

УДК 69.07

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-3\(34\)-134-143](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-3(34)-134-143)

EDN XLTMRJ

ОБ ИССЛЕДОВАНИИ ЗНАЧИМОСТИ ОТДЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОМБИНИРОВАННОГО СВАЙНОГО ФУНДАМЕНТА

Н.Э. УРМАНШИНА[✉], канд. техн. наук

З.Р. МУХАМЕТЗЯНОВ, д-р техн. наук

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»,
ул. Космонавтов, д. 1, г. Уфа, 450064, Российская Федерация

Аннотация

Введение. В статье рассматриваются перспективы использования комбинированных свайных фундаментов в качестве фундаментов колонн каркасных зданий и сооружений.

Цель исследования: выявление значимости и роли отдельных элементов комбинированного свайного фундамента и его основания для достижения максимальной несущей способности.

Материалы и методы. Для достижения поставленной цели применен комплекс численных теоретических исследований горизонтально нагруженных комбинированных свайных фундаментов. Для выявления значимости факторов на формирование несущей способности свайных фундаментов рассматриваемого типа на горизонтальную нагрузку и момент использовались численные трехуровневые исследования. В проведенном исследовании рассматривались следующие факторы: коэффициент постели грунта вокруг подколонника k_u ; коэффициент постели околосвайного грунта k_p ; поперечный размер подколонника d_u ; высота подколонника l_u ; угол наклона сваи к вертикали α . Значимость каждого фактора предполагалось оценивать величиной перемещения подколонника фундамента в уровне поверхности грунта, который описывается квадратным полиномом от пяти переменных.

Результаты. Анализ абсолютных значений коэффициентов полинома и степени влияния исследуемых факторов на величину горизонтального перемещения подколонника комбинированных свайных фундаментов в уровне поверхности грунта от действия горизонтальной и моментной нагрузок позволяет выявить вклад в формирование сопротивления фундаментов горизонтальной нагрузке. Было определено, что наиболее значимыми факторами в формировании сопротивления фундаментов горизонтальной нагрузке являются коэффициент постели грунта вокруг подколонника k_u и поперечный размер подколонника d_u (повышают сопротивляемость фундамента действию горизонтальной нагрузки на 60 и 35 % соответственно). Остальные факторы оказывают значительно меньшее влияние.

Выводы. Использование комплекса численных теоретических исследований горизонтально нагруженных комбинированных свайных фундаментов позволяет выявить значимость и роль отдельных его элементов и основания, а также обосновать количественные значения факторов влияния на несущую способность фундаментов.

Ключевые слова: свайные фундаменты, комбинированные свайные фундаменты, несущая способность, свая, численный эксперимент

Для цитирования: Урманшина Н.Э., Мухаметзянов З.Р. Об исследовании значимости отдельных элементов комбинированного свайного фундамента. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2022;34(3):134–143. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-3\(34\)-134-143](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-3(34)-134-143)

Вклад авторов

Урманшина Н.Э. – определена и обоснована методика расчета отдельных элементов комбинированного свайного фундамента и его основания.

Мухаметзянов З.Р. – исследованы и предложены пути оптимизации конструкции комбинированных свайных фундаментов.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 18.04.2022

Поступила после рецензирования 29.07.2022

Принята к публикации 16.08.2022

STUDY INTO THE SIGNIFICANCE OF INDIVIDUAL ELEMENTS IN A PILED-RAFT FOUNDATION

N.E. URMANSHINA✉, Cand. Sci. (Engineering)

Z.R. MUKHAMETZANOV, Dr. Sci. (Engineering)

Ufa State Petroleum Technological University, Kosmonavtov str., 1, Ufa, 450064, Russian Federation

Abstract

Introduction. The prospects of using piled-raft foundations to support the columns of frame buildings and civil engineering works are examined.

Aim. To determine the significance and role of individual elements in a piled-raft foundation and its underlying soil to achieve the maximum load capacity.

Materials and methods. In order to achieve the stated aim, a series of theoretical numerical studies into horizontally loaded piled-raft foundations was conducted. Here, three-level numerical studies were used to determine the effect of various factors on the load capacity of piled-raft foundations under horizontal and moment loading. The following factors were considered in this work: coefficient of soil reaction around the column pedestal k_v ; coefficient of near-pile soil reaction k_p ; transverse dimension of the column pedestal d_v ; pedestal height l_v ; inclination angle of the pile to the vertical α_p . The significance of each factor was assessed in terms of the column pedestal displacement at the soil surface level, which is described by a quadratic polynomial in five variables.

Results. The impact on foundation resistance to horizontal loading can be determined by analyzing the absolute values of polynomial coefficients and the extent to which the considered factors affect the horizontal pedestal displacement in piled-raft foundations under horizontal and moment loading at the soil surface level. It is established that the most significant factors contributing to the foundation resistance to horizontal loading include the coefficient of soil reaction around the column pedestal k_v and the transverse dimension of the column pedestal d_v (increasing the foundation resistance to horizontal loading by 60% and 35%, respectively). The other factors have a significantly lower impact.

Conclusions. It is shown that numerical theoretical studies into horizontally loaded piled-raft foundations reveal the significance and role of its individual elements and underlying soil, as well as justifying the values of factors affecting the load capacity of foundations.

Keywords: pile foundations, piled-raft foundations, load capacity, pile, numerical experiment

For citation: Urmanshina N.E., Mukhametzyanov Z.R. Study into the significance of individual elements in a piled-raft foundation. *Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2022;34(3):134–143. (In Russ.) [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-3\(34\)-134-143](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2022-3(34)-134-143)

Author contribution statements

Urmanshina N.E. – selection and justification of a calculation procedure for the individual elements of a piled-raft foundation and underlying soil.

Mukhametzyanov Z.R. – study and proposal of ways to optimize the design of piled-raft foundations.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 18.04.2022

Revised 29.07.2022

Accepted 16.08.2022

В настоящее время в связи с широким использованием для строительства площадок с неблагоприятными инженерно-геологическими условиями (недостаточная несущая способность основания, большая мощность насыпных грунтов, высокий уровень подземных вод, опасные геологические процессы, сложные рельефы и напластования грунтов и т. д.), строительством зданий повышенной этажности, увеличением предельных нагрузок на основания, передачей на них значительных комплексных статических, динамических, знакопеременных нагрузок находят успешное применение свайные фундаменты. Это подтверждается детальным анализом различных конструкций фундаментов для зданий и сооружений, наиболее широко используемых в строительстве [1, 2].

В связи с этим заслуживает внимания рассмотрение комбинированного свайного фундамента (далее – КСФ), используемого в качестве фундамента колонн каркасных зданий и сооружений в виде безростверкового свайного фундамента [3, 4].

КСФ являются достаточно сложными конструкциями, сопрягаемыми последовательно из нескольких элементов. Это приводит к суммированию несущей способности по грунту, значительно превышающей поэлементную погружающую способность копра. Конфигурация, размеры и параметры сопрягаемых элементов КСФ существенно влияют на несущую способность, в т. ч. горизонтальную. Однако рациональность конфигурации и геометрических размеров отдельных сопрягаемых элементов, их «вклад» в несущую способность КСФ изучены неполно, что не позволяет оптимизировать параметры фундамента и повысить его технико-экономические показатели.

Следовательно, существующие в этой области теоретические положения и практические рекомендации нуждаются в усилении степени их обоснованности. В связи с этим представляется актуальным рассмотрение оценки степени влияния отдельных элементов КСФ и его основания на несущую способность [5, 6].

КСФ являются эффективным типом фундаментов колонн каркасных зданий и сооружений, воспринимающие значительные горизонтальные нагрузки (500–700 кН), которые позволяют достичь высоких технико-экономических показателей в условиях глинистых грунтов [7].

КСФ представляет собой фундамент, выполненный путем сопряжения одной или нескольких свай, погруженных в предварительно выштампованную (продавленную, пробуренную) полость, которая затем бетонируется для омоноличивания голов свай с одновременным устройством стакана для железобетонных или анкерных болтов для металлических колонн. КСФ являются многоэлементной конструкцией и для их эффективного применения на практике необходимо выполнить исследования по оптимизации конструкции КСФ и обоснования расчетной схемы для расчета (рис. 1).

Одним из путей совершенствования методов расчета КСФ является определение факторов, оказывающих наибольшее влияние на сопротивляемость фундамента действию сил. С этой целью были проведены численные трехуровневые эксперименты по выявлению значимости факторов при работе КСФ на горизонтальную нагрузку и момент с использованием разработанного программного продукта [8, 9] (рис. 2). На основании ранее проведенных натурных испытаний КСФ были приняты пять факторов, которые, по мнению авторов, вносят наибольший вклад в формирование сопротивления фундаментов горизонтальной нагрузке: коэффициент постели грунта вокруг подколонника k_u ; коэффициент постели околосвайного грунта k_p ; поперечный размер подколонника d_u ; высота подколонника l_u ; угол наклона сваи к вертикали α_p .

Границы (пределы) изменения каждого фактора проанализированы и приняты с учетом применяемых и возможных геометрических размеров элементов КСФ (подколонника и свай), характерных грунтовых условий (коэффициенты постели), нагрузок и конструктивных особенностей экспериментально-производственных фундаментов рассматриваемого типа с учетом погружающей способности современных копров [9].

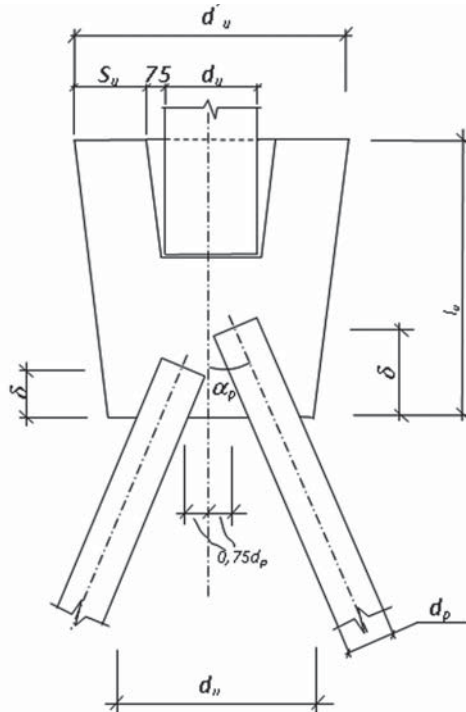


Рис. 1. Схема комбинированного свайного фундамента

Fig. 1. Schematic of a piled-raft foundation

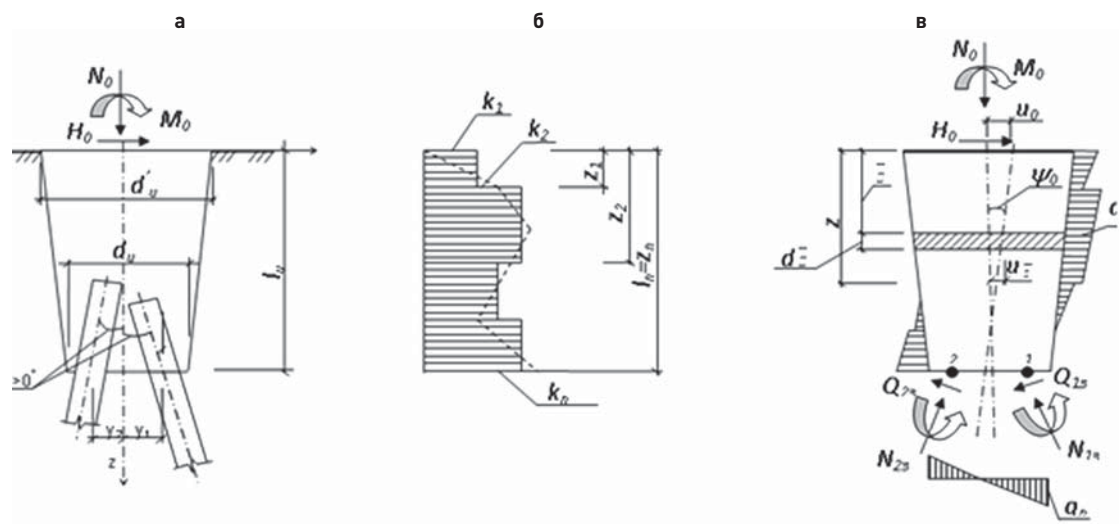


Рис. 2. Расчетная схема комбинированного свайного фундамента
Fig. 2. Design of a piled-raft foundation

Для упрощения записи условий численного эксперимента и обработки экспериментальных данных были определены безразмерные значения каждого фактора по формуле (1):

$$X_i = \frac{f_i - (f_{iB} + f_{iH})/2}{(f_{iB} - f_{iH})/2}, \tag{1}$$

где f_{iB}, f_{iH} – соответственно верхнее и нижнее значение фактора f ;
 f_i – промежуточное значение фактора f .

В нормализованном (безразмерном) виде значения факторов f на верхнем уровне равны +1, на нижнем – -1, а на основном – 0 [10]. Натуральные и нормализованные значения каждого фактора приведены в табл. 1.

Таблица 1
Натуральные и нормализованные значения факторов

Table 1

Natural and normalized values of the factors

Нормализованные (безразмерные) значения фактора в зависимости от уровня эксперимента	Натуральные (количественные) значения факторов				
	$k_y [x_1],$ кН/м ³	$k_p [x_2],$ кН/м ³	$d_y [x_3],$ м	$l_y [x_4],$ м	$\alpha_p [x_5],$ 0°
-1	1000	2000	0,9	1,5	6
0	3000	4000	1,2	2,0	9
+1	5000	6000	1,5	2,5	12

Выходными параметрами программы являются перемещение в уровне поверхности грунта и изгибающий момент в заделке сваи в подколонтнике. За контрольный показатель принято горизонтальное перемещение в уровне поверхности грунта.

По таблицам планов эксперимента [11] выбран трехуровневый план эксперимента № 74 для пяти вышеперечисленных факторов, и согласно выбранному плану были проведены 24 расчета по разработанной программе. Принятый план эксперимента описывает модель линейную по параметрам. Поэтому для данного трехуровневого пятифакторного эксперимента перемещение в уровне поверхности грунта можно записать в виде квадратного полинома от пяти переменных:

$$Y = b_0 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 + b_{44}x_4^2 + b_{55}x_5^2 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_5 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{14}x_1x_4 + b_{15}x_1x_5 + b_{23}x_2x_3 + b_{24}x_2x_4 + b_{25}x_2x_5 + b_{34}x_3x_4 + b_{35}x_3x_5 + b_{45}x_4x_5 + e, \quad (2)$$

где $x_1 \dots x_5$ – независимые переменные – нормализованные значения факторов;

Y – результат численного эксперимента в точке $(x_1 \dots x_5)$, в данном случае перемещение подколонтника КСФ в уровне поверхности грунта, см;

b_0 – свободный член уравнения регрессии;

b_i, b_{ii} – коэффициенты при факторах и квадратах факторов;

b_{ij} – коэффициенты регрессии при попарном произведении факторов $x_i \cdot x_j$;

e – ошибка наблюдения.

Вычисленные значения коэффициентов полинома b_{in} , определенные методом наименьших квадратов и подставленные в уравнение регрессии, позволили определить перемещения КСФ на уровне поверхности грунта, а также величины невязки значений горизонтальных перемещений, определенных в результате численных экспериментов и по полученному уравнению регрессии.

Расхождения значений перемещений по численным экспериментам и вычисленным по полиному в среднем составили 5,47 %. Данное уравнение регрессии с достаточной точностью описывает горизонтальное перемещение КСФ. В результате вычислений получены следующие значения коэффициентов полинома:

$b_0 = 0,00283581958222134$	$b_{12} = 4,61914525256957e-05$
$b_{11} = 0,00109568859026923$	$b_{13} = 0,00051223423545575$
$b_{22} = 0,000146859006750549$	$b_{14} = -0,000177027018385806$
$b_{33} = 0,000114984006750555$	$b_{15} = 8,15573411972953e-05$
$b_{44} = -0,000357084811955183$	$b_{23} = 4,70936003936459e-06$
$b_{55} = -0,00015706709154895$	$b_{24} = 2,69976413337784e-05$
$b_1 = -0,00154892225892749$	$b_{25} = -1,60328099987952e-05$
$b_2 = 5,46965626827937e-06$	$b_{34} = 0,00012600332315196$
$b_3 = -0,00104504170736808$	$b_{35} = -2,20755929288494e-05$
$b_4 = -0,000116444996548696$	$b_{45} = 9,37400270687398e-05$
$b_5 = -9,71608952911293e-0$	

Рассмотрим степень влияния линейных эффектов (т. е. коэффициентов b_i при нормализованных значениях выбранных факторов x_i в уравнении регрессии) на работу КСФ на горизонтальную нагрузку и изгибающий момент, исходя из предположения, что «чем больше численная величина коэффициента, тем большее влияние оказывает фактор».

Таблица 2

Коэффициенты независимых переменных полинома

Table 2

Coefficients of independent polynomial variables

Значение коэффициента полинома	Коэффициент уравнения регрессии	Слагаемое полинома	Варьируемый фактор численного расчета
0,0028358	b_0		–
–0,0015489	b_1	x_1	k_u (коэффициент постели грунта вокруг подколонника)
–0,0010450	b_3	x_3	d_u (поперечный размер подколонника)
–0,0001164	b_4	x_4	l_u (высота подколонника)
–0,0000972	b_5	x_5	α_p (угол наклона свай)
0,0000055	b_2	x_2	k_p (коэффициент постели околосвайного грунта)

Анализ абсолютных значений коэффициентов полинома (табл. 2) и степень влияния исследуемых факторов на величину горизонтального перемещения подколонника КСФ в уровне поверхности грунта от действия горизонтальной и моментной нагрузок позволяет выявить следующие особенности:

– свободный член уравнения регрессии b_0 равен некоторому начальному перемещению подколонника, которое будет при любом сочетании факторов варьирования. Из множества сочетаний исследуемых факторов найдется такое, что все значения факторов в стандартизованном виде будут равны 0 (на среднем уровне варьирования), тогда перемещение подколонника в уровне грунта будет равно b_0 ;

– линейный эффект b_1 коэффициента постели грунта вокруг подколонника k_u – самый важный фактор – подтверждает, что несущая способность КСФ исчерпывается по грунту, причем именно подколонник воспринимает на себя основное воздействие горизонтальной и моментной нагрузок. Коэффициент b_1 уменьшает значение горизонтального перемещения подколонника Y (до 60 %), т. е. чем больше коэффициент постели грунта вокруг подколонника, тем выше несущая способность фундамента. Разброс значений перемещений составляет примерно 0,2–0,3 см;

– линейный эффект b_3 поперечного размера подколонника d_u – также значимый фактор, положительно влияющий на повышение несущей способности КСФ воздействию горизонтальной силы и момента. Увеличение поперечного размера подколонника до адекватных пределов, с учетом технологической возможности устройства монолитного либо сборного подколонника, повышает сопротивляемость КСФ действию горизонтальной нагрузки на 35 %, т. е. уменьшает горизонтальное перемещение Y на величину 0,086 см;

– линейный эффект b_4 высоты подколонника l_u – высота подколонника не оказывает столь большого влияния на сопротивляемость КСФ воздействию горизонтальной нагрузки, в отличие от вышеприведенных факторов. Увеличением высоты подколонника нецелесообразно добиваться повышения несущей способности КСФ, т. к. если длина подколонника недостаточна для восприятия горизонтальной и моментной нагрузок, то в работу вступают сваи;

– линейные эффекты b_5 угла наклона свай α_p и b_2 коэффициента постели околосвайного грунта k_p – в абсолютном значении наименее значимые факторы подтверждают данные о том, что КСФ нагрузку от горизонтальной силы и момента в основном воспринимает

подколонником. Линейные эффекты l_u , α_p , k_p изменяют величину горизонтального перемещения всего на 6–10 %, что в натуральных единицах составляет 0,027–0,072 см.

Вышеизложенный анализ результатов численных экспериментов наглядно прослеживается на рис. 3 в виде гистограммы разброса значений горизонтальных перемещений подколонника КСФ в уровне дневной поверхности грунта. Первая колонка в каждой группе гистограммы показывает перемещение подколонника КСФ на нижнем уровне варьирования рассматриваемого фактора (значение фактора в нормализованном виде – –1), вторая – на среднем (0), и третья – на верхнем (+1).

Значительный разброс значений горизонтального перемещения подколонника в уровне поверхности грунта (группа № 1 гистограммы, рис. 3) свидетельствует о максимальном влиянии коэффициента постели грунта вокруг подколонника k_u на величину перемещения подколонника. Это абсолютно коррелируется с утверждением, что в системе «фундамент – основание» «слабым звеном» является основание.

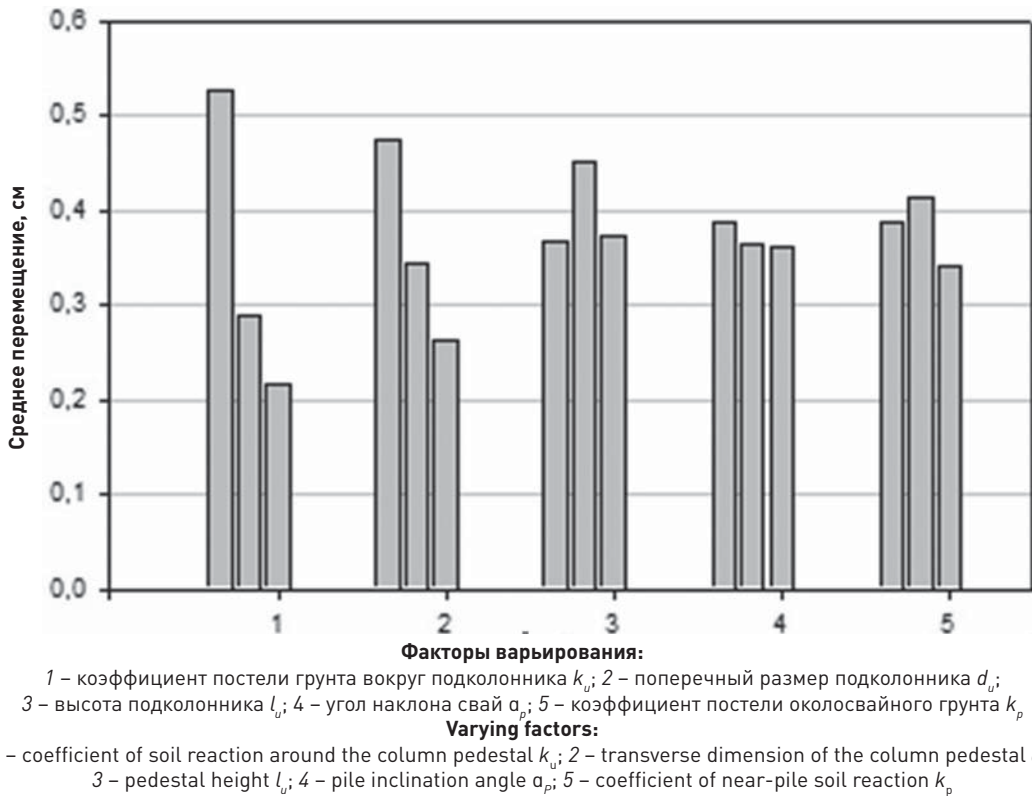


Рис. 3. Гистограмма значений горизонтального перемещения подколонника КСФ на уровне грунта

Fig. 3. Histogram showing horizontal pedestal displacements in a piled-raft foundation at the soil level

Выводы

Использование комплекса численных теоретических исследований горизонтально нагруженных КСФ позволяет выявить значимость и роль отдельных элементов КСФ и его основания, что способствует оптимизации и оценки эффективности проектируемых КСФ различных конструктивных размеров фундамента и инженерно-геологических условий площадки строительства. Проведенные численные трехуровневые исследования выявили значимость факторов на формирование несущей способности КСФ на горизонтальную нагрузку и момент. При этом обоснованы количественные входные трехуровневые параметры факторов влияния на несущую способность фундаментов, согласующиеся с реальными грунтовыми условиями и конструктивными особенностями сваепогружающих копров.

Практическая значимость предлагаемых численных экспериментов заключается в применении его результатов для совершенствования конструкций КСФ с целью получения максимальной несущей способности.

Список литературы

1. Мухаметзянов З.Р., Гусев Е.В. Современный подход к моделированию технологии строительства промышленных объектов. Промышленное и гражданское строительство. 2012;(10):68–69.
2. Gusev E.V., Mukhametzyanov Z.R., Razyapov R.V. Technique for Determination of Rational Boundaries in Combining Construction and Installation Processes Based on Quantitative Estimation of Technological Connections. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (MSE). 2017;262:012140. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/262/1/012140>
3. Готман А.Л. Расчет комбинированных свайных фундаментов на действие горизонтальной нагрузки и изгибающего момента. Основания, фундаменты и механика грунтов. 2015;(4):23–27.
4. Готман А.Л. Экспериментальные исследования работы комбинированных свайных фундаментов на действие горизонтальной нагрузки. Основания, фундаменты и механика грунтов. 2014;(3):2–6.
5. Хабибуллин С.Ю., Хабибуллина Н.Н. Численные исследования оптимальных размеров комбинированных свайных фундаментов. Современные наукоемкие технологии. 2018;(9):120–125.
6. Яковлев П.И., Готман А.Л., Курмаев Р.Г. Взаимодействие сооружений с грунтом и свайные основания. Одесса: Астропринт; 2004.
7. Готман А.Л. Разработка, исследование и внедрение эффективных фундаментов и методов их проектирования. В: Сб. научн. тр. БашНИИСтроя. Уфа; 1996, с. 9–26.
8. Готман А.Л., Урманшина Н.Э., Галеев Р.Г. Обоснование рациональной конструкции и, расчетной схемы горизонтально нагруженного комбинированного свайного фундамента. В: Тр. Межд. конф. «Геотехника – наука и практика» по современ. проблемам мех. грунтов и фундаментостроения, посвященная памяти Б.И. Далматова. Санкт-Петербург; 2000, с.159–166.
9. Урманшина Н.Э. Исследование работы комбинированных свайных фундаментов на горизонтальную нагрузку в глинистых грунтах: дис. ... канд. техн. наук. Уфа; 2001.
10. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. Москва: Наука; 1976.
11. Бродский В.З., Бродский Л.И., Голикова Т.И., Никитина Е.П., Панченко Л.А. Таблицы планов эксперимента для факторных и полиномиальных моделей (справочное издание). Москва: Металлургия; 1982.

References

1. Mukhametzyanov Z.R., Gusev E.V. A modern approach to modeling the technology of construction of industrial facilities. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* = Industrial and Civil Engineering. 2012;(10):68–69 (in Russian).
2. Gusev E.V., Mukhametzyanov Z.R., Razyapov R.V. Technique for Determination of Rational Boundaries in Combining Construction and Installation Processes Based on Quantitative Estimation of Technological Connections. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (MSE)*. 2017;262:012140. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/262/1/012140>
3. Gotman A.L. Calculation of combined pile foundations on the action of horizontal load and bending moment. *Osnovaniya, fundamente i mekhanika gruntov* = Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2015;(4):23–27 (in Russian).
4. Gotman A.L. Experimental studies of the operation of combined pile foundations on the action of a horizontal load. *Osnovaniya, fundamente i mekhanika gruntov* = Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2014;(3):2–6 (in Russian).
5. Khabibullin S.Yu., Khabibullina N.N. Numerical studies of the optimal dimensions of combined pile foundations. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii* Modern high technologies. 2018;(9):120–125 (in Russian).
6. Yakovlev P.I., Gotman A.L., Kurmaev R.G. Interaction of structures with soil and pile foundations. Odessa: Astroprint Publ.; 2004 (in Russian).
7. Gotman A.L. Development, research and implementation of effective foundations and methods of their design. In: Collection of scientific works of BashNIISroy. Ufa; 1996, p. 9–26 (in Russian).
8. Gotman A.L., Urmanshina N.E., Galeev R.G. Substantiation of a rational design and design scheme for a horizontally loaded combined pile foundation. In: Tr. Int. conf. "Geotechnics – science and practice" according to modern problems for soils and foundation engineering, dedicated to the memory of B.I. Dalmatova. Saint Petersburg; 2000, p. 159–166 (in Russian).
9. Urmanshina N.E. Study of the operation of combined pile foundations for horizontal load in clay soils [dissertation]. Ufa; 2001 (in Russian).
10. Adler Yu.P., Markova E.V., Granovsky Yu.V. Planning an experiment in the search for optimal conditions. Moscow, Nauka Publ.; 1976 (in Russian).
11. Brodsky V.Z., Brodsky L.I., Golikova T.I. Tables of experimental plans for factorial and polynomial models (reference edition). Moscow: Metallurgiya Publ.; 1982 (in Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Наталья Эдуардовна Урманшина , канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Автомобильные дороги и технология строительного производства» ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Уфа
e-mail: adtsp@mail.ru
тел.: +7 (917) 347-62-40

Nataliia E. Urmanshina , Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of the Highway and Construction Technology Department of the Ufa State Petroleum Technological University, Ufa
e-mail: adtsp@mail.ru
tel.: +7 (917) 347-62-40

Зинур Ришатович Мухаметзянов, д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры «Автомобильные дороги и технология строительного производства» ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Уфа
e-mail: zinur-1966@mail.ru
тел.: +7 (917) 780-35-05

Zinur R. Mukhametzyanov, Dr. Sci. (Engineering), Associate Professor, Professor of the Highway and Construction Technology Department of the Ufa State Petroleum Technological University, Ufa
e-mail: zinur-1966@mail.ru
tel.: +7 (917) 780-35-05

 Автор, ответственный за переписку / Corresponding author