

## УЧЕТ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПРОСЛОЕК В РАСЧЕТАХ КОНСОЛИДАЦИИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

**Аннотация:** В практике проектирования и расчетов мероприятий инженерной защиты транспортных сооружений уже давно используются геотехнические программные комплексы (Plaxis, Midas, Z-Soil, Phase2, GEO5 FEM и др.), однако действующие нормативные и рекомендательные документы не содержат четких указаний, каким образом следует их применять. Основная часть статьи посвящена сопоставлению подходов к определению прочности грунтов и последующего использования ее в расчетах по предельным состояниям первой группы в программах численного моделирования. Используя указанный подход, появляется возможность полноценного учета геосинтетических материалов в проектируемой конструкции, особенно в части необходимой их прочности.

**Ключевые слова:** МКЭ, численное моделирование, Plaxis, прочность грунтов, теория Терцаги, расчеты устойчивости, консолидация.

В инженерной практике для определения устойчивости сооружений на основаниях, сложенных пылевато-глинистыми грунтами с коэффициентом водонасыщения  $S_r > 0.85$ , необходимо учитывать нестабилизированное состояние грунтов. В целях упрощения для расчетов принята двухфазная система: вода+минеральная часть. Расчеты по трехкомпонентной схеме (вода+воздух+минеральная часть) существуют, но являются на сегодняшний день малораспространенными в виду малой изученности и сложности.

Рекомендательные документы [5] регламентируют использование теории Н.Н. Маслова, в соответствии с которой не требуется вычислять поровое давление, а изменение прочности определяется влажностью грунта. Однако на практике этот подход не применяется в виду необходимости проведения дополнительных испытаний грунтов.

Теория Н.Н. Маслова является инженерным упрощением теории К. Терцаги, в которой прочность определяется эффективными

характеристиками (что соответствует полностью консолидированному состоянию), а в процессе нагружения прочность определяется с учетом избыточного порового давления и имеет минимальное значение, соответствующее неконсолидированному состоянию.

Пользователи таких программных комплексов как Plaxis, Midas, Z-Soil, Phase2 и пр. сталкиваются с вопросом: как в этих программах осуществляется повышение прочности в процессе уплотнения грунтов основания, ведь в них нет такого расчетного параметра, как влажность. Для того чтобы разобраться в этом вопросе, необходимо произвести сопоставление методов испытаний, предназначенных для установления параметров в теориях.

При сопоставлении результатов теории «плотности-влажности» Н.Н. Маслова и первоначальной теории К. Терцаги видно (рис. 1), что они хорошо согласуются между собой [4], разница между ними заключается лишь в интерпретации данных. Современные программные продукты, зарубежного исполнения, благодаря возможностям компьютерной техники [2], реализуют более сложную теорию К. Терцаги, в то время как действующие отечественные методики расчетов [5] основаны на теории Н.Н. Маслова.

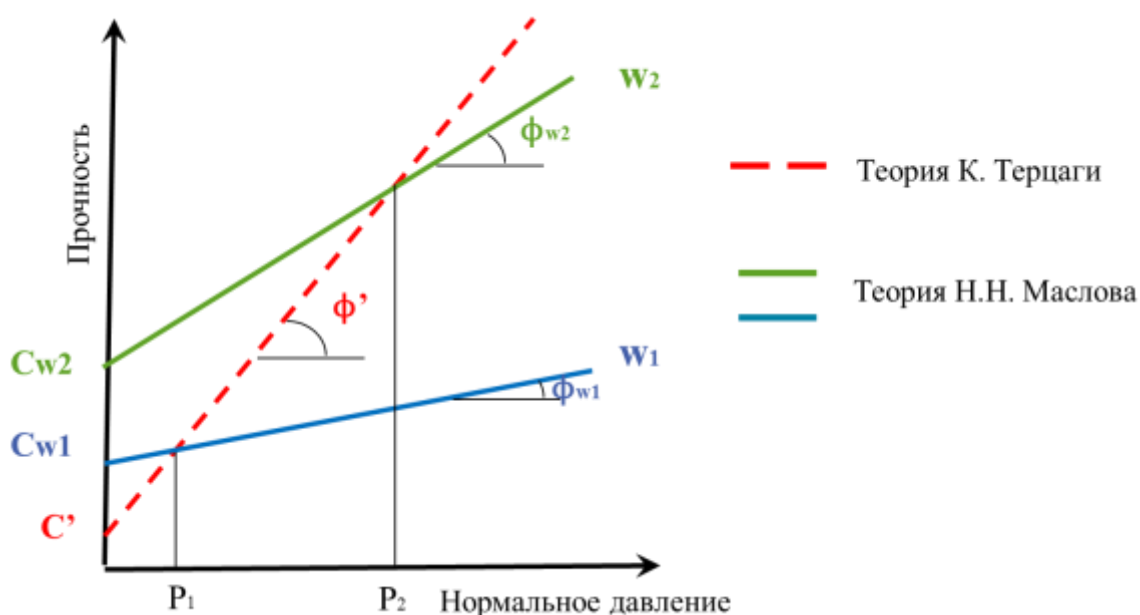


Рис. 1 Сопоставление двух теорий прочности

Принцип расчета по Н.Н. Маслову заключается в следующем: определяют напряжения от грунтового сооружения с учетом взвешивающего действия грунтовых вод, по необходимым дополнительным графикам зависимости влажности от давления определяют изменение влажности в процессе отсыпки насыпи и далее по графикам определяют изменение трения и сцепления в зависимости от расчетной влажности.

Геотехнические программные комплексы, например Plaxis, основываются на проведении испытаний в приборах трехосного сжатия (стабилометров) по трем схемам: КД – консолидированно-дренированное, НН – неконсолидированно-недренированное и КН – консолидированно-дренированное (подробнее можно прочитать в [1]). Поскольку все отечественные представления проектировщиков, занимающихся расчетами земляного полотна, основаны на теории «плотности-влажности» Н.Н. Маслова, то возникают определенные сложности и пониманием принципов работы программ класса Plaxis.

На рисунке 2 показаны результаты прочностных испытаний грунтов по теории Н.Н. Маслова: три образца грунта подвергались трем разным уплотняющим давлениям  $\sigma_{n1}$ ,  $\sigma_{n2}$ ,  $\sigma_{n3}$ , в результате чего происходило изменение плотности-влажности и, следовательно, прочности  $\tau$ .

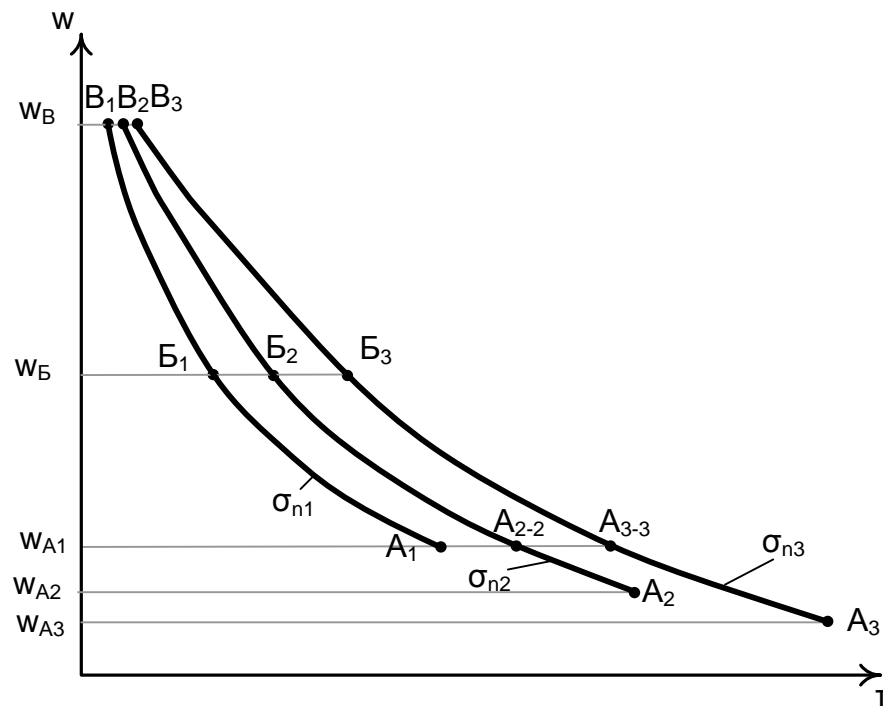


Рис. 2 Графики испытаний по методу плотности-влажности

Из графиков испытаний (рис. 2) следует, что грунт описывается как минимум двумя наборами характеристик прочности:

1. естественные водонасыщенный грунт при влажности  $w_B$  в виде недренированной прочности, в силу конструктивных особенностей приборов одноплоскостного среза выражаемой в виде низких значений трения и сцепления (Пособие [5] рекомендует пренебрегать трением).

2. консолидированный грунт, у которого прочность определяется эффективными характеристиками  $\varphi'$  и  $c'$  и соответствует состоянию полной консолидации при приложенной нагрузке. Точки  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$  (рис. 3) соответствуют стабилизированному состоянию, т.е. максимальной прочности при данной нагрузке.

Здесь стоит отметить высказывание Н.Н. Маслова о неправомерности использования известного выражения Кулона (получаемого по результатам КД испытаний в виде точек  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$ ) для начальной и промежуточной стадии нагружения водонасыщенного основания. В [4] говорится о том, что игнорирование этого высказывания не раз приводило строителей и инженеров-геологов к тяжелым непоправимым ошибкам.

Таким образом, расчетные характеристики грунтов должны быть приняты для определенного состояния увлажненности грунтов, т.е. при конкретной величине влажности  $w_B$ . На практике проектировщик часто принимает для расчета значения из сводной таблицы физико-механических свойств грунтов отчета по инженерным изысканиям, при этом не всегда понятно, что это за значения: получены они при естественной влажности или для водонасыщенных образцов; был это быстрый или медленный срез. Отсутствие такой информации значительно снижает эффективность расчетов [8].

В результате будет получено два варианта решения:

1. при использовании эффективных характеристик прочности – устойчивое состояние насыпи, для достижения которого требуется произвести вычисления длительности консолидации.

2. неустойчивое состояние насыпи при отсыпке на естественное слабое основание. В этом случае потребуются усиление земляного полотна, например, армирующими силовыми геосинтетическими прослойками.

Опыт показывает, что в реалиях сегодняшнего дня качество изысканий оставляет желать лучшего и проектировщик вынужден довольствоваться имеющимися, далеко не полными исходными данными. В случае наличия только первого набора характеристик следует принять прочность для нестабилизированного состояния по справочным данным и назначить параметры армирования. Если в распоряжении проектировщика только данные второго варианта, то ничего другого не остается, кроме как назначить усиление земляного полотна. Очевидно, что после консолидации, которая может происходить в течение нескольких месяцев (или меньше) прочность будет увеличена и потребность в высоких разрывных характеристиках армирующих прослоек (назначенных с запасом на 100 лет) отпадет.

На рисунке 3 черной линией показано состояние устойчивости насыпи без армирующих прослоек. В процессе возведения сооружения, по мере отсыпки, коэффициент устойчивости снижается, после происходит

консолидация и упрочнение грунта. При достаточном количестве времени устойчивость возрастет до такой величины, которая обеспечит требуемый коэффициент устойчивости после приложения эксплуатационной нагрузки.

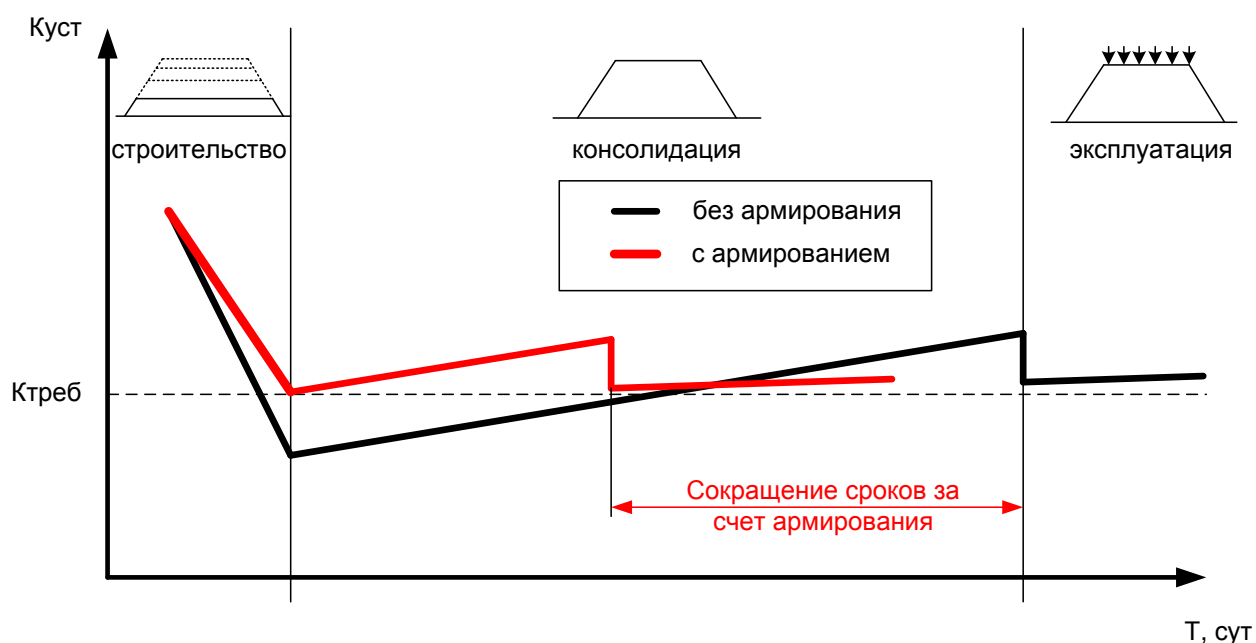


Рис. 3 Схематичный график изменения устойчивости сооружения во времени

В случае применения геосинтетической прослойки в период строительства устойчивость будет выше, следовательно, время консолидации до обеспечения требуемой прочности в эксплуатационный период будет снижено (на графике рис. 3 показано красной линией).

По результатам расчетов устойчивости и осадки насыпей на слабых водонасыщенных основаниях получают значения коэффициента устойчивости до и после приложения эксплуатационной нагрузки, а также время консолидации. В случаях, когда насыпь после возведения устойчивая, но имеет недостаточную устойчивость в эксплуатационный период, за время консолидации произойдет повышение прочности. С другой стороны длительное время консолидации увеличивает сроки укладки асфальтобетонного покрытия (после достижения скорости консолидации 2 см/год) или покрытия переходного типа (5 см/год).

В качестве мероприятий по ускорению сроков консолидации рекомендуется применение ленточных дрен. Армирующие геосинтетические прослойки на время консолидации не влияют, однако, их применение

позволяет уменьшать сроки консолидации с позиций обеспечения устойчивости (как показано на рисунке 3). Общая схема оценки и принятия решения приведена на рисунке 4.

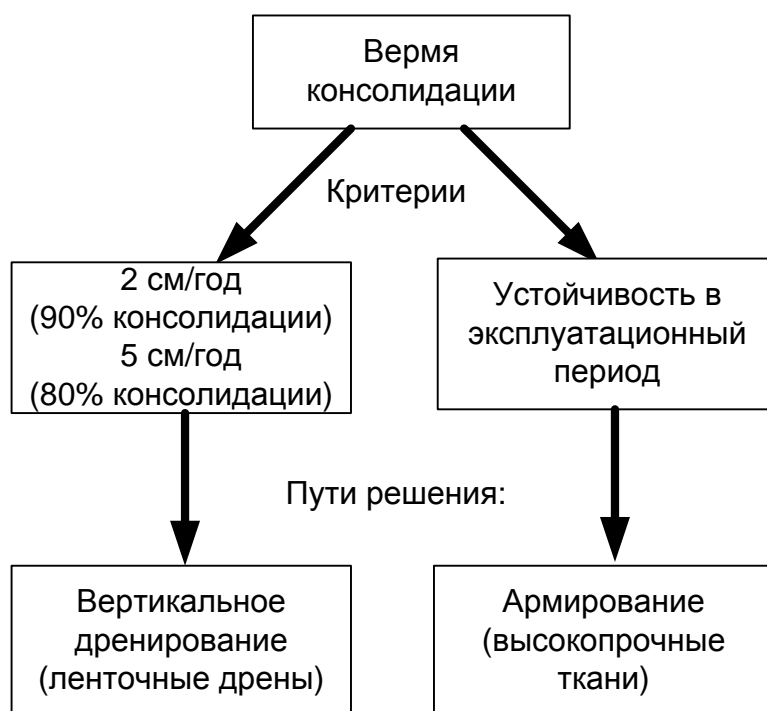


Рис. 4 Схема оценки и принятия решения по результатам геотехнических расчетов

Для полной оценки, по приведенной на рисунке 4 схеме, требуется выполнить расчеты в программах, позволяющих на одной расчетной схеме одновременно вычислять устойчивость, осадку и консолидацию, т.е. в программах численного моделирования.

### **Заключение**

Геосинтетические материалы, являющиеся частью геоматериалов (грунтов) требуют качественно нового подхода к учету в различных конструкциях транспортных сооружений. Для их полноценного учета необходимо использование таких инструментов анализа как программы численного моделирования.

В последнее время появилось много программ, работающих на основе метода конечных элементов. Разработчики программных средств всячески рекламируют преимущества своих продуктов, однако с точки зрения эффективности применения современных геотехнических комплексов все

зависит от уровня знаний и понимания пользователей. Разработчики проводят обучение преимущественно работе с самой программной оболочкой, либо дают только общее (не специализированное) представление о нелинейной механике грунтов и используемых моделях. Это обстоятельство снижает общий уровень доверия к программам и их распространение в геотехнической практике.

Сегодня требуется пересмотр системы обучения студентов и повышения квалификации действующих специалистов с целью гармонизации документов прошлых лет с современными представлениями в области геотехники. Все предпосылки были сформированы еще при создании нормативных документов, и сейчас требуется выполнить «привязку» заложенной основы к используемым программным продуктам.

## Литература

1. Болдырев Г.Г. Методы определения механических свойств грунтов. Состояние вопроса. Пенза: ПГУАС, 2008. 696 с.
2. 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
3. Иванов, П. Л. Грунты и основания гидротехнических сооружений / П. Л. Иванов. - М. : Высшая школа, 1985.
4. Маслов, Н.Н. Механика грунтов в практике строительства Текст. М. : Стройиздат, 1977. - 244 с.
5. Пособие по проектированию земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах. М., 2004. 205 с
6. Федоренко Е.В. Метод расчета устойчивости путем снижения прочностных характеристик. Транспорт Российской Федерации №6 (49) 2013 с. 24-26
7. Экзогенные геологические процессы и их влияние на транспортное освоение территории: на примере Юго-Западного Приморья Автореф. дисс. на соиск. уч степ. канд. геол.-мин. наук, Хабаровск.: ДВГУПС, 2007. 25 с
8. Электронный ресурс: <http://miakoming.ru/forum/>