



УДК 624.159.4

Мирсаяпов И.Т. – доктор технических наук, профессор

E-mail: mirsayapov1@mail.ru

Нуриева Д.М. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: danm_n@mail.ru

Королева И.В. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: 79178711218@yandex.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

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

Исследование влияния строительства жилого комплекса в овраге на изменение технического состояния зданий существующей застройки

Аннотация

В работе приведены результаты численных исследований влияния устройства подземной части комплекса многоэтажных жилых зданий на территории оврага «Галеевский» г. Казани на техническое состояние прилегающих зданий существующей застройки. Исследования проводились с применением расчетного комплекса Лира и позволили разработать рекомендации по обеспечению безопасной эксплуатации зданий первой линии, расположенных по периметру оврага, в процессе устройства фундаментов новых зданий жилого комплекса.

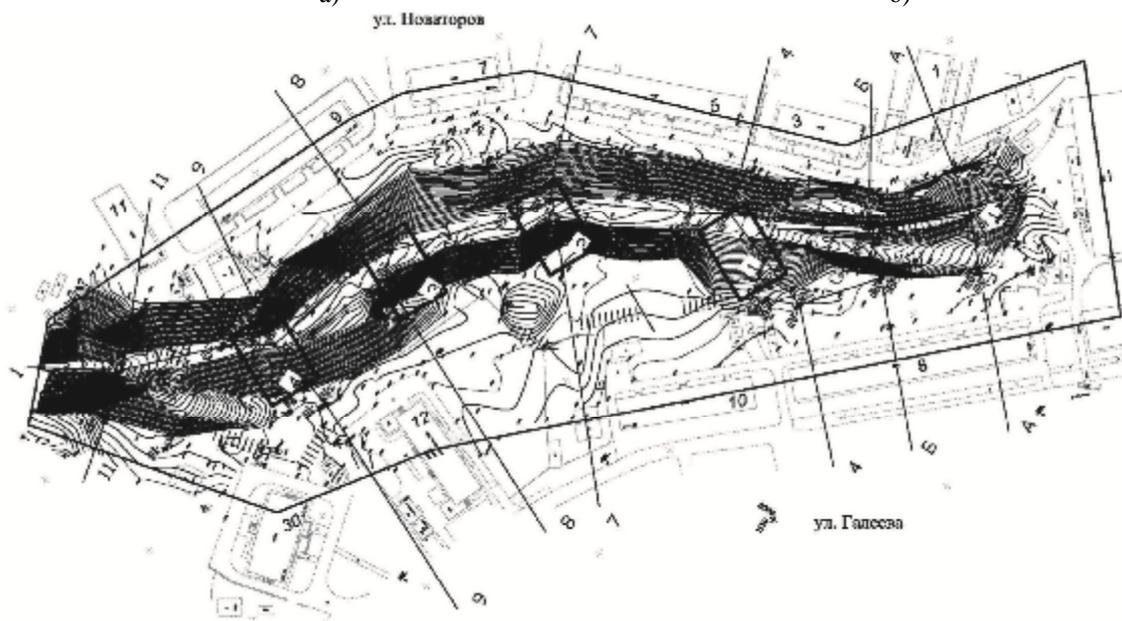
Ключевые слова: численное исследование, грунт, овраг, напряженно-деформированное состояние грунта, лидерная скважина, сваи, фундамент.

Площадка строительства исследуемого жилого комплекса территориально расположена между улицами Новаторов и Бари Галеева в Советском районе г. Казани и локализуется в средней части оврага «Галеевский» (рис. 1). Овраг, согласно данным инженерно-геологических изысканий [1], рассекает склон III надпойменной террасы левобережья рек Волги и Казанки с юго-востока на северо-запад к поверхности надпойменной террасы. Вдоль северной бровки склона проходит улица Новаторов, с запада в 60-70 м овраг пересекает ветка железнодорожных путей, с юга – улица Галеева. В результате деятельности человека естественные формы оврага «Галеевский» были изменены. Ранее протяжённость его составляла около 900 м, сейчас его длина около 600-650 м. Поперечный профиль оврага V-образный. Расстояние между бровками склонов в районе площадки изысканий в центральной и восточной ее части 35-45 м, в западной части 60-70 м. Ширина днища оврага от 5 до 10 м. В период ливневых дождей в тальвеге оврага образуются временные водотоки. Склоны оврага поросли травянистой, местами кустарниковой растительностью и отдельно стоящими деревьями (береза, клен высотой 15-20 м, в диаметре до 20-40 см). Правый склон оврага сильно замусорен бытовыми отходами, стволами срубленных деревьев, по бровке склона располагаются полуразрушенные хозяйственные постройки и гаражи. Крутизна склонов оврага в районе площадки изысканий составляет 35°-46°, глубина вреза оврага 15-20 м. В срединной части длительное время овраг подвергался интенсивному эрозионному расчленению, в результате чего в рельефе по левому склону образовалось два крупных отвершка I порядка и многочисленные мелкие отвершки. Отвершек № 1 расположен по левому склону оврага к западу от площадки, простирается с юга на север, протяженность его около 70 м, ширина между бровками 25-35 м, крутизна склонов 25°-27°, глубина вреза 7-8 м. Верховье отвершка засыпано, частично укреплено подпорной стеной. Отвершек № 2, расположенный по левому склону оврага, простирается с юга на север, протяженность его 50-60 м, расстояние между бровками 15-25 м, крутизна склонов до 35°-45°, глубина вреза 7-12 м. Верховье отвершка также засыпано. Также по левому склону оврага в центральной части площадки располагаются слабо выраженные в рельефе более мелкие отвершки I порядка. В настоящее время верховье оврага (к востоку от площадки изысканий) засыпано и застроено, укреплено бетонной стеной.

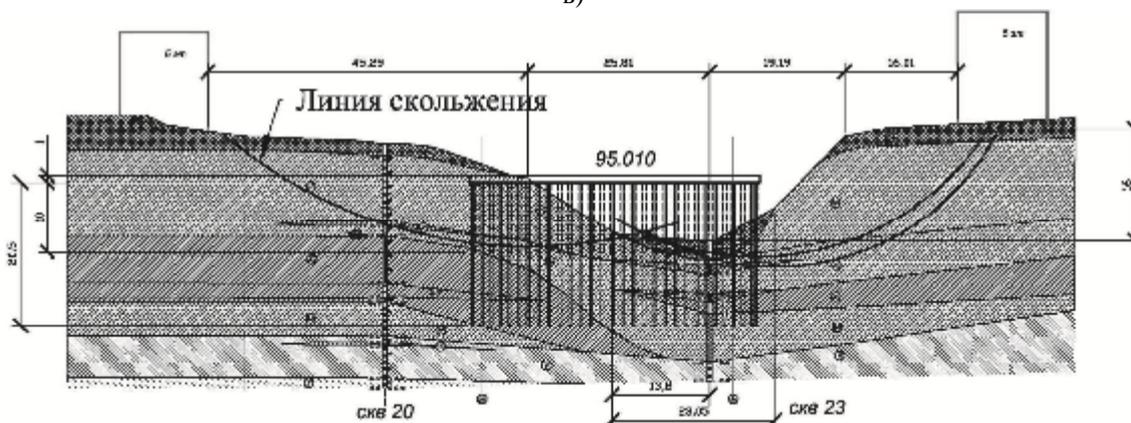


а)

б)



в)



г)

Рис. 1. а, б) внешний вид оврага до отсыпки; в) схема площадки строительства; г) характерный инженерно-геологический разрез площадки с привязкой фундамента нового здания

По обе стороны от оврага расположены пятиэтажные кирпичные жилые дома постройки 50-60-х годов. Результаты их обследования, проведенные в 2014 г. [2],

показали что, они испытывают деформации, связанные с неравномерной осадкой оснований и оползневыми процессами склонов оврага. При осмотре домов обнаружены вертикальные трещины с шириной раскрытия от нитевидных до 3 мм. Трещины в основном наблюдаются между и вдоль оконных проемов, длина их 0,5-1,0 м, местами на всю высоту дома.

В 2014 году было принято решение выполнить работы по засыпке оврага «Галеевский» для строительства жилого комплекса, включающего в себя 4 отдельно стоящих здания из монолитного железобетона высотой 20 этажей с плитно-свайными фундаментами. Сваи, прорезающие толщу насыпного грунта, согласно проекту [3] составные забивные с общей длиной от 20 до 25 м, сечением 350×350 мм (рис. 1г). Учитывая вероятность потери устойчивости склонов оврага при увеличении вертикальной нагрузки, связанной с отсыпкой грунта мощностью до 11 метров, предварительно были выполнены работы по расчету безопасного режима отсыпки котлована [4-6]. Пробная забивка свай, произведенная после засыпки оврага, выявила отрицательное влияние вибрационных воздействий на устойчивость его склонов, что проявлялось в увеличении ширины раскрытия трещин в зданиях, расположенных максимально близко к берегам оврага. Ширина раскрытия трещин местами достигла 10 мм. В связи с этим возникла необходимость в разработке системы защитных мероприятий оснований существующих зданий от влияния строящихся зданий жилого комплекса.

Аналитические исследования влияния строительства многоэтажного жилого комплекса на техническое состояние существующих зданий первой линии по периметру оврага проводились в июне-июле 2016 г. Для характерных расчетных створов, расположенных в зоне проектируемых зданий, в программе Лира 9.6 были созданы конечно-элементные модели, отражающие особенности площадки строительства. Для моделирования работы грунта использовались треугольные и трапециевидные конечные элементы № 282, 284 [7, 8], расчетные параметры которых задавались на основании данных инженерно-геологических изысканий [1]. Учет влияния зданий строящегося жилого комплекса на существующую застройку осуществлялся с помощью встроенного в ПК Лира модуля «Монтаж», позволяющего учесть все этапы возведения конструкций, включая предысторию нагружения. Нагружение моделей и последующий анализ результатов расчета проводились с учетом ранее проведенных исследований устойчивости откосов Галеевского оврага [4-6]. При этом было рассмотрено несколько стадий. На первых стадиях задавались нагрузки от собственного веса грунта и существующих зданий, расположенных вблизи склонов оврага. Передача нагрузок осуществлялась посредством балочных элементов (кэ № 10). Далее задавалась нагрузка от веса отсыпанного в овраг грунта. Учитывая, что подсыпка, обладая большой мощностью, может вовлекаться в работу и создавать определенный распорный эффект для коренных берегов оврага, было решено учитывать его работу с помощью грунтовых конечных элементов. На последующих стадиях моделировался процесс погружения свай строящихся зданий жилого комплекса. При моделировании свай использовались 3-х и 4-х узловые элементы балки-стенки (кэ 24, 27). Процесс забивки задавался в виде импульсной (ударной) нагрузки циклического действия. Режим нагружения принимался исходя из технических характеристик свайного гидромолота РОПАТ МГ5ш при следующих параметрах: форма импульса прямоугольная; вес ударяющего груза 5,4 т, коэффициент динамичности 1,5; усредненная сила импульса 8,1 т; частота ударов 60 уд/мин; период повторения воздействия 1 сек; максимальная энергия удара 55 кДж.

Для выбора наиболее безопасного режима погружения свай строящихся зданий для существующей прилегающей застройки были исследованы следующие факторы:

- влияние забивки 1-го (ближнего к склону) ряда свай на существующую застройку;
- влияние технологии устройства лидерной скважины;
- влияния экранирующего эффекта ранее забитых свай и буронабивных свай;
- влияние схемы погружения свай внутри зоны, ограниченной созданным экраном из ранее устроенных свай.

При исследовании влияния забивки свай 1-го ближнего к склону ряда на существующую застройку технологический процесс устройства свай моделировался в соответствии с проектной документацией [3]. То есть предполагалось, что забивка свай

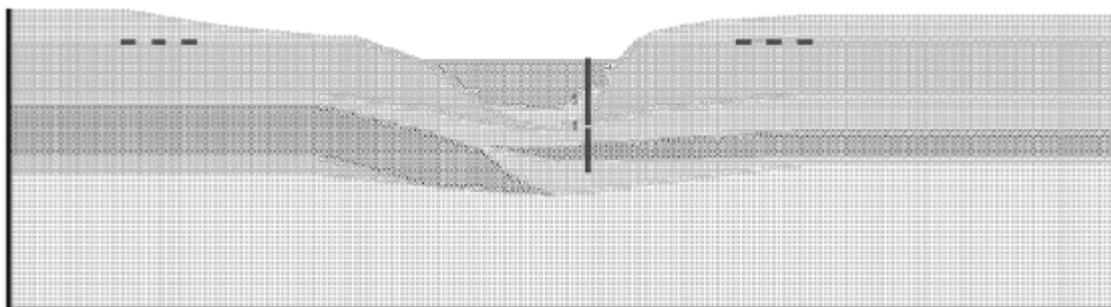
осуществляется с предварительным устройством лидерной скважины без защиты стенок скважины от осыпания. Расчетная модель показана на рис. 2а, где красным цветом отображено расположение фундаментов существующих зданий и рассматриваемой сваи строящегося здания. Анализ результатов расчета показал следующую картину для одного из наиболее неблагоприятных участков оврага:

- на стадии 1, характеризующей изначальное состояние оврага, наблюдаются сдвиговые деформации берегов оврага;

- после учета нагрузки от веса существующих 5-этажных зданий по берегам оврага (стадия 2, рис. 2б) наблюдается проявление деформации сдвига в основании фундаментов этих зданий;

- после засыпки оврага прослеживается положительный эффект для существующих зданий. За счет распорного эффекта грунта засыпки оврага обширные деформации сдвига под существующими зданиями значительно снизились. Тем не менее, наблюдаются деформации в самой подсыпке, присутствуют локальные деформации растяжения и сдвига в грунте по правому берегу оврага и под существующим зданием.

- после забивки 1-го ряда свай (стадия 4, рис. 2в) наблюдается активизация деформации растяжения и сдвига на правом берегу откоса, включая зону под существующим зданием.



а)



б)



в)

Рис. 2. Напряженное состояние массива грунта: а) расчетная модель; б) изначальное состояние грунтового массива с учетом существующих зданий, расположенных по берегам оврага (стадия 2); в) состояние грунтового массива после забивки свай 1-го ряда (стадия 4)

При исследовании **влияния технологии устройства лидерной скважины**, предшествующей забивке свай, технологический процесс устройства моделировался исходя из условия, что забивка свай осуществляется гидромолотом с предварительным устройством лидерной скважины диаметром 350 мм и глубиной 12 м. Расчеты проводились для свай, расположенной в центральной зоне строительной площадки. При этом предполагалось, что первые ряды свай со стороны левого и правого берега оврага, создающие экранирующий эффект, уже погружены. При моделировании рассматривалось 2 варианта устройства лидерной скважины: вариант 1 – без проведения мероприятий по обеспечению устойчивости стенок скважины; вариант 2 – устройство лидерной скважины под защитой глинистого раствора. Во втором варианте в расчетной схеме глинистый раствор моделировался грунтовыми элементами (кэ № 281-284) с характеристиками: $E = 7000 \text{ кН/м}^2$, $r = 2 \text{ т/м}$, $c = 29 \text{ кПа}$, $j = 7^0$, что соответствует согласно СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений» глинистому грунту с показателем текучести 0,75 и коэффициентом пористости равным 1,0. Анализ результатов расчета показал, что до устройства лидерной скважины, учитывая экранирующий эффект крайних свай, наблюдаются относительно небольшие зоны сдвига в грунте подсыпки. После устройства лидерной скважины без защиты деформации сдвига увеличиваются, смещаются и локализуются в зоне созданной скважины. Приращение горизонтальных перемещений на данном шаге локально составляет 23 мм (рис. 3), что может свидетельствовать о местной потере устойчивости стенок скважины и необходимости защиты ее стенок от осыпания. Вместе с тем, при устройстве лидерной скважины под защитой глинистого раствора приращение горизонтальных перемещений не наблюдается. То есть при данном методе устойчивость стенок лидерной скважины обеспечена.

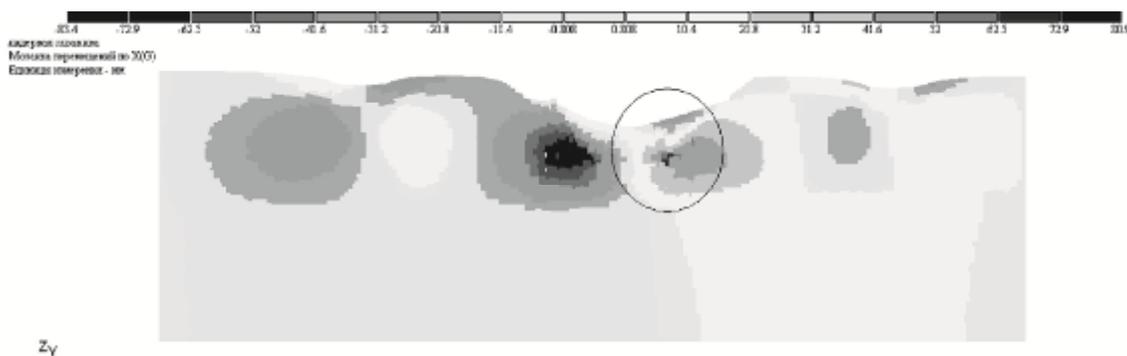


Рис. 3. Горизонтальные деформации в грунтовом массиве при устройстве лидерной скважины без проведения мероприятий обеспечивающих устойчивость стенок скважины

При исследовании **влияния экранирующего эффекта ранее погруженных свай** выделялось несколько вариантов:

- вариант 1 – технологический процесс устройства свайного поля соответствует проектной документацией: забивка свай осуществляется гидромолотом РОПАТ с предварительным устройством лидерной скважины без защиты стенок скважины. Устройство экрана из свай 1-го, 2-го, 3-го, 4-го ряда производится со стороны правого (наиболее опасного) склона, при этом их забивка осуществляется за короткий промежуток времени (без отдыха). Эффективность работы экрана оценивалась при погружении свай 5-го ряда;

- вариант 2 – технология та же, что и в варианте 1. Отличие заключается в том, что забивка 5-го ряда свай производится через определенный промежуток времени с момента устройства экрана из крайних рядов свай в связи с перерывом в строительстве. Тем самым учитывается процесс релаксации напряжений в грунте (отдых). Кроме того устройство лидерной скважины осуществляется под защитой глинистого раствора. При этом учитывается возникновение тиксотропной рубашки, позволяющей исключить сопротивление грунта по боковой поверхности сваи во время забивки, и, тем самым, облегчить погружение свай.

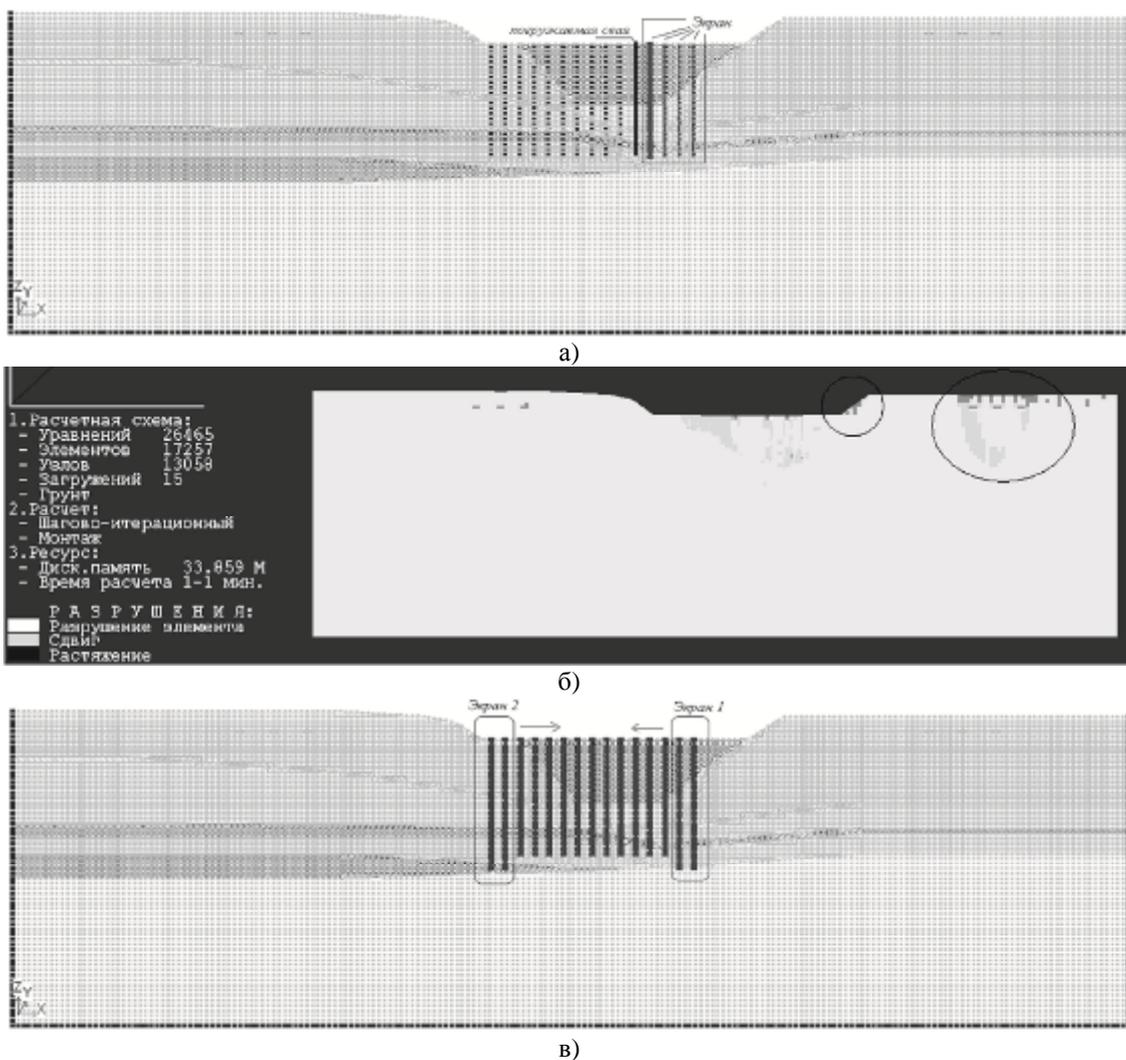


Рис. 4. а) расчетная модель при учете экранирующего эффекта из ранее забитых свай;
 б) состояние грунта при полном погружении 5-го ряда свай (вариант 1);
 в) расчетная модель при создании экрана из буронабивных свай

Анализ результатов расчета показал, что после забивки 1-го ряда свай увеличиваются деформации на верхних участках правого берега оврага и появляются зоны сдвига под крайним (ближним к оврагу) фундаментом прилегающего существующего здания. Забивка 2-го, 3-го и 4-го ряда свай приводит к накоплению деформаций, и на этапе забивки сваи 5-го ряда уже проявляются обширные зоны сдвига в основании существующего здания (рис. 4б). Причем активное развитие этого негативного процесса наблюдается при ударном воздействии свай в уровне коренных пород. Вертикальные перемещения до 10 см отмечены в центральной части строительной площадки. Под существующими зданиями они не превышают 1 мм. Все это позволило сделать вывод, что при забивке без отдыха экранирующий эффект крайних рядов свай не проявляется и последующая забивка негативно сказывается на прилегающей застройке. При этом повреждения происходят преимущественно за счет сдвиговых деформаций в основании их фундаментов без проявления вертикальных. Анализ результатов расчета для варианта 2, показал, что при действии динамической нагрузки в момент устройства 5-го ряда свай наблюдается распространение сдвиговых деформаций, включая межсвайное пространство экрана, но они локализируются только в подсыпке и не распространяются на соседние участки. То есть можно считать, что при забивке свай с использованием тиксотропной рубашки из глинистого раствора в режиме, включающем процесс релаксации напряжений в грунте во время отдыха, крайние ряды свай могут служить экраном, обеспечивающим безопасность для окружающей застройки. Однако,

учитывая, что погружение самих свай, создающих экран, путем забивки, оказывает негативное влияние на существующие здания, был рассмотрен дополнительный вариант устройства экрана, не из забивных, а из буронабивных свай, устраиваемых под защитой обсадной трубы. Для лучшего обеспечения экранирующего эффекта длина буронабивных свай была принята на 2,5 м больше относительно основных забивных свай. Экран создавался сначала со стороны правого, затем со стороны левого берега оврага (рис. 4в). При этом при погружении свай внутри зоны, ограниченной экраном, были рассмотрены схемы их забивки как от периферии к центру площадки, так и от центра к периферии (к границам экрана). Анализ результатов расчета показал, что при устройстве экрана из буронабивных свай отсутствуют те негативные процессы под основаниями фундаментов существующих зданий по правому берегу оврага, которые проявлялись при устройстве экрана из забивных свай. При погружении свай забивкой внутри зоны ограниченной экраном из буронабивных свай деформации сдвига локализуются в центральной части площадки строительства (подсыпке), под существующими зданиями проявляются незначительные локальные зоны растяжения, вертикальных деформаций не выявлено.

На основании проведенных исследований были сделаны следующие выводы:

1. Забивка свай в зонах, расположенных максимально близко к зданиям существующей застройки является опасной, поскольку вызывает развитие сдвиговых деформаций в основании их фундаментов.

2. Самым оптимальным, для обеспечения безопасности существующих зданий, расположенных на прилегающих к площадке строительства участках, является возведение фундаментов с применением буронабивных свай, устраиваемых под защитой обсадных труб. С экономической точки зрения достаточным уровнем надежности является забивка свай в лидерные скважины с применением глинистого раствора с предварительным устройством защитного экрана из буронабивных свай, выполненных под защитой обсадных труб. При этом наиболее рациональной является забивка свай внутри зоны, ограниченной экранами, по направлению: от защитных экранов к центру свайного поля.

Список библиографических ссылок

1. Технический отчет об инженерно-геологических изысканиях площадки строительства объекта «Жилой комплекс по ул. Галеева в Советском районе г. Казани», ОАО «КазГИСИЗ». – Казань, 2014.
2. Технический отчет № 1440/1-9-14 по результатам обследования технического состояния строительных конструкций здания, расположенного по адресу: РТ, г. Казань, ул. Новаторов, дд. 1, 3, 5, 7, 9, 11 и по ул. Галеева, дд. 8, 10, 16, ООО «Эксперт Строй Инжиниринг» (ООО «ЭСИН»). – Казань, 2014.
3. Проект «Сборно-монолитный железобетонный каркас. Объект: Жилой комплекс по ул. Галеева Советского района г. Казани (4 этап строительства). Жилые дома № 1, 2, 3, 4 со встроенными нежилыми помещениями. Конструкции железобетонные ниже отм. 0,000». ООО «Проектно-конструкторская фирма «КАРКАС». – Казань, 2016.
4. Мирсаяпов И.Т., Нуриева Д.М., Королева И.В. Исследование устойчивости склонов Галеевского оврага в г. Казани // Известия КГАСУ, 2015, № 2 (32). – С. 176-182.
5. Мирсаяпов И.Т., Нуриева Д.М., Королева И.В. Оценка устойчивости склонов Галеевского оврага в г. Казани // Вестник гражданских инженеров, 2016, № 2 (55). – С. 87-93.
6. Отчет по НИР. Тема № 52/12-14. Мирсаяпов И.Т. и др. Исследование устойчивости склона оврага «Галеевский» для площадки строительства объекта «Жилой комплекс по ул. Галеева в Советском районе г. Казани».
7. Городецкий А.С., Евзеров И.Д. Компьютерные модели конструкций. – М.: Издательство АСВ, 2009. – 360 с.
8. Стрелец-Стрелецкий Е.Б., Боговис В.Е., Гензерский Ю.В., Гераймович Ю.Д., Марченко Д.В., Титок В.П. Лира 9.4. Руководство пользователя. Основы. – Киев: Издательство «ФАКТ», 2008. – 164 с.

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

E-mail: mirsayapov@kgasu.ru

Nurieva D.M. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: danm_n@mail.ru

Koroleva I.V. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: 79178711218@yandex.ru

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

Investigation of influence of a housing complex construction in the ravine to the change the technical condition of existing building

Resume

The article presents the results of numerical studies of the impact of the construction of the underground part of a residential complex on the territory of the Galeev ravine in the Soviet district of Kazan on the condition of the buildings of the existing building. In the design of the complex was envisaged filling the ravine ground up to 11 meters and construction of raft-pile foundations under the building complex. The foundation is designed from precast composite piles with a total length up to 25 m after filling the ravine conducted trial piling. This piling revealed a negative effect of vibration effects on the stability of the slopes of the ravine. There was a need to develop protective measures against the impact of new construction. These measures defended by the bases of existing buildings, located off the coast of the ravine. In conducting research for numerical calculation of characteristic cross-sections, located in the area of buildings designed in a LIRA model were created. These models reflect the features of the construction site and loading conditions. The following factors were examined to select the most secure mode of immersion of piles: influence of driving 1st (low to the slope) of the line of piles; the influence of technology of leader well; the influence of the shielding effect of the previously dntrodden piles and bored piles; the influence of immersion scheme piles inside the zone bounded by the screen created from a previously arranged piles. Based on the analysis of the calculation results, conclusions and recommendations were made.

Keywords: numerical study, the soil, the ravine, the stress-strain state of the soil, the leader bore, pile foundations.

Reference list

1. Technical Report on engineering-geological survey of the construction site of the object «Residential complex on the st. Galeeva in the Soviet area of Kazan», OJSC «KazTISIZ». – Kazan, 2014.
2. Technical Report № 1440/1-9-14 Results of the technical state of the structures of the building survey, located at RT, Kazan, st. Novatorov, dd. 1, 3, 5, 7, 9, and 11 st. Galeeva, dd. 8, 10, 16, ООО «Expert Story Engineering» (JSC «Esin»). – Kazan, 2014.
3. The project «Prefabricated reinforced concrete-frame. Object: Residential Complex on the st. Galeeva Soviet district of Kazan (4th stage of construction). Houses № 1, 2, 3, 4 with integrated non-residential premises. Ferro-concrete constructions below the elevation. 0,000». LLC «Project and design firm «KARKAS». – Kazan, 2016.
4. Mirsayapov I.T., Nurieva D.M., Koroleva I.V. Investigation of the stability of slopes of the ravine Galeev in Kazan // *Izvestiya KGASU*, 2015, № 2 (32). – P. 176-182.
5. Mirsayapov I.T., Nurieva D.M., Koroleva I.V. Assessment of the stability of the slopes of the ravine Galeev in Kazan // *Vestnik grazhdaniskikh inzhenerov*, 2016, № 2 (55). – P. 87-93.
6. The research report. Theme № 52/12-14. Mirsayapov I.T. and others. Investigation of slope stability of «Galeev» ravine to the construction site of the project: «The residential complex on the st. Galeeva in the Soviet district of Kazan».
7. Gorodetskiy A.S., Evzerov I.D. Computer models of structures. – M.: Publishing ASV, 2009. – 360 p.
8. Strelets-Streletskiy E.B., Bogovis V.E., Genzerskiy Yu.V., Geraymovich Yu.D., Marchenko D.V., Titok V.P. Lira 9.4. User guide. Fundamentals. – Kiev: Publishing «FAKT», 2008. – 164 p.