

## **Сравнение программных средств для расчета ограждения глубоких котлованов**

Малинин А.Г., Гладков И.Л.

«ИнжПроектСтрой»

### **Введение**

Строительство глубоких котлованов всегда считалось одной из наиболее сложных задач подземного строительства. В настоящее время существует несколько методик, позволяющих выполнять расчеты ограждений котлованов. Одни из методик основаны на «ручных» вычислениях, требующих значительного времени и определенной подготовленности специалистов.

Другой подход основан на применении расчетных комплексов, например, таких как GeoWall или PLAXIS, позволяющих автоматизировать расчетный процесс.

«Тяжелые» программы, такие как PLAXIS, основаны на методе конечных элементов и обладают большими вычислительными возможностями, однако требуют значительного времени для подготовки исходных данных и, что еще более важно, для их применения требуются специалисты-расчетчики высокого уровня.

В отличие от «тяжелых» программных комплексов программа GeoWall основана на рациональном сочетании более простых, но апробированных на практике инженерных методик, и точных численных методов.

Расчетные методики, заложенные в программу GeoWall, хорошо зарекомендовали себя в практике проектирования. С одной стороны, данные методики адекватно отражают механизм разрушения и деформирования грунтового массива, а с другой – все необходимые входные параметры, характеризующие физико-механические свойства грунта и геометрические параметры стальных или железобетонных силовых элементов, соответствуют действующей в нашей стране нормативной базе (ГОСТ, СНиП, СП и т.п.).

На рис.1 показан пример составления расчетной схемы с использованием программы Plaxis и GeoWall. Пример показывает, что специализированная программа GeoWall обладает гораздо лучшей информативностью в расположении инженерно-геологических элементов, габаритов ограждающей конструкции, глубин этапов разработки котлована и т.п.

В дальнейшем будет показано преимущество специализированных программ не только в проведении расчетов, но и в анализе выходной информации.

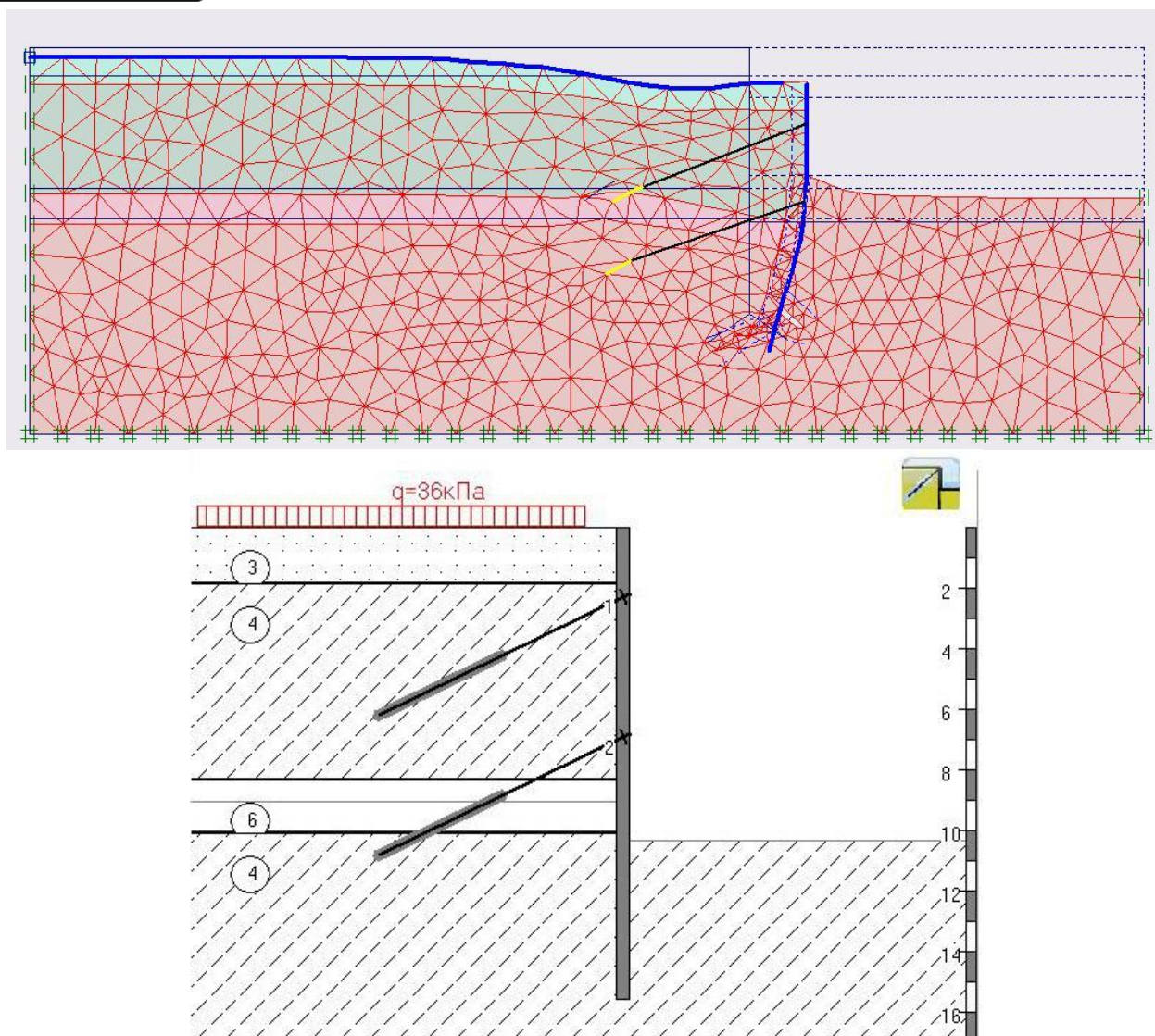


Рис.1. Пример расчетной схемы в Plaxis и GeoWall

### Постановка задачи

Специалистами компании «ИнжПроектСтрой» разработана программа GeoWall для расчета ограждения котлованов. Целью разработки данной программы являлось упрощение подготовки входных данных и простой анализ результатов расчета, не требующих специально подготовленных инженеров-расчетчиков.

Безусловно, как и любая новая программа, на начальном этапе данная программа прошла тестирование на точных решениях, которые можно получить с помощью «ручных» вычислений. К сожалению, точные решения существуют только для простых задач, не имеющих, как правило, практического значения.

Более важно оценить достоверность расчетов при сложных расчетных схемах, которые, как правило, не имеют точных решений. В этом случае приходится сравнивать результаты любой новой программы с результатами, полученными с помощью уже существующих программных комплексов.

В настоящей статье рассмотрено сравнение результатов расчета ограждения котлована с использованием программ GeoWall и Plaxis.

Результат сравнения, как нам кажется, является достаточно интересным для широкого круга специалистов, занимающихся проектированием ограждений глубоких котлованов.

Для сравнения был выбран реальный, но достаточно типичный объект – ограждающая конструкция из труб  $\varnothing 325 \times 8$  мм, установленных с шагом 900 мм. Глубина котлована составляет 10,5 м. Котлован сооружается в слоистом массиве. С целью обеспечения устойчивости ограждения проектом предусмотрена установка двух ярусов анкеров. Физико-механические свойства грунтов представлены в таблице 1. Расчетная схема показана на рис. 2. Расчет выполнен с учетом поэтапной экскавации грунта.

Таблица 1

## Физико-механические свойства грунтов

ИГЭ	Тип грунтов	Мощность слоя, м	$\gamma_i$ , кН/м <sup>3</sup>	$\gamma_i^{sat}$ , кН/м <sup>3</sup>	$c_i$ , кПа	$\phi_i$ , град	Коэф. постели, кН/м <sup>3</sup>
3	Суглинки твердые и полутвердые	1,88	20,2	26,9	16,7	13,0	7800
4	Суглинки твердые и полутвердые	6,6	21,7	26,8	23,0	19,0	8220
6	Супесь пластичная	1,8	19,8	26,5	0,0	30,0	7800
4	Суглинки твердые и полутвердые	20,0	21,7	26,8	23,0	19,0	8220

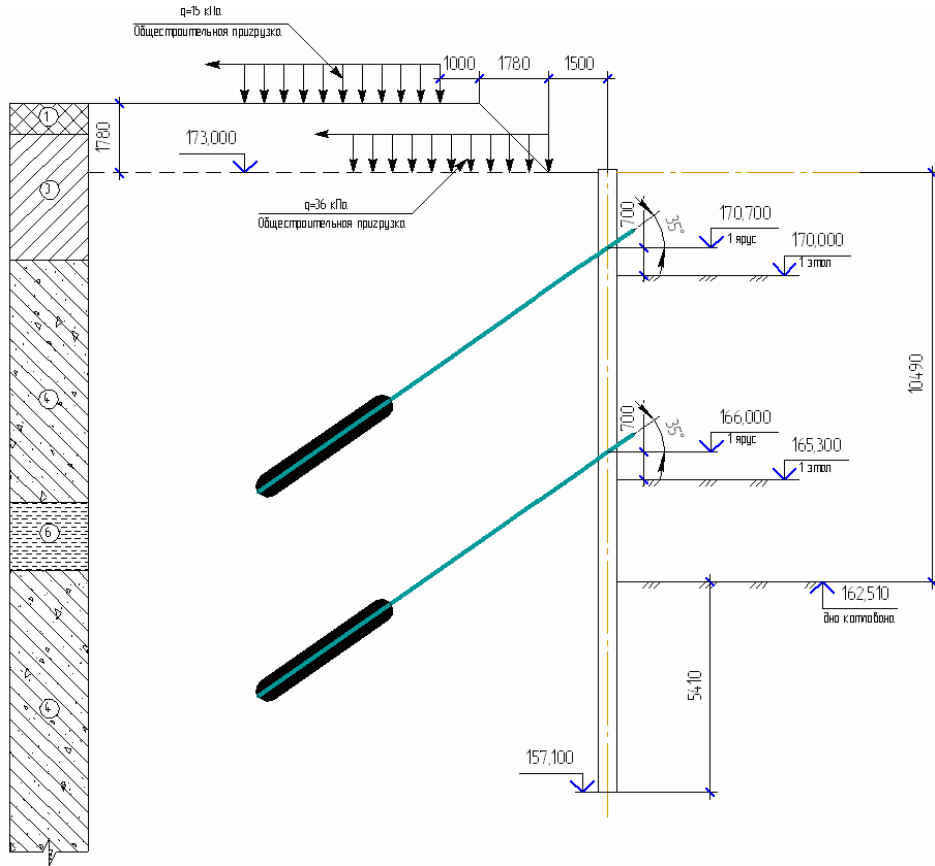


Рис.2. Расчетная схема

### Результаты сопоставлений

В рамках журнальной статьи невозможно привести все результаты сравнения, поэтому в дальнейшем рассматривается только наиболее важная часть - моменты, действующие в ограждающей конструкции, и горизонтальные смещения борта котлована.

На рис. 3 приведены эпюры изгибающих моментов в программах GeoWall и Plaxis. Стоит отметить качественное совпадение эпюр моментов, полученных в разных программах.

Таким образом, программы с позиции расчета на прочность ограждения дают очень близкие результаты, а это позволяет проектировщику быть уверенным в достоверности результатов прочностных расчетов при использовании любой из этих программ.

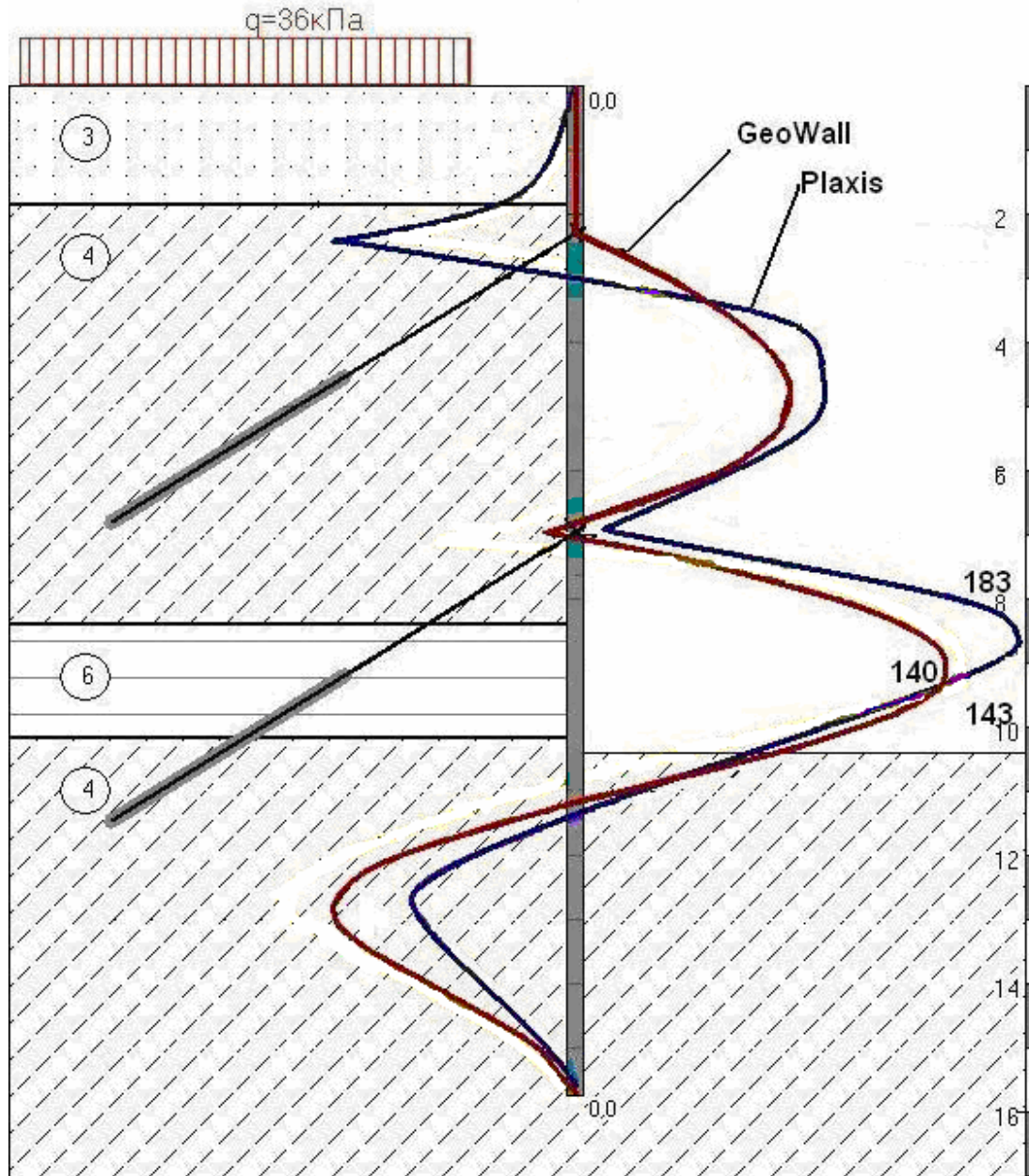


Рис. 3. Эпюры изгибающего момента в конструкции ограждения ( $\text{kH}\cdot\text{м}$ )

Более интересным является сравнение результатов горизонтальных перемещений ограждения (рис. 4).

Расчеты в программе Plaxis показывают, что горизонтальные перемещения в данном случае в несколько раз превышают значения, полученные в программе GeoWall. Безусловно, это объясняется принципиальным различием подходов.

В первом случае (GeoWall) решение основано на инженерных методиках расчета гибкого ограждения. Причем, данные методики основаны на уравнениях равновесия, составленных для элементов ограждения, т.е. предполагается, что ограждение может только изгибаться, но не смещаться целиком, как жесткое тело.

В отличие от этого, программа Plaxis реализует метод конечных элементов, с помощью которых моделируется напряженно-деформированное состояние всей расчетной области, включающей грунтовый массив, ограждение и анкерную конструкцию. В этом случае действительно можно получить результат, описывающий не только изгиб ограждающих элементов, но и их смещение, как жесткого тела (вот почему смещения возросли в несколько раз).

Казалось бы, второй подход предпочтительней. Но не все так просто и однозначно.

Что касается метода МКЭ, то специалисты, занимающиеся расчетами подземных сооружений, знают, что результаты расчета существенно зависят, например, от размера расчетной области, сгущения сетки, типа элементов, вида аппроксимирующих функций и т.п. Это обстоятельство обязательно требует исследовать сходимость решения от перечисленных параметров. Однако наивно предполагать, что со сгущением сетки можно ожидать повышение точности решения. На практике часто сходимость решения отсутствует, т.к. сгущение конечно-элементной сетки приводит к значительному росту системы уравнений, что в свою очередь сопровождается ростом погрешности вычислений.

Другой недостаток универсальных конечно-элементных программ состоит в использовании модели сплошной среды. К сожалению, данная модель не всегда адекватно отражает довольно сложное поведение реального грунта. Часто более простые инженерные методики приводят к более точным результатам. Классическими примерами являются задачи потери устойчивости откоса по кругу цилиндрической поверхности или образование призм обрушения за ограждением котлована, определяющим давление на него.

Большинство котлованов проектируется сегодня именно с использованием инженерных методик, во многих странах они входят в нормативные документы. При этом котлованы не падают.

Безусловно, эти сложные процессы также можно смоделировать с помощью метода МКЭ. Но в этом случае приходится использовать нелинейные модели, или модели, описывающие разрушение грунта с образованием поверхности скольжения. К сожалению, такой подход приводит к необходимости применения новых видов физико-механических характеристик грунта, а это уже противоречит существующим ГОСТам и СНиПам. Пойдет ли на такой шаг обычный проектировщик, который обязан соблюдать требования действующих нормативных документов?

Таким образом, вопрос сравнения компьютерных программ незаметно перешел в плоскость ответственности за принятые решения. А это уже тема другой статьи, да и других авторов.

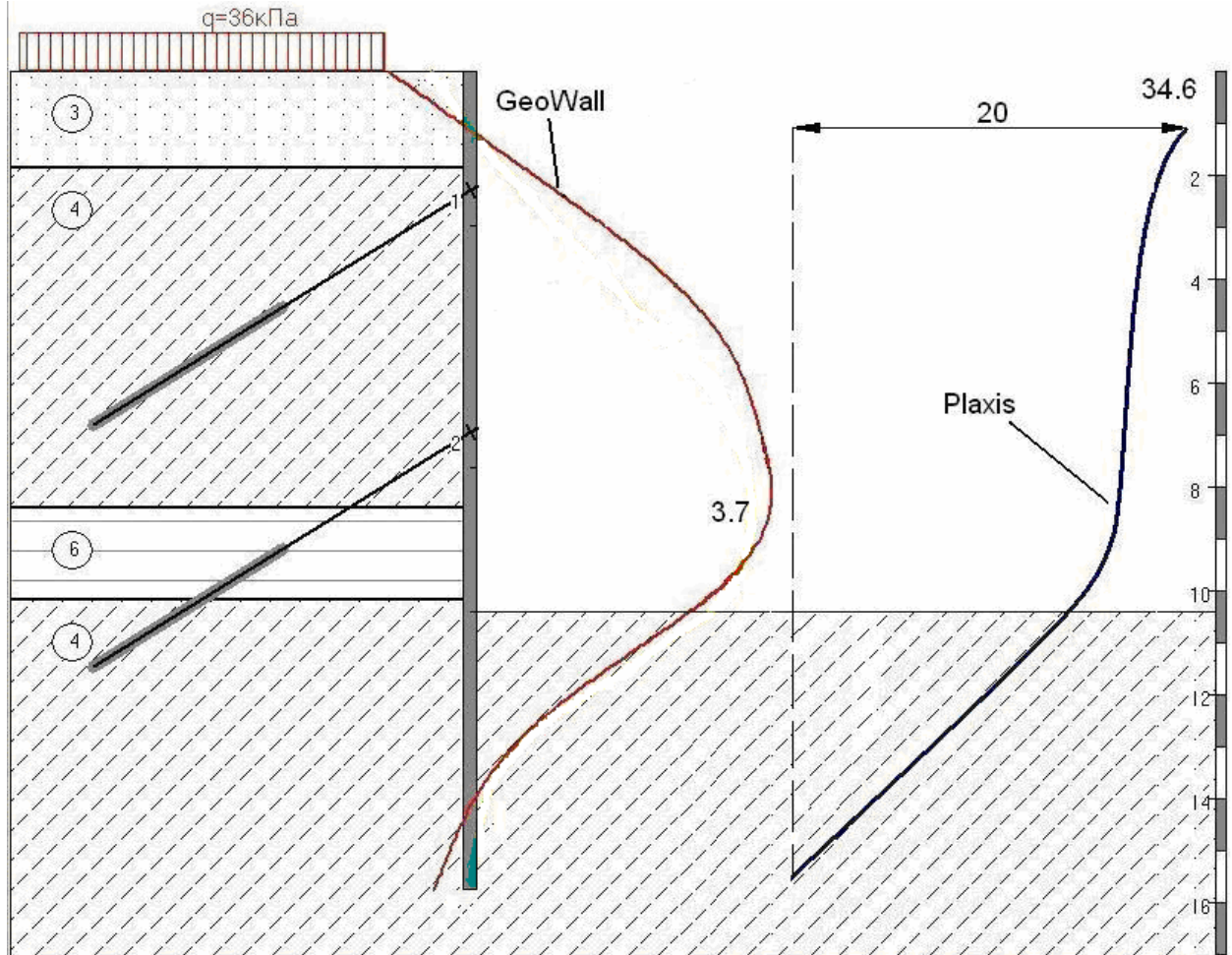


Рис. 4. Эпюра горизонтальных перемещений (см)