

- стройки по проспекту Лунина, 99 в городе Мариуполе»/ Погребняк А.И. – Харьков: УкрНПНТВ, 2016 – 14с.
2. ДБН В.1.2-5-2007 «Научно-технический супровід будівельних об'єктів»/ Киев 2007.
 3. Взаємодія споруд із ґрунтом і пальові основи / Яковлев П.І., Готман А.Л., Курмаев Р.Г. - Одеса: Астропринт, 2004. - 512 с.
 4. Bowmen E.T. General Report of TC 208. Slope Stability in Engineering Practice / E.T. Bowmen, R.J. Fannin // Proc. of the 18th Inter. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Challenges and Innovation in Geotechnics. – France, Paris: Press and Ponts, 2013. – P. 2137–2144.
 5. Інженерна геологія. Механіка ґрунтів, основи та фундаменти: Підручник / М.Л. Зоценко, В.І. Коваленко, А.В. Яковлев, О.О. Петраков, В.Б. Швець, О.В. Школа, С.В. Біда, Ю.Л. Винников. – Полтава: ПНТУ, 2004. – 568 с.
 6. Материалы совещания по вопросам изучения оползней и мер борьбы с ними / Костенко Ю.И, Темченко М.А., Елигулашвили Э. М. – Киев: Киевская книжная типография №5 Государственного комитета УССР по печати, 1964. – 368 с.
 7. Основания, фундаменты и подземные сооружения/ М.И. Горбунов-Посадов, В.А. Ильичев, В.И. Крутов и др.; Под общ. ред. Е.А. Сорочана, Ю.Г. Трофименкова – Москва: Стройиздат, 1985.- 480с.

УДК 624.15: 624.131

Самородов А.В., Муляр Д.Л.

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ КОМБИНИРОВАННОГО ПЛИТНО-СВАЙНОГО ФУНДАМЕНТА МНОГОЭТАЖНОГО ЗДАНИЯ

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. Также это касается и наличия в верхних слоях грунтового массива структурно-неустойчивых и сильносжимаемых геологических отложений, в том числе, с неравномерной мощностью.

В настоящее время, судя по большому количеству публикаций и анализу некоторых из них [4-9], одним из самых актуальных научных направлений в области геотехники является включение в работу плиты сплошного низкого ростверка (до 50% от общей нагрузки) при увеличении кратности шага между осями свай $n > b$, что находит отражение в новых методиках расчета комбинированных свайно-

плитных фундаментов [2, 6, 9]. Однако, в большинстве случаев, особенно при регулярном шаге относительно длинных свай такое положение достаточно условно в связи с общими деформациями свайно-плитно-грунтового массива.

Более того, при анализ научных работ отмечено, что расчет системы «грунтовое основание – комбинированный свайно-плитный фундамент – сооружение» зависит от множества факторов: особенностей грунтовых условий, параметров свай и шага между ними, жесткости плиты, модели основания и ее физико-механических характеристик, характера взаимодействия между сваями, плитой и грунтом и многих других, и, поэтому возможен только с использованием индивидуальных подходов и допущений научных школ к моделированию такой системы и ее расчету численными методами, реализованными в мощных комплексах типа ANSYS, ABAQUS, SOFISTIK, Plaxis, WinTUBE, FEMmodels, VESNA и др., что

позволяет делать только частные выводы и рекомендации. При этом, некоторые теоретические допущения, принимаемые в расчетах подобных систем, не имеют натуральных экспериментальных подтверждений.

В случаях же наличия в верхних слоях основания насыпных, просадочных и других «слабых» грунтов предлагается способ возведения плитно-свайного фундамента [10] для уплотнения этих грунтов, который предполагает устройство свай и выполнения 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.

Таким образом, разработка новой конструкции плитно-свайного фундамента и методики определения его основных параметров является актуальной задачей.

В данной работе предлагается новая конструкция комбинированного плитно-свайного фундамента, которая лишена недостатков существующих конструктивных решений и способов устройства, а также инженерная методика определения ее основных параметров. Комбинированный 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 Δ , а расстояние между осями свай составляет nd . Причем, зазор для удобства его устройства может заполняться низкомодульным материалам, например, пенопластом, в процессе устройства бетонной подготовки 4 под плиту.

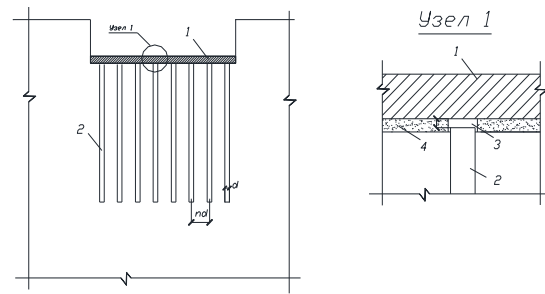


Рис. 1. Комбинированный плитно-свайный фундамент

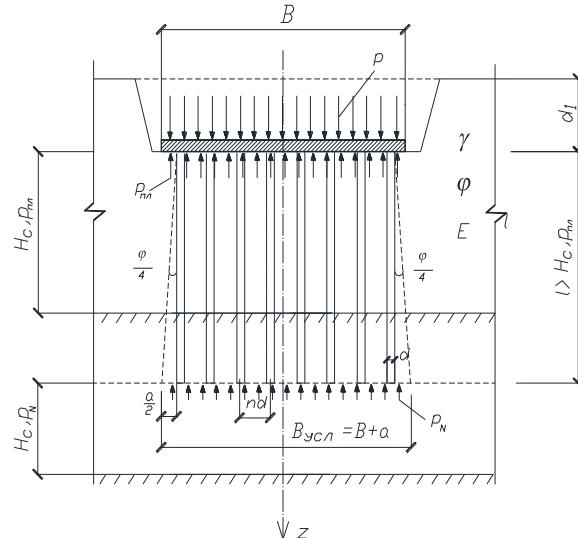


Рис. 2. Расчетная схема взаимодействия комбинированного плитно-свайного крупноразмерного фундамента с грунтовым массивом

Далее предлагается рассмотреть построение инженерной методики оптимального проектирования комбинированного 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 (рис. 2).

Сделаем ряд обоснований и допущений (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

свай, интенсивность реакций N которых представляется в виде равномерно распределенного давления p_N на уровне отметки заложения их подошв. Поэтому, поочередно образуются две сжимаемые толщ $H_{c,p_{nl}}$ 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 [1]: $k \cdot \sigma_{zg,H_c} = \sigma_{zp,H_c}$ (где k – коэффициент, принимаемый в зависимости от ширины подошвы фундамента);

- для упрощения выводов принимаем физико-механические характеристики грунтовой толщи усредненные: γ , φ и E ;

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

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

т.к. для крупноразмерных фундаментов сжимаемая толща 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 фундаментов с шириной подошвы $B \geq 10$ м будет выполняться условие:

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

Тогда определим величину допустимого давления p_{nl} исходя из допустимой осадки s_{nl} плитой части здания.

Согласно рис. 2 и принятых допущений 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 рис. 2 видно, 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

$$n = \sqrt{\frac{1}{d^2} \cdot \frac{N}{p - p_{nl}}}, \quad (5)$$

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

$$H_{c,p_N} = \frac{p_N}{k \cdot \gamma} - d_1 - l, \quad (8)$$

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

$$s_{nl} + s_N \leq s_u \quad (10)$$

Особенностью проектирования комбинированного плитно-свайного фундамента также является учет дополнительной осадки свай $S_{св}^{P_n}$ от действия сил отрицательного трения P_n [14, 15], действующих по их боковой поверхности в пределах сжимаемой толщи $H_{p_{n1}}$ при первоначальном загрузении основания плитной частью интенсивностью нагрузки p_{nl} . Предварительные расчеты показывают, что для расчетной схемы (рис. 3) максимальную осадку свай $S_{св}^{P_n}$ на действие суммарной силы трения P_n можно получить по формуле В.Г. Федоровского, представленной в Руководстве [13], для случая, когда $\frac{G_1 l_d}{G_2 d} \approx 1$ и без учета деформации ствола

$$S_{св}^{P_n} = \frac{0,22 P_n}{G_2 d} \quad (11)$$

Расчетная схема определения дополнительной осадки $S_{св}^{P_n}$ свай приведена на рис. 3.

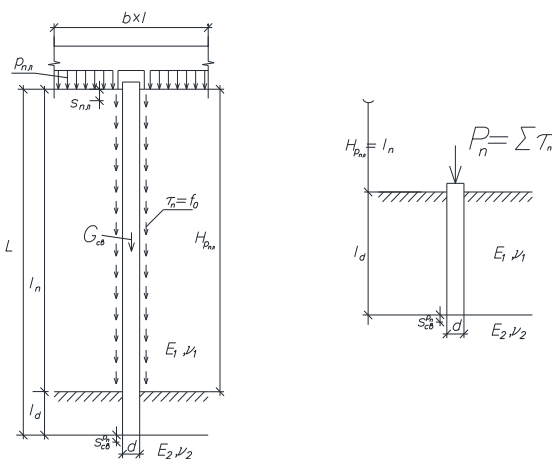


Рис. 3. Расчетные схемы к определению дополнительной осадки свай $S_{св}^{P_n}$ в комбинированном плитно-свайном фундаменте в процессе деформирования основания под плитой

Методика расчета и назначения основных параметров комбинированного 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 $l > H_{c,p_{n1}}$, где $H_{c,p_{n1}}$ 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);

- выполняют расчет дополнительной осадки $S_{св}^{P_n}$ свай от действия сил отрицательного трения по их боковой поверхности P_n и корректируют величину зазора между плитой и головой свай: $\Delta = s_{nl} - S_{св}^{P_n}$.

Пример расчета

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

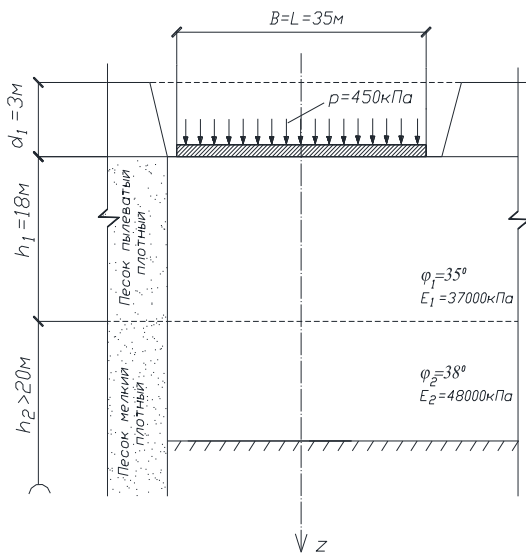
- размеры плиты в плане $B \times L = 35 \times 35$ м;

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

- средний удельный вес грунта $\gamma = 20$ кН/м³;

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

другие величины приведены на расчетной схеме рис. 4.



Рису. 4. Схема заложения плиты рост-верка на инженерно-геологическом раз-резе

Предварительные расчеты показы-вают, что нормативное условие для приня-тия грунтового основания в виде линейно-деформированной среды выполняется: $p_{нл} = p = 450 \text{ кПа} < R \approx 850 \text{ кПа}$, но при этом осадка плиты $s_{нл}$ будет больше предельно допустимой величины: $s_{нл} \approx 0,36 \text{ м} > s_{и} = 0,27 \text{ м}$.

Поэтому, рассмотрим вариант ком-бинированного плитно-свайного фунда-мента с первоначальной передачей давл-ения на плиту $p_{нл}$, например, при предпо-лагаемой ее средней осадке порядка 10 см, т.е. для удобства выполнения зазора Δ в пределах толщины бетонной подготовки: $s_{нл} = \Delta = 0,1 \text{ м}$.

Тогда

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

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

Примем расчетную нагрузку $N = 270 \text{ тс}$ на буринъекционные сваи диа-метром $d = 0,63 \text{ м}$ и длиной $l = 21 \text{ м} > H_{c, p_{нл}}$, которая получена на основании статиче-ских испытаний, и найдем оптимальную кратность шага n

$$n = \sqrt{\frac{1}{0,63^2} \cdot \frac{2700}{450 - 230}} = 5,56.$$

При этом выполняется условие (6)

$nd = 3,5 \text{ м} < 7,2 \text{ м}$, а осадка свайного осно-вания 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 рис. 5 показана схема взаимодей-ствия с основанием принятого комбини-рованного плитно-свайного фундамента, а на рис. 6 приведена расчетная схема для определения осадки одиночной сваи $S_{св}^{P_n}$ от действия силы отрицательного трения по боковой поверхности P_n .

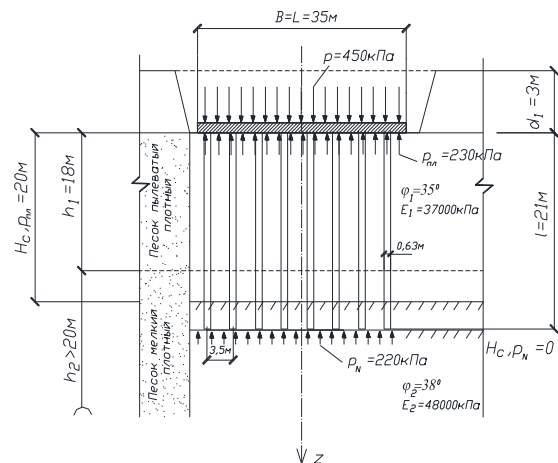


Рис. 5. Расчетная схема взаимодействия принятого варианта комбинированного плитно-свайного фундамента с грунто-вым основанием

На основании результатов расчета, указанных на рис. 6, откорректированная величина зазора между плитой и головой сваи должна составить: $\Delta = s_{нл} \cdot S_{св}^{P_n} = 10 - 2,4 = 7,6 \text{ см}$.

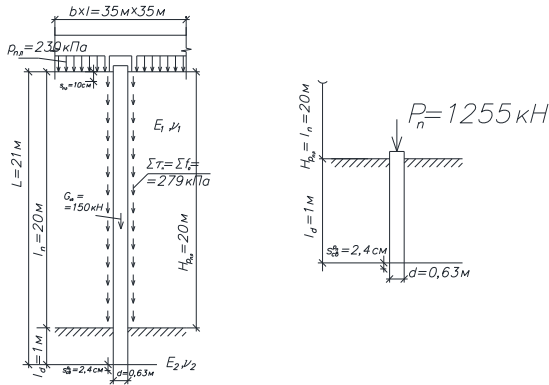


Рис. 6. Расчетные схемы для определения осадки сваи $S_{св}^{P_n}$ от действия силы отрицательного трения P_n по ее боковой поверхности

В действительности, на рассмотренной площадке строительства проектировщиками предложен комбинированный свайно-плитный фундамент, где обосновано приняты буроинъекционные сваи диаметром $d=0,63\text{ м}$ и длиной $l=21\text{ м}$ в количестве 169шт., при этом на основании статических испытаний расчетная нагрузка на сваи составила 2700 кН , а также принято допущение о восприятии плитой нагрузки порядка 15%.

Если принять в качестве критерия эффективности общий расход бетона V на свайное поле, то для предложенной конструкции плитно-свайного фундамента получим снижение расхода бетона для устройства свай на 35% (с реальным восприятием 50% общей нагрузки плитой ростверка) по сравнению принятым решением комбинированного свайно-плитного фундамента (с условным включением плиты в работу до 15%). Предварительные расчеты показывают, что передача плитой ростверка большей доли общей нагрузки (более 50%) не дает, как принято считать, нужного эффекта, т.к. ведет к перерасходу бетона на сваи за счет необходимости их заглубления ниже предполагаемой сжимаемой толщи под плитой для обеспечения восприятия негативных сил трения на сваи.

Выводы

1. Разработана эффективная конструкция комбинированного плитно-свайного фундамента, способная контролируемо

и рационально распределять сопротивление между плитной частью и сваями, в которой под нагрузкой от здания сначала в работу полностью включается плита, а после – сваи.

2. Разработана методика определения основных параметров комбинированного плитно-свайного фундамента при проектировании основания по предельно допустимым осадкам s_u сооружений.
3. Численная апробация методики на конкретном объекте строительства показывает, что предложенная конструкция комбинированного плитно-свайного фундамента позволяет контролируемо включить в работу плитную часть (до 50%) при реальной экономии свай и удовлетворении всех требований существующих нормативных документов.
4. Предварительные расчеты показывают, что передача плитой ростверка большей доли общей нагрузки (более 50%) не дает, как принято считать, нужного эффекта, т.к. ведет к перерасходу бетона на сваи за счет необходимости их заглубления ниже предполагаемой сжимаемой толщи под плитой для обеспечения восприятия негативных сил трения на сваи.

ЛИТЕРАТУРА:

1. ДБН В.2.1-10-2009 Основы та фундаменти споруд. К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 104 с.
2. СП 50-102-2003 Проектирование и устройство свайных фундаментов. – М.: Госстрой России, 2004. – 82 с.
3. Авторское свидетельство №947287, М. клз E02D 27/12. Способ возведения свайного фундамента / В.В. Лушников, И.А. Маренинов. - Оpubл. БИ 1982, №28.
4. Poulos H.G., Small J.C., Ta L.D., Sinha J. and Chen L. Comparison of Some Methods for Analysis of Piled Rafts. Proc. 14 ICSMFE, Hamburg, 2: 1997. - pp.1119-1124.
5. Александрович В.Ф., Курилло С.В., Федоровский В.Г. К вопросу о взаимном влиянии свай и плиты в основании свайно-плитного фундамента // Тр. конф. Реконструкция исторических городов и геотехническое строительство. - 2003. - С. 125-143.

6. Катценбах Р., Шмитт А., Рамм Х. Основные принципы проектирования и мониторинга высотных зданий Франкфурта-на-Майне. Случаи из практики // Реконструкция городов и геотехническое строительство. - 2005. - №9. - С. 80-99.
7. Бахолдин Б.В., Ястребова П.И., Парфенов Е.А. Принципы оценки сопротивления грунтов оснований в случае совместного применения буронабивных свай и плитных фундаментов// Труды международной конференции по геотехнике «Геотехнические проблемы мегаполисов». – Т. 5. – Москва: ПИ «Геореконструкция», 2010. – С. 1661-1666.
8. Рузаев А.М. Оптимизация проектных решений свайных фундаментов с учетом взаимного влияния свай и работы низкого ростверка на их несущую способность. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.23.02. – Москва: ГОУ ВПО МГСУ, 2010. – 21 с.
9. Бабанов В.В., Шашкин В.А. Расчетный анализ работы свайных фундаментов с низким и высоким ростверками и с учетом нелинейной работы основания // ОФМГ. – Москва: 2012. - №2. – С. 2-7.
10. Патент на изобретение №2305154. Способ возведения плитно-свайного фундамента. Российская Федерация, МПК E02D 27/12 / Г.Ф. Пеньковский, И.И. Сахаров, А.В. Ершов; патентообладатель С.-Петербург. гос. архит.-строит. ун-т. – №2006102592/03; заявл. 30.01.2006; опубл. 27.08.2007, Бюл. № 24.
11. ДБН В.2.1-10-2009 Зміна №1. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування. - Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. – 55 с.
12. Самородов А.В. Метод оптимального проектирования свайно-плитных фундаментов многоэтажных зданий по предельно допустимым осадкам / А.В. Самородов // Науковий вісник будівництва. – Вип. 1(79). – Харків: ХНУБА, ХОТВАБУ, 2015. – С. 96-100.
13. Руководство по проектированию свайных фундаментов / НИИОСП им. Н.М. Герсеванова Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1980. – 151 с.
14. Самородов, А.В. Усовершенствование методики определения сил отрицательного трения грунта по результатам испытания натурных свай / А.В. Самородов, С.В. Табачников, В.Е. Найденова, Д.Л. Муляр // Основи та фундаменти: Міжвідомчий науково-технічний збірник. – Вип. 37 / За загальною редакцією І.П. Бойка. – К.: КНУБА, 2015 – С. 170–178.
15. Самородов А.В. Метод определения сил сопротивления по боковой поверхности свай с учетом направления вертикальной нагрузки / А.В. Самородов, С.В. Табачников / Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2015. – №. 6. – С. 12–15.

УДК 624.012

Яровой С.Н.

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры

ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ ПРИГОДНОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ ПОКРЫТИЯ ТРЕНИРОВОЧНОГО КАТКА ДВОРЦА СПОРТА В ГОРОДЕ ХАРЬКОВЕ ПОСЛЕ ДЛИТЕЛЬНОГО СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ

В 1978 году в городе Харькове был введен в эксплуатацию «Ледовый дворец спорта». В состав «Ледового дворца спорта» входили 3 три искусственных катка – основной каток для проведения различных спортивных соревнований с трибунами на четыре тысячи мест, ледовый каток стандартных размеров для проведения тренировок хоккеистов и фигуристов и ледовая площадка для тренировки

детей [8]. Все три ледовые арены были объединены в единый Дворец спорта административно-бытовыми помещениями. В 90-тые годы XX столетия основная ледовая площадка была реконструирована в зал для проведения спортивно-массовых мероприятий.

Здания тренировочного катка Дворца спорта эксплуатируются на протя-