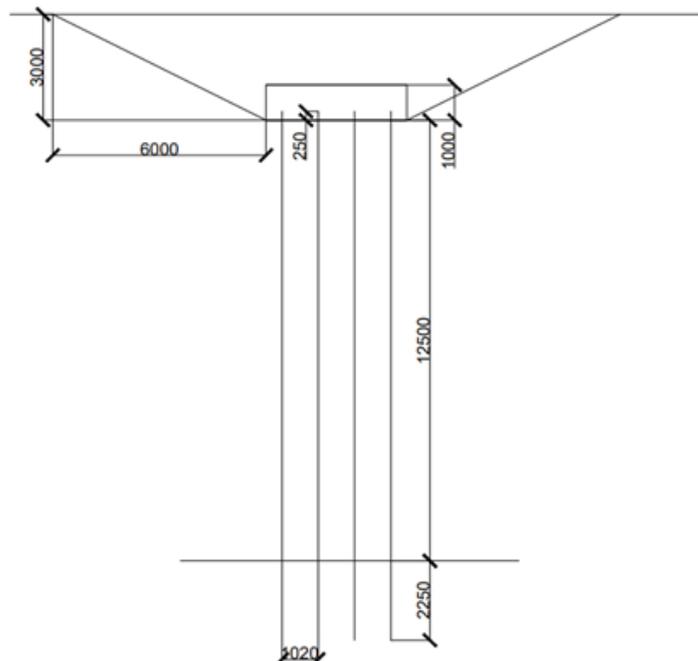


Рис. 5. Геометрические параметры плиты и массива грунта

Геометрическое моделирование

Выполним расчет с помощью ПК MIDAS GTS NX свайно-плитного фундамента из буронабивных свай с упрочняющим подстилающим слоем. Назначение размеров и геометрических характеристик грунтового массива и конструкций при устройстве свайного фундамента, включая их глубину, ширину, высоту и форму, задаем с помощью инструмента Geometry.

Задание материалов и свойств

Задаем физико-механические параметры двух слоев грунтового основания, включая упрочненный подстилающий слой с использованием модели Mohr-Coulomb.

При создании материалов для них были заданы следующие характеристики (табл. 1).

Таблица 1

Заданные характеристики при создании материалов

Наименование	Грунт-1	Грунт-2
модуль упругости (E)	30000 кН/м ²	42000 кН/м ²
коэффициент Пуассона (μ)	0,3	0,3
удельный вес (γ)	17 кН/м ³	24 кН/м ³
температурный коэффициент (γ)	1e-006 К ⁻¹	1e-006 К ⁻¹
затухающие колебания (λ)	0,05	0,08
удельный вес в водонасыщенном состоянии (γ _{sat})	18 кН/м ³	20 кН/м ³
коэффициент пористости(e)	0,65	0,25
связанность(c)	1 кН/м ²	4 кН/м ²
угол трения(φ)	35°	40°

Свая-грунт-1	Свая-грунт-2	Свая-бетон
3	4	5
60 кН/м ²	69 кН/м ²	1e10 кН/м ²
2158 кН/м ³	2482 кН/м ³	1e10 кН/м ³
96750 кН/м ³	637500 кН/м ³	1e10 кН/м ³

Данные для материала «свая – грунт-1», «свая – грунт-2», «свая – бетон» с использованием модели Pile. В завершении этапа «Задание материалов и свойств» необходимо задать свойства для свай (диаметр, периметр сечения, материал):

- материал – бетон;
- диаметр (D) – 0,3 м²;
- периметр сечения сваи (P) – 1,256 м².

Создание сеток конечных элементов

Данный этап предусматривает разделение геометрии грунта, свай и плиты на конечные элементы. Определение размеров элементов и их распределение для адекватного приближения геометрии и структуры объекта. Для создания сеток конечных элементов используются утилиты Mesh.

Настройки расчета

На данном этапе осуществляли задание параметров расчета, включая типы граничных условий, нагрузок и другие факторы, влияющие на поведение системы. Первое, что необходимо выполнить при настройке расчетной модели, это задать собственный вес и граничные условия модели. Для этого используем утилиты Static/Slope Analysis. Для запуска расчета необходимо создать расчетный случай, используя утилиты Analysis.

Результаты

Проведем численный анализ полученных результатов. Оценка деформаций, напряжений, внутренних силовых факторов, устойчивости свай и воздействия на окружающий грунт осуществлялась по изополям НДС (рис. 6–11).

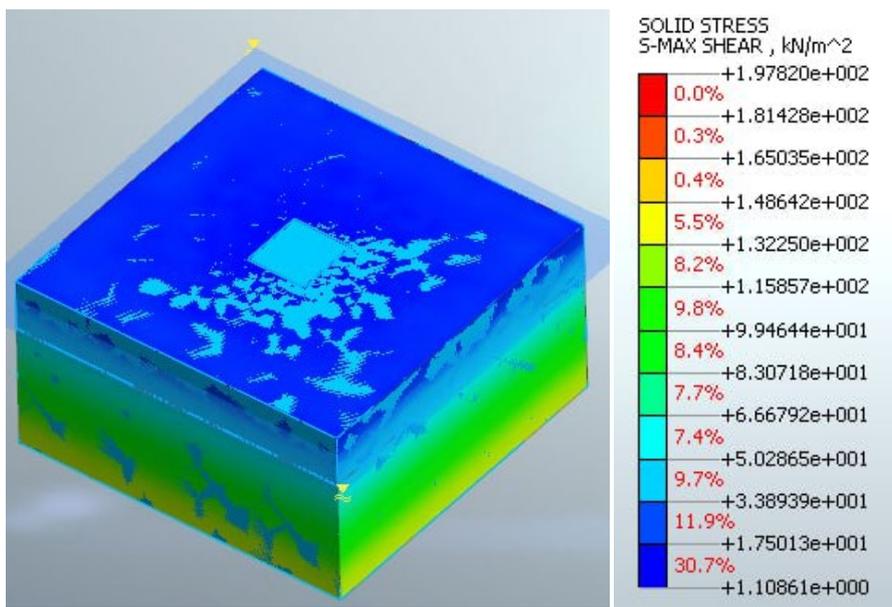


Рис. 6. Максимальное касательное напряжение
 $\sigma_{max} = 1,978 \text{ кН/м}^2$; $\sigma_{min} = 1,108 \text{ кН/м}^2$

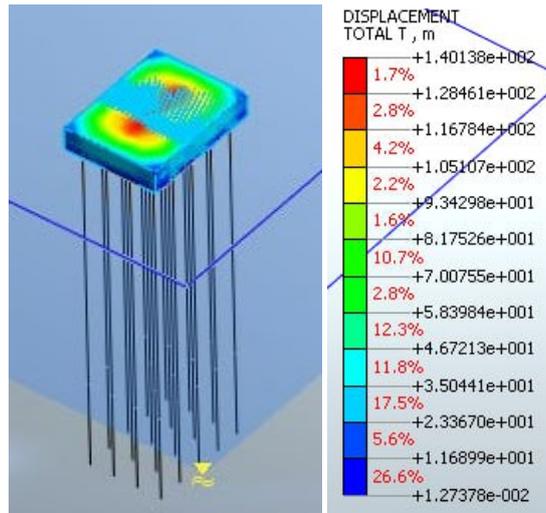


Рис. 7. Геометрическая сумма перемещений вдоль осей X, Y и Z
 $U_{max} = 1,401 \text{ м}; U_{min} = 1,273 \text{ м}$

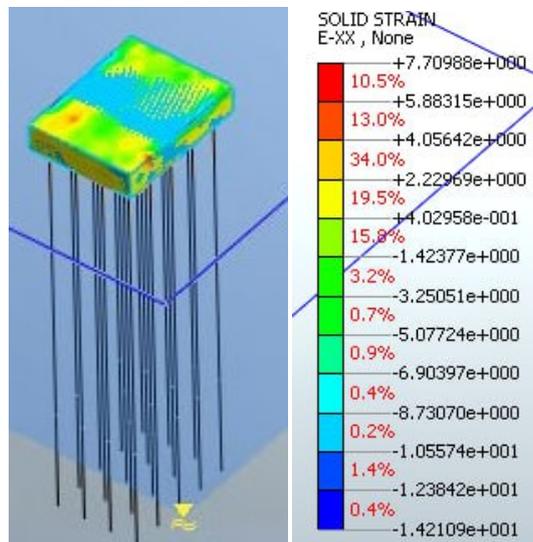


Рис. 8. Упругая деформация относительно оси X
 $\epsilon_{x,max} = 7,709 \text{ Па}; \epsilon_{x,min} = -1,421 \text{ Па}$

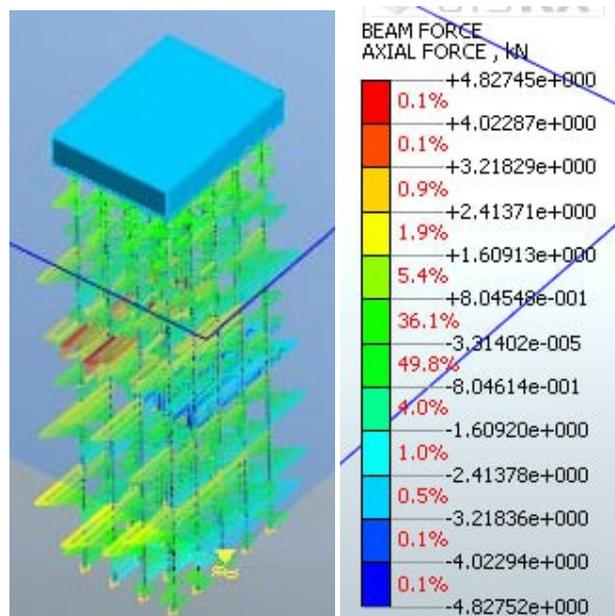


Рис. 9. Продольное усилие в свае $N_{max} = 4,8271 \text{ кН}; N_{min} = -4,827 \text{ кН}$

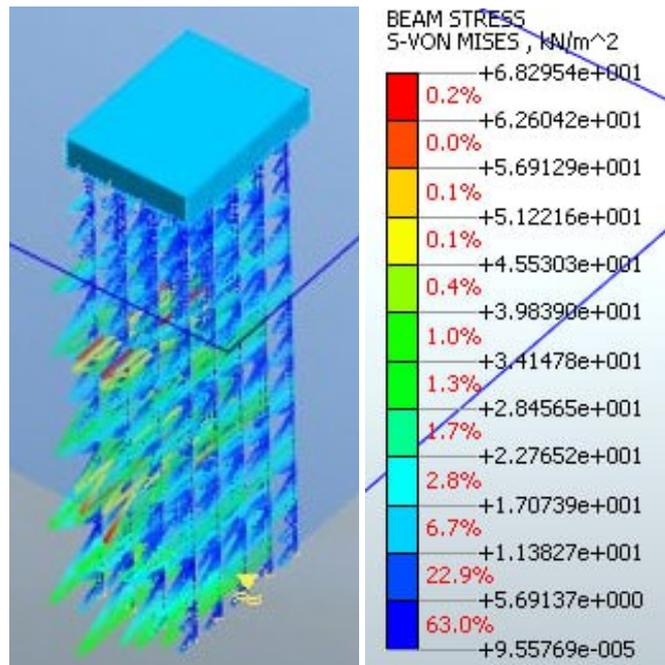


Рис. 10. Напряжения по Мизесу в сваях $\sigma_{m, \max} = 6,829 \text{ кН/м}^2$; $\sigma_{m, \min} = 9,557e^{-5} \text{ кН/м}^2$

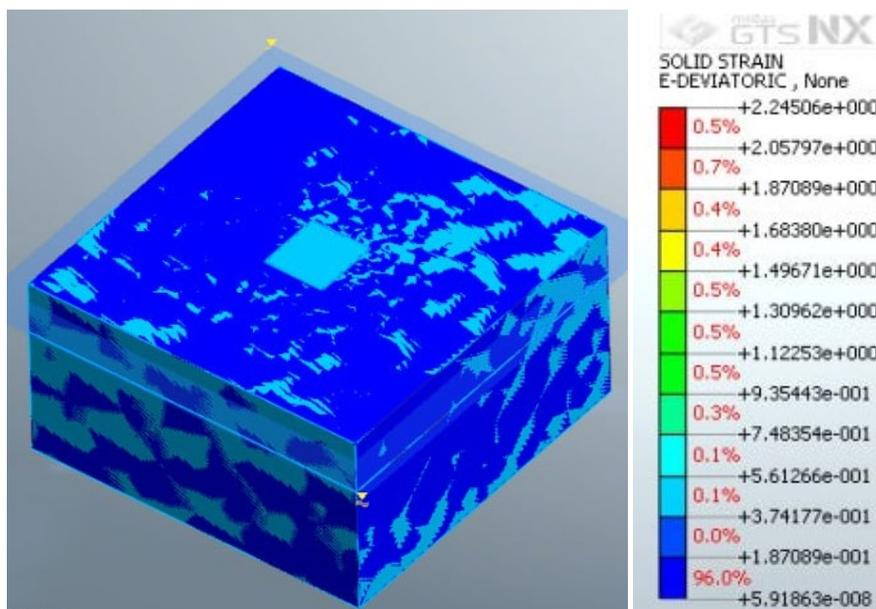


Рис. 11. Девиаторная деформация $q_{\max} = 2,245 \text{ Мпа}$; $q_{\min} = 5,918e^{-5} \text{ МПа}$

Анализ расчетных данных

Анализ расчетных данных представляет собой процесс оценки и интерпретации результатов численных расчетов и экспериментальных данных, проведенных для изучения поведения грунта и конструкций. Анализ расчетных данных включает в себя несколько ключевых шагов:

- **визуализация результатов:** исследование графиков, диаграмм и визуализаций, полученных в результате численного моделирования. Это может включать в себя карты напряжений, деформаций или другие характеристики, которые предоставляют информацию о поведении грунта и конструкции;

- **интерпретация напряжений и деформаций:** оценка распределения напряжений и деформаций в различных частях грунта и конструкции. Это включает в себя определение зон повышенных напряжений или деформаций, а также оценку воздействия этих факторов на структурную стабильность;

- **выявление критических зон:** идентификация областей с наибольшими деформациями, напряжениями или другими параметрами, которые могут представлять риск для конструкции или окружающей среды. Анализ критических зон важен для принятия соответствующих мер по усилению или коррекции проекта.

Все эти шаги обеспечивают комплексный анализ расчетных данных, что позволяет инженерам принимать информированные решения и обеспечивать безопасность и устойчивость геотехнических проектов.

По результатам расчета и анализа данных, полученных при расчете, выявлено:

- напряжения по Мизесу в сваях в уровне работы упрочненного подстилающего слоя в пять раз меньше, чем в уровне второго слоя грунта под плитой и приближаются к значению «0» (рис. 10), $\sigma_{\max} = 1,978 \text{ кН/м}^2$; минимальное – $\sigma_{\min} = 1,108 \text{ кН/м}^2$;

- девиаторная деформация грунта, то есть сдвиговая деформация, которая происходит при девиаторном нагружении, когда одно из главных напряжений возрастает, а два других остаются постоянными в уровне работы упрочненного подстилающего слоя также меньше, приближаются к значению «0», чем в уровне второго слоя грунта под плитой;

- из рисунков 8–10 с отображением изополей нормальных напряжений σ , кН/м^2 и продольных усилий в свае при вертикальном нагружении, приближающемся к предельному значению P для 20-ти буронабивных свай диаметром 0,3 м, длиной 16 м распределение несущей способности осуществлялось следующим образом:

- угловые сваи – от 21 до 11,6 % (4 сваи);
- крайние боковые сваи – от 13,2 до 17,6 % (10 свай);

- центральные сваи – от 3,2 до 10,6 % (6 свай);

- касательные напряжения в плоскости ZX (грунт): $\tau_{\max} = 1,704 \text{ кН/м}^2$; $\tau_{\min} = -1,572 \text{ кН/м}^2$; геометрическая сумма перемещений вдоль осей X, Y и Z: $U_{\max} = 1,401 \text{ м}$; $U_{\min} = 1,273 \text{ м}$; упругая деформация относительно оси X: $\varepsilon_{x,\max} = 7,709 \text{ Па}$; $\varepsilon_{x,\min} = -1,421 \text{ Па}$; продольное усилие в свае (кН): $N_{\max} = 4,8271 \text{ кН}$; $N_{\min} = -4,827 \text{ кН}$; напряжения по Мизесу в сваях: $\sigma_{m, \max} = 6,829 \text{ кН/м}^2$; $\sigma_{m, \min} = 9,557e^{-5} \text{ кН/м}^2$.

Сформулируем в итоге работы основные принципы обеспечения прочностных и деформационных характеристик свайных фундаментов, работающих в грунтовом массиве сложным слабыми, структурно-неустойчивыми грунтами в уровне подстилающего слоя под плитой:

- *прочность* свайных фундаментов определяется исходя из влияния и интенсивности внешних и внутренних воздействий. Внешние воздействия включают в себя природные и искусственные, а внутренние – технологические и функциональные.

- *деформативность* свайных фундаментов, определяемая по второй группе предельных состояний, включает в себя следующие стадии: зарождения деформаций, медленного их развития и лавинообразного разрушения;

- *расчет на сейсмостойкость* свайных фундаментов со слабым подстилающим слоем должен включать определение деформаций и колебаний грунтовых массивов, расчет на излом сваи и сейсморазжижение грунтов;

- *устойчивость* свайных фундаментов является важным фактором, который определяет стойкость к осадке с поворотом, к осадке с поворотом и смещению, сопротивление сдвигу уширения;

- *живучесть* свайных фундаментов – это управление НДС конструкции в процессе эксплуатации, обеспечение конструктивной безопасности, сохранение работоспособности при выходе части элемента из работы;

- к *долговечности* свайных фундаментов можно отнести время естественного износа, обеспечение конструктивной безопасности, сохранение работоспособности при выходе части элемента из работы (уширения);

- *надежность* свайных фундаментов, которая в свою очередь делится на такие составляющие, как теоретическая, технологическая и эксплуатационная. Теоретическая отвечает за доступность геотехнических условий строительства, достоверность исходных материалов по инженерным изысканиям и информации о нагрузках на фундаменты. Технологическая отвечает за соответствие принятой конструктивной схемы методом расчета по действующим условиям. Эксплуатационная – эффективность контроля за параметрами эксплуатационных качеств и системы технического обслуживания и ремонта (рис. 12).

Исследования показали, что деформации прочных грунтовых массивов в основании верхнего конца сваи и слабых в уровне подстилающего наиболее слабого возможно наиболее полно и точно получить с помощью:

- определения объемных деформаций в основании сваи по изменению плотности грунта;

- определения характера и величин перемещений грунта в пределах зоны деформаций с помощью закладываемых в грунт фиксаторов;

- визуально посредством вскрытого основания свай с фотографированием видимых изменений;

- постановкой глубинных марок;

- отбором образцов грунта режущими кольцами с определением объемной массы скелета грунта;

- статической пенетрацией и зондированием;

- при помощи фиксаторов с последующим фотографированием видимых изменений;

- с помощью приборов неразрушающего контроля, основанных на измерении времени распространения импульсных ультразвуковых колебаний (спектрально-временной анализ);

- аналитическими и численными методами проектирования и расчета.

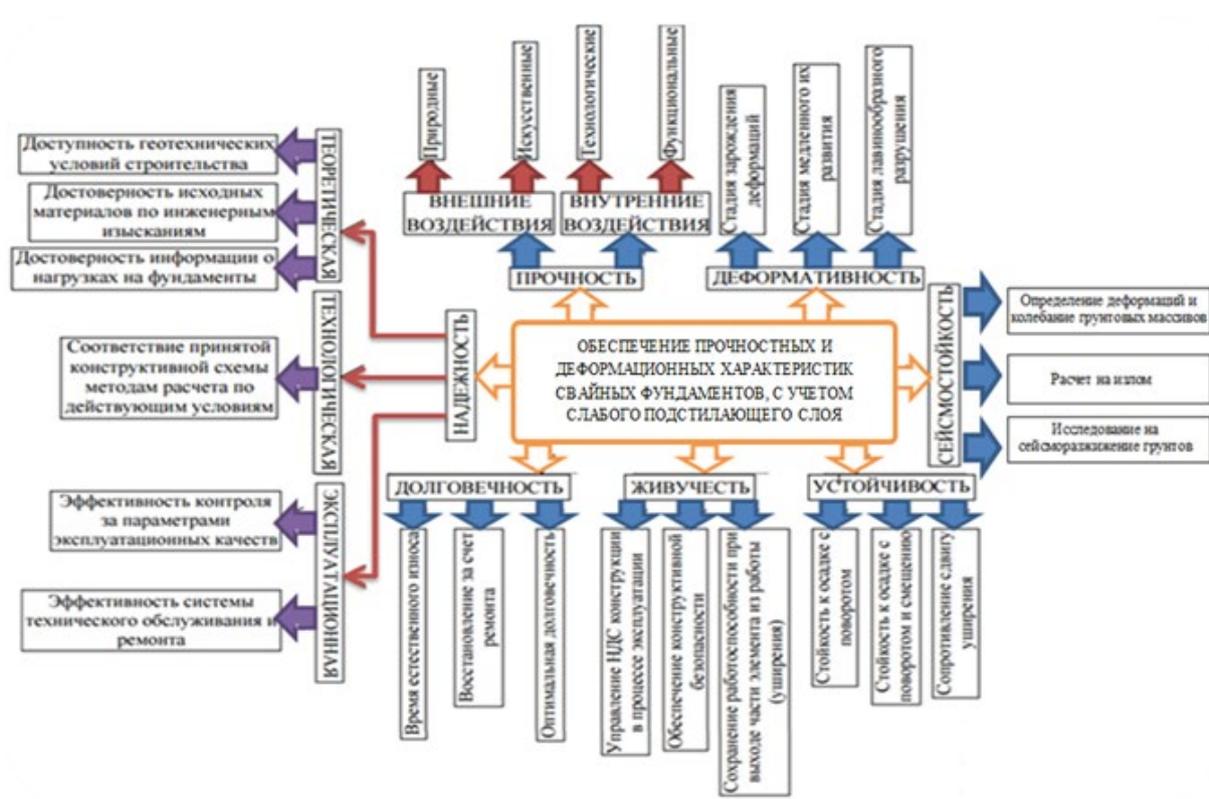


Рис. 12. Концепция эффективного обеспечения прочностных и деформационных характеристик свайных фундаментов, работающих в грунтовом массиве, сложенном слабыми структурно неустойчивыми грунтами

В результате проведенного анализа методов исследования деформации свай с учетом слабого подстилающего слоя, проведенные экспериментальные исследования работы свай и численное моделирование напряженно-деформированного состояния свай в грунтовом массиве с применением ПК

MIDAS GTS NX позволили сформулировать основные предпосылки эффективного обеспечения прочностных и деформационных характеристик свайных фундаментов, работающих в грунтовом массиве, сложенном слабыми структурно-неустойчивыми грунтами под плитой свайно-плитного фундамента.

Список литературы

1. Глухов В. С. Свайно-плитные фундаменты на комбинированном основании / В. С. Глухов, О. В. Хрянина, М. В. Глухова // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2014. – № 2. – С. 229–237. – EDN SFAJTN.
2. Купчикова Н. В. Снижение осадки фундамента путем послыдного 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.
3. 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.
4. Strigin V. Foundation reconstruction technology / V. 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.
5. Купчикова Н. В. Деформационный расчет свай, усиленных цементацией грунта под ее нижним концом при вертикальном и горизонтальном загрузении / Н. В. Купчикова // Строительство и реконструкция. – 2011. – № 4 (36). – С. 29–33. – EDN OIHNHT.
6. Travush V. I. Theoretical Substantiation of the Mechanism Patterns of the Manmade Base “Structural Geotechnical Solid” / V. I. Travush, V. S. Fedorov, O. A. Makovetskiy // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2020. – Vol. 16, № 4. – P. 103–110. – DOI: 10.22337/2587-9618-2020-16-4-103-110. – EDN LCMGYD.
7. Fedorov V. S. Modeling of concrete thermal power resistance during the high-temperature heating / V. S. Fedorov, V. E. Levitsky // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Novosibirsk, July, 01–08 2018. – Novosibirsk : Institute of Physics Publishing, 2018. – Vol. 456. – P. 012041. – DOI: 10.1088/1757-899X/456/1/012041. – EDN WCFRXA.

8. Глушков В. Е. Вытрамбованные фундаменты в грунтах со слабым подстилающим слоем / В. Е. Глушков, А. В. Глушков // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2014. – № 4. – С. 19–26. – EDN SFACDL.

9. Constructive and technological solutions for underground space safety amidst dense historical buildings and weak foundation soils / R. Mangushev, A. Osokin, I. Diakonov, F. Kalach // E3S Web of Conferences : International Scientific Conference “Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East” (AFE-2022), Tashkent, Uzbekistan, January, 25–28 2023. – Tashkent, Uzbekistan : EDP Sciences, 2023. – Vol. 371. – P. 02002. – DOI: 10.1051/e3sconf/202337102002. – EDN NUVLVM.

10. Деформации виброползучести водонасыщенных грунтов в процессе высокочастотного динамического воздействия / Р. А. Мангушев, И. П. Дьяконов, В. М. Полуниин, М. Р. Горкина // Жилищное строительство. – 2022. – № 3. – С. 45–56. – DOI: 10.31659/0044-4472-2022-3-45-55. – EDN SAMBRR.

© Н. В. Купчикова

Ссылка для цитирования:

Купчикова Н. В. Упрочнение слабого подстилающего слоя грунтового основания свайно-плитного фундамента из буронабивных свай // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2024. № 4 (50). С. 77–87.

УДК 691.175.2

DOI 10.52684/2312-3702-2024-50-4-87-92

ВЫБОР ПЛАСТИФИКАТОРА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ВИБРОПОГЛОЩАЮЩИХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЭТИЛЕНВИНИЛАЦЕТАТА

А. Н. Волоцкой, В. В. Авдонин

Волоцкой Алексей Николаевич, старший преподаватель кафедры строительных конструкций и машин, Вятский государственный университет, г. Киров, Российская Федерация ; e-mail: alexeyqwerty@mail.ru;

Авдонин Валерий Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной механики, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарева, г. Саранск, Российская Федерация ; e-mail: avdoninvalerii@bk.ru

Научная статья посвящена прогнозированию динамических свойств вибропоглощающих полимерных композиционных материалов. Выполнен анализ влияния полярных и слабополярных пластификаторов на вибропоглощающие характеристики этиленвинилацетата. Показано, что полярность структурообразующих компонентов полимерного композиционного материала оказывает значительное влияние на его динамические свойства. Для изучения динамических характеристик (тангенс угла механических потерь $\text{tg}\delta$, динамический модуль упругости E') вибропоглощающих полимерных композиционных материалов применялся современный метод динамического механического анализа, позволяющий получить информацию об изменении данных характеристик в широком диапазоне температур. Результаты исследования могут быть использованы для разработки принципов проектирования составов вибропоглощающих полимерных материалов.

Ключевые слова: вибропоглощение, этиленвинилацетат, тангенс угла механических потерь, пластификатор, полярность, хлорпарафин, индустриальное масло.

SELECTION OF A PLASTICIZER FOR THE DEVELOPMENT OF DAMPING POLYMERIC MATERIALS BASED ON ETHYLENE-VINYL ACETATE

A. N. Volotskaya, V. V. Avdonin

Volotskoy Aleksey Nikolayevich, Senior Lecturer of Building Structures and Machinery Department, Vyatka State University, Kirov, Russian Federation, e-mail: alexeyqwerty@mail.ru;

Avdonin Valeriy Viktorovich, Candidate of Technical Science, Associate Professor of Applied Mechanics Department, National Research Mordovian Ogarev State University, Saransk, Russian Federation ; e-mail: avdoninvalerii@bk.ru

The scientific article is devoted to forecasting the dynamic properties of damping polymer composite materials. The effect of polar and weakly polar plasticizers on the damping characteristics of ethylene-vinyl acetate is analyzed. It is shown that the polarity of the structure-forming components of the polymer composite material has a significant effect on its dynamic properties. To study the dynamic characteristics (the mechanical loss tangent $\text{tg}\delta$, the dynamic modulus of elasticity E') of damping polymer composite materials, a modern method of dynamic mechanical analysis was used, which allows obtaining information on changes in these characteristics in a wide range of temperatures. The results of the study can be used to develop principles for designing damping polymer material compositions.

Keywords: damping, ethylene-vinyl acetate, mechanical loss tangent, plasticizer, polarity, chlorinated paraffin wax, industrial oil.