

Реализация методики расчета жесткостных характеристик грунтового основания в модуле КРОСС программного комплекса SCAD Office

В этой статье приводится один из вариантов моделирования жесткостных свойств грунтового основания при проектировании строительных сооружений, имеющих в своей конструкции в качестве основания фундаментную плиту. Если проектировщику необходимо выбрать достаточно надежное прочностное обоснование конструктивного решения сложного сооружения, он часто останавливает свой выбор именно на фундаментной плите. При таком подходе особенно важно иметь доступ к методикам, позволяющим учесть совместную пространственную работу системы "сооружение-основание". Программный комплекс (ПК) SCAD Office для моделирования грунтового основания под фундаментной плитой содержит несколько вариантов решения этой проблемы. Использование программы КРОСС позволяет учесть в расчетах комплекс взаимосвязанных физико-механических и геометрических свойств слоистого массива грунтового основания. Эта программа разработана авторским коллективом группы компаний SCAD Soft совместно со специалистами НИИОСП и предназначена для вычисления первого коэффициента постели под фундаментной плитой (коэффициент Винклера) по результатам геологических и геодезических изысканий [1, 2].

Программа КРОСС выполняет расчет осадок сооружения на уровне подошвы фундаментной плиты (и через них — винклеровского коэффициента постели) с учетом распределительной способности основания. Результаты расчетов используются для уточненного определения напряженно-деформированного состояния фундаментной плиты и конструкций, размещенных на ней.

В процессе работы программы КРОСС подбираются значения коэффициентов постели под фундаментной плитой, которые дают такие же осадки, как и при использовании схемы линейно-деформируемого полупространства, то есть обеспечивается соответствие с моделями, рекомендованными СНиП.

Ниже на примере конкретного проекта кратко изложена суть использования этой технологии.

Структура модели грунтового основания и исходные данные

Рассматривается площадка строительства, на которой будет расположено проектируемое сооружение и другие объекты (строящиеся и существующие здания), влияющие на него таким образом, что передаваемые ими нагрузки на грунт могут привести к осадкам проектируемого фундамента. При этом считается, что форма контура фундаментной плиты, проектируемого сооружения и соседних объектов представляет собой замкнутые многоугольники (возможно, с проемами), каждый из которых передает на грунт нагрузку, приложенную на уровне отметки подошвы фундамента. Кроме того, считается, что известны результаты геологических изысканий, представленные в виде информации о характеристиках грунта в пробуренных скважинах. Рельеф дневной поверхности на площадке предполагается достаточно гладким и задается при помощи указания отметок устьев скважин. Другие данные геодезической съемки не используются. Ввод данных выполняется на координатной сетке, шаг которой задается пользователем.

Рекомендуется следующая последовательность создания модели:

- задание габаритов площадки строительства;

- ввод параметров координатной сетки;
- ввод внешнего контура фундаментной плиты;
- ввод контуров существующих зданий (если это необходимо);
- задание проемов (если они имеются);
- сглаживания углов (если это необходимо);
- задание нагрузок;
- задание уровней отметки подошвы фундаментов;
- задание координат расположения скважин;
- ввод информации о грунтах;
- задание параметров скважин.

Изображение математической модели несущей конструкции здания приведено на рис. 1 и 2. Расчетная схема сооружения представляет собой трехмерный пластинчато-стержневой каркас, в котором учтены практически все элементы, обеспечивающие прочность и необходимую жесткость проектируемого объекта. Программный модуль КРОСС позволяет воспользоваться привычной прикладной инженерной методикой для описания жесткостных свойств грунтового основания. Такой подход предоставляет расчетчику возможность не вводить в достаточно сложную модель информацию о топологии и геометрии свойств слоев грунтового основания. Результатом работы этой программы является цифровой массив данных о распределении коэффициентов постели под фунда-



Рис. 1. Геометрия модели (вид вдоль оси "Y")



Рис. 2. Геометрия модели (вид против оси "Y")

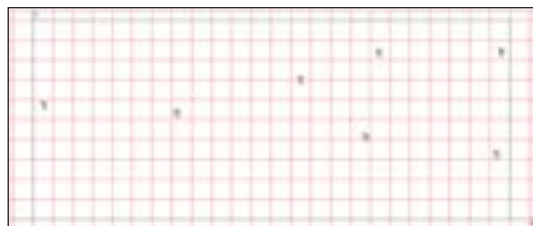


Рис. 3. Расположение координат скважин (габариты площадки 120x50 м)

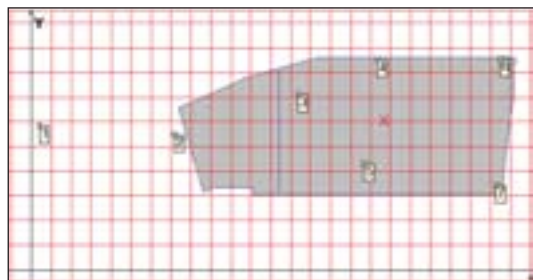


Рис. 4. Схема плиты со скважинами (шаг сетки 5x5 м)

Наименование	Координаты, м		Описание скважин		
1) 1	2,215	29,274	Грунт	Отметка верхней границы, м	Скачок эффект. напряж. Т/м ²
			1	207,4	0
			2	206,7	0
			3	206,1	0
			5	205,1	0
			8	199,2	0
			10	195,1	0
			12	194	0
			13	190,5	0
			12a	189,8	0
			13	188,4	0
			14	187,9	0
2) 2	35,822	27,321	Грунт	Отметка верхней границы, м	Скачок эффект. напряж. Т/м ²
			1	208,1	0
			5	205,1	0
			8	199	0
			10	196	0
			12	193,9	0
			13	190,5	0
			12a	189,8	0
			14	188,9	0
			15	182,7	0
			16	181,7	0
3) 3	66,922	35,6	Грунт	Отметка верхней границы, м	Скачок эффект. напряж. Т/м ²
			1	208,1	0
			2	207,3	0
			3	206,6	0
			5	205,5	0
			8	199,1	0
			10	196,3	0
			12	193,9	0
			14	190,5	0
			15	182,7	0
			16	181,6	0
4) 4	86,623	42,535	Грунт	Отметка верхней границы, м	Скачок эффект. напряж. Т/м ²
			1	207,87	0
			5	205,5	0
			8	198,9	0
			10	196,5	0
			12	193,4	0
			14	190,6	0
			15	182,2	0
			16	181,1	0

Таблица 1. Список свойств грунтов

Наименование	Удельный вес, Т/м ³	Модуль деформации, Т/м ²	Модуль упругости, Т/м ²	Коэффициент Пуассона	Коэффициент переуплотнения	Давление переуплотнения, Т/м ²
1	1,65	100	833,333	0,3	1	0
2	1,86	1500	12500	0,35	1	0
3	1,97	1800	15000	0,35	1	0
4	1,95	1400	11666,667	0,35	1	0
5	1,98	1900	15833,333	0,42	1	0
6	1,93	2800	23333,333	0,3	1	0
7	2	1700	14166,667	0,35	1	0
8	2,04	2500	20833,333	0,35	1	0
9	1,87	3000	15000	0,3	1	0
10	1,85	2400	20000	0,3	1	0
11	1,9	1900	15833,333	0,35	1	0
11a	2	2000	16666,667	0,42	1	0
12	2,05	2300	19166,667	0,35	1	0
12a	2,02	2200	11000	0,35	1	0
13	1,93	3500	29166,667	0,3	1	0
14	1,89	2600	21666,667	0,3	1	0
15	2,01	2900	24166,667	0,3	1	0
16	1,76	2100	17500	0,35	1	0

Таблица 2. Список скважин

5) 5	83,338	21,573	Грунт	Отметка верхней границы, м	Скачок эффект. напряж. Т/м ²
			1	207,81	0
			2	206,47	0
			5	205,37	0
			7	198,77	0
			8	198,07	0
			9	196,37	0
			11	195,77	0
			13	193,07	0
			12	192,27	0
			14	190,47	0
			15	182,67	0
			16	181,57	0
6) 6	117,434	42,718	Грунт	Отметка верхней границы, м	Скачок эффект. напряж. Т/м ²
			1	208	0
			4	203,3	0
			5	202,4	0
			7	198,8	0
			8	198,1	0
			11	195,5	0
			11a	193,3	0
			12	192,3	0
			14	190,5	0
			15	182	0
			16	180,3	0
7) 7	116,288	17,125	Грунт	Отметка верхней границы, м	Скачок эффект. напряж. Т/м ²
			1	208	0
			5	203,1	0
			6	199,9	0
			8	199,3	0
			11	195,1	0
			11a	194	0
			13	193	0
			12	192,2	0
			14	190,4	0
			15	182,1	0
			16	181	0

ментной плитой, который используется в дальнейших расчетах по обеспечению необходимой жесткости и прочности проектируемого сооружения.

По результатам геологических изысканий вводятся данные о расположении скважин на строительной площадке и контура фундаментной плиты (рис. 3 и 4). В таблицах 1 и 2 приведены данные о свойствах слоев грунта в пробуренных скважинах.

Для решения задачи назначается комбинация нагрузок, в рамках которой итерационным способом осуществляются расчеты значений коэффициентов постели. Передача данных о распределении давления на грунт, геометрии и топологии конечно-элементной разбивки фундаментной плиты осуществляется из ПК SCAD в модуль KPOCC автоматически.

Анализ результатов расчета

На первоначальной итерации был задан одинаковый по всей площади фундаментной плиты коэффициент постели со значением 500 Т/м³. Результаты расчетов после первой итерации отображены в виде

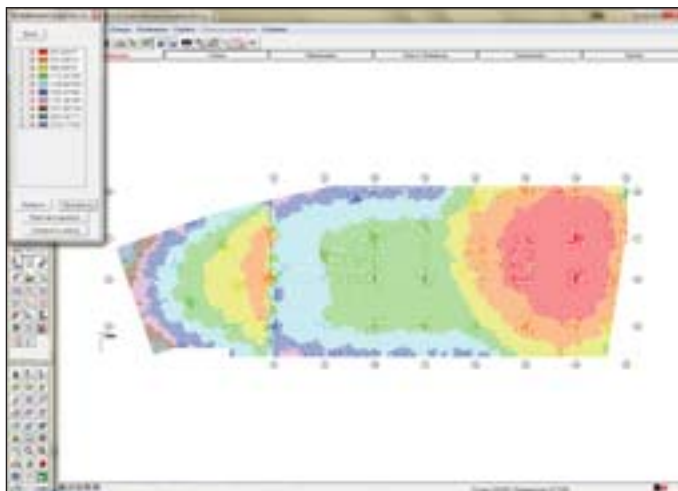


Рис. 5. Цветовое отображение коэффициента C1 после первой итерации

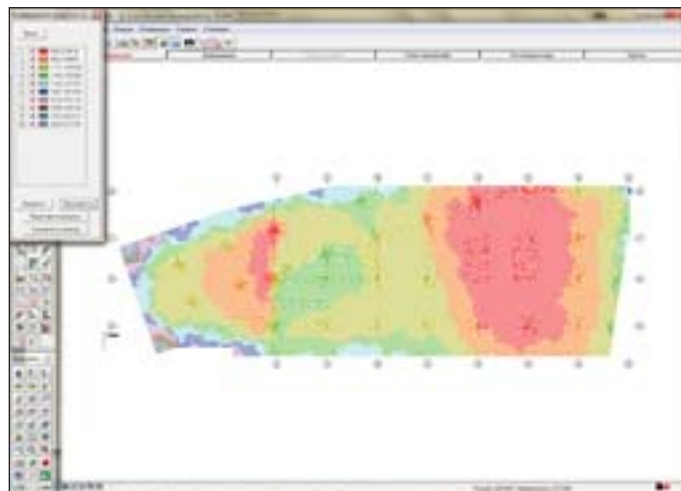


Рис. 6. Цветовое отображение коэффициента C1 после десятой итерации

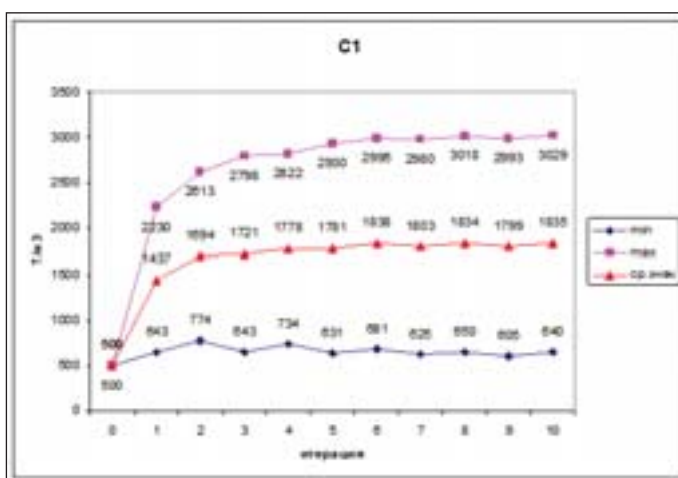


Рис. 7. Диаграмма изменения значений коэффициента C1 по всем итерациям

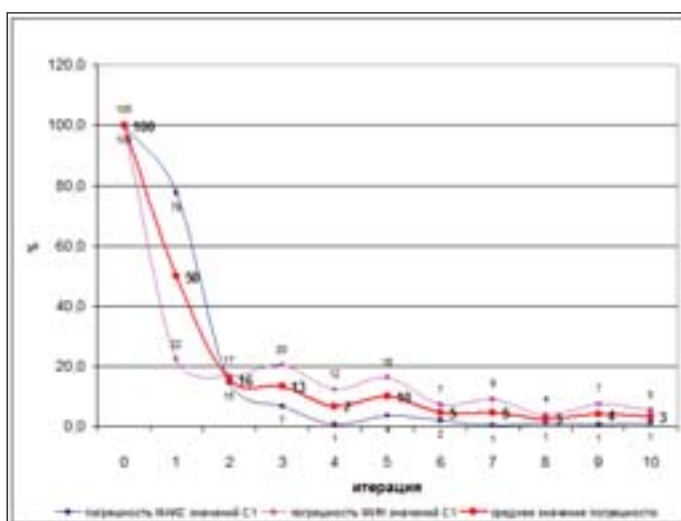


Рис. 8. Диаграмма погрешностей расчета коэффициента C1 по всем итерациям

изополей на рис. 5. На последующих этапах итерационного расчета уточняется распределение давления на грунт, в конечном итоге получаем распределение значений коэффициента C1 по площади фундаментной плиты. В данном примере было выполнено десять итерационных расчетов. Результирующее распределение значений коэффициента C1 приведено на рис. 6.

По результатам расчетов были построены диаграммы изменения максимальных и минимальных значений коэффициента постели C1 с 0-й по 10-ю итерацию (рис. 7).

На рис. 8 представлена диаграмма, показывающая скорость сходимости результатов расчета к равновесным итоговым значениям по всем итерациям.

Из диаграмм, приведенных на рис. 7 и 8, видно, что для рассматриваемой схемы стабилизация значений коэффициента C1 наступает к 3-й итерации, а погрешность вычисленных максимальных и минимальных значений на 6-м шаге расчета составляет примерно 4%. Поскольку распределение значений ко-

эффициентов стабилизировалось, то дальнейшее применение программы КРОСС нецелесообразно. Полученные коэффициенты C1 могут быть использованы для уточненного анализа напряженно-деформированного состояния фундаментной плиты, а следовательно — и всей остальной надземной части сооружения.

Выводы

Как видно из выше приведенного описания результатов расчетов, значения коэффициентов жесткости грунтового основания в данном примере находятся в диапазоне от 600 до 3000 тонн на кубический метр и довольно неравномерно распределены по площади основания.

Наличие такой наглядной информации позволяет проектировщику подойти к выбору конструктивного решения фундаментной плиты более обоснованно и оценить запасы прочности с позиций более подробного анализа резервов несущей способности системы "сооружение-основание".

Литература

1. Федоровский В.Г., Безволев С.Г. Прогноз осадок фундаментов мелкого заложения и выбор модели основания для расчета плит // Журнал "Основания, фундаменты и механика грунтов", 2000, №4, с. 10-18.
2. Карпиловский В.С., Криксунов Э.З., Маляренко А.А., Микитаренко М.А., Перельмутер А.В., Перельмутер М.А., Федоровский В.Г., Юрченко В.В. SCAD Office. Реализация СНиП в проектирующих программах. — М: Изд. СКАД СОФТ, 2010, с. 343-368.

Анатолий Маляренко,
Руслан Ожогин
ООО НПФ "СКАД СОФТ"
E-mail: scad@scadsoft.ru