

[И. А. Соколов, В. Ф. Запрудин, А. С. Беликов и др.]. – Д. : ПГАСА, 2007. – 348 с.

3. Система норм та правил зниження рівня іонізуючих випромінювань природних радіонуклідів в будівництві. Регламентовані радіаційні параметри. Допустимі рівні : ДБН В. 1.4-1.01-97. – [Чинний від 1998-01-01]. – К. : Государственный комитет Украины по делам градостроительства и архитектуры, 1997. – 16 с. – (Національні стандарти України).

4. Будівельні матеріали. Пісок для будівельних робіт. Методи випробувань : ДСТУ БВ. 2.7-232:2010. – [Чинний від 2011-01-01]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2010. – 44 с. – (Національні стандарти України).

5. Заполнители пористые неорганические для строительных работ. Методы испытаний : ГОСТ 9758-86. – [Действующий от 1988-01-01]. – М. : Издательство стандартов, 1986. – 40 с. – (Национальные стандарты Украины).

6. **Федынин Н. И.** Высокопрочный мелкозернистый шлакобетон / [Н. И. Федынин, М. И. Диамант]. – М. : Стройиздат, 1975. – 176 с.

7. **Шинкевич Е. С.** Технологические особенности производства силикатных изделий неавтоклавного твердения / Е. С. Шинкевич, Е. С. Луцкий // Строительные материалы. – 2008. – № 11. – С. 54 – 56.

8. **Молчанов В. И.** Физические и химические свойства тонкодиспергированных минералов / В. И. Молчанов, Т. С. Юсупов. – М. : Недра, 1981. – 160 с.

#### УДК 624.048

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСНОВАНИЯ В СИСТЕМЕ «ОСНОВАНИЕ – СООРУЖЕНИЕ» ПРИ СТАТИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ В РАСЧЕТНОМ КОМПЛЕКСЕ ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS PROFESSIONAL

*В. Л. Седин, д. т. н., проф., В. А. Загильский, студ., А. Г. Ефименко, студ.*

**Ключевые слова:** статические воздействия, грунтовые основания, расчетные модели

**Постановка проблемы.** В последнее время отечественные и зарубежные исследователи проявляют повышенный интерес к методам учета грунтового основания при статических нагрузках в системе «основание – сооружение». Существует множество расчетных комплексов, в которых возможен учет грунтового основания. Одним из них является Robot Structural Analysis Professional (RSAP).

**Цель статьи.** В связи с этим были выполнены численные и аналитические исследования расчетных моделей грунтового основания, целью которых является проверка адекватности рассчитываемых моделей в программном комплексе RSAP.

**Анализ публикаций.** Для моделирования грунта в системе «основание – сооружение» используют различные комплексы программ. Наиболее распространенными являются «Plaxis», «SCAD», «Лира» и т. п. [1; 3]. Все программные комплексы имеют свои особенности, которые могут ограничивать сферу их использования. Как показывает инженерный опыт, главным при проведении расчетов оснований и фундаментов с помощью численных методов является составление расчетной схемы, которая должна максимально соответствовать действительной работе конструкции. Программа RSAP была специально разработана для анализа поведения конструкций, в том числе и в системе «основание – сооружение» [4].

**Изложение материала.** Для анализа передачи статических воздействий через грунт рассмотрим следующие модели учета основания:

1. Регламентируемый аналитический метод (метод послойного суммирования).
2. Численный метод (учет основания при помощи коэффициентов постели, расчетный комплекс RSAP).
3. Численный метод (учет основания при помощи объемных элементов, расчетный комплекс RSAP).

Была рассмотрена следующая тестовая задача: расчет осадки отдельно стоящего плитного фундамента, глубинной заложения  $d = 2,0$  м, размерами в плане  $l = 10$  м,  $b = 10$  м с равномерно распределенной нагрузкой, равной 100 кПа (давление от сооружения).

Расчет деформаций основания методом послойного суммирования выполняется с применением расчетной схемы в виде линейно-деформированного полупространства с

условным ограничением глубины сжимаемости толщи  $H_c$ , или увеличенной толщи  $H_c$  до подошвы слабых или структурно-неустойчивых грунтов (рис. 1).

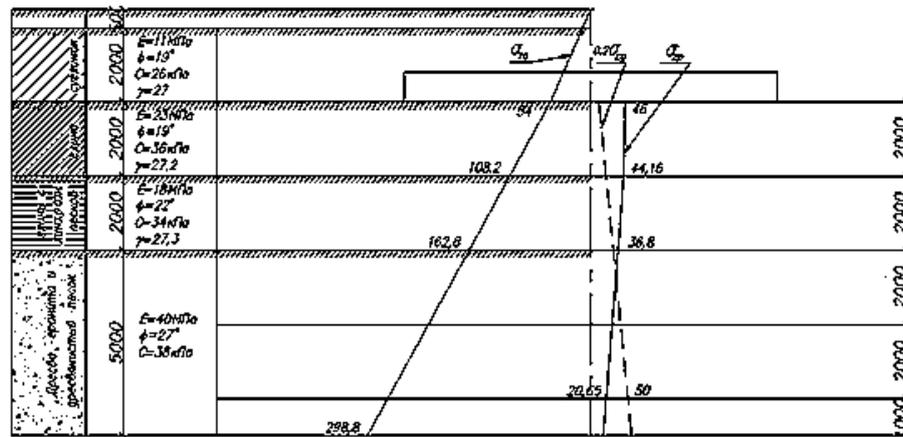


Рис. 1. Схема распределения напряжений ниже подошвы фундамента  $\sigma_{zg,i}$  – от собственного веса грунта и от нагрузки сооружением –  $\sigma_{zp,i}$

Нижнюю границу сжимаемой толщи основания принимаем на глубине  $z = H_c$ , где выполняется условие:  $\sigma_{zp} \leq K \cdot \sigma_{zy}$ ,

где:  $K = 0,2$  при  $b \leq 5,0$  м;  $K = 0,5$  при  $b > 20,0$  м; при  $5,0 < b \leq 20,0$  м –  $K$  определяется интерполяцией.

Полученная расчетом величина осадки штампа равняется 0,8 см. (табл. 1).

Таблица 1

Результаты, полученные при расчете деформаций методом послойного суммирования

№ п/п	Наименование слоя грунта	$z$ (m)	$\xi = 2z/b$	$\alpha$	$\sigma_{zp}$ (kPa)	$\sigma_{zp,med}$ (kPa)	$E_i$ (kPa)	$S_i$ (m)
1	Эолово-делювиальные отложения четвертичной системы – глины	0	10	1	46		23 000	0,0031
		2,00	0,4	0,96	44,16	45		
2	Неогеновые отложения сарматского яруса – глины с линзами разнозернистых песков	4,00	0,8	0,8	37	40	18 000	0,0036
3	Элювиальные грунты, продукты выветривания гранитов – и дресва	6,00	1,2	0,606	28	32	40 000	0,0013
		8,00	1,6	0,449	21	24		0,000
		10,00	2	0,336	15,5	18,1		0,000
		12,00	2,4	0,257	11,8	13,6		0,000
		14,00	2,8	0,201	9,2	10,5		0,000
								S = 0,008

RSAP позволяет рассчитать коэффициент упругости непосредственно на основе заданного слоя грунта. Расчеты средней осадки основываются на предположениях и формулах линейной теории упругости, точнее, вычисления проводятся на основе напряжений, вычисляемых по формуле Буссинеска, и на основе принципа суперпозиции. Расчетная модель конструкции с приложенными нагрузками и с наложенными на нее упругими связями, заменяющими основание, представлена на рисунке 2.

*a*

*б*

*Рис. 2. Расчетная модель конструкции с упругими связями:  
a – проекция на плоскость XOZ, б – общий вид*

Расчет деформации основания в программном комплексе RSAP выполняется до достижения следующего уровня:

- не менее 1 м;
- пока не будет достигнута глубина, на которой дополнительные напряжения составляют менее 25 % от естественных напряжений в грунте;
- до увеличения слоя усадки в следующем слое менее чем 0,1 % от общей усадки;
- не более 10 м.

*a*

*б*

*Рис. 3. Деформированная схема конструкции: a – проекция на плоскость XOZ,  
б – общий вид*

На рисунке 3 показана деформированная схема конструкции с наложенными на нее упругими связями, заменяющими основание.

Принятые допущения в расчётном комплексе RSAP:

1. Грунт, подверженный воздействию сил, приводится в упругое состояние.

2. Грунт – это бесконечное упругое полупространство, в пределах которого параметры материала изменяются только в плоскости, параллельной поверхности.

3. Расчеты касаются прямоугольного фундамента абсолютной жесткости.

Полученная расчетом величина осадки штампа равняется 1 см.

В RSAP было проведено моделирование основания при помощи объемных элементов.

Расчетная модель конструкции с приложенными нагрузками представлена на рисунке 4.

*a*

*б*

*Рис. 4. Расчетная модель конструкции: a – проекция на плоскость XOY, б – общий вид*

При моделировании расчетной схемы при помощи объемных элементов возникла следующая проблема: при накладывании панели на трехмерное объемное тело в последнем образовывается сквозное отверстие, и расчетная схема плиты из плиты, покоящейся на упругом основании, превращается в канатный мостик через пустоту. Выход из сложившейся ситуации был достигнут при помощи выполнения зазора между грунтом и плитой, который в последующем был заполнен жесткими связями (рис. 5).

*Рис. 5. Жесткие связи между основанием и плитой*

На рисунке 6 показаны изополя перемещений при моделировании основания объемными элементами.

*Рис. 6. Изополя перемещений*

Полученная расчетом величина осадки штампа равняется 1,8 см.

Проведенные исследования позволили сделать сравнительный анализ полученных различными методами результатов деформации основания (табл. 2).

Эталонным принимается расчет регламентированым аналитическим методом, а именно методом послойного суммирования [2].

*Таблица 2*

*Сравнительный анализ полученных результатов деформации основания*

Параметры сравнения	Аналитический метод. Метод послойного суммирования	Численный метод. Моделирование основания при помощи коэффициентов жесткости	Численный метод. Моделирование основания объемными элементами
Численное значение осадки ( $S$ ), см	0,8 см	1 см	1,8 см
Различие в %	-	25 %	125 %

**Выводы.** Таким образом, для моделирования взаимодействия системы «основание – сооружение» при статических нагрузках может быть рекомендован один из рассматриваемых подходов учета основания, а именно моделирование основания при помощи коэффициентов жесткости в расчетном комплексе Robot Structural Analysis Professional, так как другие модели не дают возможности выполнения корректных статических расчетов.

#### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. **Городецкий А. С.** Компьютерные модели конструкций / А. С. Городецкий, И. Д. Евзеров. – К. : Факт, 2005. – 344 с.
2. ДБН В.2.1.-10-2009. Основи та фундаменти будинків і споруд. Основні положення проектування. – К. : Мінрегіонбуд України, 2009. – 161с.
3. **Перельмутер А. В.** Расчетные модели сооружений и возможность их анализа / А. В. Перельмутер, В. И. Сливкер. – М. : Издательство ДМК Пресс, 2007. – 595 с.
4. Robot structural analysis professional 2012 [Электр. Ресурс] = RSAP: Дополнение к Windows. Autodesk, – Электрон. дан. и програм. – Autodesk, Inc., 2012. – Систем. Требования: Microsoft Windows XP SP2 Professional edition; Intel Core2 Duo 3 ГГц или равноценный процессор AMD; ОЗУ 3 Гб; 10 Гб свободного места. – Заголов. с этикетки диска.