

УДК 624.15 : 624.131

**НОВАЯ КОНСТРУКЦИЯ ПЛИТНО-СВАЙНОГО ФУНДАМЕНТА**

САМОРОДОВ А. В., докторант, к. т. н., доц.

Кафедра геотехники и подземных сооружений, Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, ул. Сумская, 40, 61002, Харьков, Украина, тел. +38 (057) 706-18-99, e-mail: asamorodov@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-4395-9417

**Аннотация. Постановка проблемы.** В области строительства высотных и многоэтажных зданий при значительных нагрузках по подошве фундаментов и залегании в основании нескальных грунтов, как правило, применяют наиболее распространенный свайный фундамент для снижения деформаций и выполнения требований нормативных документов [1] по предельно допустимым осадкам. Мониторинг напряженно-деформированного состояния (НДС) свайных фундаментов возведенных зданий показывает существующие резервы несущей способности, с одной стороны, грунтовых оснований по второй группе предельных состояний, с другой – самого фундамента по первой группе предельных состояний за счет регулирования НДС фундамента в процессе строительства и эксплуатации. Поэтому все чаще применяют более прогрессивные конструкции фундаментов, состоящих из свай и плитного ростверка, а также способы их устройства [2 – 10], однако при их проектировании существует ряд недостатков, связанных с неоднозначностью применения методов и методик расчета таких конструкций, что позволяет делать только частные выводы и рекомендации.

**Цель статьи.** Предлагается новая конструкция плитно-свайного фундамента, которая лишена недостатков существующих конструктивных решений и способов устройства, а также инженерная методика определения ее основных параметров. **Вывод.** Предложена новая конструкция плитно-свайного фундамента и разработана методика определения ее основных параметров при проектировании основания по предельно допустимым осадкам  $S_u$  сооружений. Эффективность применения данного типа плитно-свайного фундамента получается за счет рационального распределения сопротивления между плитной частью и сваями, когда под нагрузкой от здания сначала в работу полностью включается плита, что дает возможность максимально продеформироваться плитной части, а потом сваи – за счет шарнирного соединения с плитой. При этом, в зависимости от максимально допустимых осадок для зданий и сооружений, восприятие плитной частью полной нагрузки составляет более 50 %, что приводит к существенному снижению расхода бетона.

**Ключевые слова** плита, свая, плитно-свайный фундамент, давление, осадка, длина свай, шаг свай

**НОВА КОНСТРУКЦІЯ ПЛИТНО-ПАЛЬОВОГО ФУНДАМЕНТУ**

САМОРОДОВ О.В., докторант, к. т. н., доц.

Кафедра геотехніки та підземних споруд, Харківський національний університет будівництва та архітектури, вул. Сумська, 40, 61002, Харків, Україна, тел. +38 (057) 706-18-99, e-mail: asamorodov@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-4395-9417

**Анотація. Постановка проблеми.** У галузі будівництва висотних та багатопверхових будівель при значних навантаженнях по подошві фундаментів і заляганні в основі нескальних ґрунтів, як правило, застосовують найбільш поширений пальовий фундамент для зниження деформацій та виконання вимог нормативних документів [1] щодо гранично допустимих осідань. Моніторинг напружено-деформованого стану (НДС) пальових фундаментів зведених будівель показує існуючі резерви несної здатності, з одного боку – ґрунтових основ за другою групою граничних станів, з іншого – самого фундаменту за першою групою граничних станів за рахунок регулювання НДС фундаменту в процесі будівництва та експлуатації. Тому все частіше застосовують прогресивні конструкції фундаментів, що складаються з паль і плитного ростверку, а також способи їх улаштування [2 – 10], однак у праці при їх проектуванні існує ряд недоліків, пов'язаних із неоднозначністю застосування методів і методик розрахунку таких конструкцій, що дозволяє робити тільки окремі висновки та рекомендації. **Мета статті.** Пропонується нова конструкція плитно-пального фундаменту, яка не має недоліків існуючих конструктивних рішень та способів улаштування, а також інженерна методика визначення її основних параметрів. **Висновок.** Запропоновано нову конструкцію плитно-пального фундаменту та розроблено методику визначення її основних параметрів для проектування основ за гранично допустимими осіданнями  $S_u$  споруд. Ефективність застосування цього типу плитно-пального фундаменту отримується за рахунок раціонального розподілу опору між плитною частиною та палями, коли навантаження від будівлі спочатку повністю сприймає плита, що дає можливість максимально продеформуватися плитній частині, а потім палі – за рахунок шарнірного з'єднання з плитою. При цьому, залежно від максимально допустимих осідань для будівель і споруд, сприйняття плитною частиною повного навантаження складає понад 50 %, що сприяє значному зниженню витрат бетону.

**Ключові слова:** плита, палья, плитно-пальовий фундамент, тиск, осідання, довжина паль, крок паль

## THE NEW STRUCTURE OF A PLATE-PILE FOUNDATION

SAMORODOV O. V., *Ph.D, Assistant Prof.*

Department of Geotechnics and Underground Structures, Kharkiv National University Construction and Architecture, 40, Sumska str., Kharkiv 61002, Ukraine, tel. +38 (057) 706-18-99, e-mail: asamorodov@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0003-4395-9417

**Summary. Raising of problem.** In the construction of high-rise buildings with significant loads on foundations and bedding at the base of not rocky soils tend to use the most common pile foundation to reduce the deformation and correspond to regulations [1] on the maximum permissible deformation. Monitoring of the stress-strain state (SSS) pile foundations constructed buildings shows the existing reserves of bearing capacity on the one hand - soil bases of the second group of limit states, on the other - the foundation of the first group of limit states by regulating the SSS foundation during construction and exploitation. Therefore, are increasingly using more progressive structure of foundations consisting of piles and of plate, as well as methods for their construction [2 - 10], however, in their design there are a number of disadvantages associated with the ambiguity of the application of methods for the calculation of such structures, which allows to do only partial conclusions and recommendations. **Purpose.** Is proposing the new structure of a plate-pile foundation, which overcomes the drawbacks of the existing design solutions and methods of construction their, as well as is proposing an engineering method of a determination of basic parameters. **Conclusion.** Is proposes the new structure of a plate-pile foundation and the method of a determination of basic parameters his in the design of a soil base to the maximum permissible deformation  $S_n$  buildings. Efficiency of application this type plate-pile foundation obtained by rational distribution resistance between a plate and piles, when under load from the building to the first work fully incorporated plate that allows maximum deformed for plate, and then the piles - due to of the hinge connection with the plate. Thus, depending on the maximum permissible deformation for buildings resistance of plate part of a full load of more than 50%, that significantly reduces the consumption of concrete.

**Keywords:** *plate, pile, plate-pile foundation, pressure, deformation, piles's length, piles's step*

**Постановка проблеми.** В області строительства высотных и многоэтажных зданий при значительных нагрузках по подошве фундаментов и залегании в основании нескальных грунтов, как правило, применяют наиболее распространенный свайный фундамент для снижения деформаций и выполнения требований нормативных документов [5] по предельно допустимым осадкам. Также это касается и наличия в верхних слоях грунтового массива структурно-неустойчивых и сильносжимаемых геологических отложений, в том числе, с неравномерной мощностью.

**Цель статьи.** Мониторинг напряженно-деформированного состояния (НДС) свайных фундаментов возведенных зданий показывает существующие резервы несущей способности, с одной стороны, грунтовых оснований по второй группе предельных состояний, с другой – самого фундамента по первой группе предельных состояний за счет регулирования НДС фундамента в процессе строительства и эксплуатации. Поэтому все чаще применяют более прогрессивные конструкции фундаментов, состоящих из свай и плитного ростверка:

- свайно-плитный фундамент [6], где допускается восприятие плитой ростверка до 15 % от общей нагрузки;

- свайный фундамент [10], конструкция которого предполагает рациональное перераспределение усилий в плитном ростверке за счет последовательного включения в работу свай после сжатия определенной толщины демпфирующих прокладок между плитой и головами свай.

Основными недостатками при проектировании предлагаемых выше фундаментов является неоднозначность методов и методик расчета таких конструкций, которая выражается в следующем:

- применение различных моделей основания;

- применение «абстрактных» механических характеристик грунтов под плитой ростверка;

- отсутствие инженерной методики расчета фундамента исходя из требований по допустимым осадкам.

Действительно, в настоящее время, судя по большому количеству публикаций и анализу некоторых из них [1-4, 7-8], одним из самых актуальных научных направлений в области геотехники является включение в работу плиты ростверка при увеличении кратности шага между осями свай  $n > 3$ . Однако эти, в основном, численные исследования выполняются с помощью мощных расчетных комплексов типа ANSYS, PLAXIS,

SOFISTIK и др. по учету взаимного влияния свай и ростверка, применения различных моделей основания, что позволяет делать только частные выводы и рекомендации.

В случаях же наличия в верхних слоях основания насыпных, просадочных и других «слабых» грунтов предлагается способ возведения плитно-свайного фундамента [11] для уплотнения этих грунтов, который предполагает устройство свай и выполнение на поверхности грунта плиты ростверка, имеющей зазоры сверху и вокруг каждой сваи, с объединением свай и плиты после возведения части здания общей железобетонной несущей стяжкой. Здесь следует отметить, что кроме вышеперечисленных недостатков, при проектировании такого типа фундамента появляются также технические трудности изготовления несущей стяжки при наличии возведенных конструкций и сомнительностью получения положительного результата, особенно при неравномерных деформациях «слабых» грунтов под плитой ростверка на первых этапах строительства здания.

**Изложение основного материала.** В данной работе предлагается новая конструкция плитно-свайного фундамента, которая лишена недостатков существующих конструктивных решений и способов устройства, а также инженерная методика определения ее основных параметров. Плитно-свайный фундамент (рис. 1, 2) состоит из плитной части 1 и свай 2 диаметром  $d$ , при этом между плитной частью и сваями выполняется зазор 3 высотой  $\Delta$ , а расстояние между осями свай составляет  $nd$ . Причем зазор для удобства его устройства может заполняться низкомодульным материалом, например, пенопластом, в процессе устройства бетонной подготовки 4 под плиту.

Далее предлагается рассмотреть построение инженерной методики оптимального проектирования плитно-свайного фундамента исходя из предельно допустимых осадок сооружения  $S_u$ , принимая во внимание нормативную расчетную схему [11] взаимодействия условного свайного фундамента с линейно-

деформируемой грунтовой средой (см. рис. 2).

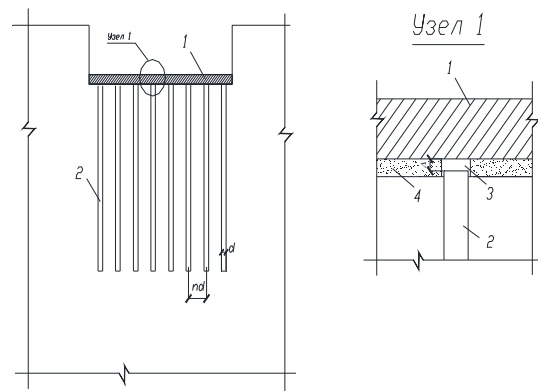


Рис. 1. Плитно-свайный фундамент

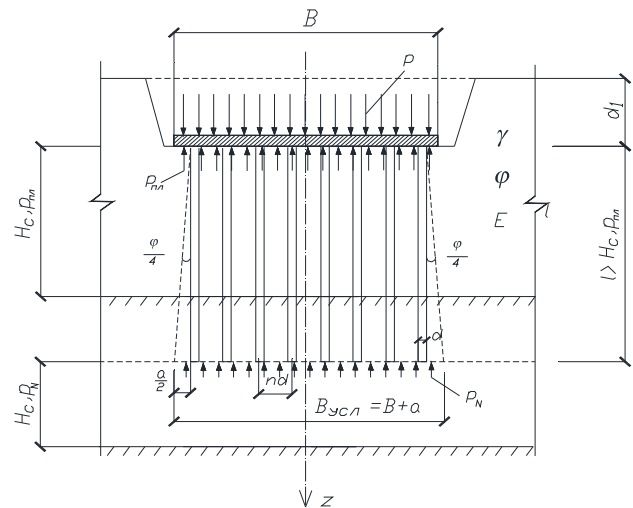


Рис. 2. Расчетная схема взаимодействия плитно-свайного крупноразмерного фундамента с грунтовым массивом

Сделаем ряд обоснований и допущений (см. рис. 2), которые частично предлагались нами в работе [12]:

- полное давление по подошве фундамента  $p$  принимается равномерно распределенным по всей площади фундаментной плиты размерами  $B \times L$ , при этом в процессе возведения здания сначала включается в работу плитная часть фундамента, которая воспринимает допустимое давление  $p_{пл}$ , а после включаются в работу сваи, интенсивность реакций  $N$  которых представляется в виде равномерно распределенного давления  $p_N$  на уровне отметки заложения их подошв. Поэтому поочередно образуются две

сжимаемые толщи  $H_{c,p_{nl}}$  и  $H_{c,p_N}$  соответственно под плитой и под нижними концами свай;

- при определении давления  $p_N$  некоторое увеличение площади подошвы условного фундамента  $B_{усл} \times L_{усл}$  по сравнению с размерами плиты  $B \times L$  компенсируется дополнительным учетом веса свайного поля;

- нижняя граница сжимаемой толщи  $H_c$  назначается из нормативного условия [5]:  $k \cdot \sigma_{zg,H_c} = \sigma_{zp,H_c}$  (где  $k$  – коэффициент, принимаемый в зависимости от ширины подошвы фундамента);

- для упрощения выводов принимаем физико-механические характеристики грунтовой толщи усредненные:  $\gamma, \varphi$  и  $E$ ;

- для определения осадки применяем известную формулу, полученную из обобщенного закона Гука для равномерно нагруженного слоя грунта:

$$S = \beta \frac{p \cdot H_c}{E}, \quad (1)$$

так как для крупноразмерных фундамента сжимаемая толщина  $H_c$  обычно не превышает  $0,5 \div 1,0B$  и интенсивность давления по глубине может быть принята постоянной.

Основным вопросом при проектировании плитно-свайного фундамента является назначение допустимого давления под подошвой плиты шириной  $B$ , которое не должно превышать расчетного сопротивления грунта  $p_{nl} \leq R$ . Однако, как правило, в практике проектирования крупноразмерных фундамента с шириной подошвы  $B \geq 10м$  будет выполняться условие:

$$p_N < p_{nl} < R. \quad (2)$$

Тогда определим величину допустимого давления  $p_{nl}$  исходя из допустимой осадки  $S_{nl}$  плитной части здания.

Согласно рисунку 2 и принятым допущениям, запишем нормативное равенство напряжений на границе сжимаемой толщи  $H_{c,p_{nl}}$  в виде

$$k \cdot \gamma (d_1 + H_{c,p_{nl}}) = p_{nl},$$

тогда мощность сжимаемой толщи будет равна:

$$H_{c,p_{nl}} = \frac{p_{nl}}{k \cdot \gamma} - d_1. \quad (3)$$

С другой стороны, величину сжимаемой толщи можно получить по формуле (1) исходя из величины деформации  $S_{nl}$ , допускаемой для плитной части. Приравняв формулы (1) и (3), получим величину давления под плитой ростверка  $p_{nl}$  в виде:

$$p_{nl} = \frac{d_1 + \sqrt{d_1^2 + \frac{4 \cdot S_{nl} \cdot E}{k \cdot \gamma \cdot \beta}}}{2} k \gamma. \quad (4)$$

Определив расчетную нагрузку  $N$  на сваю диаметром  $d$  и длиной  $l > H_{c,p_{nl}}$ , найдем оптимальную кратность шага  $n$ . Согласно расчетной схеме рисунка 2, видим, что полную нагрузку от сооружения  $p$  отдельно воспринимает плитная часть фундамента  $p_{nl}$  в составе сплошной плиты ростверка размерами  $B \times L$  и свая  $N$ , исходя из грузовой площади  $(nd)^2$ . Тогда можно записать простую формулу:

$$p = \frac{N}{(nd)^2} + p_{nl},$$

или

$$n = \sqrt{\frac{l}{d^2} \cdot \frac{N}{p - p_{nl}}}, \quad (5)$$

где  $p$  – полное давление под подошвой плитной части от здания, кПа;

$p_{nl}$  – часть полного давления  $p$ , которое допускается только плитной частью фундамента, кПа;

$N$  – часть полной нагрузки  $p(nd)^2$ , воспринимаемой свайей, или расчетная нагрузка на сваю, кН;

$d$  – диаметр или сторона поперечного сечения свай, м.

При этом должно выполняться условие

$$nd = a \leq 2l \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi}{4} + d. \quad (6)$$

Давление  $p_N$  в уровне нижних концов свай будет равно

$$p_N = p - p_{nl}, \quad (7)$$

тогда величину сжимаемой толщи  $H_{c,p_N}$  запишем в виде:

$$H_{c,p_N} = \frac{p_N}{k \cdot \gamma} - d_l - l, \quad (8)$$

а дополнительная осадка фундамента при включении в работу свай будет определяться по формуле (1) при  $H_c = H_{c,p_N}$

$$S_N = \beta \frac{p_N \cdot H_{c,p_N}}{E}. \quad (9)$$

Условие при проектировании плитно-свайного фундамента по второй группе предельных состояний будет иметь вид

$$S_{nl} + S_N \leq S_u. \quad (10)$$

Методика расчета и назначения основных параметров плитно-свайного фундамента следующая:

- определяют величину давления под плитой ростверка  $p_{nl}$  по формуле (4) при заданной допустимой величине осадки  $S_{nl}$  плитной части, которая может быть принята равной предельно допустимому значению для здания:  $S_u = S_{nl}$ , т. к. деформации  $S_N$  при включении в работу свай могут отсутствовать;

- определяют расчетным или опытным путем расчетную нагрузку  $N$  на сваи длиной  $l > H_{c,p_{nl}}$ , где  $H_{c,p_{nl}}$  вычисляют по формуле (3);

- определяют оптимальную кратность шага  $n$  между осями свай по формуле (5), проверяя условие по формуле (6);

- определяют давление  $p_N$  в уровне подошвы свай по формуле (7) и осадку по формуле (9);

- проверяют выполнение условия по формуле (10).

### Пример расчета

На конкретном примере рассмотрим возможность проектирования плитно-свайного фундамента проектируемого 28 этажного здания с полным монолитным железобетонным каркасом в г. Бровары Киевской области со следующими исходными данными:

- размеры плиты в плане  $B \times L = 35 \times 35$  м;

- среднее давление под подошвой плиты равно  $p = 450$  кПа;

- средний удельный вес грунта  $\gamma = 20$  кН/м<sup>3</sup>;

- допустимая осадка с учетом повышающих коэффициентов  $S_u = 27,0$  см = 0,27 м;

другие величины приведены на расчетной схеме рис. 3.

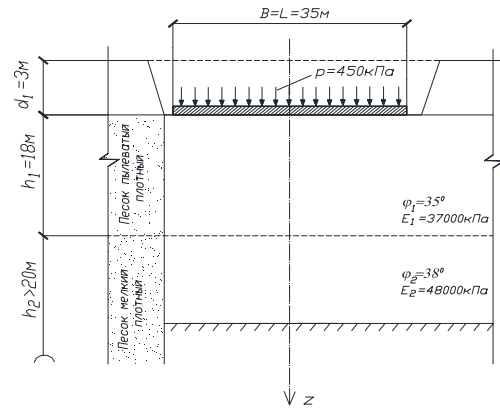


Рис. 3. Схема заложения плиты ростверка на инженерно-геологическом разрезе

Предварительные расчеты показывают, что нормативное условие для принятия грунтового основания в виде линейно-деформированной среды выполняется:  $p_{nl} = p < R$ , но при этом осадки будут больше предельно допустимых  $S_u < S_{nl}$ .

Поэтому рассмотрим вариант плитно-свайного фундамента с первоначальной передачей давления на плиту  $p_{nl}$ , например, при предполагаемой ее средней осадке порядка 10 см, т. е. для удобства выполнения зазора  $\Delta$  в пределах толщины бетонной подготовки:  $S_{nl} = \Delta = 0,1$  м.

Тогда:

$$p_{nl} = \frac{3 + \sqrt{3^2 + \frac{4 \cdot 0,1 \cdot 37000}{0,5 \cdot 20 \cdot 0,8}}}{2} \cdot 0,5 \cdot 20 = 230 \text{ кПа};$$

$$H_{c,p_{nl}} = \frac{230}{0,5 \cdot 20} - 3 = 20 \text{ м}.$$

Примем расчетную нагрузку  $N = 270$  тс на буроинъекционные сваи диаметром  $d = 0,63$  м и длиной  $l = 21$  м  $> H_{c,p_{nl}}$ , которая получена на основании статических испытаний, и найдем оптимальную кратность шага  $n$ :

$$n = \sqrt{\frac{I}{0,63^2} \cdot \frac{2700}{450 - 230}} = 5,56.$$

При этом выполняется условие (6)  $nd = 3,5\text{ м} < 7,2\text{ м}$ , а осадка свайного основания будет равна нулю, т. к. сжимаемая толща  $H_{c,p_N}$  отсутствует:

$$H_{c,p_N} = \frac{p_N}{k \cdot \gamma} - d_1 - l = \frac{220}{0,5 \cdot 20} - 3 - 21 = -2\text{ м}.$$

В таком случае условие (10) имеет вид:  $0,1\text{ м} < 0,27\text{ м}$ .

В данном варианте фундамента при регулярном шаге свай приблизительное их количество в свайном поле будет равно

$$x = \frac{B \cdot L}{a^2} + \frac{L}{a} = \frac{35 \cdot 35}{3,5^2} + \frac{35}{3,5} = 110 \text{ шт.}$$

На рисунке 4 показана схема взаимодействия с основанием принятого плитно-свайного фундамента, а на рисунке 5 приведено схематичное изображение узла сопряжения плиты со сваями.

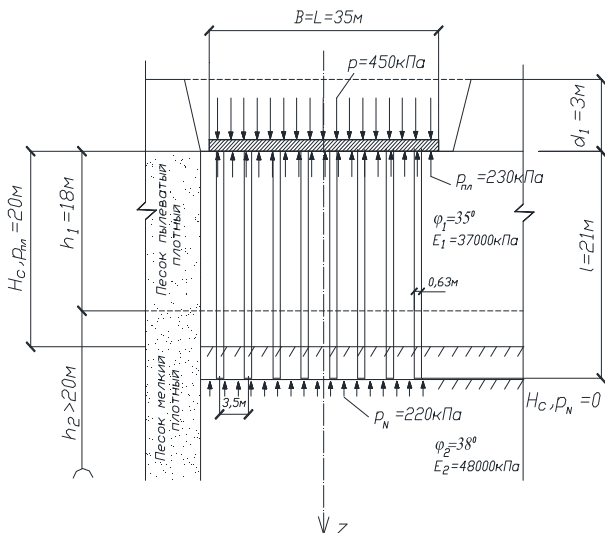


Рис. 4. Расчетная схема взаимодействия принятого варианта плитно-свайного фундамента с грунтовым основанием

В действительности, на рассмотренной площадке строительства проектировщиками предложен свайно-плитный фундамент [6], где обоснованно приняты буроинъекционные сваи диаметром  $d=0,63\text{ м}$  и длиной  $l=20\text{ м}$  в количестве 169 шт., при этом на основании статических испытаний расчетная нагрузка на сваи составила  $2\,700\text{ кН}$ , а

также принято допущение о восприятии плитой нагрузки порядка 15 %.

Если принять в качестве критерия оптимизации общий расход бетона  $V$  на свайное поле, то для предложенной конструкции плитно-свайного фундамента получим снижение расхода бетона для устройства свай на 32 % по сравнению с принятым решением свайно-плитного фундамента.

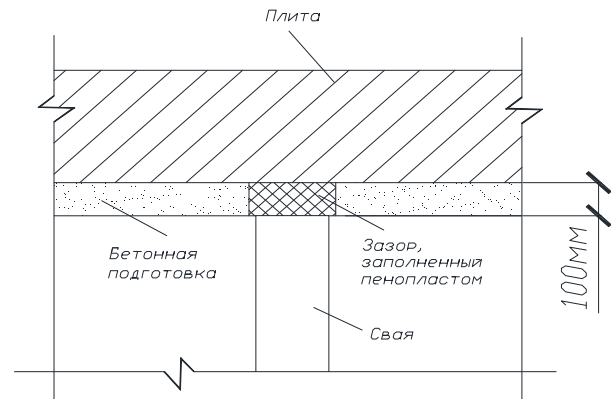


Рис. 5. Схематичное сопряжение плиты со сваями

## Выводы

1. Предложена новая конструкция плитно-свайного фундамента и разработана методика определения его основных параметров при проектировании основания по предельно допустимым осадкам  $S_{ii}$  сооружений.

2. Эффективность применения данного типа плитно-свайного фундамента получается за счет рационального распределения сопротивления между плитной частью и сваями, когда под нагрузкой от здания сначала в работу полностью включается плита, что дает возможность максимально деформироваться плитной части, а потом сваи - за счет шарнирного соединения с плитой. При этом предварительные расчеты показывают, что в зависимости от максимально допустимых осадок для зданий и сооружений, восприятие плитной частью полной нагрузки составляет более 50 %, что приводит к существенному снижению расхода бетона.

3. Теоретическое обоснование данного типа фундамента требует широкого

экспериментального подтверждения для возможности его дальнейшего применения при строительстве реальных объектов.

4. Дальнейшие экспериментально-теоретические исследования также предполагаются в направлении развития сил отри-

цательного трения по боковой поверхности свай при характерной передаче распределенной нагрузки на поверхности от плитной части фундамента и изучения трансформации НДС плитно-свайного фундамента в процессе строительства и эксплуатации.

## ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Способ возведения свайного фундамента : а. с. 947287 : М. кл<sup>3</sup> E02D 27/12 / В. В. Лушников, И. А. Маренинов. – № 3263273/29-33 ; заявл. 16.03.81 ; опубл. 30.07.82, Бюл. № 28. – 3 с.
2. Александрович В. Ф. К вопросу о взаимном влиянии свай и плиты в основании свайно-плитного фундамента / Александрович В. Ф., Курилло С. В., Федоровский В. Г. // Реконструкция исторических городов и геотехническое строительство : тр. междунар. конф. по геотехнике, посвящ. 300-летию Санкт-Петербурга (17-19 сент. 2003, Санкт-Петербург) / ред. : В. А. Ильичев, В. М. Улицкий. – Санкт-Петербург ; Москва, 2003. – Т. 2 : Работы, представленные на русском языке. – С. 125-143.
3. Бахолдин Б. В. Принципы оценки сопротивления грунтов оснований в случае совместного применения буронабивных свай и плитных фундаментов / Бахолдин Б. В., Ястребова П. И., Парфенов Е. А. // Геотехнические проблемы мегаполисов : тр. междунар. конф. по геотехнике (7-10 июня 2010 г., Москва). – Москва, 2010. – Т. 5. – С. 1661-1666.
4. Бабанов В. В. Расчетный анализ работы свайных фундаментов с низким и высоким ростверками и с учетом нелинейной работы основания / Бабанов В. В., Шашкин В. А. // Основания, фундамента и механика грунтов. – 2012. – № 2. – С. 2-7.
5. Об'єкти будівництва та промислова продукція будівельного призначення. Основи та фундаменти будинків і споруд. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування : ДБН В.2.1-10-20091 / Мінрегіон України. – Введ. вперше зі скасуванням на території України СНиП 2.02.01-83 ; чинні від 2009-07-01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. – 107 с. – (Державні будівельні норми України).
6. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування. [Палі і пальові фундаменти] : ДБН В.2.1-10-2009. Зміна № 1 / Мінрегіон України. – На заміну СНиП 2.02.03-85 (крім розділу 5) ; чинна від 2011-07-01. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. – 55 с.
7. Катценбах Р. Основные принципы проектирования и мониторинга высотных зданий Франкфурта-на-Майне. Случаи из практики / Катценбах Р., Шмитт А., Рамм Х. // Реконструкция городов и геотехническое строительство. – 2005. – №9. – С. 80-99.
8. Рузаев А. М. Оптимизация проектных решений свайных фундаментов с учетом взаимного влияния свай и работы низкого ростверка на их несущую способность : автореф. дис. на соиск. ученой степени канд. техн. наук : 05.23.02 / Рузаев А. М.; Моск. гос. строит. ун-т. – Москва, 2010. – 21 с.
9. Способ возведения плитно-свайного фундамента : пат. 2305154 Рос. Федерация : МПК E02D 27/12 / Г. Ф. Пеньковский, И. И. Сахаров, А. В. Ершов ; патентообладатель С.-петерб. гос. архит.-строит. ун-т. – № 2006102592/03 ; заявл. 30.01.2006 ; опубл. 27.08.2007, Бюл. № 24.
10. Проектирование и устройство свайных фундаментов : СП 50-102-2003 / Гос. ком. Рос. Федерации по стр-ву и жилищно-коммунал. комплексу. – Введен впервые. – Москва : Госстрой России, 2004. – 82 с. – (Система нормативных документов в строительстве. Свод правил по проектированию и строительству).
11. Самородов А. В. Метод оптимального проектирования свайно-плитных фундаментов многоэтажных зданий по предельно допустимым осадкам / А. В. Самородов // Науковий вісник будівництва : зб. наук. пр. / Харк. нац. техн. ун-т буд-ва і архіт. – Харків, 2015. – Вип. 1(79). – С. 96-100.
12. Comparison of some methods for analysis of piled rafts / Poulos H. G., Small J. C., Ta L. D., Sinha J., Chen L. // The international conference on soil mechanics and foundation engineering, ICSMFE (14; Hambourg; 1997) : proceedings of the 14th international conference on soil mechanics and foundation engineering, 6-12 sept. 1997, Hamburg. – Rotterdam, 1997. – Vol. 2. – P. 1119-1124.

## REFERENCES

1. Lushnikov V.V., Mareninov I.A. Sposob vozvedeniya svaynogo fundamenta: avtorskoe svidetelstvo 947287, M.kl3 E02D 27/12 [The method of the pile foundation construction: authors certificate 947287, M. kl3 E02D 27/12]. 1982. (in Russian).
2. Aleksandrovich V.F., Kurillo S.V., Fedorovskiy V.G., Il'jetchov V.A. and Ulitskij V.M. *K voprosu o vzaimnom vliyanii svay i plityi v osnovanii svayno-plitnogo fundamenta* [On the question of mutual influence of the pile and the plate in the bottom of pile-slab foundation]. *Reknstruktsiya istoricheskikh gorodov i geotehnicheskoe stroitel'stvo*

- [Reconstruction of historical cities and geotechnical building]. Sankt-Peterburg, Moskva, 2003, vol. 2, pp. 125-143. (in Russian).
3. Baholdin B.V., Yastrebova P.I. and Parfenov E.A. *Printsipy otsenki soprotivleniya gruntov osnovanij v sluchae sovmesnogo primeneniya buronabivnykh svay i plitnykh fundamentov* [The estimation concept of the soils foundation resistance in case the mutual applying of bored piles and slab foundation]. *Geotekhnicheskie problemy megapolisov* [Geotechnical Problems of Megapolises]. Moskva, 2010, vol. 5, pp. 1661-1666. (in Russian).
  4. Babanov V.V. and Shashkin V.A. *Raschetnyj analiz raboty svaynykh fundamentov s nizkim i vyisokim rostverkami i s uchetom nelinejnoj raboty osnovaniya* [Estimated analysis of pile foundations with low and high foundation mat and considering the non-linear base operation]. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanyka gruntov* [Grounds, foundations and geotechnics]. 2012, no. 2, pp. 2-7. (in Russian).
  5. Minregion Ukrainy. *Ob'jekty budivnytstva ta promyslova produkcija budivel'nogo pryznachennja. Osnovy ta fundamenty budynkiv i sporud. Osnovy ta fundamenty sporud. Osnovni polozhennja proektuvannja: DBN V.2.1-10-2009* [Construction objects and industrial products of the construction purposes. Grounds and foundations of buildings and structures. Grounds and foundations of structures. The main standarts of design: State Building Code V.2.1-10-2009]. Kiev: Minregionbud Ukrainy, 2009. 107 p. (in Ukrainian).
  6. Minregion Ukrainy. *Osnovy ta fundamenty sporud. Osnovni polozhennja proektuvannja Pali i pal'ovi fundamenty: DBN V.2.1-10-2009. Zmina № 1* [Grounds and foundation of structures. The main standarts of the design Piles and pile foundation: State Building Code V.2.1-10-2009. Change № 1]. Kiev: Minregionbud Ukrayiny, 2011, 55 p. (in Ukrainian).
  7. Kattsenbah R., Shmitt A. and Ramm H. *Osnovnyie printsipy proektirovaniya i monitoringa vyisotnyih zdaniy Frankfurta-na-Mayne. Sluchai iz praktiki* [The basic principles of the design and monitoring of high-rise buildings in Frankfurt am Main. Practice experience]. *Rekonstruktsiya gorodov i geotekhnicheskoe stroitelstvo* [Urban reconstruction and Geotechnical Engineering]. 2005, no. 9, pp. 80-99. (in Russian).
  8. Ruzaev A.M. *Optimizatsiya proektnyih resheniy svaynykh fundamentov s uchetom vzaimnogo vliyaniya svay i raboty nizkogo rostverka na ih nesuschuyu sposobnost* [Optimization of design solutions of pile foundation based on the mutual influence of piles and low timbering works to their low load-bearing capacity]. *Avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoy stepeni kandidata tehnikeskikh nauk: 05.23.02* [Author's abstract of Cand. Sc. (Tech) Dissert: 05.23.02]. Moscow State University of Civil Engineering, Moskva, 2010, 21 p. (in Russian).
  9. Pen'kovskij G.F., Sakharov I.I. and Ershov A.V. *Sposob vozvedeniya plytno-svajnogo fundamenta: pat. 2305154 Ros. Federacyja: MPK E02D 27/12* [The method of construction of the plate-pile foundation: pat. 2305154 Russian Federation: IPC E02D 27/12]. 2007. (in Russian).
  10. Gos. kom. Ros. Federatsii po str-vu i zhilishchno-kommunal. kompleksu *Proektirovanie i ustroystvo svajnykh fundamentov: SP 50-102-2003* [Design and installation of pile foundations. Regulations 50-102-2003]. Moskva: Gosstroy Rossii, 2004, 82 p. (in Russian).
  11. Samorodov A.V. *Metod optimalnogo proektirovaniya svayno-plitnykh fundamentov mnogoetazhnykh zdaniy po predelno dopustimym osadkam* [The method of optimal engineering of pile-slab foundation of multi-storey buildings for the maximum permissible precipitation]. *Naukovyi visnyk budivnytstva* [Scientific Bulletin of Construction]. Hark. nats. tekhn. un-t bud-va i arkh. Harkiv, 2015, no. 1(79), pp 96-100. (in Russian).
  12. Poulos H.G., Small J.C., Ta L.D., Sinha J. and Chen L. Comparison of Some Methods for Analysis of Piled Rafts. The international conference on soil mechanics and foundation engineering, ICSMFE (14; Hambourg; 1997). Hamburg, Rotterdam, 1997, vol. 2, pp. 1119-1124.

Рецензент: д-р т. н., проф. В. Л. Седін

Надійшла до редколегії: 12.11.2015 р. Прийнята до друку: 22.11.2015 р.