



PLAXIS:

ОПЕРАТИВНОСТЬ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГЕОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Окончательный вариант проекта сооружения принимается, как известно, в результате технико-экономического сравнения альтернативных проектов, различающихся конструкцией сооружения и его элементов, используемыми материалами, технологией возведения и режимами эксплуатации строительного объекта. Для таких комплексных многофакторных задач существенное значение приобретает оперативность их решения.

Помимо планового проектирования, в строительной практике часто возникают ситуации экстренного проектирования, связанные с аварийным или предаварийным состоянием объекта. В подобных случаях оперативность нахождения правильного инженерного решения, подкрепленного необходимыми расчетами, становится наиболее актуальной.

Следует подчеркнуть, что оперативность проектирования может служить объективным критерием эффективности используемых методов и средств, включая современные вычислительные программы.

Именно с таких позиций рассматривается и оценивается в этой ста-

тье использование расчетного комплекса PLAXIS, представляющего собой целевой пакет геотехнических программ для конечно-элементного анализа напряженно-деформированного состояния системы "основание-сооружение".

Основой оперативного использования программы PLAXIS является ее выверенная структура, элементы которой позволяют инженеру-проектировщику достаточно быстро и легко моделировать сложные геотехнические ситуации, выполнять необходимый комплекс расчетов, проводить анализ полученных результатов и принимать обоснованное решение. К таким основным структурным элементам программы PLAXIS относятся:

- моделирование грунтов основания в рамках одной из четырех моделей: упругопластической модели Кулона-Мора, модели слабого грунта типа Cam-Clay, реологической модели с учетом эффекта ползучести грунта, модели упрочняющегося грунта. Следует отметить, что эти модели, уже апробированные в современных геотехнических расче-

тах, практически полностью "накрывают" проблемное поле поведения природных и искусственных грунтов при нагружении и разгрузке;

- моделирование строительных конструкций набором готовых специальных элементов: плитных элементов для моделирования гибких плоских конструкций; стержневых элементов для моделирования анкеров, распорок, стоек, раскосов; элементов обделки туннелей кругового и некругового сечения; тонких плоских элементов для моделирования геотекстиля;
- создание оперативной базы данных по физико-механическим характеристикам грунтов и конструкционных материалов, использованных в проектах;
- моделирование последовательности технологических операций строительства, темпов возведения, условий работы конструкции и основания посредством процедуры активирования (включения) и деактивирования (исключения) элементов конструкции и грунтового основания;
- создание расчетных схем в режиме черчения CAD с учетом неоднородности строения основания, геометрии сооружения, нагрузок, а также автоматическая разбивка расчетной области на конечные элементы с возможностью общего и локального измельчения сетки;
- оперативный визуальный анализ развития напряженно-деформированного состояния в любом элементе расчетной схемы на любом этапе расчетов с помощью графических материалов (таблицы, эпюры, изолинии, графики, анимационное представление).

В качестве примера рассмотрим проект котлована подземного гаража, сооружаемого методом "стена в грунте" в стесненных условиях городской застройки. Исходные данные, принятые к рассмотрению в этом проекте, приведены ниже.

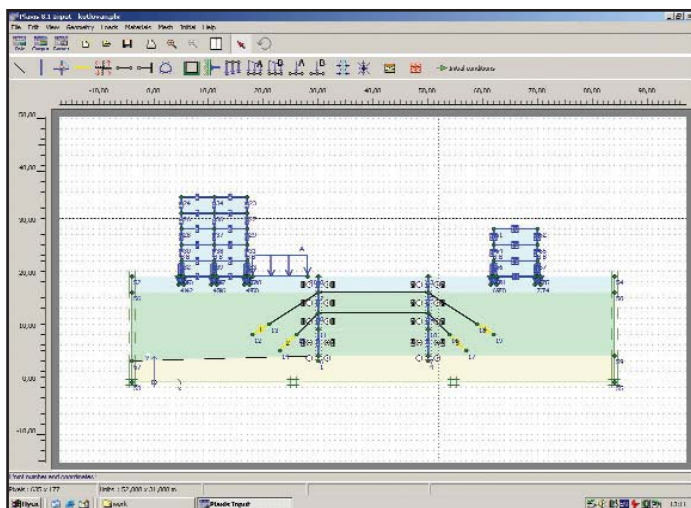


Рис. 1. Расчетная схема (геометрическая модель) системы "основание-сооружение"

Котлован шириной 20 м и глубиной 10 м укрепляется монолитной железобетонной стенкой траншейного типа высотой 15 м и толщиной 0,5 м. Рассматриваются три варианта конструкции стенки: консольный, с грунтовыми анкерами, с горизонтальными распорками. Грунтовые инъекционные анкеры устанавливаются с шагом 2,5 м в два яруса: в верхнем ярусе анкеры длиной 15 м под углом 56° к вертикали, в нижнем ярусе анкеры длиной 10 м под углом 45° к вертикали. Горизонтальные распорки из сдвоенных двутавров размещаются на двух высотных уровнях с шагом 5 м.

Грунтовое основание представлено тремя слоями: верхний трехметровый слой насыпного грунта, средний двенадцатиметровый слой плотного песка и нижний подстилающий слой суглинка. Уровень грунтовых вод находится на глубине 20 м от поверхности основания.

Котлован сооружается между двумя существующими зданиями с жесткими каркасами и несущими продольными стенами, опирающимися на ленточные фундаменты неглубокого заложения ($d=1,5$ м) с шириной подошвы 1 м. Давление на грунт от верхнего строения, передаваемое по подошве фундамента, составляет для пятиэтажного здания $p=300$ кН/м², для трехэтажного здания $p=200$ кН/м². Кроме того учитывается возможная строительная пригрузка поверхности основания $p_{стр}=5$ кН/м² на период сооружения котлована.

Расчетная схема (геометрическая модель) системы "основание-сооружение", включающая указанные вы-

ше элементы, показана на рис. 1. Отметим, что рассматриваемые альтернативные варианты устройства котлована моделируются на базе одной расчетной схемы путем деактивирования областей экскавации грунта и активирования соответствующих элементов крепления (стенки, анкеры, распорки).

Расчетные характеристики элементов системы "основание-сооружение" представлены в таблицах: для грунтов согласно выбранной модели Кулона-Мора – в таблице 1; для ограждающей стенки – в таблице 2; для распорок – в таблице 3; для анкеров – в таблице 4; для плитных элементов верхнего строения зданий – в таблице 5; для фундаментов зданий – в таблице 6.

Таблица 1

Параметр	Наименование	Насыпной грунт	Песок	Суглинок	Ед. измерения
Удельный вес грунта	γ_{unsat}	16	17	17	кН/м ³
Модуль деформации	E_{ref}	8000	30 000	20 000	кН/м ²
Коэффициент Пуассона	ν	0,30	0,30	0,33	–
Сцепление	c_{ref}	1,0	1,0	8,0	кН/м ²
Угол трения	φ	30	34	29	°
Угол дилатансии	ψ	0,0	4,0	0,0	°

Таблица 2

Параметр	Наименование	Значение	Ед. измерения
Продольная жесткость	EA	$1,7 \cdot 10^7$	кН/м
Изгибная жесткость	EI	$3,60 \cdot 10^5$	кНм ² /м
Эквивалентная толщина	D	0,5	м
Коэффициент Пуассона	ν	0,15	–

Таблица 3

Параметр	Наименование	Значение	Ед. измерения
Продольная жесткость	EA	$4,2 \cdot 10^6$	кН

Таблица 4

Параметр	Наименование	Значение	Ед. измерения
Продольная жесткость ствола	EA	$2 \cdot 10^5$	кН
Продольная жесткость корня	EA	$1 \cdot 10^5$	кН/м

Таблица 5

Параметр	Наименование	Значение	Ед. измерения
Продольная жесткость	EA	$1,2 \cdot 10^7$	кН/м
Изгибная жесткость	EI	$1,2 \cdot 10^5$	кНм ² /м
Эквивалентная толщина	D	0,346	м
Коэффициент Пуассона	ν	0,15	–

Таблица 6

Параметр	Наименование	Значение	Ед. измерения
Модуль упругости	E_{ref}	$3,0 \cdot 10^7$	кН/м ²
Коэффициент Пуассона	ν	0,25	–

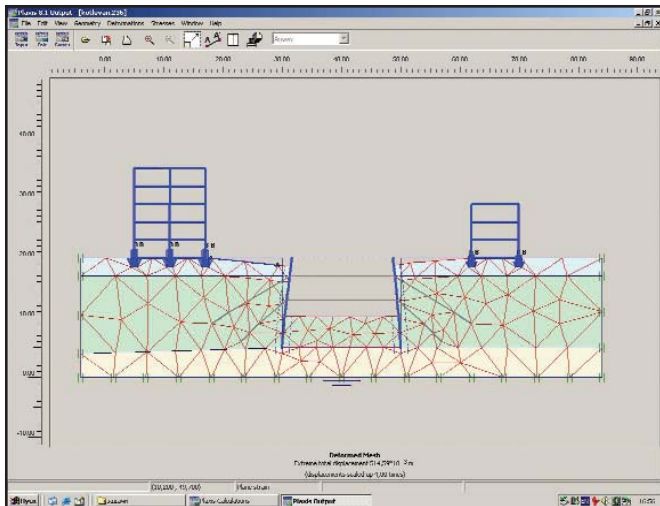


Рис. 2. Деформированная система "основание-сооружение" для варианта консольной стенки на момент начала потери устойчивости

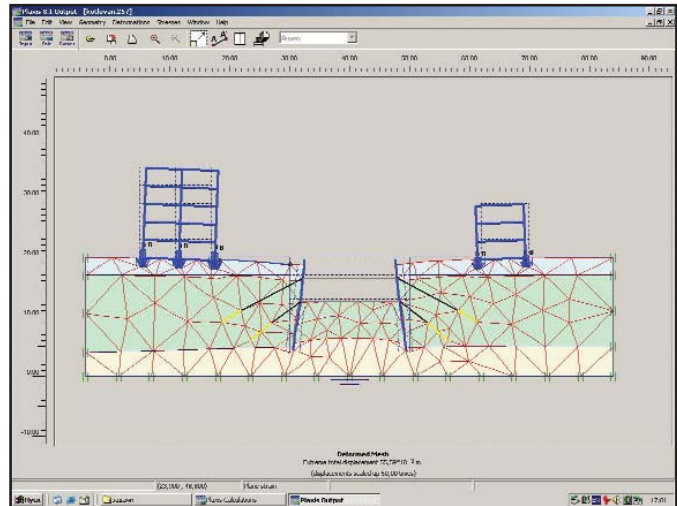


Рис. 3. Деформированная система "основание-сооружение" для варианта крепления стенки грунтовыми анкерами

Последовательность выполненных расчетов включает определение в грунтовом основании бытовых (природных) напряжений от собственного веса грунта, начальных напряжений от веса построенных зданий, дополнительных напряжений и деформаций, возникающих в процессе строительства котлована с учетом его конструкции и технологии возведения: устройства "стены в грунте", поэтапной экскавации грунта, ярусной установки элементов крепления стенки. Особое внимание было уделено анализу влияния конструкций крепления котлована на

устойчивость подземного сооружения и на дополнительные деформации существующих зданий.

Расчетами установлено, что использование схемы консольной стенки (без креплений) приводит к потере ее устойчивости на расчетном этапе экскавации последних трех метров грунта, а конструкции с креплением анкерами или распорками устойчивы при полной проектной выемке грунта на глубину 10 м.

На рис. 2 представлена деформированная система "основание-сооружение" для варианта консольной стенки на момент начала потери ус-

тойчивости. Рис. 3 и 4 иллюстрируют деформации системы "основание-сооружение" на момент окончания строительства котлована соответственно для варианта стенки с грунтовыми анкерами и стенки с горизонтальными распорками.

В таблице 7 приведены расчетные значения дополнительных осадок зданий (вертикальных смещений центров подошвы ленточных фундаментов).

Представленные на рис. 3, 4 и в таблице 7 результаты расчетов свидетельствуют о значительно меньших дополнительных смещениях существующих зданий при использовании схемы крепления стенок котлована горизонтальными распорками.

Таким образом, на основании оперативного анализа полученных расчетных результатов наиболее предпочтительной конструкцией котлована подземного гаража является стена в грунте с горизонтальными двухъярусными распорками.

В заключение отметим, что использование программы PLAXIS существенно сокращает сроки проектирования и уменьшает стоимость проекта, повышая тем самым его конкурентоспособность.

Алексей Голубев
СПбГПУ (Санкт-Петербург)
Дмитрий Гаренков
НИИП-Информатика
(Санкт-Петербург)
Тел.: (812) 370-1825
E-mail: DmitryG@nipinfor.spb.su
Internet: <http://www.nipinfor.ru>

Элементы крепления стенки	Осадка, мм				
	Пятиэтажный дом			Трехэтажный дом	
	Ф-1	Ф-2	Ф-3	Ф-1	Ф-2
Грунтовые анкера	3,3	6,5	12,3	9,7	4,0
Горизонтальные распорки	2,0	2,4	3,3	2,3	2,0

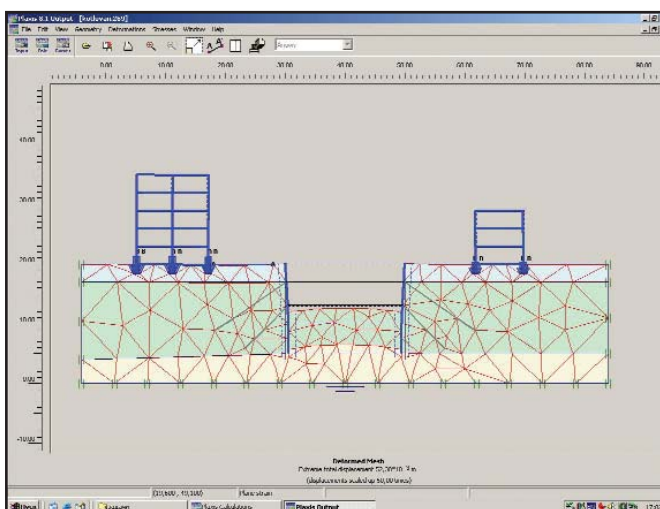


Рис. 4. Деформированная система "основание-сооружение" для варианта крепления стенки горизонтальными распорками