

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ОСНОВАНИЙ ФУНДАМЕНТОВ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ ПОДОШВЫ

Глушков А.В., Глушков В.Е.

*Поволжский государственный технологический университет, 424000, Россия, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, д. 3,
e-mail: 256289@mail.ru*

Представлены результаты расчетов грунтового основания многоугольных фундаментов. В современных строительных нормах и правилах не рассматривается расчет фундаментов сложной многоугольной формы с учетом их взаимного влияния. Взаимное влияние фундаментов сложной конфигурации под элеваторы аналитическими методами произвести не представляется возможным. Целью проведенной работы являлась оценка напряжений и деформаций в основании фундаментов элеватора конструкций датской компании SKIOLD A/S в местных инженерно-геологических условиях. В геологическом строении площадки принимают участие элювиально-делювиальные четвертичные отложения, подстилаемые отложениями верхнетатарского яруса верхней перми. Одновременный учет прочностных и деформационных свойств грунта в расчетах напряженно-деформированного состояния оснований был осуществлен в решении пространственной упругопластической задачи МКЭ. В качестве условия текучести при решении задачи было принято условие предельного равновесия Мора-Кулона. Ступени нагрузки коррелируют с образованием зон предельного равновесия в основании и переходом грунта из упругого состояния в упругопластическое. Проведенные исследования подтверждают целесообразность проектирования фундаментов по предельно допустимым осадкам. Статья предназначена для специалистов в области промышленного и гражданского строительства и инженеров-геотехников.

Ключевые слова: многоугольный фундамент, сложная форма подошвы, анализ напряженно-деформированного состояния основания, метод конечных элементов, взаимное влияние фундаментов.

STRESS-STRAIN ANALYSIS OF THE ODD-SHAPED FOOTING SOIL BASEMENT

Glushkov A.V., Glushkov V.E.

Volga State University of Technology, E-mail: 256289@mail.ru

This article reviews the calculation issues of the bases and foundations with the irregular footing shape. Normative documents do not allow to estimate the stress-strain state of bases of the complex shape foundations with their mutual influence. The purpose of work is to investigate the distribution of stresses and strains in the core foundation for elevator Danish company SKIOLD A/S for the actual geological conditions. The geological structure of the site involved eluvial-talus Quaternary deposits underlain by sediments of the upper-tatar tier of the Upper Permian. Finite element method was used to solve an issue with the spatial elastic-plastic parameters. As a condition of limit equilibrium accepted yield criterion (strength) of the Mohr-Coulomb. The calculation was made using the step procedure of loading, taking into account the strength and deformation properties of the soil at the bottom. Research undertaken also indicates the ability to calculate the foundations with the complex shape by maximum permissible settlements, using the proposed method. This article seems to be interesting to those who work in the field of building construction and geotechnics engineering.

Keywords: multiangular footing, odd-shaped footing, soil basement stress-strain analysis, finite element method, foundations interference.

В Российской Федерации интенсивно возрождается строительство крупных комплексов для развития сельского хозяйства. Качественно новые технологии в отрасль внедряются путем привлечения опыта европейских проектных отраслевых организаций. Конструктивные решения фундаментов проходят доработку в соответствии с требованиями российских строительных норм и правил.

В современных строительных нормах и правилах не рассматривается расчет фундаментов сложной многоугольной формы. Взаимное влияние фундаментов сложной

конфигурации под элеваторы аналитическими методами произвести не представляется возможным.

Конструкции элеваторов были разработаны датской компанией SKIOLD A/S – одним из ведущих европейских производителей оборудования для производства кормов. Фундаменты элеваторов запроектированы в форме 5-ти сблокированных многоугольников с габаритными размерами подошвы отдельных блоков 11,0 и 16,0 м. Фундаменты имеют сложную конфигурацию в плане и по подошве с учетом расположения технологических каналов. Глубина заложения подошвы фундаментов составляет 3,40 м.

Возникла необходимость в оценке напряженно-деформированного состояния основания и прогнозе осадок фундаментов элеватора с учетом взаимного влияния отдельных блоков.

По данным инженерно-геологических изысканий, выполненных ЗАО «ПИ Агропроект», в геологическом строении площадки принимают участие элювиально-делювиальные четвертичные отложения (edQ), подстилаемые отложениями верхнетатарского яруса верхней перми (P_{2t_2}) (рис. 1).

Под подошвой фундаментов элеваторов залегает слой ИГЭ-2 суглинок тугопластичный средней мощностью 0,4 м. Ниже расположен слой ИГЭ-3 суглинок мягкопластичный и ИГЭ-4 суглинок текучепластичный средней мощностью 0,8 и 1,2 м соответственно. Подстилаются ИГЭ-6 глиной полутвердой, вскрытой до пределов исследуемой области.

Геологическое строение площадки с поверхности и до глубины изучения представлено нижеследующим сводным инженерно-геологическим разрезом.

На период проведения изысканий (ноябрь 2009 г.) подземные воды типа «верховодка» встречены буровыми скважинами на глубинах 2,5-3,5 м (усл. отм. 71,50-72,41 м). Водовмещающими грунтами подземных вод являются прослой мелкого песка в текучепластичных суглинках ИГЭ № 4. Горизонт подземных вод безнапорный.

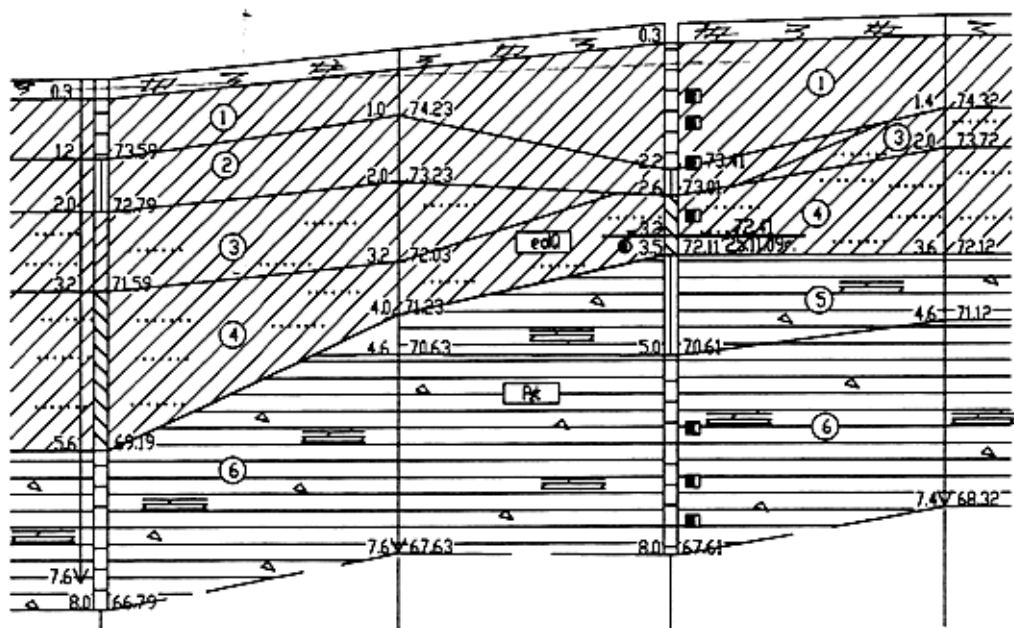


Рис. 1. Инженерно-геологический разрез площадки строительства

Таблица 1

Нормативные и расчетные характеристики грунта

№ ИГЭ	Номенклатура грунта	Нормативные характеристики				Расчетные характеристики			
		I_p , д.ед.	I_L , д.ед.	ρ , г/см ³	e , д.ед.	ρ , г/см ³	C , кПа	ϕ , град.	E , МПа
1	Суглинок полутвердый	0,14	0,07	1,89	0,70	$\frac{1,89}{1,88}$	$\frac{29}{28}$	$\frac{23}{22}$	20,01
2	Суглинок тугопластичный	0,15	0,47	1,94	0,75	$\frac{1,94}{1,93}$	$\frac{27}{26}$	$\frac{22}{21}$	18,27
3	Суглинок мягкопластичный	0,15	0,65	1,96	0,77	$\frac{1,95}{1,95}$	$\frac{11,8}{11,5}$	$\frac{12,9}{12,6}$	15,53
4	Суглинок текучепластичный	0,14	0,82	1,98	0,77	$\frac{1,96}{1,96}$	$\frac{8}{7,4}$	$\frac{10,1}{9,9}$	13,07
5	Глина тугопластичная	0,19	0,33	1,95	0,86	$\frac{1,95}{1,95}$	$\frac{33,2}{32,9}$	$\frac{16,6}{16,1}$	25,73
6	Глина полутвердая	0,20	0,11	1,98	0,68	$\frac{1,97}{1,96}$	$\frac{47,9}{46,7}$	$\frac{28}{27}$	51,92

Примечание. В числителе приведены значения характеристик грунтов при доверительной вероятности $\alpha = 0,85$, в знаменателе при $\alpha = 0,95$.

Одновременный учет прочностных и деформационных свойств грунта в расчетах напряженно-деформированного состояния оснований был осуществлен в решении пространственной упругопластической задачи МКЭ с использованием программного комплекса PLAXIS. В расчетах предусматривается шаговая процедура загрузки основания вертикальной возрастающей нагрузкой. Ступени нагрузки коррелируют с образованием зон

предельного равновесия в основании и переходом грунта из упругого состояния в упругопластическое. В качестве условия текучести при решении задачи было принято условие предельного равновесия Мора-Кулона. Расчетная схема МКЭ фундаментов элеватора представлена на рис. 2.

Расчет основания выполнялся по стадиям, связанным с технологией устройства фундаментов элеватора. На первом этапе производился учет собственного веса грунта в виде начальных напряжений. Второй этап предполагает устройство конструкций фундаментов и определение напряженно-деформированного состояния основания. Третий этап – распределение напряжений и деформаций в активной зоне от действия расчетных нагрузок. Фундаменты всех блоков элеватора загружаются равномерно.

На рис. 3 представлены стадии расчета основания от собственного веса фундаментов, а также от приложения расчетных нагрузок на фундаменты пяти блоков с учетом их взаимного влияния.

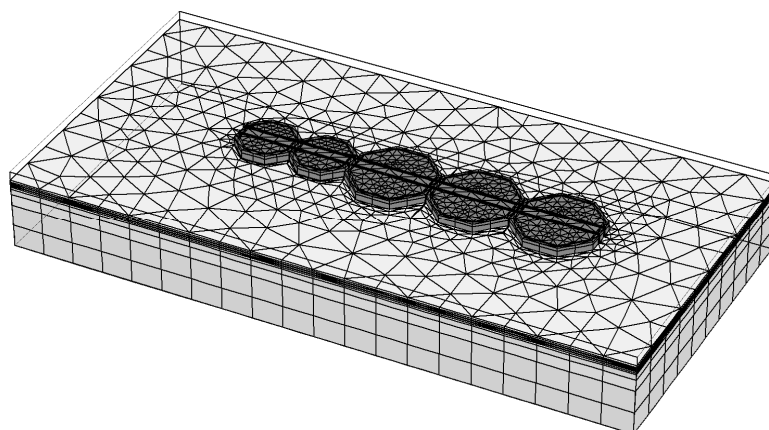
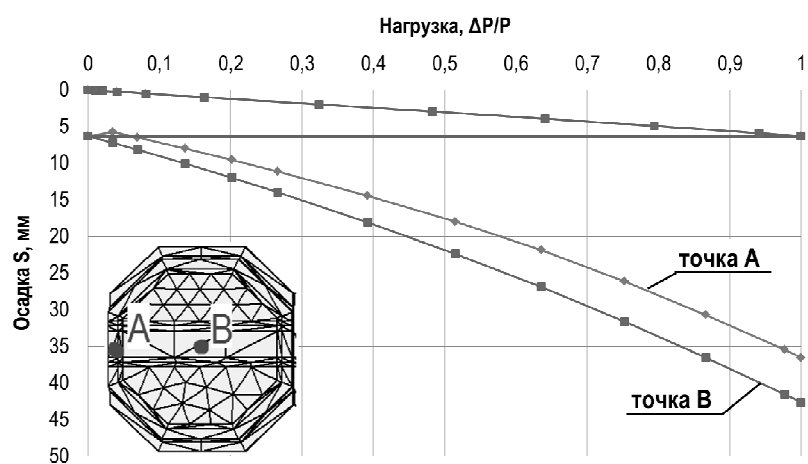
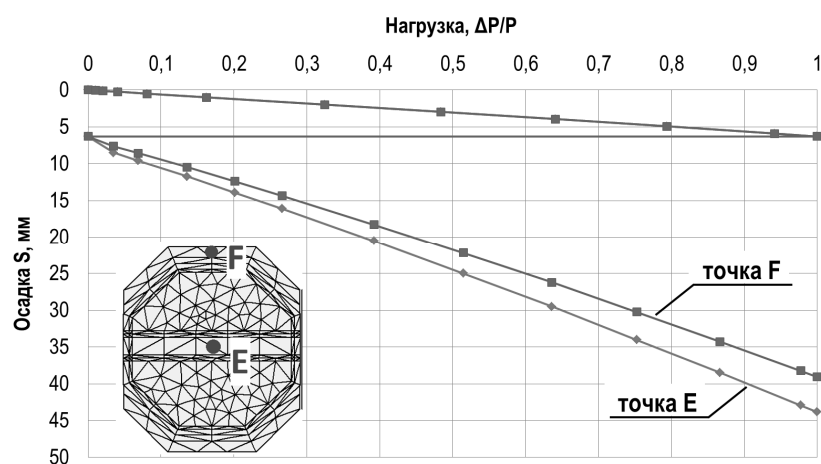


Рис. 2. Расчетная схема МКЭ

а)



б)



в)

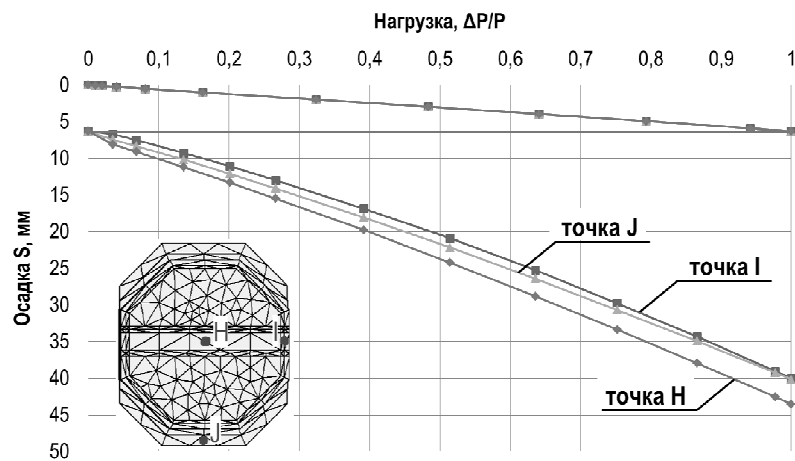


Рис. 3. Зависимости осадки центра и края фундаментов блоков № 1 (а), № 3 (б) и № 5 (в) элеватора от нагрузки с учетом взаимного влияния

Расчетная осадка фундамента центра блока № 1 составила 42,59 мм, осадка края соответственно составила 36,51 мм (рис. 3а). Расчетная осадка фундамента центра элеватора № 3 составила 43,84 мм, осадка края соответственно составила 39,08 мм (рис. 3б). Расчетная

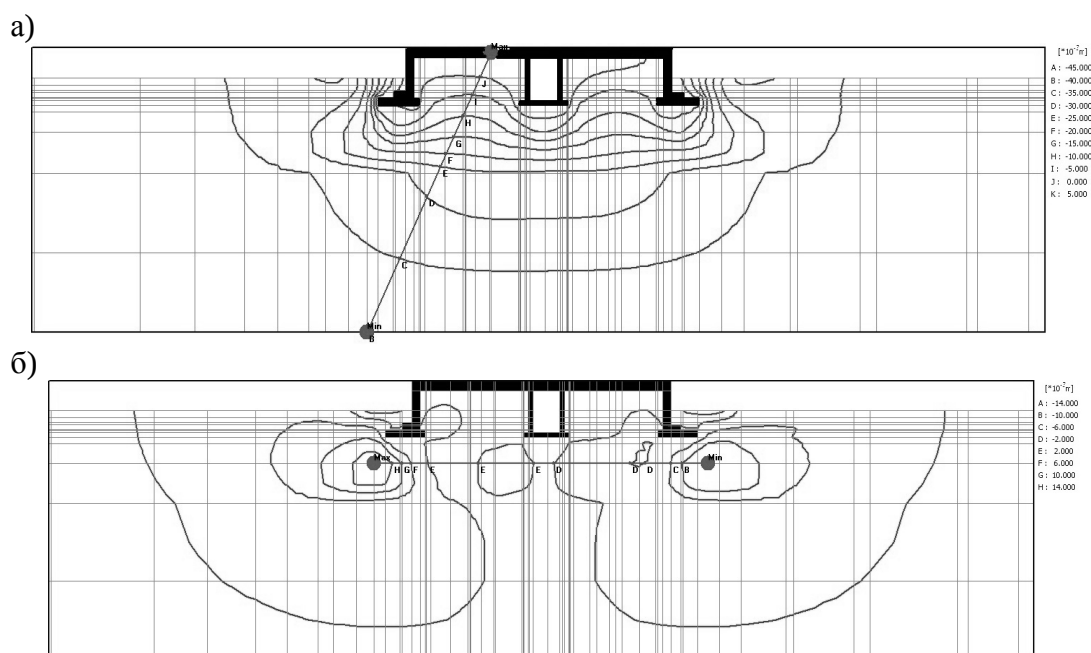
осадка фундамента центра блока № 5 составила 43,51 мм, осадка краев соответственно составила 40,03-40,16 мм (рис. 3в).

Результаты оценки компонент напряженно-деформированного состояния в основании фундамента приведены на рис. 4.

Анализ изменения вертикальных перемещений U_y (рис. 4а) показывает, что максимальные их значения возникают в области контакта подошвы фундаментов и затухают с глубиной, вертикальные деформации U_y на глубине $(0,5)b$ составляют 20% от осадки S фундамента сооружения. За значение b принят габаритный размер многогранного фундамента сооружения.

Зоны максимальных горизонтальных U_z перемещений (рис. 4б) в поперечном направлении находятся в области, отстоящей от края подошвы фундаментов на расстоянии 0,5 м и на глубине $0,1b$. Горизонтальные перемещения имеют знакопеременный характер. Максимальные значения горизонтальных перемещений достигают $U_z = 18$ мм.

Вертикальные напряжения σ_y с учетом собственного веса грунта показаны на рис. 4в. В основании максимальные вертикальные напряжения располагаются в области контакта подошвы фундаментов и достигают значения $\sigma_y = (200-250)$ кПа.



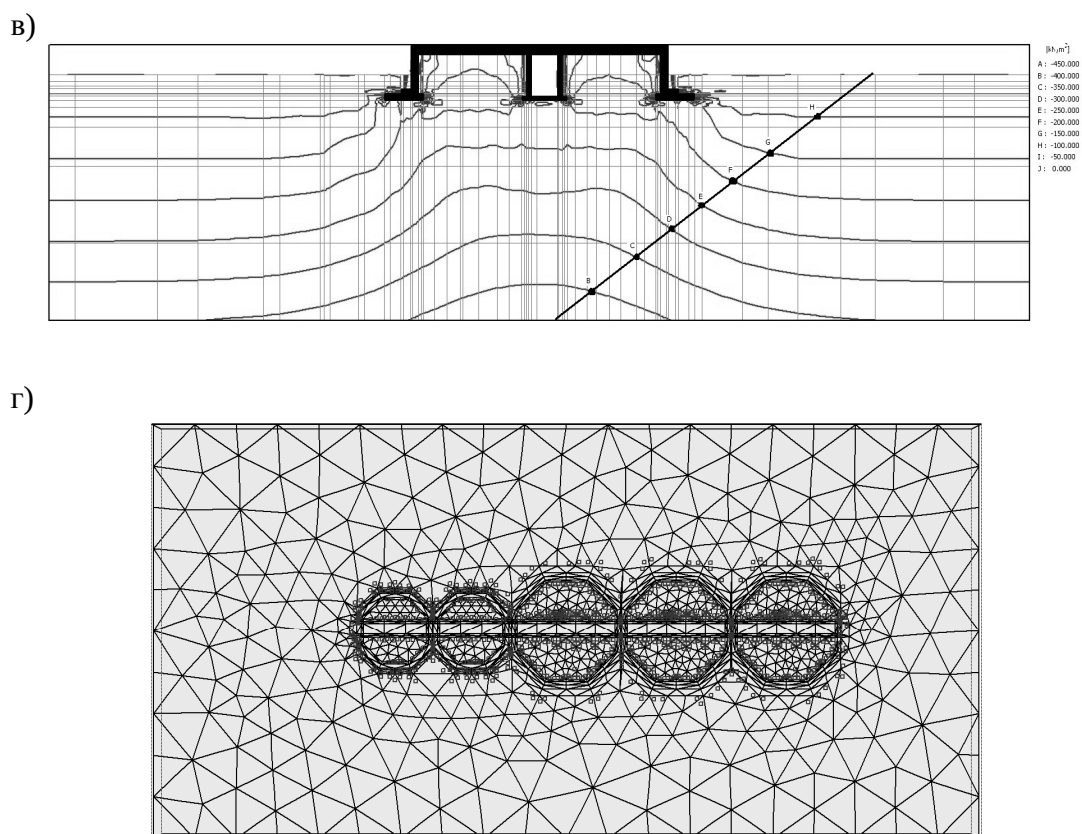


Рис. 4. Вертикальные U_y (а), горизонтальные U_z (б) перемещения, вертикальные напряжения σ_y (в), зоны предельного равновесия (г) в основании после приложения расчетных нагрузок

Зарождение зон пластических деформаций в активной зоне происходит в плоскости контакта подошвы фундамента с основанием, с ростом нагрузки происходит расширение зон предельного равновесия в стороны и вниз (рис. 4г).

В процессе возведения сооружения организован мониторинг за осадками фундаментов путем установки марок и использования высокоточного нивелирования. Зафиксирована высокая сходимость результатов измеренных и расчетных значений осадок блоков фундаментов элеватора.

Приведенные данные указывают на возможность использования предлагаемой методики для оценки напряженно-деформированного состояния оснований фундаментов сложной конфигурации в плане с учетом взаимного влияния соседних фундаментов. Подтверждается целесообразность проектирования фундаментов по предельно допустимым осадкам.

Список литературы

1. Глушков В.Е., Глушков А.В. Оптимизация формы подошвы фундаментов // Материалы V международной конференции «Городские агломерации на оползневых территориях». – Волгоград, ВолгГАСУ, 2010. – С. 49-52.
2. Крестообразный фундамент с выступом по подошве : Патент на полезную модель № 108053. – М., Роспатент, 2011.
3. Сорочан Е.А. Фундаменты промышленных зданий. – М. : Стройиздат, 1986. – 303 с.
4. Тетиор А.Н. Фундаменты. – М. : Издательский центр «Академия», 2010. – 400 с.
5. Тугаенко Ю.Ф., Алонсо Ф.Р. Влияние формы фундаментов на развитие деформаций основания в грунтовых условиях республики Куба // Изв. вузов. Строительство и архитектура. – 1988. - № 2. – С. 21-24.

Рецензенты:

Савельев В.В., д.т.н., профессор кафедры строительного производства Чебоксарского политехнического института (филиал) ФГБОУ ВПО «Московский государственный машиностроительный университет», г. Чебоксары.

Салихов М.Г., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Автомобильные дороги» ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», г. Йошкар-Ола.