



УДК 624.159.4

Мирсаяпов И.Т. – доктор технических наук, профессор

E-mail: mirsayapov@kgasu.ru

Нуриева Д.М. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: danm_n@mail.ru

Королева И.В. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: koroleva@kgasu.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

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

Исследование устойчивости склонов Галеевского оврага в г. Казани

Аннотация

В работе проведена оценка устойчивости склонов оврага в районе улиц Б. Галева и улицы Новаторов г. Казани. Целью исследований являлась проработка технологических решений, позволяющих в период строительства в зоне оврага комплекса многоэтажных зданий обеспечить безопасную эксплуатацию расположенных вблизи жилых домов. Исследование устойчивости откосов производилось с помощью программ Лира и «Откос». Результаты расчета позволили принять наиболее оптимальную схему послышной засыпки оврага до проектных отметок.

Ключевые слова: устойчивость склонов, откос, напряженно-деформированное состояние, компьютерная модель.

Исследование устойчивости склонов оврага в районе улиц Бари Галеева и улицы Новаторов г. Казани производилась в связи с проектированием комплекса многоэтажных зданий с подземной парковкой, предусматривающем предварительную засыпку оврага до таких проектных отметок, что мощность отсыпаемого грунта местами достигала 10 метров. Предварительное обследование расположенных у правого и левого берега оврага пятиэтажных жилых кирпичных зданий постройки 50-60-х годов, показало, что уже сейчас они испытывают негативные процессы, связанные со сдвигом склонов. Учитывая, что засыпка оврага может повлечь усугубление оползневых процессов, возникла необходимость в проработке технологических решений, позволяющих обеспечить в период строительства безопасную эксплуатацию расположенных вблизи оврага жилых зданий. На рис. 1 показан план строительной площадки с расположением проектируемых и существующих зданий, а также характерный геологический разрез оврага.

Площадка строительства сложена грунтами со следующими расчетными характеристиками: ИГЭ-НС – насыпной грунт; ИГЭ-3а – суглинок твердый, полутвердый (в естественном состоянии $\gamma = 1,95 \text{ т/м}^3$, $j = 22^\circ$, $c = 28 \text{ кПа}$, $E = 17 \text{ МПа}$; в замоченном состоянии $\gamma = 2,05 \text{ т/м}^3$, $j = 20^\circ$, $c = 20 \text{ кПа}$, $E = 14 \text{ МПа}$); ИГЭ-3б – суглинок тугопластичный (в естественном состоянии $\gamma = 2,0 \text{ т/м}^3$, $j = 20^\circ$, $c = 24 \text{ кПа}$, $E = 13 \text{ МПа}$; в замоченном состоянии $\gamma = 2,04 \text{ т/м}^3$, $j = 16^\circ$, $c = 17 \text{ кПа}$, $E = 10 \text{ МПа}$); ИГЭ-3в – суглинок мягкопластичный (в естественном состоянии $\gamma = 2,0 \text{ т/м}^3$, $j = 19^\circ$, $c = 18 \text{ кПа}$, $E = 7,4 \text{ МПа}$; в замоченном состоянии $\gamma = 2,08 \text{ т/м}^3$, $j = 15^\circ$, $c = 10 \text{ кПа}$, $E = 7,3 \text{ МПа}$); ИГЭ-4а – супесь твердая (в естественном состоянии $\gamma = 1,85 \text{ т/м}^3$, $j = 24^\circ$, $c = 17 \text{ кПа}$, $E = 13 \text{ МПа}$; в замоченном состоянии $\gamma = 2,04 \text{ т/м}^3$, $j = 16^\circ$, $c = 14 \text{ кПа}$, $E = 13 \text{ МПа}$); ИГЭ-4б – супесь пластичная (в естественном состоянии $\gamma = 1,99 \text{ т/м}^3$, $j = 18^\circ$, $c = 15 \text{ кПа}$, $E = 17 \text{ МПа}$; в замоченном состоянии $\gamma = 2,05 \text{ т/м}^3$, $j = 17^\circ$, $c = 11 \text{ кПа}$, $E = 12 \text{ МПа}$); ИГЭ-6а – песок мелкий водонасыщенный средней плотности (в естественном и замоченном состояниях $\gamma = 2,00 \text{ т/м}^3$, $j = 32^\circ$, $c = 1,3 \text{ кПа}$, $E = 26 \text{ МПа}$).

Для оценки влияния подсыпки на устойчивость склонов было проведено моделирование напряженно-деформированного состояния грунтовых массивов с использованием расчетного комплекса Лира. При этом были созданы модели, включающие систему физически-нелинейных конечных элементов, описывающих работу грунта в соответствии с теорией прочности Кулона-Мора. Построение отдельной модели производилось для каждого характерного створа оврага с учетом особенностей рельефа,

напластования грунтов и условий нагружения. Результаты расчета позволили принять наиболее оптимальную схему послойной засыпки оврага до проектных отметок. Дополнительно с помощью программы «Откос» была проведена оценка устойчивости склонов оврага до, в момент и по окончании подсыпки, а также устойчивость склонов, подрезаемых проектируемыми зданиями в наиболее опасных сечениях.

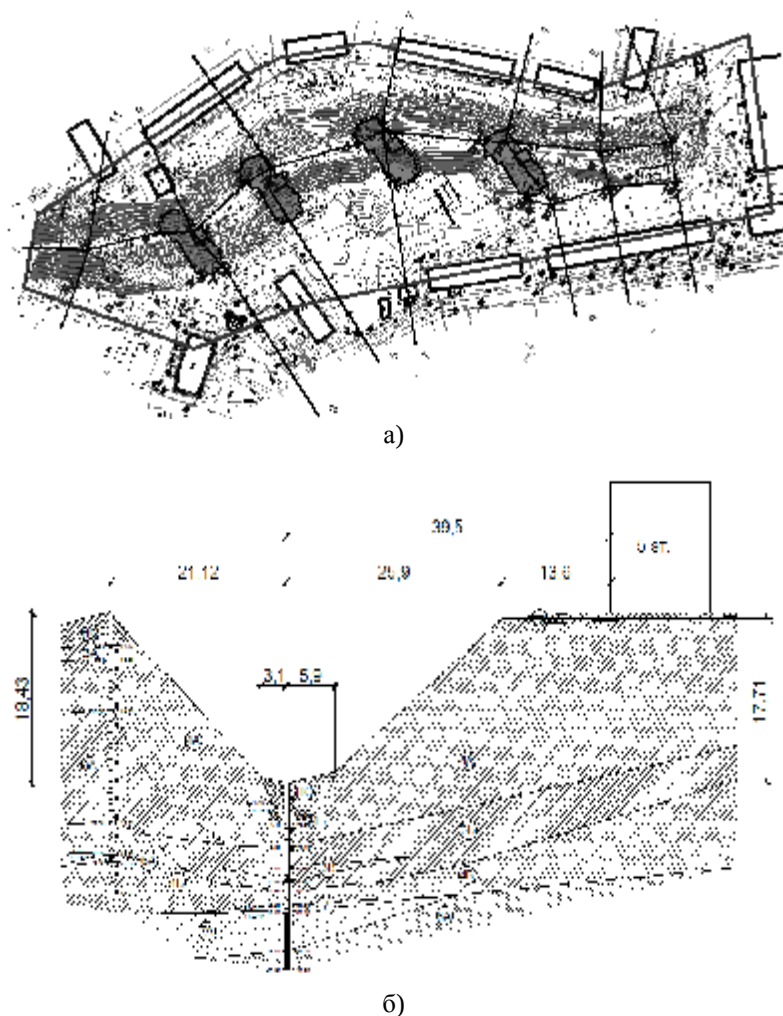


Рис. 1. а) план строительной площадки; б) характерный геологический разрез оврага

Предварительная оценка устойчивости склонов оврага проводилась для каждого расчетного створа с использованием классического подхода, который предполагает расчет устойчивости откоса по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения. Здесь под термином «устойчивость откоса» подразумевалась устойчивость его призмы или части откоса на сползание в результате нарушения равновесия внешних и внутренних сил, которые состоят из собственного веса грунта и дополнительных пригрузок, связанных с наличием вблизи откосов жилых зданий высотой от 1 до 5 этажей. Расчеты производились в условиях естественного и замоченного состояния грунтов оврага с помощью программы «Откос» с использованием методов Г. Крея, К. Терцаги и «весового давления» [1-6, 9]. Критерием устойчивости склона (откоса) во всех случаях являлось выполнение условия: $K_3 \geq 1,2$. Вычисление коэффициента запаса K_3 проводилось по формулам:

- для метода Крея:

$$K_3 = \frac{1}{\sum_{i=1}^n G_i \sin \alpha_i + \frac{f_i F_i}{R}} \times \frac{(G + P_B \cos \alpha)_i \cdot \tan j_i + c_i b_i}{\sum_{i=1}^n \cos \alpha_i \left(\frac{G_i}{K_3} + \frac{P_B}{R} \right) + \frac{f_i F_i}{R} + \frac{c_i b_i}{K_3}}; \quad (1)$$

- для метода Терцаги:

$$K_3 = \frac{\sum (G - P_B \cos \alpha)_i \cdot \tan \alpha_i + c_i b_i / \cos \alpha_i}{\sum G_i \cdot \sin \alpha_i + \frac{f_i \cdot F_i}{R}} \quad (2)$$

- для метода весового давления:

$$K_3 = \frac{\sum (G - P_B \cos \alpha)_i \cdot \tan \alpha_i + c_i b_i / \cos \alpha_i}{\sum G_i \cdot \sin \alpha_i + \frac{f_i \cdot F_i}{R}} \quad (3)$$

В приведенных формулах использованы обозначения: G_i – вес грунта и воды в пределах отсека; F_i – горизонтальная составляющая внешней нагрузки на отсек (поверхностные и объемные силы, исключая фильтрационные); α_i – угол внутреннего трения грунта отсека; c_i – удельное сцепление грунта отсека; b_i – ширина отсека; R – радиус круглоцилиндрической дуги скольжения; α_i – наклон поверхности скольжения к горизонту.

Таблица 1

Результаты расчетов устойчивости склонов оврага до отсыпки грунтом

Здание	Створ	Левая сторона (ул. Б. Галева)		Правая сторона (ул. Новаторов)	
		грунт в естеств. состоянии	грунт в замоченном состоянии	грунт в естеств. состоянии	грунт в замоченном состоянии
1	А-А	+	+	+	-
	Б-Б	+	+	-	-
	4-4	+	+	-	-
2	7-7	+	+	+	-
3	8-8	-	-	-	-
4	9-9	+	-	-	-
	11-11	-	-	-	-

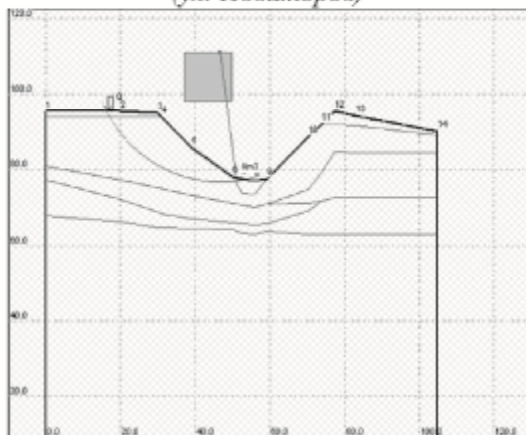
Примечание к таблице:

(+) – грунт устойчив

(-) – грунт не устойчив или близок к предельному состоянию

Результаты расчета сведены в табл. 1. Линии скольжения и значения коэффициентов запаса для наиболее опасного створа оврага представлены на рис. 2. Анализ результатов расчета показал, что склоны оврага со стороны ул. Б. Галева местами не устойчивы, со стороны ул. Новаторов – в большинстве своем не устойчивы как в замоченном, так и в естественном состоянии, что подтверждают характерные повреждения жилых зданий, расположенных вблизи оврага.

Разрез 11-11 – правая сторона
(ул. Новаторов)



Грунт в естественном состоянии

Метод расчета	K _{мин}	R, [м]	X ₀ , [м]	Y ₀ , [м]
Г. Края	1.210942	34.22	46.75	111.00
К. Терцаги	1.101544	34.22	46.75	111.00
"Весового давления"	1.262371	34.22	46.75	111.00

Грунт в замоченном состоянии

Метод расчета	K _{мин}	R, [м]	X ₀ , [м]	Y ₀ , [м]
Г. Края	0.939926	34.22	46.75	111.00
К. Терцаги	0.764201	34.22	46.75	111.00
"Весового давления"	0.972687	34.22	46.75	111.00

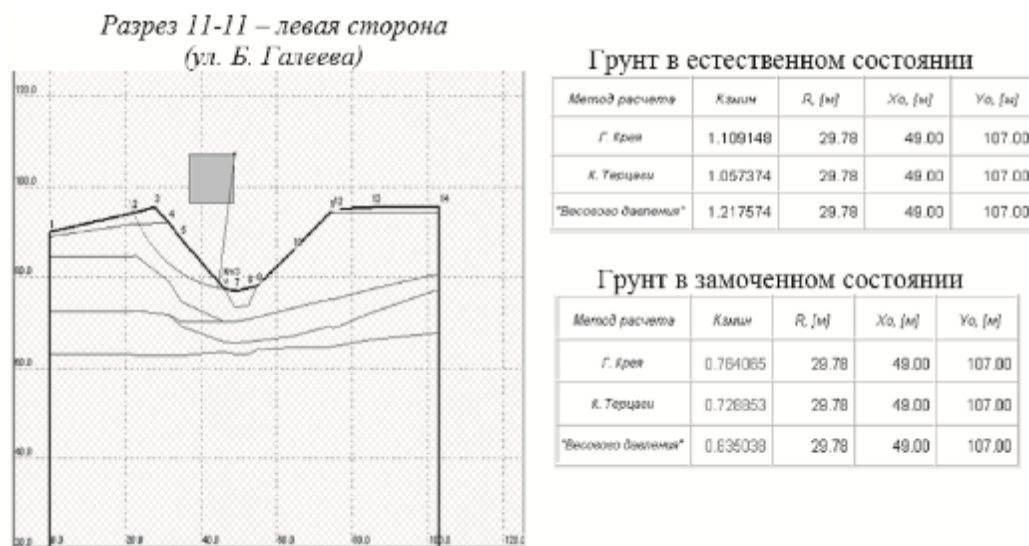


Рис. 2. Расчетные схемы склонов оврага и полученные коэффициенты запаса

Для оценки влияния подсыпки на устойчивость склонов оврага было проведено моделирование напряженно деформированного состояния грунтовых массивов с использованием расчетного комплекса Лира 9.6, реализующего метод конечных элементов в форме метода перемещений. При этом были созданы модели, включающие систему физически-нелинейных конечных элементов, описывающих работу грунта в соответствии с теорией прочности Кулон-Мора. Построение отдельной модели производилось для каждого характерного створа оврага с учетом особенностей рельефа, напластования грунтов и условий нагружения. Для моделирования работы грунта использовались треугольные и трапециевидальные конечные элементы № 282, 284. В качестве исходных параметров для данных конечных элементов задавались: модуль деформации грунта по ветви первичного нагружения E , коэффициент Пуассона μ - коэффициент перехода к модулю деформации грунта по ветви вторичного нагружения k_e (принимался равным 5 на основании СП 50-101-2004 «Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений»), расчетное удельное сцепление грунта C , расчетный угол внутреннего трения грунта j , предельное напряжение при растяжении (принималось равным $R_t = 0,1C$ в соответствии с рекомендациями разработчиков программы), расчетный удельный вес грунта g . Расчетные характеристики грунтов были заданы на основании данных инженерно-геологических изысканий [2, 3].

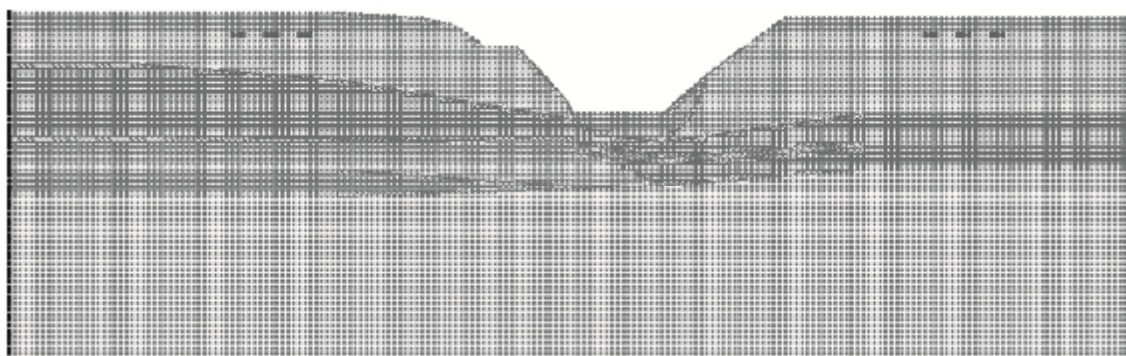


Рис. 3. Характерная расчетная модель грунтового массива

Нагружение модели производилось в несколько стадий. На первых стадиях задавались нагрузки от собственного веса грунта и существующих зданий, расположенных вблизи склонов оврага. Передача последних осуществлялась посредством балочных элементов ($k\alpha 10$). На последующих стадиях задавалась нагрузка

от подсыпки грунта. Учет планируемой поэтапной отсыпки грунта до проектных отметок осуществлялся с помощью модуля «Монтаж». При этом высота одного слоя отсыпки была принята равной один метр после уплотнения до плотности 1800 кг/м^3 . Начальная плотность грунта в момент отсыпки была принята 1600 кг/м^3 .

Для выбора безопасного с точки зрения устойчивости склонов оврага вариантов отсыпки предварительно для самого неблагоприятного сечения (створ 11-11) было рассмотрено 3 варианта последовательности отсыпки грунта:

вариант 1 – отсыпка осуществляется слоями последовательно с пригрузением преимущественно правого (неустойчивого) склона;

вариант 2 – отсыпка осуществляется последовательно с пригрузением преимущественно левого склона;

вариант 3 – отсыпка осуществляется последовательно равномерно по всей ширине оврага.

Варианты отсыпки с указанием последовательности отсыпаемых слоев приведены на рисунке 4. Анализ результатов расчета напряженного состояния грунтового массива оврага для рассмотренных вариантов показал, что наиболее безопасным является вариант отсыпки с пригрузением неустойчивого склона оврага (правый берег – вариант 1). При 2-ом варианте наблюдалась тенденция развития деформации сдвига от здания в сторону правого склона. В 3-ем случае наблюдались сдвиговые деформации с обеих сторон склона. Таким образом, для всех остальных створов оврага была принята схема отсыпки соответствующая варианту 1. С целью проверки принятых решений дополнительно с помощью программы «Откос» для каждого створа оврага были проведены исследования устойчивости откосов в период и по окончании отсыпки. Результаты расчетов сведены в табл. 2.

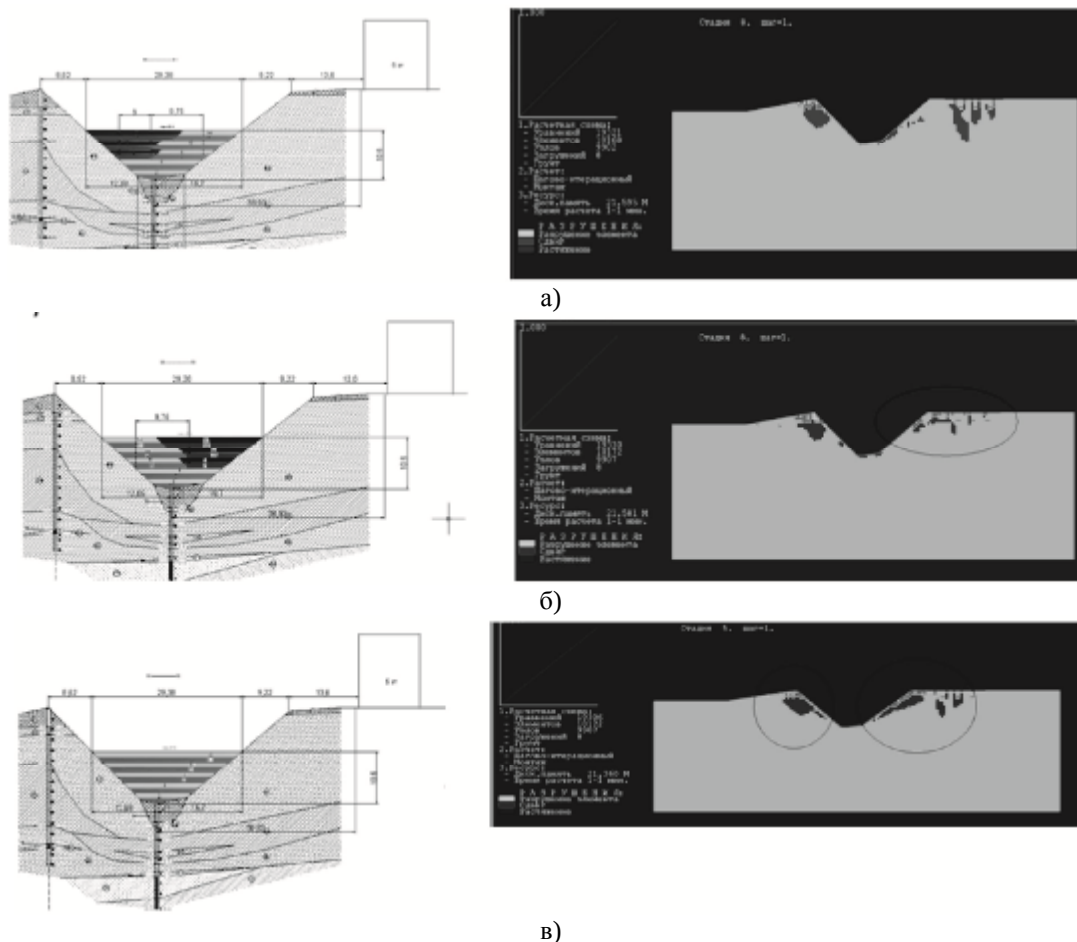


Рис. 4. Схемы отсыпки грунта и соответствующее напряженно-деформированное состояние грунтового массива оврага: а) вариант 1; б) вариант 2; в) вариант 3

Таблица 2

Результаты расчета устойчивости склонов оврага после отсыпки грунтом

створ	Проектная отметка верха подсыпки	Левая сторона (ул. Б. Галеева)		Правая сторона (ул. Новаторов)	
		грунт в естеств. состоянии	грунт в замоченном состоянии	грунт в естеств. состоянии	грунт в замоченном состоянии
А-А	95.00	+	+	+	-
Б-Б	95.00	+	+	+	-
4-4	95.00	+	+	+	-
4-4	91.50	+	+	+	-
7-7	91.50	+	+	+	-
8-8	91.50	+	+	+	+
8-8	87.50	+	+	+	-
9-9	87.50	+	+	+	-
11-11	87.50	+	-	+	-

Примечание к таблице:

(+) – грунт устойчив; (-) – грунт не устойчив или близок к предельному состоянию

Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы:

1. Выполненные численные исследования устойчивости склонов оврага показали, что правый (северный) берег оврага неустойчив как при рассмотрении грунтов оврага в природном залегании ($K_y < 1,2$), так и при рассмотрении грунтов в водонасыщенном состоянии ($K_y < 1$), и как следствие требуется разработка мероприятий по обеспечению устойчивости склона оврага.

2. На основании численного моделирования определен безопасный режим отсыпки котлована и установлено, что при выбранных режимах отсыпки до проектных отметок, устойчивость склонов оврага обеспечена при условии недопущения замачивания.

3. Выполненные численные исследования показали, что подрезка верхней зоны склонов оврага после выполнения работ по отсыпке приводит к потере устойчивости бровки склонов.

Список библиографических ссылок

1. Гидротехнические сооружения. Справочник проектировщика. Под общ. ред. Недриги. – М.: Стройздат, 1983.
2. 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.
3. Мирсаяпов И.Т., Королева И.В. Расчетная модель длительного нелинейного деформирования глинистых грунтов при сложном напряженном состоянии // Известия КГАСУ, 2011, № 2 (16). – С. 121-128.
4. Мирсаяпов И.Т., Королева И.В. Особенности деформирования глинистых грунтов при режимном нагружении // Известия КГАСУ, 2012, № 4 (22). – С. 193-198.
5. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения / Под общей ред. В.А. Ильичева и Р.А. Мангушева. – М.: Изд-во АСВ, 2014. – 728 с.
6. Тер-Мартirosян З.Г., Тер-Мартirosян А.З., Соболев Е.С. Ползучесть и виброползучесть грунтов // Перспективные направления развития теории и практики в реологии и механике грунтов: Труды XIV междунар. симп. по реологии грунтов, Казань, 8-11 октября 2014. – Казань: Изд-во КГАСУ, 2014. – С. 8-23.
7. Технический отчет об инженерно-геологических изысканиях площадки строительства объекта «Жилой комплекс по ул. Галеева в Советском районе г. Казани», ОАО «КазТИСИЗ», г. Казань, 2014 г.
8. 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»), г. Казань, 2014 г.
9. 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: 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: koroleva@kgasu.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

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

Research of stability of slopes Galeev ravine in Kazan

Resume

Research of the stability of slopes of the ravine in the streets and the streets B. Galeeva Innovators Kazan made in connection with the design of complex multi-storey buildings with underground parking, provides a pre-filling of the ravine to the design of such marks, that the power of paved ground in some places reaches 10 meters. The study aims to study technological solutions to ensure that during the construction of the safe operation of the ravine located near residential buildings. To assess the impact on the stability of bedding slope was simulated stress-strain state of soil masses using settlement complex Lira 9.6. In this model were created, including a system of physically nonlinear finite element describing the work of the soil in accordance with the theory of the strength of the Coulomb-Mohr. Construction of a single model was produced for each characteristic alignment of the ravine with the topography, soil stratification and loading conditions. The results of calculation allowed to take the most optimal layering filling the ravine to design levels. Additionally, by using the «Slope» was assessed the stability of slopes of the ravine before, during and after the bedding, as well as the stability of slopes, crop of buildings designed in the most dangerous sections.

Keywords: slope stability, slope, stress-strain state, the computer model.

Reference list

1. Waterworks. Directory designer. Under the total. Ed. Nedrigi. M. Stroyzdat 1983.
2. 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.
3. Mirsayapov I.T., Koroleva I.V. Designed model of long nonlinear deformation of clay soil in a complex stress state // *News of the KSUAE*, 2011, № 2 (16). – P. 121-128.
4. Mirsayapov I.T., Koroleva I.V. Features of deformation of clay soils during loading of regime // *News of the KSUAE*, 2012, № 4 (22). – P. 193-198.
5. Reference geotechnics. Bases, foundations and underground structures / ed. V.A. Ilichev and R.A. Mangushev. – M.: Publishing House of the ASV, 2014. – 728 p.
6. Ter-Martirosyan Z.G., Ter-Martirosyan A.Z., Sobolev Ye.S. Creep and vibrocreep of soils // *Future directions of the theory and practice of rheology and soil mechanics: Proc. XIV intern. symp. on the rheology of soils, Kazan, 8-11 October 2014.* – Kazan: Publishers KGASU, 2014. – P. 8-23.
7. Technical Report on engineering-geological survey of the construction site of the object «Residential complex on the Galeeva street in the Soviet district of Kazan», JSC «KazTISIZ», Kazan, 2014.
8. Technical Report №1440 / 1-9-14 on the results of inspection of the technical state of the structures of the building located at RT, Kazan, Innovators str., № 1, 3, 5, 7, 9, 11 and Galeeva str., No 8, 10, 16 «Expert Story Engineering» (LLC «ESIN»). – Kazan, 2014.
9. 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.