

УДК 624.152.633

**СРАВНЕНИЕ ГЕОТЕХНИЧЕСКИХ РАСЧЕТНЫХ  
КОМПЛЕКСОВ НА ПРИМЕРЕ РАСЧЕТА  
ОГРАЖДЕНИЯ КОТЛОВАНА В Г. КИЕВЕ**

**Губашова В.Е.**

*Департамент специальных и гидротехнических работ,  
СП «Основа-Солсиф», г. Киев, Украина*

В статье рассмотрены несколько расчетных геотехнических комплексов и проведено сравнение полученных результатов на основании расчета ограждения котлована в г. Киеве.

Geotechnical calculation systems and a comparison of the results based on the pit fence calculation in Kiev city have been presented.

При устройстве глубоких выемок для выполнения паркингов и других подземных сооружений стоит важная задача правильного расчета конструкции ограждения котлована, которая в свою очередь усложняется присутствием существующих зданий в непосредственной близости к глубокой выемке.

На данный момент для инженера-геотехника существует возможность широкого выбора среди существующих геотехнических расчетных комплексов, которые бы подходили для решения поставленной задачи. Современные геотехнические программы позволяют не только рассчитывать ограждающие конструкции для глубоких выемок, но и позволяют моделировать поведение зданий, примыкающих к выполняемому ограждению, в зависимости от фаз откопки и других строительных работ.

В данной статье рассмотрено и проанализировано применение четырех расчетных комплексов на примере расчета ограждения котлована под строительство офисно-жилого комплекса по ул. Паньковская, 14-б и ул. Саксаганского/Паньковской, 70/14-б в г. Киеве. Проект ограждения, а также работы по устройству ограждающих конструкции и другим мероприятиям выполнены СП «Основа-Солсиф».

Период работ по возведению ограждающих конструкций: октябрь 2006 – июнь 2008 гг. В примыкании к ограждению котлована (рис. 1) находилось два 6-ти этажных (А и В), 5-ти этажное – D и 4-х этажное – С здания. По результатам инструментального обследования здания находились в непригодном к нормальной эксплуатации состоянии.

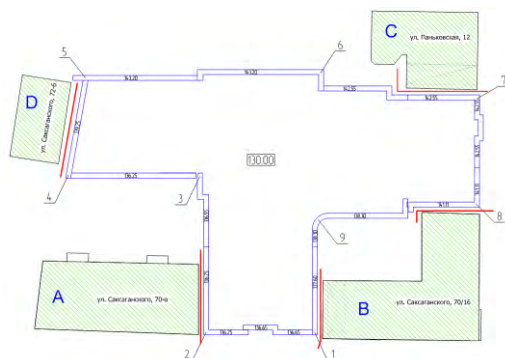


Рис. 1. Схема расположения существующих зданий и ограждения котлована

По результатам инженерно-геологических исследований осложняющим фактором было наличие в основании существующих зданий слоев песчаного грунта текучей консистенцией.

Для предотвращения дальнейшего развития трещин в расположенных в непосредственной близости жилых домах, а так же выбуривания грунта из-под существующих фундаментов были выполнены следующие мероприятия:

- устройство разъединительных диафрагм из микросвай диаметром 180 мм и шагом 200 мм для предотвращения влияния строительства ограждения котлована на существующие здания и недопущения выбуривания грунта из-под фундаментов;

- укрепительная инъекция, выполненная с целью увеличения жесткости мягкопластичного и текучего грунтов путем уменьшения его подвижности за счет внедрения в грунт линз инъецируемого цементного раствора.

Расчетная схема ограждения котлована представляла собой ограждение из буровых свай диаметром 820 мм с шагом 1,0 м с грунтовыми инъекционными анкерами (рис. 2).

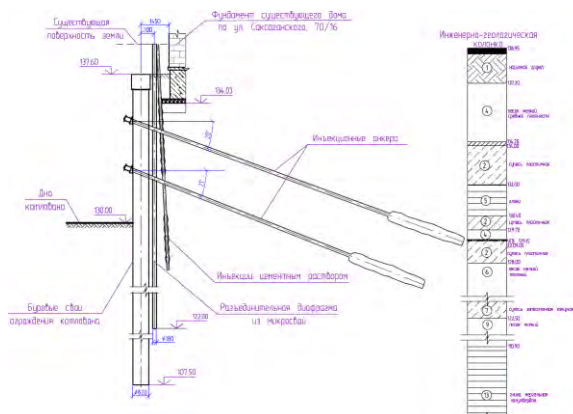


Рис. 2. Расчетная схема

Для сравнительного расчета ограждающей конструкции на рассматриваемом объекте были применены следующие геотехнические комплексы: ФОК-ПК Парус, PARIS, Plaxis 2D, Plaxis 3D Foundation.

Программа украинских разработчиков «ФОК - ПК Парус» предназначена для проектирования гравитационных подпорных стен и подпорных стен из буронабивных свай или шпунтов в обычных и сейсмических условиях строительства.

Конструкция ограждения котлована вводится путем задачи характеристик жесткости единичной сваи (шпунта) и ее шага. Характеристики анкеров задаются так же на единичный элемент с указанием шага и предварительного напряжения. Грунтовые слои (рис. 3) задаются только горизонтальными. На рис. 4 показаны результаты расчетов – эпюры момента, горизонтальных перемещений, эпюра поперечных усилий, а так же программа рассчитывает необходимую расчетную площадь арматуры для буровой сваи.

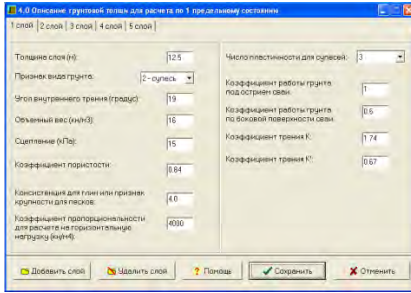


Рис. 3. Ввод характеристик слоев грунта

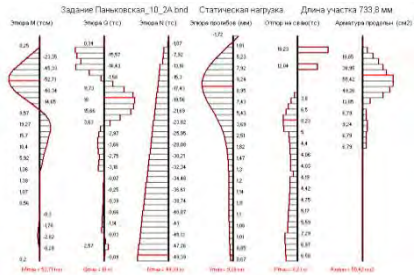


Рис. 4. Результаты расчета по программе Парус

Программа PARIS, разработанная специалистами Solétanche-Bachy France, предназначена для расчета всех типов плоских структур с учетом фаз, упругопластической реакции грунта и предварительно напряженных элементов. Рассматривается поведение конструкций в соответствии с гипотезами сопротивления материалов, применяемый метод решения – Метод перемещений, использующий матрицы жесткости [3]. Характеристики жесткости ограждающей конструкции задаются приведенными, то есть с учетом шага, также и анкера. Программа дает возможность задавать как горизонтальное, так и наклонное расположение грунтовых слоев, а так же выбирать методику расчета, подходящую для рассматриваемого случая (рис. 5). Результирующие графические данные представляют всю необходимую информацию об усилиях в конструкции и анкерных или распорных креплениях (рис. 6).

PLAXIS 2D – это расчетная программа использующая схемы конечных элементов в двумерной системе, которая разработана специально для анализа деформаций и устойчивости в различных геотехнических условиях. Реальные ситуации могут быть сведены к плоской или осесимметричной модели[1].

Основные модели для расчета глубоких выемок:

- упруго-пластичная модель Мора-Кулона включает в себя пять входных параметров: модуль Юнга ( $E$ ), коэффициент Пуассона ( $\nu$ ), сцепление ( $c$ ), угол трения ( $\varphi$ ) и угол дилатансии ( $\psi$ );

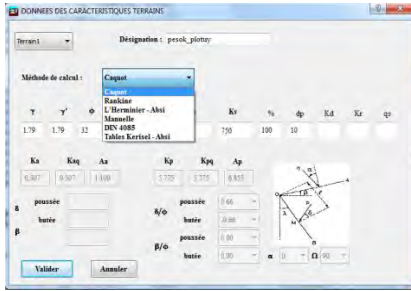


Рис. 5. Выбор модели для расчета грунтаи ввод его физико-механических характеристик

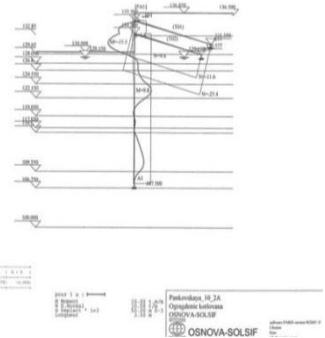


Рис. 6. Результаты расчета по программе PARIS. Эпюра изгибающих моментов в конструкции

• модель твердеющего грунта – как и для модели Мора-Кулона, предельные состояния давления описаны посредством угла внутреннего трения ( $\phi$ ), сцепления ( $c$ ), и угла дилатансии ( $\psi$ ). Однако жесткость грунта описана более точно, используя три различных вводных жесткости: модули деформации при нагрузке ( $E_{50}$ ), при разгрузке ( $E_{ur}$ ) и одометрический ( $E_{oed}$ ).

Программа позволяет рассчитать не только конструкцию ограждения с анкерными поясами, но и отсекающие диафрагмы из микрорвай (рис. 7 и 8), то есть совместную работу двух ограждающих элементов, что не позволяют остальные расчетные комплексы.

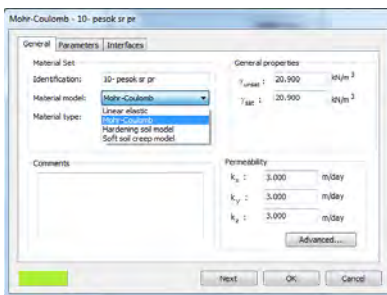


Рис. 7. Выбор модели для расчета грунта и ввод его физико-механических характеристик (интерфейс для программы PLAXIS 3D)

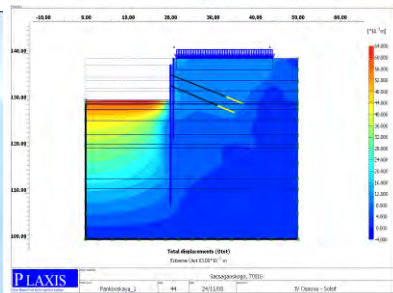


Рис. 8. Общие перемещения, представленные цветовыми полями

PLAXIS 3D Foundation – это программа для расчетов по конечным элементам в трехмерной системе, разработанная специально для анализа конструкций основания (а так же наземных), в том числе и в открытом море.

Ввод данных для трехмерной модели аналогичен двухмерной. Характеристики свайного ограждения задаются приведенными с учетом шага свай, а программа видит их как стену (рис. 9), но версия 3D дает возможность задавать анкер как единичный элемент. Результаты расчета необходимо интерпретировать в обратном порядке на элемент (сваю) ограждающей конструкции (рис. 10).

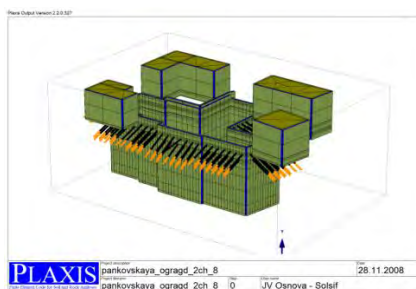


Рис. 9. Элементы расчетной модели

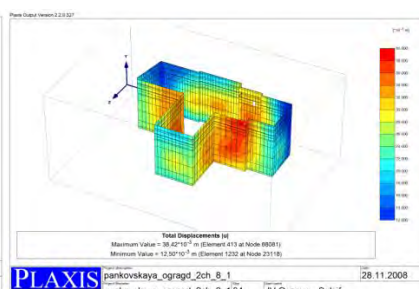


Рис. 10. Общие перемещения конструкции ограждения котлована

Изучая сравнительную таблицу по результатам расчетов (табл. 1) можно сделать следующие выводы:

- программы, рассчитывающие двухмерную модель, Парус и Paris дают очень близкие значения по перемещениям;
- Plaxis 3D показывает перемещения незначительно выше, чем двухмерный расчетный комплекс Plaxis, но трехмерная модель, учитывающая работу конструкции в целом, показывает не только максимальное значение перемещений в конструкции, но и области их распределения (рис. 10), что позволит изменять шаг анкерных элементов по длине ограждения;
- в большинстве расчетных элементов замеренные фактические перемещения меньше по своей величине, чем расчетные, либо незначительно превышают. По результатам инструментального обследования ненормативными являются перемещения ограждения

в области сечения 3-4, которые произошли вследствие аварийного замачивания и изменения характеристик грунтов.

Необходимо отметить, что сравнение программ, основанных на различных методиках расчета – условное, и предоставляет только дополнительную информацию для инженера-проектировщика по отношению к ожидаемым результатам.

Таблица 1

Сравнение результатов расчета и геодезических измерений

Расчетное сечение (см. рис. 1)	Геотехнические программы								Замеренные горизонтальные перемещения, мм
	<i>Parus</i>		<i>Paris</i>		<i>PlaxisV 8.6</i>		<i>Plaxis 3D</i>		
	Гориз. перемещение, мм	Изгибающий момент, тм	Гориз. перемещение, мм	Изгибающий момент, тм	Гориз. перемещение, мм	Изгибающий момент, тм	Гориз. перемещение, мм	Изгибающий момент, тм	
1-2	13,4	34,9	11,3	31,7	18,2	29,4	22,97	25,88	7
2-3	8,9	40,6	23,1	37,2	24,8	36,2	23,19	32,3	14
3-4	7,8	33,8	6,15	27,1	9,4	24,6	19,94	22,9	34
4-5	5,7	20,3	22,7	21,0	28,6	19,37	23,12	18,8	12
5-6	18,4	46,8	14,4	38,6	25,7	33,4	28,48	35,36	7
6-7	6,7	15,2	14,8	27,1	22,4	21,1	27,60	22,31	14
7-8	13,4	44,2	11,4	22,7	13,8	28,7	17,57	24,31	18
8-9	7,6	21,1	6,9	23,7	13,1	19,0	28,93	17,02	16
9-1	9,3	52,7	5,8	15,5	13,4	32,5	20,56	23,93	13

В июне 2008 года компания закончила работы по возведению ограждающей конструкции котлована (рис. 11). В период всех работ, а так же во время возведения подземной части здания велись инструментальные наблюдения за прилегающими жилыми домами, которые показали отсутствие осадок и дополнительное раскрытие существующих трещин.



Рис. 11. Конструкция котлована. Вид на дом А – Саксаганского 70/16

Широкий спектр современного рынка, предлагающего геотехнические расчетные комплексы, может удовлетворить большинство требований инженеров-геотехников и решить большинство поставленных задач в области исследования взаимодействия ограждающих конструкций и грунтового массива. Но необходимо не забывать, что результаты расчетов, получаемые при применении рассмотренных комплексов, зависят в большей степени от качества вводимых данных, а особенно инженерно-геологических, и в остальном от профессионализма инженера-геотехника. Ни одна расчетная программа не освобождает инженера-проектировщика от осмысления и понимания как работает ограждающая конструкция, чтобы правильно интерпретировать получаемые расчетные данные.

## Литература

1. Plaxis Version 8. General information. Plaxisbv, AN Delft, The Netherland. [www.plaxis.nl](http://www.plaxis.nl).
2. Plaxis Version 8. Material models manual. Plaxisbv, AN Delft, The Netherland. [www.plaxis.nl](http://www.plaxis.nl).
3. Aide sur le logiciel PARIS. Solétanche-Bachy France. <http://www.soletanche-bachy.com>.