

УДК 624.151.2

**Мирсаяпов И.Т.** – доктор технических наук, профессор

E-mail: [mirsayapov1@mail.ru](mailto:mirsayapov1@mail.ru)

**Шакиров И.Ф.** – кандидат технических наук, доцент

E-mail: [fsrshakirov@mail.ru](mailto:fsrshakirov@mail.ru)

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

### **Выбор типа фундаментов и оснований многофункционального комплекса «Фатих, Амир и Хан» по ул. Фатыха Амирхана г. Казани**

#### **Аннотация**

В статье освещены вопросы выбора типа фундаментов и оснований при проектировании комплекса высотных зданий по улице Фатыха Амирхана г. Казани. Инженерно-геологические условия площадки проектируемого комплекса характеризуются высоким расположением уровня грунтовых вод, неоднородностью и невыдержанностью по простиранию слоев грунта. В связи с этим возникли трудности с выбором фундаментов зданий, а также с обеспечением надежной гидроизоляции подземной части многофункционального комплекса. В результате проведенных исследований был принят вариант плитно-свайного фундамента, определены длина, шаг и количество свай, опорный слой грунта, была проведена оценка деформаций грунтового основания от проектных нагрузок.

**Ключевые слова:** основание, свайный фундамент, плитный ростверк, несущая способность, осадки, грунтовые условия, подземные воды.

В городе Казани с каждым годом увеличиваются объемы строительства на неблагоприятных в инженерно-геологическом отношении территориях. К числу таких объектов относится проектируемый многофункциональный комплекс по ул. Фатыха Амирхана, который планируется возвести на площадке с наличием слабых водонасыщенных глинистых и заторфованных грунтов.

Многофункциональный комплекс состоит из трех тридцатипятиэтажных зданий – Фатих, Амир и Хан, объединенных общей подземной частью, где будут располагаться парковочные места. Размеры высотных частей зданий в плане составляет 30х30 м, здания Амир и Хан объединены общим стилобатом, здание Фатих имеет в нижней части ступенчатую конструкцию и большую стилобатную часть.

В рамках научного сопровождения проектирования подземной части многофункционального комплекса авторами статьи были разработаны рекомендации по выбору типа фундаментов зданий.

Площадка проектируемого комплекса находится на ул. Фатыха Амирхана в Ново-Савиновском районе г. Казани. В геоморфологическом отношении участок расположен в пределах I надпойменной террасы левобережья р.Волги. Инженерно-геологические условия площадки характеризуются неоднородностью и невыдержанностью по простиранию слоев грунта, а также высоким уровнем грунтовых вод.

Согласно отчету по инженерно-геологическим изысканиям [3], на исследованном участке до изученной глубины 42,0 м в геологическом разрезе принимают участие верхнепермские, неогеновые и четвертичные аллювиальные отложения, перекрытые сверху современным техногенным насыпным слоем. Рассматриваемая площадка располагается в котловане глубиной около 4 м, абсолютная отметка поверхности дна котлована составляет 54,3 м, отметка земли за пределами котлована – 57,5-58,0 м.

В верхней части геологического разреза залегают:

- техногенные насыпные грунты, которые распространены по всей площадке, мощность насыпных грунтов достигает до 6,3 м;
- торф среднеразложившийся, с остатками растений, мощностью до 2,5 м, сильносжимаемый (модуль деформации  $E=1,0$  МПа);

- суглинки от полутвердой до мягкопластичной консистенции, мощностью до 4 м, с модулем деформации от 1 до 5 МПа;
- пески мелкие плотные и средней плотности;
- пески средней крупности плотные.

Ниже по разрезу залегают неогеновые отложения в виде глины твердой и полутвердой, суглинков полутвердых и мягкопластичных, с прослоями мелких песков и верхнепермские отложения в виде мелких песков и известняка.

Гидрогеологические условия площадки характеризуются наличием четырех горизонтов подземных вод – трех постоянных горизонтов и «верховодки». Эти горизонты вскрыты:

- «верховодка» – на глубинах от 0,1 до 2,0 м;
- в аллювиальных отложениях четвертичного возраста на глубинах от 1,5 до 7,0 м;
- в неогеновых отложениях на глубинах от 21,0 до 36,0 м;
- в верхнепермских отложениях на глубинах от 30,0 до 36,0 м.

Разгрузка подземных вод осуществляется перетеканием в нижележащие горизонты или дренированием вод овражной и речной сетью, находящейся за контуром площадки. Грунтовые воды водоносного горизонта имеют гидравлическую связь с водами Куйбышевского водохранилища и питаются за счет подпора речных вод. Верховодка образована за счет инфильтрации атмосферных осадков и утечек из подземных коммуникаций.

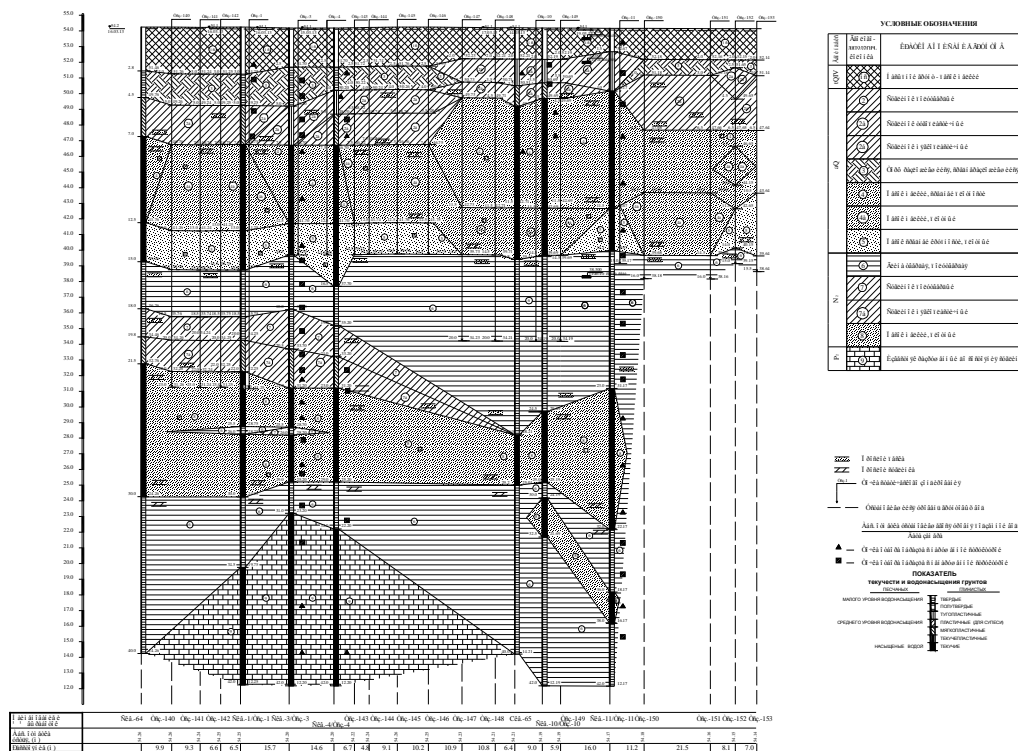


Рис. 1. Инженерно-геологический разрез участка строительства

Как видно из геологического разреза, с поверхности земли (со дна котлована) на глубину до 7 м залегают водонасыщенные слабые глинистые грунты и торф. В связи с этим возникли трудности с выбором фундаментов зданий, а также с обеспечением надежной гидроизоляции подземной части многофункционального комплекса.

Были рассмотрены разные типы оснований и фундаментов многофункционального комплекса. Абсолютная отметка верха плиты фундамента по заданию Заказчика составляет 53,5 м. В связи с тем, что под подошвой плитного фундамента залегают неоднородные насыпные грунты толщиной до 1,8 м, слой торфа толщиной до 2,5 м и сильносжимаемые суглинки толщиной до 4 м, а также из-за явно выраженного несогласованного залегания слоев, вариант естественного основания не может быть реализован.

Поэтому возможно устройство искусственного основания путем замены насыпного грунта и слоя торфа минеральным грунтом или устройство свайного фундамента с опиранием свай на нижележащие слои грунта. Вариант плитного фундамента на искусственном основании требует огромных финансовых затрат как для замены грунта на глубину до 5 м, так и для устройства ограждения котлована при таких глубинах и понижении уровня грунтовых вод на время выполнения земляных работ.

Исходя из этого, в результате проведенных исследований был принят вариант свайного фундамента с плитным ростверком.

Свайный фундамент высотных зданий Амир и Хан было предложено выполнить из железобетонных забивных свай сечением 35x35 см и железобетонного плитного ростверка толщиной 1500 мм. Абсолютная отметка низа ростверка – 52,00 м. Расположение свай под зданием – равномерно распределенное. Рассматривались сваи длиной 14 и 15 м, опирающиеся нижними концами в твердые и полутвердые глины ИГЭ-6. В разных точках площадки была определена несущая способность свай по данным статического зондирования и практическим методом. Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Таблица 1

№	№ ТСЗ	Разрез	Свая 14-35				Свая 15-35				Прим.
			по стат. зонд.		по СНиП		по стат. зонд.		по СНиП		
			F <sub>d</sub>	N <sub>d</sub>	F <sub>d</sub>	N <sub>d</sub>	F <sub>d</sub>	N <sub>d</sub>	F <sub>d</sub>	N <sub>d</sub>	
1	8	4-4	187,2	149,8			197,9	158,3			Амир
2	14	4-4	<b>160,7</b>	<b>128,6</b>	245,0	175,0	-	-	257,5	183,9	Хан
3	7	6-6	172,5	138,0			180,8	144,6			Амир
4	76	6-6	202,2	161,8			161,4	129,1			Хан
5	6	7-7	193,4	154,7			199,9	160,0			Амир
6	54	7-7	<b>162,1</b>	<b>129,7</b>	235,1	167,9	<b>170,1</b>	<b>136,1</b>	246,8	176,3	Амир
7	77	11-11	165,2	<b>132,2</b>			-	-			Хан

Как видно из табл. 1, значения несущей способности свай, определенные по результатам статического зондирования, значительно ниже расчетных значений несущей способности. Учитывая, что результаты статического зондирования являются более точными, для дальнейшего рассматривания использованы данные статического зондирования. В связи с тем, что несущая способность свай длиной 14 и 15 м несущественно отличаются друг от друга, была выбрана свая длиной 14 м. Расчетная допустимая нагрузка на сваю – 129 тонн.

Исходя из общей суммарной вертикальной нагрузки от одного высотного здания на фундамент с учетом веса ростверка 75000 т необходимое количество свай под высотную часть здания составляет 580 шт. При размерах ростверка в плане 32,9x32,9 м шаг свай получается 1350 мм, что составляет 3,9d. Учитывая рекомендуемый минимальный шаг свай в свайно-плитном фундаменте 5d (1750 мм), как вариант можно рассмотреть увеличение размеров плиты ростверка в плане до 45 x 45 м. При этом количество свай под высотное здание с учетом увеличения нагрузок – 625 шт. Также был рассмотрен третий вариант размещения свай – общий фундамент под высотными зданиями Амир и Хан, общее количество свай в этом случае получается 1400 шт.

Фундамент под стилобат зданий Амир и Хан был предложен из забивных свай сечением 30x30 см и плитным ростверком толщиной 500 мм. Рассматривались сваи длиной 7 и 8 м, опирающиеся нижними концами в мелкие пески ИГЭ-4. Сваи располагаются кустами под узловыми нагрузками. Абсолютная отметка низа ростверка – 53,00м. Результаты определения несущей способности свай приводятся в табл. 2.

Таблица 2

№	№ ТСЗ	Разрез	Свая 7-30				Свая 8-30				Прим.
			по стат. зонд.		по СНиП		по стат. зонд.		по СНиП		
			F <sub>d</sub>	N <sub>d</sub>	F <sub>d</sub>	N <sub>d</sub>	F <sub>d</sub>	N <sub>d</sub>	F <sub>d</sub>	N <sub>d</sub>	
1	25	13-13	64,71	51,8	<b>30,1</b>	<b>21,5</b>	92,85	74,3	<b>37,1</b>	<b>26,5</b>	
2	54	13-13	<b>63,97</b>	<b>51,2</b>	44,3	31,6	<b>66,45</b>	<b>53,2</b>	50,4	36,0	
3	38	16-16	70,27	56,2	32,8	23,4	83,33	66,7	38,9	27,8	
4	39	16-16	77,58	62,1	43,3	30,9	79,56	63,6	49,3	35,2	
5	34	24-24	64,78	51,8	44,2	31,6	71,05	56,8	50,1	35,8	
6	61	24-24	70,04	56,0	40,7	29,1	69,25	55,4	46,4	33,1	
7	30	27-27	79,38	63,5	34,0	24,3	79,85	63,9	39,9	28,5	
8	11	45-45	67,16	53,7	49,3	35,2	69,81	55,8	55,3	39,5	

Как видно из табл. 2, в данном случае значения несущей способности свай, определенные по результатам статического зондирования, значительно выше значений несущей способности, определенных практическим методом. В дальнейшем были использованы результаты, полученные по данным статического зондирования.

Учитывая фактические нагрузки от здания и значения несущей способности свай, приняты сваи длиной 8 м. Количество свай под колоннами стилобата определены исходя из узловых нагрузок и составляют от 3 до 7 шт., рекомендуемое расстояние между сваями –  $5d$ , где это невозможно – не менее  $3d$ .

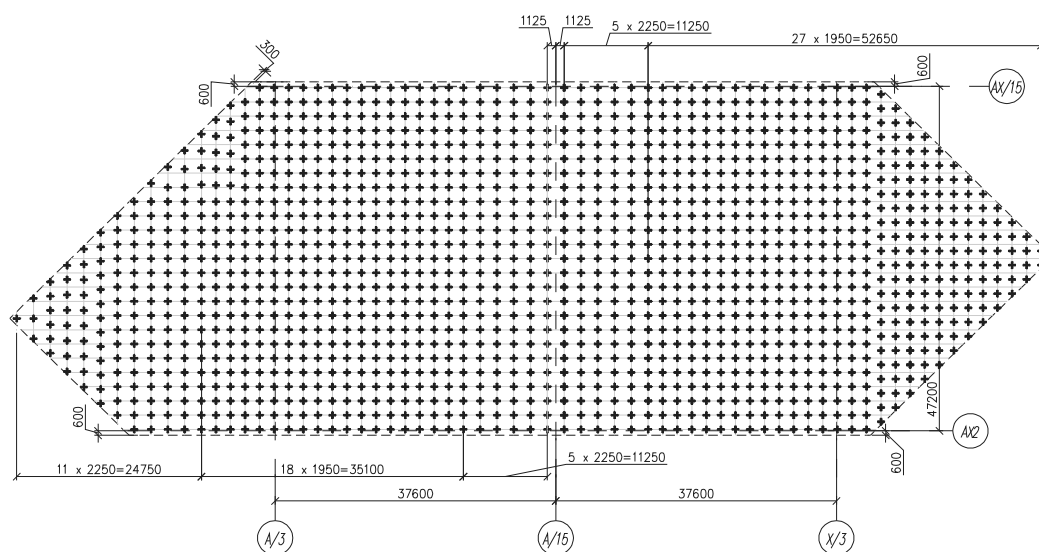


Рис. 2. Размещение свай в свайном фундаменте зданий Амир и Хан при регулярном шаге свай

Осадка большеразмерного свайного фундамента (свайного поля) определяется по формуле:

$$s = s_{ef} + Ds_p + Ds_c, \quad (1)$$

где  $s_{ef}$  – осадка условного фундамента;

$Ds_p$  – дополнительная осадка за счет продавливания свай на уровне подошвы условного фундамента;

$Ds_c$  – дополнительная осадка за счет сжатия ствола свай.

1 вариант – ростверк с размерами в плане 32,9x32,9 м:

$$S = 49,7 + 2,2 + 0,38 = 52,3 \text{ см.}$$

2 вариант – ростверк с размерами в плане 45,0 x 45,0 м:

$$S = 15,8 + 1,8 + 0,37 = 17,97 \text{ см.}$$

3 вариант – общий ростверк под два высотных здания:

$$S = 9,4 + 1,8 + 0,35 = 11,55 \text{ см – для здания Хан,}$$

$$S = 8,0 + 1,6 + 0,33 = 9,93 \text{ см – для здания Амир.}$$

Для стилобата осадка составила 0,5 см.

После определения количества свай и их осадки при регулярном шаге, проведена оптимизация свайного поля. При прогнозировании осадки плитно-свайного фундамента и оптимизации свайного поля с учетом перераспределения усилий между сваями, изменения жесткости свай и жесткости грунтового основания и их взаимодействия при сейсмическом, ветровом и статическом нагружении использовали общеизвестное уравнение жесткости комбинированного свайно-плитного фундамента:

$$K(N) = K_p(N) + K_r(N), \tag{2}$$

где  $K_p(N)$  – жесткость всех свай от суммарного количества циклов нагружения при сейсмическом и ветровом воздействии;

$K_r(N)$  – жесткость плитного ростверка.

Жесткость всех свай определяется по формуле:

$$K_p(N) = \frac{K_1(N) \times n}{R_s}, \tag{3}$$

где  $K_1(N)$  – жесткость одной сваи, определяемая как отношение нагрузки на сваю к ее осадке;

$n$  – общее количество свай в фундаменте;

$R_s$  – коэффициент взаимовлияния свай.

Жесткость плиты с учетом перераспределения усилий вычисляется по формуле:

$$K_r(N) = \frac{E_{sp}(N) \times \sqrt{A}}{[1 - \nu^2(N)] \times m_0}, \tag{4}$$

где  $E_{sp}(N)$  – средний модуль деформации грунта при циклическом нагружении на глубине до  $b$  ( $b$  – ширина фундамента);

$A$  – площадь плиты;

$\nu(N)$  – коэффициент Пуассона грунта при циклическом нагружении;

$m_0$  – коэффициент площади.

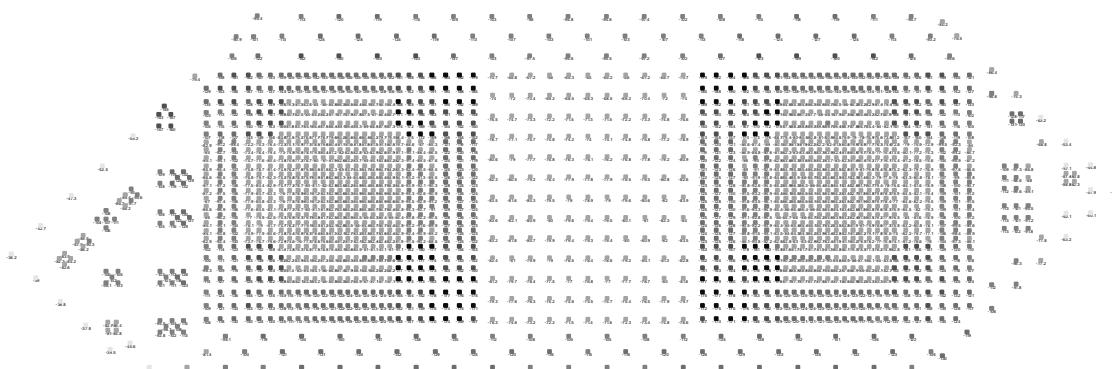


Рис. 3. Оптимизированный вариант размещения свай в плане

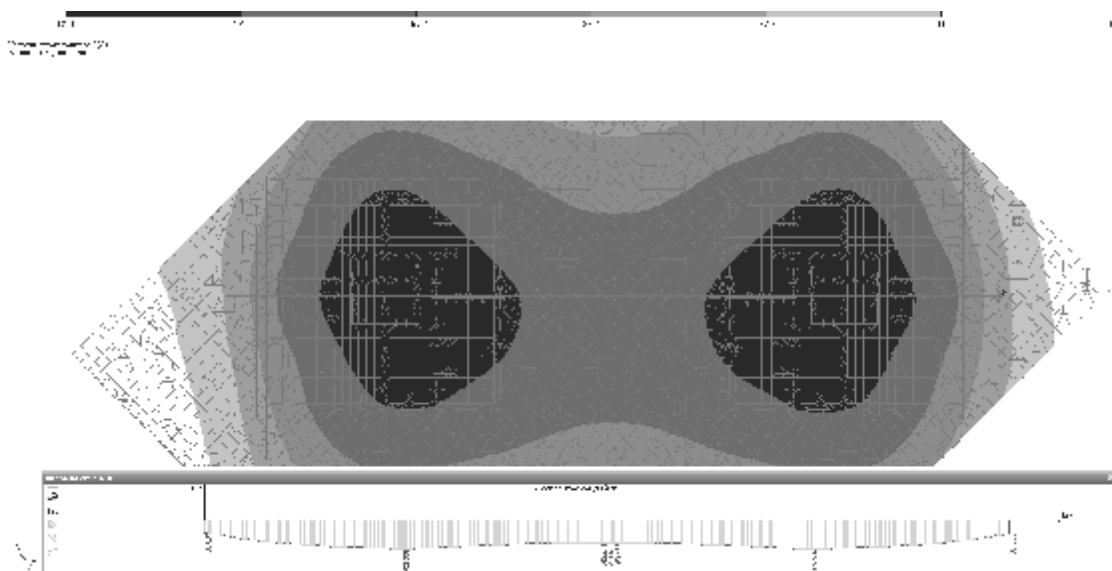


Рис. 4. Эпюра осадок основания плитно-свайного фундамента оптимизированного варианта размещения свай

### Заключение

1. На основании проведенных исследований инженерно-геологических условий площадки для комплекса высотных зданий принят вариант плитно-свайного фундамента.

2. Выполнены расчеты несущей способности свайного фундамента для определения оптимальных размеров применяемых свай.

3. Проведена оценка осадки большеразмерного свайного фундамента для разных вариантов размещения свай. Выполнена оптимизация свайного поля с учетом перераспределения усилий между сваями, изменения жесткости свай и жесткости грунтового основания и их взаимодействия при статическом, ветровом и сейсмическом нагружении.

### Список библиографических ссылок

1. Сорочан Е.А., Трофименков Ю.Г. Основания, фундаменты и подземные сооружения (Справочник проектировщика). – М.: Стройиздат, 1985. – 480 с.
2. СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты». Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85. Минрегион России. – М.: НИИОСП им. Н.М. Герсеванова, 2011.
3. Отчет об инженерно-геологических изысканиях на объекте: «Многофункциональный жилой комплекс «RUMI» с подземной автостоянкой по адресу: ул. Ф. Амирхана Ново-Савиновского района г. Казани», ООО «ГИЦ». – Казань, 2013.
4. Проект многофункционального жилого комплекса «RUMI» по улице Ф. Амирхана Ново-Савиновского района г. Казани, раздел 2, ООО «УЯРУС», 2013.
5. Мирсаяпов И.Т., Шакиров М.И. Плитно-свайные фундаменты при циклическом нагружении // «Геотехника Беларуси: наука и практика». – Минск, 2013. – С. 314-320.
6. Мирсаяпов И.Т., Шакиров М.И. Несущая способность и осадки моделей плитно-свайных фундаментов при циклическом нагружении // Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании: научное издание / Министерство образования и науки РФ, ФГБОУ ВПО МГСУ. – М., 2012. – С. 528-531.
7. Мирсаяпов И.Т., Королева И.В. Прогнозирование деформаций оснований фундаментов с учетом длительного нелинейного деформирования грунтов // Основания, фундаменты и механика грунтов, 2011, № 4. – С. 16-23.
8. Mirsayapov I.T., Koroleva I.V. Bearing capacity and deformation of the base of deep foundations' ground bases // Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground: Proc. intern. symp., Seoul, Korea, 25-27 August 2014. – Lieden: Balkema, 2014. – P. 401-404.

**Mirsayapov I.T.** – doctor of technical sciences, professor

E-mail: [mirsayapov1@mail.ru](mailto:mirsayapov1@mail.ru)

**Shakirov I.F.** – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: [fsrshakirov@mail.ru](mailto:fsrshakirov@mail.ru)

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

### **Selecting the type of foundations and basements of multifunctional complex «Fatikh, Amir and Khan» in the Fatikh Amirhan street in Kazan**

#### **Resume**

Due to complicated engineering and geological conditions when designing of complex high-rise buildings on the Fatikh Amirhan street in Kazan there were difficulties to choose the type of foundations and bases. The ground this complex designed to be located on is characterized by high location of groundwater and the presence of a large layer of weak water-saturated clay and peaty soils. The most optimal solution in these conditions is a variant of plate-pile foundation.

Authors investigated the stress-strain state, the bearing capacity and the settlement of plate-pile foundation with and without joint deformation of the system «pile foundation – grillage plate – overground part of the building». At the beginning were found the parameters of pile foundation without deforming the joint system with regular step piles. In the second stage, has been optimized the pile field, taking into account redistribution of efforts between the piles, the stiffness of piles and rigidity of ground basement and their interaction with the static, wind and seismic loading. Optimization of the pile field allowed to reduce the number of piles and grillage plate reinforcement.

**Keywords:** foundation, pile foundation, plate grillage, bearing capacity, settlements, ground conditions, groundwater.

#### **Reference list**

1. Sorochan E.A., Trofimenkov Y.G. Grounds, foundations and underground structures (Directory designer). – M.: Stroyizdat, 1985. – 480 p.
2. SP 24.13330.2011 «Pile foundations». The updated edition of SNIP 2.02.03-85. Ministry of Regional Development Russia. – M.: NIIOSP them. N.M. Gersevanova, 2011.
3. Report about geotechnical research on the subject: «Multifunctional residential complex «RUMI» with underground parking on the F. Amirhan street, New Savinovsk district of Kazan». – Kazan, 2013.
4. The project of multifunctional residential complex «RUMI» on the F. Amirhan street, New Savinovsk district of Kazan, section 2, of «UYARUS», 2013.
5. Mirsayapov I.T., Shakirov M.I. Plate-pile foundations under cyclic loading. // «Belarus Geotechnics: Science and Practice». – Minsk, 2013. – P. 314-320.
6. Mirsayapov I.T., Shakirov M.I. Bearing capacity and settlement patterns of plate-pile foundations under cyclic loading // Integration, partnership and innovation in construction science and education: scientific publication / Ministry of Education and Science of the Russian Federation, VPO MSUCE. – M., 2012. – P. 528-531.
7. Mirsayapov I.T., Koroleva I.V. Prediction of deformation of the foundation with the long-term non-linear deformation of soil // Osnovaniya, Fundamenty i Mekhanika Gruntov, 2011, № 4. – P. 16-23.
8. Mirsayapov I.T., Koroleva I.V. Bearing capacity and deformation of the base of deep foundations' ground bases // Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground: Proc. intern. symp., Seoul, Korea, 25-27 August 2014. – Lieden: Balkema, 2014. – P. 401-404.