



PLAXIS — геотехнические расчеты

История создания

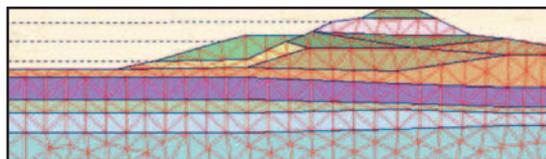
"Биография" PLAXIS достаточно интересна и при этом сильно отличается от традиционной истории развития коммерческого ПО. В разработке, продвижении и внедрении программы участвовали специалисты крупных университетов, деятели государственных учреждений и коммерческих компаний. В результате получился многофункциональный и удобный для расчетов продукт, динамически развивающийся и сейчас.

В 70-е годы написанная на Фортране и работавшая на больших компьютерах (мейнфреймах) программа — тогда ее называли ELPLAST — разрабатывалась Питером Вермеером (Pieter Vermeer) из Делфтского университета технологии. ELPLAST могла осуществлять двумерные упруго-пластические вычисления на основе наборов шестиугольных треугольников.

Дальнейшие исследования в рамках проекта, проведенные аспирантами Вермеера и специалистами из других университетов, значительно расширили возможности программы: теперь с ее помощью решались, например, вопросы осесимметрии, нелинейного анализа почв, структурных элементов.

Первая версия для ПК появилась в 1987 году. Когда же с выходом пятой версии программы стала очевидной необходимость ее коммерческого продвижения, была создана компания PLAXIS BV. Основной своей целью компания называет создание программного обеспечения с интуитивно понятным интерфейсом для точных и высококачественных геотехнических расчетов, базирующихся на конечно-элементном методе. Развивая и совершенствуя программу, разработчики тесно сотрудничают и с университетами, и с фирмами — PLAXIS стал своего рода связующим звеном между теоретическими исследованиями и практической работой.

Вплоть до седьмой версии программа оставалась DOS-приложением, но в Windows-версию PLAXIS 7 введены графические элементы, не-



▲ Проект расширения дорожного полотна

Инженерный анализ — завершающий этап любого строительного проекта, определяющий надежность и качество возводимого объекта. Рынок программ для инженерных расчетов предлагает достаточно много как российских, так и зарубежных разработок, позволяющих с высокой степенью достоверности выполнять расчеты несущих конструкций в их надземной части.

К сожалению, куда меньше освоена область связанных с геотехнической инженерией расчетов, в основу которых положены процессы моделирования грунтов, взаимодействия между конструкциями и грунтами. Качественных, понятных и удобных программ для профессионалов здесь пока немного.

Эта статья представляет собой краткий обзор комплекса программ компании PLAXIS BV, предназначенных для выполнения конечно-элементного анализа деформаций и устойчивости конструкций в проектах, связанных с геотехнической инженерией.

структурированная сетка и ряд других существенных черт.

Седьмая версия поменяла акценты самой философии проекта: PLAXIS, представлявший собой пакет конечно-элементного анализа, ориентированный на достаточно узкий круг специалистов, становится практическим инженерным инструментом, который может и должен использоваться в строительстве.

Конечно, это не единственная программа для выполнения конечно-элементного анализа в области механики грунтов: существуют, например, ABAQUS, ANSYS, ZSOIL.

Однако, как считают специалисты, PLAXIS выгодно отличается от них простым пользовательским интерфейсом, высокой точностью расчетов и очень доступной ценой.

Назначение и состав программы

PLAXIS предназначен главным образом для проектных организаций и высших учебных заведений. Это мощный, удобный инструмент и для исследований, и для практического применения в сфере промышленного и гражданского строительства.

PLAXIS может быть применен для решения большинства задач в сфере традиционной механики грунтов. Он охватывает вопросы закладки и возведения фундаментов, земляных работ (устройство котлованов, траншей и т.д.), строительства подпорных стен, расчетов устойчивости откосов, расчетов дорожной насыпи (в том числе и на динамическое воздействие), инфильтрации, прокладки тоннелей. Программа используется как для расчета отдельных элементов, так и для комплексных вычислений.

Программные продукты фирмы PLAXIS BV представлены следующими расчетными пакетами:

- PLAXIS Professional — пакет, предназначенный для двумерного конечно-элементного анализа деформаций и устойчивости в проектах, связанных с геотехнической инженерией.
- PLAXIS Dynamics module — дополнение к Plaxis Professional, расширяющее возможности последнего при моделировании динамических воздействий.
- PLAXIS 3D Tunnel — геотехнический пакет, разработанный специально для конечно-элементного трехмерного анализа деформаций и устойчивости при проектировании тоннелей.

Теперь рассмотрим основные возможности программ, их структуру, методы расчетов.

Начало работы

При проведении геотехнических расчетов необходимо наличие основных почвенных моделей для имитации нелинейного и нестационарного поведения почв. При этом следует обязательно учитывать и сам субстрат почвы как таковой, гидростатическое и негидростатическое поровое давление в ней. Таким образом, основной акцент делается именно на взаимодействии почвы и тех сооружений, которые могут быть возведены на данном участке.

Входные данные

Ввод геометрии слоев грунта, конструкции, нагрузок и граничных условий базируется на CAD-процедурах черчения, которые обеспечивают подробное и точное моделирование реальной ситуации. Для ввода геометрии в PLAXIS представлены такие элементы, как балка, шарнир, контактные поверхности, анкеры, геотекстиль (георешетки), тоннели, граничные условия, нагрузки.

Из созданной геометрической модели программа в автоматическом режиме генерирует неструктурированную конечно-элементную сетку с возможностью глобального и локального изменения ее плотности. Использование в модели элементов высокого порядка полезно для равномерного распределения напряжений в грунте и точного предсказания недопустимых нагрузок. Пользователю предоставлен выбор между 6-узловыми и 15-узловыми элементами,

что можно с успехом использовать в осесимметричном анализе.

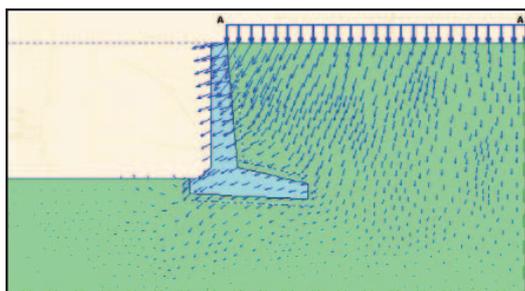
Модели грунтов

Самая простая из используемых в PLAXIS моделей грунтов — модель Кулона-Мора. Эта нелинейная модель базируется на параметрах грунтов, которые в большинстве случаев известны. Модель Кулона-Мора может применяться, например, для вычислений реальных конечных нагрузок кольцевых фундаментов, коротких свай, а также для расчета запаса прочности. Модель рыхлых грунтов используется для точного анализа логарифмической работы на сжатие нормально консолидированного рыхлого грунта. Модель мягких ползучих грунтов — это усовершенствованная версия модели мягких грунтов, включающая моделирование второй стадии ползучести. Твердая модель применяется для более твердых грунтов — таких, как сверхконсолидированные глины и пески. Здесь используется упруго-пластичный тип гиперболической модели.

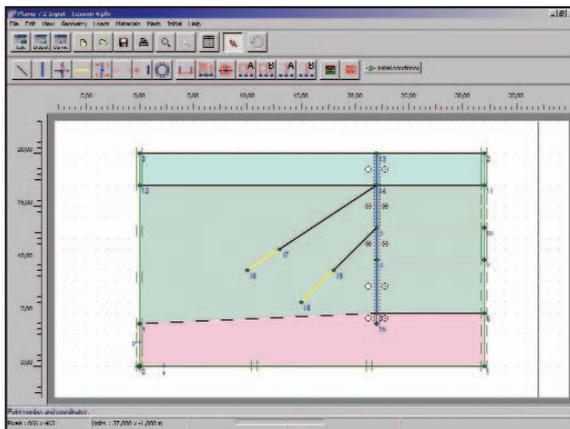
Для генерации устойчивого состояния порового давления существует два альтернативных подхода:

- анализ потока подземных вод, где комплексное распределение порового давления может генерироваться на основе двумерного анализа течения грунтовых вод;
- уровень грунтовых вод. В простых случаях мультилинейное поровое давление может быть сгенерировано непосредственно на основе уровня грунтовых вод. Для каждого слоя почвы можно выделить различные уровни грунтовых вод. Более того, поровое давление в слое может быть интерполировано от порового давления в смежных слоях грунта.

При моделировании проницаемых песков и почти непроницаемых глин PLAXIS различает дренированные и недренированные грунты. Избыточное поровое давление определяется при расчете пластичности, когда недренированный слой грун-



↑ Устройство подпорной стенки



↑ Препроцессор PLAXIS

та подвергается нагрузке. Нагрузки на недренированные грунты часто являются решающими для устойчивости геотехнических сооружений. В случаях недостаточной устойчивости для уменьшения избыточного порового давления требуется ввод вспомогательных периодов консолидации.

Расчетные возможности

PLAXIS предлагает различные виды расчетов: расчет *пластичности*, анализ *консолидации* и анализ *усовершенствованной конечно-элементной сетки*. Расчетные фазы для каждого проекта могут определяться непосредственно перед выполнением вычислений.

Расчет пластичности. Коэффициенты нагрузки используются для активизации установленных нагрузок (сосредоточенных или распределенных), установленных перемещений, веса и усадки грунта (для моделирования щитовой проходки тоннелей). Предусмотрена возможность моделировать процесс строительства.

Поэтапное возведение. Активизируя и деактивизируя группы элементов, пользователь может моделировать процесс строительства и экскавации. Эта процедура позволяет дать реалистическую оценку напряжений и перемещений, вызванных, например, строительством земляных дамб или котлованов для фундаментов глубокого заложения. Опция этапного конструирования используется также для активизации изменений в распределении порового давления.

Консолидация. Снижение избыточного порового давления во времени может быть вычислено при анализе консолидации. Анализ консолидации требует ввода коэффициента проницаемости для различных слоев грунта. Процедура автоматического пошагового изменения времени делает анализ ясным и простым в использовании.

Усовершенствованный анализ Лагранжа. С помощью этой опции можно постоянно корректировать сетку конечных элементов во время расчета. Если пользователь сталкивается с ситуацией, при которой обычный анализ малых деформаций может привести к существенным изменениям геометрии, рекоменду-

ется выполнить более точный расчет с помощью усовершенствованного анализа Лагранжа.

Коэффициент устойчивости. Коэффициент запаса обычно определяется как отношение разрушающей нагрузки к действующей нагрузке. Это определение годится для фундаментов, но не для насыпных сооружений и шпунтовых стен. Для указанных конструкций более подходит используемое в механике грунтов понятие "коэффициент устойчивости", который определяется в PLAXIS как отношение действительной поперечной силы к минимальной требуемой для равновесия.

При выполнении расчетов PLAXIS может быть запущен в режиме автоматического выбора шага величины и шага времени. Это позволяет избежать выбора подходящего приращения нагрузки для расчетов пластичности, что гарантирует эффективность и точность процесса вычислений.

Контроль длины дуги. Это свойство позволяет точно рассчитать разрушающие нагрузки и выявить механизм разрушения. В обычных расчетах контролируемых нагрузок процедура итерации прекращается, когда возрастающая нагрузка превысит пиковую. При использовании метода контроля длины дуги примененная нагрузка понижается до такого уровня, чтобы зафиксировать пиковую нагрузку и любые остаточные нагрузки.

Выходные данные

Постпроцессор PLAXIS имеет развитые возможности графического представления результатов расчета. В выходные таблицы заносятся точные значения перемещений, напряжений, структурных воздействий. Все данные могут быть выведены на принтер или плоттер в табличном либо полноцветном формате.

Осуществляется графический вывод деформированной сетки, общие или дискретные перемещения. Производится графиче-

ский вывод действующего напряжения, порового давления и избыточного порового давления.

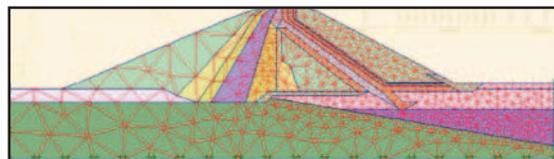
PLAXIS позволяет создавать графики всех типов напряжений и перемещений в любом сечении. Существует специальный инструмент для черчения кривых "нагрузка-перемещение", траектории напряжения и диаграмм "напряжение-деформация". Визуализация траектории напряжения дает возможность проинтерпретировать поведение локального грунта и облегчает анализ рассчитанных в PLAXIS результатов.

Заключение...

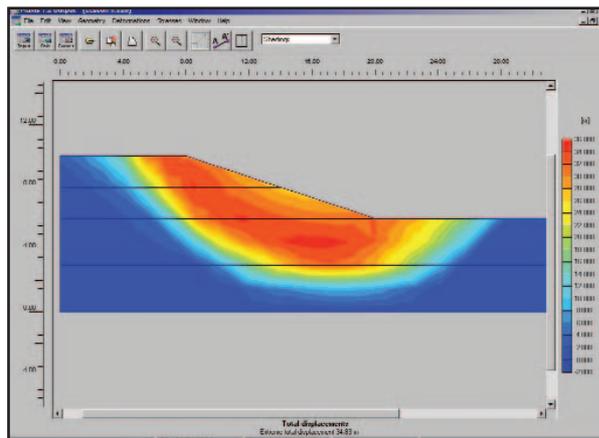
При кажущейся простоте, интуитивно понятном графическом представлении, достаточно небольшом количестве выполняемых программной операцией PLAXIS — это многофункциональный комплекс, полностью решающий задачи, связанные с геотехнической инженерией.

Программа очень многогранна; детальное ее изучение открывает новые и новые возможности, которые в значительной степени упрощают и оптимизируют процесс проектирования.

Илья Ивахов
НИИП-Информатика
Тел.: (812) 375-7671
E-mail: ila@nipinfor.spb.ru
Internet: www.nipinfor.spb.ru



▲ Конечно-элементная сетка модели земляной плотины



▲ Расчет устойчивости откоса (на рисунке хорошо видна кривая обрушения)