

# РАСЧЕТЫ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА НА СЛАБОМ ОСНОВАНИИ В ПРОГРАММЕ PLAXIS

Е.В. ФЕДОРЕНКО

*МИАКОМ, г. Санкт-Петербург*

Широкое развитие слабых оснований определяет большую потребность в выполнении соответствующих расчетов насыпей в процессе проектирования с целью принятия решения о выборе того или иного варианта противодеформационных мероприятий. Современное развитие механики грунтов привело к появлению геотехнических программных комплексов, обладающих большими, по сравнению с традиционными методами расчетов, возможностями.

## **Получение исходных данных**

Первым этапом, оказывающим существенное влияние на дальнейший ход проектирования, является проведение инженерных изысканий. Только при взаимодействии геологов-изыскателей и проектировщиков-геотехников на стадии подготовки технического задания возможно предопределить получение полных, востребованных результатов. Это не означает что потребуются большие затраты, как раз наоборот, в этом случае будет найден оптимум между потребностями и затратами [4].

Использование современных видов полевых испытаний в сочетании с лабораторными позволяют обеспечить наилучшее качество исходных данных, от которых зависит не только стоимость затрат на строительство, но и надежность и бесперебойность эксплуатационной работы сооружения. Рекомендуются к использованию такие методы полевых испытаний как: СРТu (статическое зондирование с измерением порового давления) и - дилатометр (определение коэффициента бокового давления).

Информация в этом разделе приводится очень кратко в виду другой направленности статьи, общая рекомендация: использование 3-4- методов испытаний грунтов: 2 полевых, 2 лабораторных [4].

Вопросы выбора прочностных и деформационных характеристик освещены в [1,3,7,9], в [6] приводится информация о виртуальной лаборатории и ее использовании при определении параметров модели.

## **Расчеты устойчивости и стабильности**

Для определения коэффициента устойчивости используются два основных подхода: расчеты по методам предельного равновесия (МПП) и расчеты с применением численного моделирования (МКЭ). Основные используемые методы предельного равновесия: Bishop, Janbu, Morgenstern&Price, Sarma и обобщающий метод GLE (general limit equilibrium), из отечественных наибольшее распространение получил метод проф. Г.М. Шахунянца.

Выбор того или иного метода зависит от его особенностей: учет межотсековых сил; решение уравнения сил, моментов или сил и моментов одновременно; пригодность к расчету КЦПС или ломаных поверхностей скольжения и т.п. [8]. Устойчивость определяется для трех расчетных случаев, соответствующих трем условиям прочности:

1. **Начальный этап.** Нестабилизированные грунты с недренированной прочностью для определения максимально возможной устойчивой части насыпи.

2. **Строительный период.** Промежуточное состояние (с разной степенью консолидации) в процессе возведения насыпи с прочностью в полных напряжениях.

3. **Эксплуатационный период.** Проверка устойчивости после завершения консолидации с прочностью в эффективных напряжениях.

**Недренированная прочность** ( $C_u$ ) описывает начальное водонасыщенное состояние слабых глинистых грунтов, ее получают в результате трехосных неконсолидировано–недренированных испытаний, при быстром сдвиге в приборе одноплоскостного среза и полевым испытанием крыльчаткой. Использование этой прочности позволяет определить возможность быстрого возведения насыпи или установить максимальную устойчивую высоту.

В программе Plaxis этот вид расчетов выполняется с типом поведения модели **Undrained B**. [1,7]

Расчет с **эффективными параметрами прочности** позволяет проверить достаточность устойчивости после окончания процесса консолидации основания с эксплуатационной нагрузкой. Для расчета используются параметры, полученные в результате трехосных консолидировано–недренированных или консолидировано–дренированных испытаний и при медленном сдвиге в приборе одноплоскостного среза. Прочностные характеристики обозначаются в этом случае как  $s'$  и  $\varphi'$ . Результаты расчетов в эффективных напряжениях дают наибольший коэффициент устойчивости.

В программе Plaxis этот вид расчетов выполняется с типом поведения модели Drained.

Расчеты устойчивости в **полных напряжениях** это наиболее часто встречающийся в отечественной практике вид оценки устойчивости. Как правило в инженерно-геологическом отчете приводятся характеристики прочности, соответствующие текущему состоянию грунтов, например мягкопластичному или текучепластичному, т.е. это не начальные и не конечные характеристики, а промежуточные [5,9]. В лабораторных условиях прочность грунта в полных напряжениях получают в ходе консолидировано–недренированных трехосных испытаний, однако чаще всего в геологическом отчете прочность назначена по таблицам.

Учитывая, что исходные данные табличные и соответствуют промежуточному состоянию, то и результат будет иметь промежуточное значение, однако в отечественной практике, как правило, другие виды расчетов не выполняются и дальнейшее проектирование противодеформационных мероприятий осуществляется на это состояние. Безусловно такой подход гарантирует запас надежности, но ведь запасы уже заложены в характеристиках грунтов, самом коэффициенте запаса и методе расчета (например, широко используемый метод проф. Шахунянца занижает расчетный коэффициент устойчивости).

В программе Plaxis этот вид расчетов выполняется с типом поведения модели **Drained**, и подстановкой в качестве параметров прочности значений в полных напряжениях.

Преимуществом использования программ численного моделирования является возможность именно моделирования, т.е. расчета начального состояния, начала строительства, упрочнения грунтов в процессе консолидации и оценки устойчивости после частичной консолидации и приложения эксплуатационной нагрузки. Подобные аналитические расчеты весьма громоздки и затруднительны, даже с использованием реализующих аналитические алгоритмы программ (комплекс ГЕО5).

В программном геотехническом комплексе Plaxis реализован принцип расчета с типом поведения модели **Undrained A**. Вкратце, этот расчет позволяет оценить устойчивость в начальном состоянии на основе расчетного значения недренированной прочности; в любой период строительства на основе прочности в полных напряжениях, дает время консолидации на любой стадии и соответствующую этому времени устойчивость, в том числе и для завершеного процесса консолидации т.е. в эффективных напряжениях.

Следует отметить, что геотехник должен хорошо понимать, какую прочность ему предоставили геологи и кой тип расчета необходимо выполнить в том или ином случае для оценки надежности работы конструкции [5,9].

Оценку стабильности основания принято выполнять путем расчета коэффициента стабильности  $K_{\text{стаб}}$  (в железнодорожном проектировании) и коэффициента безопасности  $K_{\text{без}}$  (в автодорожном). Коэффициент безопасности является частным случаем коэффициента стабильности, и показывает результат в одной точке. Оба коэффициента оценивают дефицит прочности грунта при текущем воздействии. Не останавливаясь на основных различиях аналитического и численного подходов [2],

отметим, что коэффициент стабильности не имеет четких критериев, коэффициент безопасности обеспечивает перезапас по прочности, что противоречит критерию коэффициента устойчивости (не допускается значительное превышение требуемого значения). Поэтому использование результатов такого расчета пригодно лишь для иллюстрации процесса упрочнения и выделения зон нестабильности в процессе анализа. Подробный анализ этих показателей приведен в [2].

### **Расчеты осадки и консолидации**

Расчет насыпей по второму предельному состоянию предполагает обязательное определение не только величины, но и времени продолжительности осадки (консолидация). Расчеты осадки насыпей на слабых основаниях следует рассматривать только при условии обеспечения устойчивости и стабильности основания.

Основным отличием аналитических расчетов от численного моделирования является учет боковых и пластических деформаций слабого основания. Условия компрессионного сжатия, для которых применимы известные аналитические зависимости, ограничены случаем, когда ширина подошвы значительно превышает мощность слабого слоя. Величина осадки, полученная по формулам или в реализующей аналитические зависимости программе Осадка комплекса ГЕО5, будет отличаться от осадки, полученной в ходе численного моделирования с типом поведения модели **Undrained A**. Напомним, что этот тип поведения грунта позволяет моделировать начальные недренированные условия прочности и последующее упрочнение в ходе консолидации, что предопределяет развитие и уменьшение пластических деформаций и горизонтальных перемещений.

Расчеты осадки производятся для трех стадий: начальная (до консолидации); конечная осадка (обычно используемая в проектировании,

основанная на первичной консолидации) и осадка с учетом ползучести (вторичная консолидация).

Наиболее подходящей моделью грунта, описывающей нелинейное поведение при сжатии и учитывающей прочностные параметры, т.е. позволяющей одновременно контролировать устойчивость, является модель SoftSoil. Входные параметры модели задаются на основе имеющихся компрессионных испытаний, построенных в полулогарифмических координатах (горизонтальная ось – натуральный логарифм давления) [6,7].

Сравнительные расчеты консолидации различными способами [7] позволяют сделать вывод, что аналитические методики малоприменимы в сложных геологических условиях: слоистость и разная мощность грунтов, различные виды и интенсивность внешних напряжений и пр. Поэтому результаты, полученные аналитически и численно для реальных схем будут различаться, в мировой геотехнической практике предпочтение отдается численному моделированию.

В общем виде принцип расчета земляного полотна на слабом основании в программе Plaxis можно представить в виде таблицы 1.

Таким образом, потребность использования различных характеристик для оценки сооружения на разных стадиях диктует необходимость выполнения нескольких несвязанных друг с другом расчетов и использования разных инженерных программ (Устойчивость, Осадка). При использовании в программном комплексе Plaxis типа поведения **Undrained A** все расчеты выполняются на одной схеме.

Таблица 1

Исходные данные/ Тип поведения	Стадии расчета		
	I начальный этап	II строительный период	III эксплуатационный период
	Результаты/ Тип расчета		
Недренированная прочность $C_u$ / <i>Undrained B</i>	$H_{max}; K_{уст} \geq 1.1^*/$ <i>Plastic drained</i>	-	-
Прочность в полных напряжениях $c_w, \phi_w$ / <i>Drained</i>	-	$St, t_i$ / <i>Consolidation</i> ; $K_{стаб}$ / <i>Plastic Drained</i> ; $K_{уст} \geq K_{треб}$ / <i>Safety</i>	$S_k, t$ / <i>Consolidation</i> ;
Эффективная прочность / <i>Undrained A</i>	$H_{max}$ / <i>Consolidation</i> ; $K_{стаб}$ / <i>Consolidation</i> ; $K_{уст} \geq 1.1^*$ / <i>Safety</i> <b>КОНТРОЛЬ</b>	$\Delta H^{**}, St, t_i$ / <i>Consolidation</i> ; $K_{стаб}$ / <i>Consolidation</i> ; $K_{уст} \geq K_{треб}$ / <i>Safety</i>	$S_k, t$ / <i>Consolidation</i> ; $K_{стаб}$ / <i>Plastic Drained</i> ; $K_{уст} \geq K_{треб}$ / <i>Safety</i>

\* - начальный коэффициент устойчивости, характеризующий максимально возможную устойчивую часть насыпи.

\*\* - отсыпка части насыпи до максимальной устойчивости высоты или отсыпка на полную высоту при обеспечении устойчивости.

$St, S_k$  – осадка на момент времени  $t_i$  и конечная (время  $t$ ), соответственно.

## Заключение

Многообразие программных продуктов для выполнения геотехнических расчетов позволяет выбрать наиболее удобные и отвечающие поставленным задачам. Однако не стоит забывать, что программа это всего лишь инструмент, реализующий ту или иную методику. Владение инструментом подразумевает не только наличие умения пользоваться программное оболочкой, но и наличие опыта и интуиции геотехника, а также достаточных знаний в области Инженерной геологии и Механики грунтов. А что касается таких программ как Plaxis, Midas GTS, ГЕО 5 МКЭ и подобных, то еще и обширных знаний в области современной Механики грунтов, большей частью представленной в иностранных источниках. Только обладая всем этим набором можно квалифицированно решать любые геотехнические задачи.

## Список использованных источников

1. Болдырев Г.Г. Методы определения механических свойств грунтов. Состояние вопроса. Пенза: ПГУАС, 2008. 696 с.
2. Вавринюк Т.С., Федоренко Е.В. Об определении допустимой нагрузки на слабое основание земляного полотна/ Путь и путевое хозяйство № 10, 2015. ISSN 0033-4715, стр.10-14
3. Вавринюк Т.С., Федоренко Е.В. Расчеты уширения земляного полотна/ Автомобильные дороги № 6(1003) Июнь, 2015 Стр. 10-13
4. Вавринюк Т.С., Федоренко Е.В. Результаты инженерных изысканий, как основа для расчетов транспортных сооружений/ Инженерные изыскания Издательство: Геомаркетинг (Москва) ISSN: 1997-8650. - 2014. - №3. - С. 46-49
5. Маслов, Н.Н. Механика грунтов в практике строительства Текст. М.: Стройиздат, 1977. - 244 с.
6. Практикум по программе Plaxis. Часть 1. Виртуальная лаборатория Soil Test /Электронный ресурс, информация по запросу geotechnikfd@mail.ru
7. Справочное пособие «Геотехника и геосинтетика в вопросах и ответах» Санкт-Петербург, 2016. Информация доступна по запросу geotechnikfd@mail.ru
8. Федоренко Е.В. Метод расчета устойчивости путем снижения прочностных характеристик/ Транспорт Российской Федерации Издательство: ООО Т-Пресса (Санкт-Петербург) ISSN: 1994-831X. - 2013. - №6 (49). - С. 24-26
9. Федоренко Е.В. Прочность грунтов и расчеты устойчивости в гидротехническом строительстве/ Гидротехника XXI век № 1 (21) 2015 стр. 56-58 Сравнение нормативных документов в разных отраслях???