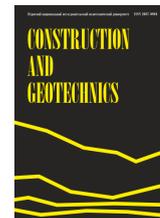




CONSTRUCTION AND GEOTECHNICS

Т. 15, № 3, 2024

<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>



DOI: 10.15593/2224-9826/2024.3.01

УДК 624.154.1

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА И КОНСТРУИРОВАНИЯ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ С ПРОМЕЖУТОЧНЫМ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫМ СЛОЕМ

М.Б. Мариничев, И.Г. Ткачев, И.Г. Азов

Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина,
Краснодар, Российская Федерация

О СТАТЬЕ

Получена: 25 апреля 2024

Одобрена: 11 июня 2024

Принята к публикации:

27 сентября 2024

Ключевые слова:

фундамент, свайный фундамент, промежуточный распределительный слой, усилия, осадки, оголовки сваи.

АННОТАЦИЯ

При строительстве многоэтажных и высотных зданий большое внимание уделяется выбору типа фундамента и особенностям его конструирования. Одним из наиболее распространенных типов фундаментов при строительстве зданий и сооружений в сложных грунтовых условиях являются свайные фундаменты, обеспечивающие безопасную эксплуатацию возводимых объектов. Введение промежуточного распределительного слоя между свайным полем и фундаментной плитой является эффективным решением при действии сейсмических и других динамических нагрузок. Представленные в настоящей статье исследования выполнялись численно и аналитически (с разработкой аналитического метода расчета). Результаты исследований внедрены при строительстве многоэтажных и высотных зданий на территории Юга России.

© **Мариничев Максим Борисович** – доктор технических наук, профессор, e-mail: marinichev@list.ru, ORCID: 0000-0001-6982-3142.

Ткачев Игорь Геннадьевич – аспирант, e-mail: igortkachev001@mail.ru, ORCID: 0000-0002-1798-5569.

Азов Илья Григорисович – аспирант, e-mail: azovig@yandex.ru, ORCID: 0009-0009-1286-0220.

Maxim B. Marinichev – Doctor in Technical Sciences, Professor, e-mail: marinichev@list.ru, ORCID: 0000-0001-6982-3142.

Igor G. Tkachev – Postgraduate Student, e-mail: igortkachev001@mail.ru, ORCID: 0000-0002-1798-5569.

Ilya G. Azov – Postgraduate Student, e-mail: azovig@yandex.ru, ORCID: 0009-0009-1286-0220.



Эта статья доступна в соответствии с условиями лицензии Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

FEATURES OF ANALYSIS AND DESIGN OF PILE FOUNDATIONS WITH A LOAD TRANSFER LAYER

M.B. Marinichev, I.G. Tkachev, I.G. Azov

Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 25 April 2024
Approved: 11 June 2024
Accepted for publication:
27 September 2024

Keywords:

foundation, pile foundation, load transfer layer, forces, settlement, pile head.

ABSTRACT

During the construction of multi-storey and high-rise buildings, much attention is paid to the choice of the type of foundation and the features of its design. One of the most common types of foundations in the construction of buildings and structures in difficult soil conditions is pile foundations, which ensure the safe operation of the objects under construction. The introduction of an intermediate transfer layer between the pile field and the foundation slab is an effective solution under seismic and other dynamic loads. The studies presented in this article were carried out numerically and analytically (with the development of an analytical method of calculation). The results of the research were implemented in the construction of multi-storey and high-rise buildings in the South of Russia.

Введение

При значительных сейсмических нагрузках на основание в сложных инженерно-геологических условиях площадок строительства наиболее приемлемым решением могут быть свайные или свайно-плитные фундаменты, способные снижать сверхнормативные деформации основания. Применение свайных фундаментов в сейсмических районах с учетом действия и других видов внешних нагрузок свидетельствует о существенном увеличении их стоимости. Более экономичным и технологически обоснованным является решение применения свайных фундаментов с промежуточным распределительным слоем, который устраивается на участке между оголовками свай и подошвой ростверка (плиты) [1, 2]. Установлено, что такое решение существенно снижает действие горизонтальных и моментных нагрузок в верхней части свай за счет включения в работу межсвайного грунта и плитной части фундамента (ростверка).

На сегодняшний день реализованы технические решения, предусматривающие устройство промежуточного распределительного слоя для фундаментов зданий в сложных грунтовых условиях [3, 4]. Известны также методы выбора конструктивного материала для промежуточного распределительного слоя, методы назначения его высоты и плотности сложения (укладки) [5]. Однако нормативная база для расчета свайных фундаментов с промежуточным распределительным слоем проработана пока недостаточно, что ограничивает возможность их применения для многоэтажных зданий, в том числе в районах с высокой сейсмичностью.

В настоящей статье изложены результаты исследований, направленных на совершенствование методов расчета и конструирования фундаментов с промежуточным распределительным слоем.

Методика эксперимента и теоретические подходы

В научных работах такой тип фундамента часто рассматривается как вертикально армированное основание, при этом промежуточному распределительному слою и его вкладу в общую эффективность всей конструкции уделяется недостаточное внимание. В зависи-

мости от свойств основания и величины передаваемой на него нагрузки выбираются параметры свайного фундамента и технология его устройства, зависящая в значительной степени от вида грунтов и особенностей их напластования. Исследования авторов и данные наблюдений в разных регионах Российской Федерации (в городах Краснодарского края, Санкт-Петербурге, Казани и др.) свидетельствуют о повышении эффективности свайных фундаментов при устройстве промежуточного слоя.

В настоящей работе проведены теоретические исследования влияния высоты промежуточного распределительного слоя (ПРС), диаметра, шага и длины свай на конечные осадки основания свайных фундаментов с промежуточным распределительным слоем для многоэтажных зданий. На основании проведенных численных исследований и теоретических представлений о механизме работы ПРС в составе фундамента был разработан новый аналитический метод расчета напряжений в ПРС, позволяющий установить их распределение по низу фундамента.

Численные методы

В рамках численных исследований выполнено моделирование работы свайно-плитных и свайных фундаментов с промежуточным распределительным слоем с различной жесткостью надземного строения (от абсолютно гибкого до абсолютно жесткого) в программном комплексе MIDAS FEA NX. Всего подготовлено и проанализировано более 810 моделей фундаментов с различными параметрами при использовании модели упрочняющегося грунта при малых деформациях – Hardening Soil Small-strain (HSS).

Плитный фундамент рассматривался в виде сплошной железобетонной конструкции, геометрические размеры которой в плане 15×30 м, опирание на однородный суглинистый грунт с модулем деформации $E_0 = 14$ МПа; коэффициентом Пуассона $\nu = 0,37$; удельным сцеплением $c = 23$ кПа; углом внутреннего трения $\varphi = 21^\circ$; удельным весом $\gamma = 18$ кН/м³.

Материал плитного ростверка и сваи описывается линейно-упругой моделью с модулем упругости $E = 30000$ МПа (бетон В25) и коэффициентом Пуассона $\nu = 0,2$. Сваи для фундамента представлены железобетонными диаметром $D_p = 300, 600, 900$ мм, но с различным осевым расстоянием $L_p = 3D_p, 6D_p, 9D_p$ и длиной свай $L = 5; 15; 25$ м. Разработанная модель в MIDAS FEA NX представлена на рис. 1.

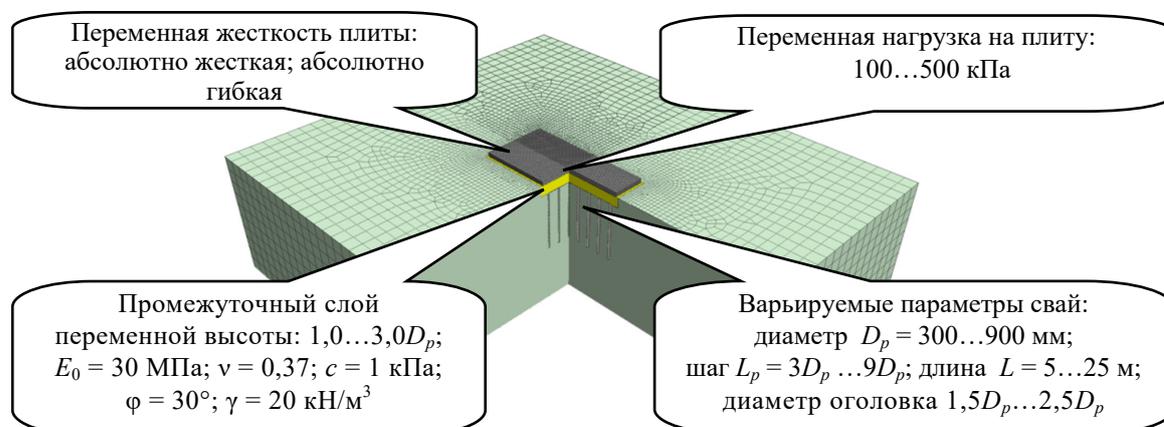


Рис. 1. Пример рассматриваемой модели свайного фундамента с промежуточным распределительным слоем

Fig. 1. Example of a pile foundation model with a load transfer layer

Для оценки степени влияния выбранных параметров на снижение конечных осадок фундамента был определен коэффициент эффективности k_{ef} , определяемый как отношение осадки свайного фундамента с ПРС к осадке фундаментной плиты на естественном основании при различной жесткости фундамента. Следовательно, чем коэффициент k_{ef} ниже, тем техническое решение эффективнее. На рис. 2 показаны изоповерхности, демонстрирующие зависимость коэффициента эффективности k_{ef} от межсвайного расстояния L_p/D_p и отношения высоты промежуточного распределительного слоя к диаметру (h_{gc}/D_p) при различной жесткости фундаментной конструкции.

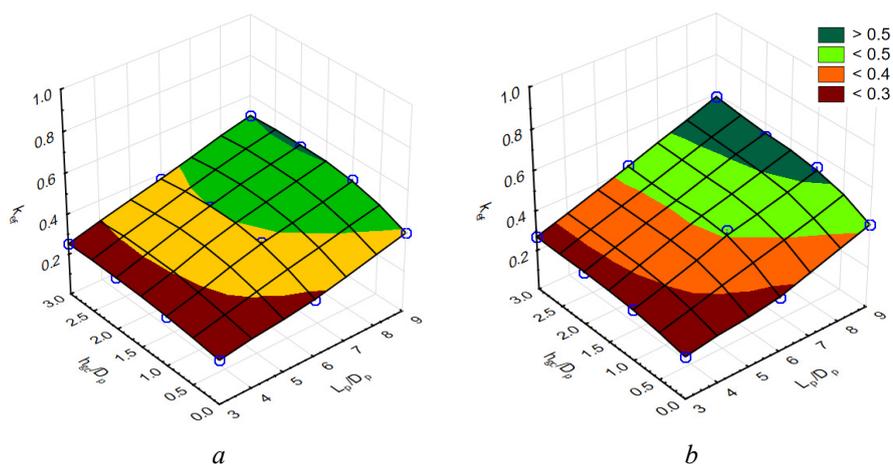


Рис. 2. Диаграммы изменения коэффициента эффективности k_{ef} при давлении по подошве плиты $P = 500$ кПа, $D_p = 300$ мм, $L = 15$ м для: a – гибкой плиты k_{ef}^{fl500} ; b – жесткой плиты k_{ef}^{rg500}
 Fig. 2. Diagrams of variation of efficiency coefficient k_{ef} of settlement reduction at the bottom of the slab pressure $P = 500$ kPa, $D_p = 300$ mm, $L = 15$ m for: a – flexible slab k_{ef}^{fl500} ; b – rigid slab k_{ef}^{rg500}

В ходе исследований установлены доли от общей нагрузки, передаваемые на сваи и плитную часть фундамента. В том числе выявлен характер распределения максимальных усилий в сваях в зависимости от типа их сопряжения с фундаментной плитой (рис. 3).



Рис. 3. Характер распределения максимальных усилий в сваях: a – для свайно-плитного фундамента с жесткой заделкой свай; b – для свайного фундамента с ПРС
 Fig. 3. Character of maximum force distribution in piles: a – pile-slab foundation; b – pile foundation with LTL

При выявленных преимуществах свайных фундаментов с промежуточным распределительным слоем остаются нерешенные вопросы, ограничивающие область применения рассматриваемого технического решения, а именно недостаточная изученность напряженного состояния промежуточного распределительного слоя внутри типовой свайной ячейки, в том числе с учетом габаритов оголовков свай.

Аналитический метод расчета

Расчет промежуточного распределительного слоя, расположенного между фундаментной плитой и грунтовым основанием (ГО), производился на основе уравнений статического равновесия с учетом условий для осадки комбинированного свайно-плитного фундамента (КСПФ).

Нагружение фундаментной плиты весом здания приводит к сжатию ПРС, расположенному между плитой и ГО. Поверхность основания принимаем на одном уровне с головой сваи, обозначенной отрезками AB и A_1B_1 на рис. 4.

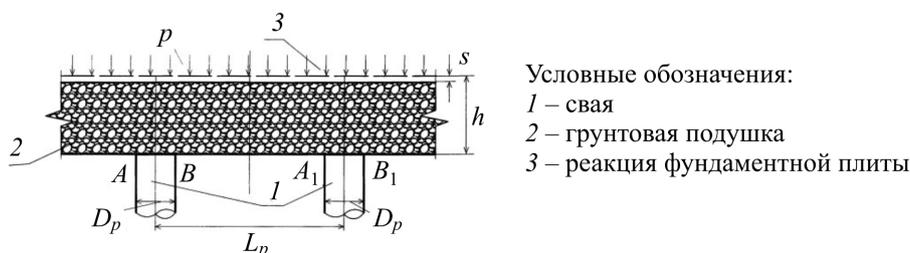


Рис. 4. Сечение вертикальной плоскостью комбинированного свайно-плитного фундамента с промежуточным распределительным слоем по [6]

Fig. 4. Vertical plane cross-section of a combined pile-slab foundation with a load transfer layer according to [6]

При нагружении материал ПРС разрушается по схеме пробоя полосы [7]. Роль полосы выполняет ПРС, штампа – голова сваи. Материал ПРС разрушается сдвигом при сжатии в области, огибающие поверхности скольжения которой образуют криволинейный треугольник (в разрезе), или криволинейный конус – в пространственном изображении. При росте нагрузки область разрушения трансформируется в «несущий столб» уплотненного материала ПРС (рис. 5) [7–9].

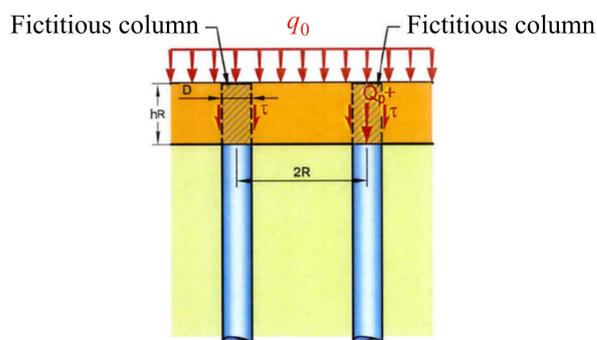


Рис. 5. Схема «несущего столба» грунта по [9]
 Fig 5. Schematic of the "bearing column" of soil according to [9]

«Несущий столб» расширяется в стороны, по мере роста нагрузки [7], причем это расширение имеет больший размер в той его части, которая ближе к свае, как и в случае с действием штампа на ограниченный по толщине слой (рис. 6).

Описанные выше представления позволили построить инженерный метод описания распределения усилий в ПРС и обосновать возможность их изменения путем применения оголовков на сваях.

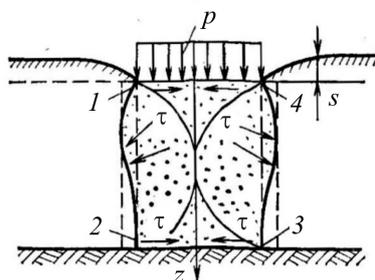


Рис. 6. Идея «несущего столба» грунта по [8]
 Fig 6. The idea of a "load-bearing pillar" of soil according to [8]

В настоящей работе задача о распределении усилий в ПРС решается методом, заключающимся в том, что области предельного равновесия ограничиваются кинематически возможными огибающими, имеющими форму прямых линий [10]. В итоге действующие на огибающих поверхностях усилия выражены в силах.

Вычисления основаны на том, что расчетная ячейка фундамента состоит из четырех буровых сваях, абсолютно жесткой фундаментной плиты, участков ПРС и ГО под ней [6]. На сечении ячейки вертикальной плоскостью показаны верхние части свай (A), область (B) уплотненного материала ПРС над сваями, область (C) уплотненного материала ПРС между четырьмя областями (B), область (D) грунта ГО между сваями (рис. 7). Эти области ограничены кинематически возможными огибающими, имеющими форму прямых линий.

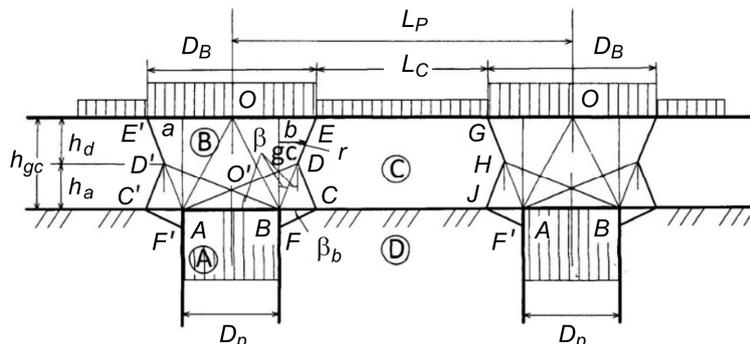


Рис. 7. Схема к расчету ПРС для значений $h_{gc}/D_p = 1,0$ с выделением четырех взаимодействующих грунтовых тел: A – свая, жесткое недеформируемое тело; B – тело из упруго-пластически деформируемого материала ПРС в границах ABCDEE'D'C'A; C – всесторонне сжатое тело из материала ПРС в границах CDEGHJ; D – компрессионно сжатая часть грунтового основания, прилегающая к головам свай

Fig. 7. Schematic of the LTL calculation for $h_{gc}/D_p = 1,0$ values with separation of four interacting ground bodies: A – pile, rigid non-deformable body; B – body of elasto-plastically deformable LTL material in ABCDEE'D'C'A boundaries; C – fully compressed body of LTL material in CDEGHJ boundaries; D – compression-compressed part of soil foundation adjacent to pile heads

Области предельного равновесия вблизи головы сваи сохраняют свои размеры для разных значений толщины ПРС (см. рис. 7), как было показано в [9].

Основное условие равновесия фундамента выражается уравнением сил, действующих на выделенную ячейку [6, 11]:

$$N_f = N_p + P_b, \quad (1)$$

где N_f – вертикальная сила, действующая на выделенную ячейку фундамента от здания, σ_f – среднее напряжение на подошве фундаментной плиты от веса здания, L_p – расстояние между осями свай в квадратной сетке плана свайного поля, N_p и P_b – силы сопротивления сваи и грунта основания между сваями, приходящиеся на выделенную ячейку фундамента соответственно.

Часть силы N_f действует непосредственно на тело B уплотненного материала ПРС, другая часть – на тело C , поэтому силу N_f представим суммой сил:

$$N_f = N_{f,B} + N_{f,C}, \quad (2)$$

где $N_{f,B}$ и $N_{f,C}$ – вертикальные силы, действующие от здания на часть ячейки, ограниченную следом кругового конуса уплотненного грунта, и на часть, расположенную между четырьмя такими следами соответственно (рис. 8).

Условие равновесия тела B запишем в виде

$$N_{f,B} - N_p - T_B - T_D = 0, \quad (3)$$

где N_p , T_B и T_D – равнодействующие реакции сваи на площадке AB , внутреннего трения на поверхности конуса CD и реакции ГО на кольцевой площадке BC соответственно (см. рис. 8, *a*). Силы T_B и T_D показаны двумя векторами, чтобы обозначить на сечении места приложения распределенных усилий. Их равнодействующие располагаются по оси сваи, как это сделано для T_B на рис. 8, *b*.

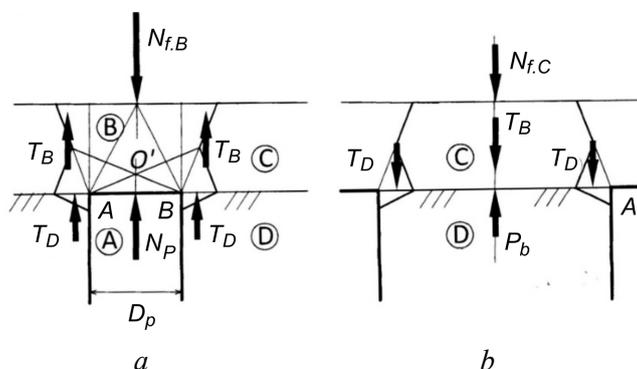


Рис. 8. К расчету ПРС схема сил, действующих на: *a* – тело B ; *b* – тело C
 Fig. 8. Forces to the LTL calculation scheme acting on: *a* – body B ; *b* – body C

Условие равновесия тела C (см. рис. 8, *b*) запишем в виде:

$$N_{f,C} - P_b + T_D + T_B = 0. \quad (4)$$

Суммирование уравнений (2) и (3), с учетом уравнения (4), дает уравнение (1), т.е. условия равновесия фундамента в целом сохраняются, а силы T_B и T_D являются внутренними для него, их алгебраическая сумма равна нулю.

Грунтовое тело B формируется более интенсивно, чем грунтовое тело C , так как в нем выше концентрация напряжений. Поэтому граница между этими телами определяется разрывом перемещений по поверхностям скольжения, следы которых в сечении пред-

ставлены отрезками CD и DE , а также $C'D'$ и $D'E'$ (см. рис. 8). Напряжения сохраняют при этом непрерывность, поэтому перемещению по этим поверхностям препятствуют силы внутреннего трения T_B и T_{DE} . Первые намного больше, чем вторые, потому что в области BDC происходит более упорядоченное движение по поверхностям скольжения, чем в области BOE и силой T_{DE} на поверхности DE можно пренебречь по сравнению с силой T_B на поверхности DC .

Сила T_B вычисляется интегрированием напряжений $\sigma_z(r;\theta)$ на горизонтальных площадках, проходящих через точки отрезков CD и $C'D'$, т. е. на коническом поясе, образованном этими отрезками.

Грунтовое тело B создает давление на тело D на поверхности BC (см. рис. 8 и 9) через ПРС в теле B , частично уравнивая нагрузку $N_{f.B}$. Результирующая этого давления T_D рассчитывается интегрированием напряжений на горизонтальной кольцевой площадке, следами которой в сечении являются отрезки BC и AC' .

Вычисляя силы и напряжения на поверхности фундаментной плиты, проводят их сравнение с предельными значениями прочности материала промежуточного распределительного слоя, после чего делается вывод о необходимости применения оголовков свай.

Оголовок, устраиваемый на свае, шире сваи в плане и имеет высоту не менее половины диаметра сваи. Верхняя грань оголовка может устраиваться как внутри толщины ПРС (см. рис. 9), так и в уровне головы сваи за счет демонтажа верхней части. Оголовок, вне зависимости от способа крепления к свае, можно считать ее частью. Поэтому для анализа влияния оголовка на работу ПРС под нагрузкой приняты за основу предыдущие расчеты.

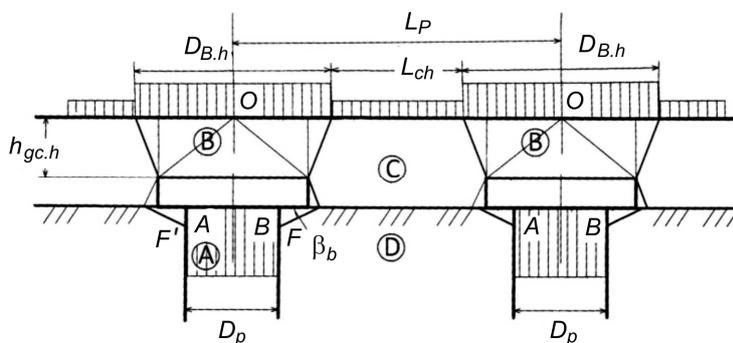


Рис. 9. Схема к расчету ПРС по сваям с оголовками для значений $h_{gc} / D_p = 1,0$

Fig. 9. Schematic of LTL calculation for piles with pile caps for $h_{gc} / D_p = 1,0$

Расстояние между эпюрами напряжений на подошве фундаментной плиты:

$$L_{ch} = L_p - D_{B.H}. \quad (5)$$

При большей толщине ПРС уменьшается расстояние L_{ch} между площадками приложения реакции сваи, что приводит к уменьшению равнодействующей $N_{f.CH}$ и давления материала ПРС на ГО между сваями (рис. 10). Это снижает эффект от включения ГО в общее сопротивление основания фундамента. Поэтому условие $L_{ch} = 0$ можно рассматривать как предельный случай использования распределительной функции ПРС.

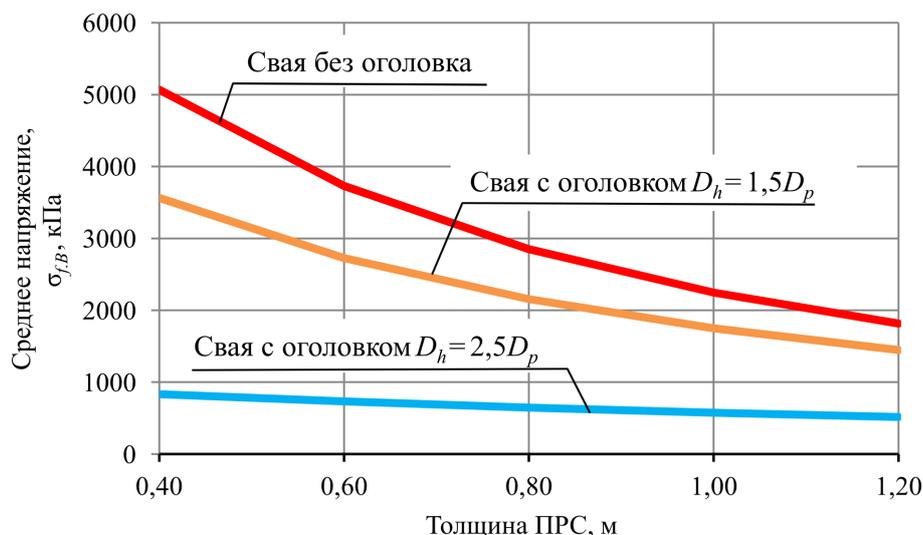


Рис. 10. График напряжений на подошве фундаментной плиты над сваями с оголовками и без оголовков при диаметре $D_p = 0,6$ м; шаге свай $L_p = 3,0$ м; давлении на подошве плиты $\sigma_f = 500$ кПа

Fig. 10. Stress plot at the base slab bottom over piles with caps and without caps for pile $D_p = 0,6$ m; pile spacing $L_p = 3,0$ m; pressure at the base plate sole $\sigma_f = 500$ kPa

Таким образом, разработан аналитический метод расчета, позволяющий оценить напряжения и деформации в пределах ПРС в зависимости от давления на подошве фундаментной плиты, межсвайного расстояния и площади оголовков.

Результаты и обсуждение

В результате применения численных и аналитических решений разработана методика расчета и конструирования свайных фундаментов с промежуточным распределительным слоем, позволяющая на стадии разработки проекта по вычисляемым зависимостям распределения нагрузок между сваями и плитой, а также расчетным значениям конечных осадок таких фундаментов определить требуемые параметры свайного поля, после чего, используя аналитический метод расчета, проверить прочность материала промежуточного слоя и при необходимости назначить свайный оголовок расчетной величины. При этом оголовки могут быть одиночные, ленточные, кустовые, – в зависимости от шага и места расположения рассматриваемых свай в пределах фундамента. По полученным данным выполняются поверочные конечно-элементные расчеты проектного решения и проводятся натурные испытания элементов системы в условиях площадки строительства.

Внедрение разработанной методики расчета и конструирования свайных фундаментов с промежуточным распределительным слоем в условиях Юга России осуществлено на объектах многоэтажного и высотного строительства [11, 12], два из которых приведены на рис. 11, 12.

Таким образом, разработанная методика расчета и конструирования свайных фундаментов с промежуточным распределительным слоем для многоэтажных и высотных зданий дает возможность подобрать высоту промежуточного распределительного слоя и отрегулировать напряжения в нем с учетом оголовков свай или дополнительных компенсирующих мероприятий.



Рис. 11. Пример реализации методики расчета и конструирования фундаментов многоэтажных зданий по ул. Курортный пр-т, 108 в г. Сочи с применением промежуточного распределительного слоя
Fig. 11. Example of implementation of the methodology of calculation and design of foundations of multi-storey buildings at 108 Kurortny av. in Sochi with the use of a load transfer layer

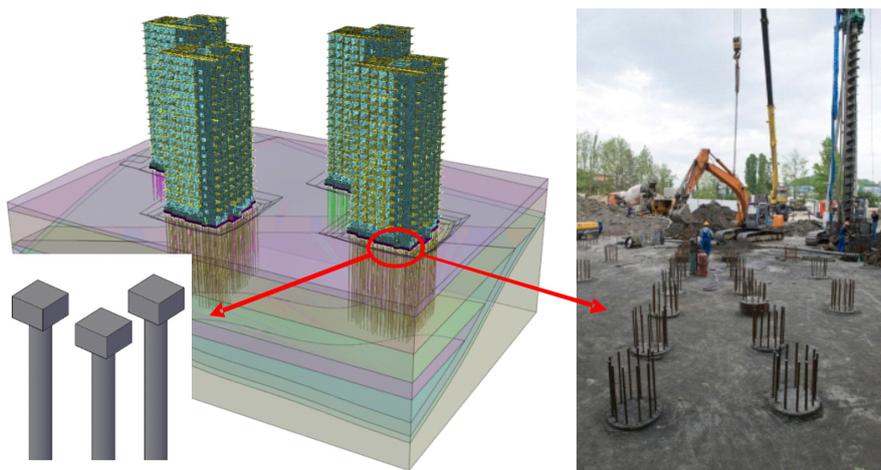


Рис. 12. Пример реализации методики расчета и конструирования фундаментов многоэтажных зданий по ул. Гастелло, 27 в г. Сочи с применением промежуточного распределительного слоя и одиночных оголовков
Fig. 12. Example of implementation of the methodology for calculation and design of foundations of multi-storey buildings at 27 Gastello str. in Sochi with the use of a load transfer layer and single caps

Выводы

При помощи численного моделирования в пространственной постановке на моделях большеразмерных плитных фундаментов (810 расчетных случаев) была установлена взаимосвязь между осадками основания и основными параметрами свайного фундамента с промежуточным распределительным слоем (шагом, длиной и диаметром свай) для абсолютно жесткого и абсолютно гибкого фундамента.

Разработан аналитический метод расчета параметров промежуточного распределительного слоя в составе свайных фундаментов с включением монолитных оголовков, базирующийся на условии его равновесия, расчете действующих сил и напряжений. Использование аналитического метода позволяет вычислять напряжения на поверхности фундаментной плиты над сваями и в пролете между ними.

По результатам численных и аналитических расчетов установлено, что высоту промежуточного распределительного слоя рекомендуется принимать не более $2D_p$, а диаметр оголовка не более $D_h = 2,5D_p$.

На основании зависимостей, установленных в ходе исследований, разработаны рекомендации по проектированию свайных фундаментов с промежуточным распределительным слоем для многоэтажных и высотных зданий, в том числе с учетом различных методов устройства свайных оголовков.

Выполнено внедрение предлагаемых методов конструирования свайных фундаментов с промежуточным распределительным слоем в практику строительства многоэтажных и высотных зданий в Краснодарском крае; подтверждена высокая эффективность реализованных решений, при этом материалоемкость изготовления фундаментов снижена на 30–50 % по отношению к исходным вариантам с жесткой заделкой свай в фундаментную плиту.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов. Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Библиографический список

1. Рекомендации по проектированию свайных фундаментов с промежуточной подушкой для зданий и сооружений, возводимых в сейсмических районах // НИИ оснований им. Герсеванова при участии института «Фундаментпроект». – Кишинев, 1974.
2. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения / под общ. ред. В.А. Ильичева и Р.А. Мангушева. – 3-е изд., доп. и перераб. – М.: Изд-во АСВ, 2023. – 1084 с.
3. Polishchuk, A.I. Evolution of the foundation design methods for multi-storey and high-rise buildings in seismic regions / A.I. Polishchuk, M.B. Marinichev, I.G. Tkachev // Smart Geotechnics for Smart Societies: Proceedings of the 17th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Astana, Kazakhstan, August 14–18, 2023. – Astana, Kazakhstan, 2023. – P. 2358–2364.
4. Расчет и конструирование свайных фундаментов высотных зданий в сложных грунтовых условиях / М.Б. Мариничев, П.А. Ляшенко, В.В. Денисенко, И.Г. Ткачев // Фундаменты. – 2021. – № 1 (3). – С. 58–63.
5. The devastating 06.02. 2023 Turkey–Syria earthquake of extreme intensity XI: Aposteriori estimates and damage prevention / A. Karakozova [et al.] // E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2023. – Vol. 410. – P. 03001. DOI: 10.1051/e3sconf/202341003001
6. Мариничев, М.Б. Фундаменты многоэтажных и высотных зданий в особых условиях Юга России: дис. ... д-ра техн. наук / М.Б. Мариничев. – СПб., 2023. – 355 с.
7. Хилл, Р. Математическая теория пластичности / Р. Хилл. – М.: Гостехиздат, 1956. – 408 с.

8. Гольдштейн, М.Н. Механика грунтов, основания и фундаменты / М.Н. Гольдштейн, А.А. Царьков, И.И. Черкасов. – М.: Транспорт, 1981. – 320 с.
9. ASIRI 2012. Recommendations for the design, construction and control of rigid inclusion ground improvements, Presses des Ponts. – 383 p.
10. Качанов, Л.М. Основы теории пластичности / Л.М. Качанов. – М.: Наука, 1969. – 420 с.
11. Мариничев, М.Б. Исследование работы буровых висячих свай в составе фундаментов многоэтажных и высотных зданий / М.Б. Мариничев. – Краснодар: Просвещение-Юг, 2022. – 155 с.
12. Мариничев, М.Б. Особенности учета инженерно-геологического строения оснований пойменных территорий в сейсмических районах при выборе технических решений фундаментов высотных зданий / М.Б. Мариничев // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура – 2018. – Т. 9, № 1. – С. 103–113. DOI: 10.15593/2224-9826/2018.1.10

References

1. Recommendations on design of pile foundations with intermediate cushion for buildings and structures erected in seismic areas. Research Institute of bases named after Gersevanov under the auspices of the Institute "Fundament-Project". Kishinev, 1974.
2. Directory geotechnics. Bases, foundations and underground structures. 3rd ed. Eds. V.A. Ilchev, R.A. Mangushev. Moscow, ASV, 2023, 1084 p.
3. Polishchuk A.I., Marinichev M.B., Tkachev I.G. Evolution of the foundation design methods for multi-storey and high-rise buildings in seismic regions. *Smart Geotechnics for Smart Societies. Proceedings of the 17th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, Astana, Kazakhstan, August 14–18, 2023. Astana, Kazakhstan, 2023, pp. 2358-2364.
4. Marinichev M.B., Lyashenko P.A., Denisenko V.V., Tkachev I.G. Calculation and design of pile foundations for high-rise buildings in complex ground conditions. *Foundations*, 2021, no. 1 (3), pp. 58-63.
5. Karakozova A. [et al.]. The devastating 06.02. 2023 Turkey–Syria earthquake of extreme intensity XI: Aposteriori estimates and damage prevention. *E3S Web of Conferences*. – EDP Sciences, 2023, vol. 410, pp. 03001. DOI: 10.1051/e3sconf/202341003001
6. Marinichev M.B. Foundations of multi-storey and high-rise buildings in special conditions of the South of Russia. Doctor's degree of dissertation. Saint Petersburg, 2023, 355 p.
7. Hill R. Mathematical theory of plasticity. Moscow, Gostekhizdat, 1956, 408 p.
8. Goldstein M.N., Tsarkov A.A., Cherkasov I.I. Mechanics of soils, bases and foundations: Textbook for universities of railway transport. Moscow, Transport, 1981, 320 p.
9. ASIRI 2012. Recommendations for the design, construction and control of rigid inclusion ground improvements. Presses des Ponts, 383 p.
10. Kachanov L.M. Fundamentals of plasticity theory. Moscow, Nauka, 1969, 420 p.
11. Marinichev M.B. Research of the bored hanging piles work in the foundations of the multistorey and high-rise buildings. – Krasnodar, Prosveshchenie-Yug, 2022, 155 p.
12. Marinichev M.B. Features of subsoil behavior consideration in geotechnical design of high rise buildings located on floodplain territories in seismic regions. *Vestnik PNIIPU. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2018, vol. 9, iss. 1, pp. 103-113. DOI: 10.15593/2224-9826/2018.1.10