

ОБЗОР И АНАЛИЗ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ И ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА УКРЕПЛЕНИЯ ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ СТРУЙНОЙ ГЕОТЕХНОЛОГИЕЙ

В. Н. Лютов

Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

Приводятся некоторые результаты обзора и анализа программных комплексов и инструментов для геотехнических расчетов ограждения котлованов, устройства анкеров, устойчивости откосов, использования свай и свайно-плитных фундаментов, позволяющих выполнять расчеты, основанные на использовании инженерных методик, которые достаточно хорошо зарекомендовали себя на практике.

Ключевые слова: программные комплексы и инструменты, лессовые и лессовидные грунты, струйная геотехнология, математическое моделирование, закрепления лессовых грунтов.

Проблема лёссов весьма актуальна для условий как г. Барнаула, так и в целом для Алтайского края, поскольку лессовые грунты занимают 25-30% территории. При этом, по оценкам специалистов, до 45% стоимости работ при строительстве гражданских и промышленных объектов на лёссовых грунтах тратится на комплекс мероприятий, предотвращающих деформацию сооружений из-за просадочности лёссовых грунтов [1].

Из всего диапазона существующих в настоящее время методов и технологий по укреплению и стабилизации различных грунтов, в том числе и лессовых, для усиления оснований зданий и сооружений в условиях г. Барнаула наиболее приемлемым является метод струйной геотехнологии (Jet Grouting) [2, 3].

Технология закрепления грунтов методом струйной геотехнологии Jet Grouting применяется с целью искусственного повышения прочностных и деформационных характеристик грунтов и придания им параметров бетонных или железобетонных элементов. Однако в настоящее время не существует регламентируемой нормативными документами методики по определению механических и геометрических параметров грунтоцемента на стадии проектирования [2, 5].

В настоящее время количество программных комплексов для моделирования процесса и результатов закрепления струйной геотехнологией грунтов, в частности лессовых пород, довольно мало.

Точность вычисления результатов в данных программных средах имеет различ-

ные отклонения от опытных значений. Это обусловлено малой изученностью и сложностью процесса закрепления грунтов посредством данной методики.

В отечественных нормативных документах кратко освещаются методы проектирования струйной цементации грунтов. В частности, не в полной мере учитывается несущая способность свай Jet Grouting, часть параметров технологии (диаметр, длина и шаг свай) назначаются без учета особенностей их работы в конкретных грунтах (лессовидных и лессовых). Если усовершенствовать метод проектирования параметров технологии струйной цементации, то можно значительно снизить материалоемкость, сократить сроки строительства, повысить прогнозирование качества закрепленных грунтов, в том числе лессовидных [1, 2, 6].

Таким образом, с помощью программных комплексов и инструментов появляется возможность экономии материальных и трудовых ресурсов еще на стадии проектирования, что весьма актуально.

Использование достаточно простых программных комплексов компании GeoSoft, таких как GeoWall, GeoStab и GeoPlate [2, 5, 6, 7], одновременно с более универсальной программой Alterra позволяет быстро и качественно подготовить геотехническое обоснование выбора проектного решения любой сложности.

Программа Alterra (рисунки 1, 2) предназначена для расчёта напряжённо-деформированного состояния системы «ос-

нование – фундамент – сооружение», оценки прочности и устойчивости геотехнических сооружений методом конечных элементов в плоской постановке. Программа разработана для решения сложных геотехнических задач, связанных с возведением и реконструкцией строительных объектов.

В программе реализованы три различные модели поведения грунта: линейно-упругая, линейно-упругопластическая с критерием перехода в пластическое состояние по закону Мора-Кулона, нелинейно-упругопластическая с критерием перехода в пластическое состояние по закону Кулона и нелинейной объемной сжимаемостью [6].

Еще одной важной особенностью программы Alterra является наличие коэффициента разгрузки, введенного во все модели поведения грунта, который повышает деформативные характеристики материала при разгрузке, что избавляет от проблемы чрезмерного пучения грунта дна котлована при экскавации.

Программа Alterra позволяет решать следующие виды задач: определение бытового давления в грунтовом массиве; расчет ограждения котлована (с анкерным или распорным креплением); расчет осадки фундамента; влияние нового сооружения на окружающие здания; определение призмы скольжения в оползневом склоне и расчет вариантов укрепления склонов при помощи анкеров, нагелей, гравитационных стен или габионов.

Благодаря встроенному CAD редактору программа Alterra позволяет создавать расчетные схемы любой сложности, а также импортировать расчетные схемы из AutoCAD.

Программа GeoWalle-1.0 (рисунок 3) предназначена для расчетов на прочность гибких подпорных стен и для оценки устойчивости грунта вокруг заглубленной части стены. Методика расчета на прочность ограждающей конструкции основана на численном решении задачи изгиба балки, защемленной одним концом в упругопластическом грунте и удерживаемой связями (анкеры, распорки). Для моделирования упругого изгиба стены используется метод конечных элементов [6, 7].

Для решения задачи в программе GeoWalle-1.0 выполняются следующие расчеты:

1. Расчет активного, пассивного давления на ограждение и давления грунта в состоянии покоя.
2. Расчет давления воды.

3. Решение методом конечных элементов задачи упругого изгиба стены под действием суммарного давления грунта и воды с двух сторон ограждения.

4. Расчет упругопластической реакции грунта.

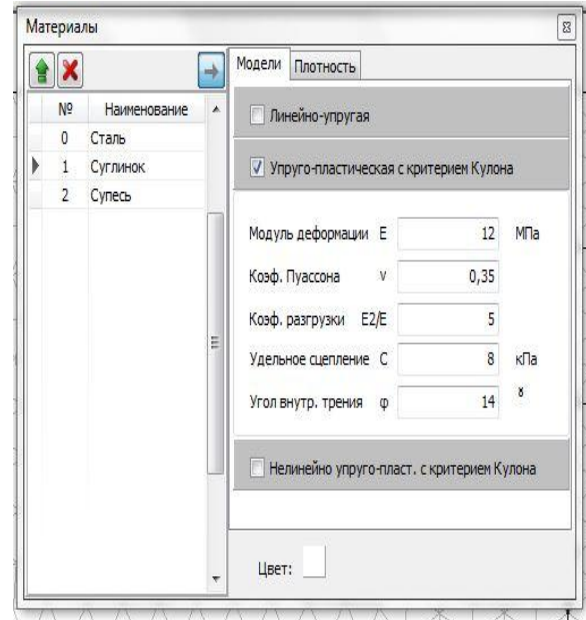


Рисунок 1 – Пример интерфейса ввода данных программы Alterra

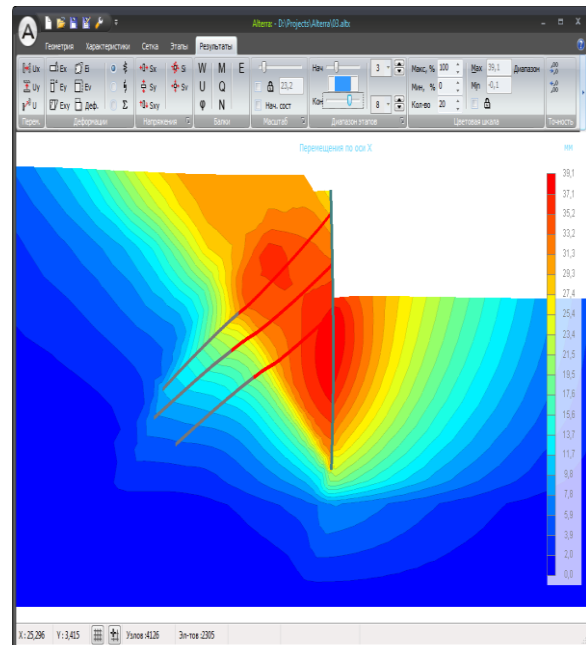


Рисунок 2 – Окно вывода результатов в программе Alterra

ОБЗОР И АНАЛИЗ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ И ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА УКРЕПЛЕНИЯ ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ СТРУЙНОЙ ГЕОТЕХНОЛОГИЕЙ

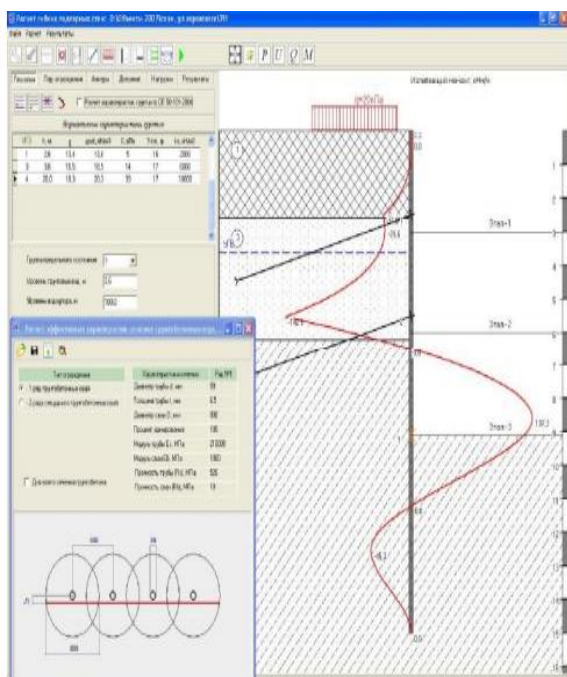


Рисунок 3 – Внешний вид программы GeoWalle-1.0

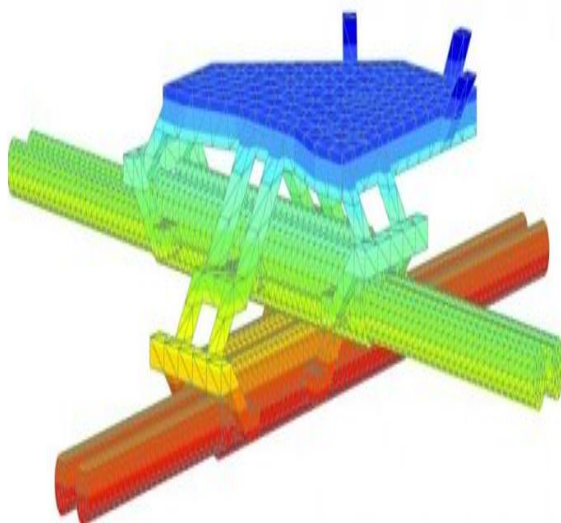


Рисунок 4 – Модель, созданная в программе PLAXIS 3D

5. Расчет устойчивости грунта вокруг заглубленной части стены (ограждения).

6. Расчет продольных сил в анкерах и распорках.

7. Расчет ограждения котлована на прочность.

В программе GeoWalle-1.0 реализовано вычисление эффективных характеристик и расчет на прочность ограждений типа «стена в грунте», буровые сваи и Jet-сваи (jet-

grouting). При этом в программе приняты следующие допущения:

- Учитывается только продольная компонента тензора деформаций и напряжений;
- Бетон (грунтоцемент) может разрушаться только растягивающими напряжениями;
- Предполагается выполнение гипотезы плоских сечений по всей высоте ограждения.

С учетом принятых допущений, напряжения в произвольном сечении стены могут быть найдены с помощью статических уравнений равновесия для внешних сил, приложенных к части стены шириной в один шаг свай и расположенной над расчетным сечением.

В рамках проводимых автором исследований был произведен расчет в программном комплексе GeoWalle-1.0 двух типов ограждения: буронабивные сваи и струйная цементация Jet-Grouting в условиях г. Барнаула для лессовых грунтов. Для геотехнологии Jet-Grouting был выполнен расчет технологических параметров.

Программа PLAXIS 3D (рисунок 4) предназначена для комплексных расчетов напряженно-деформированного состояния и устойчивости геотехнических объектов различного назначения методом конечных элементов в условиях пространственной задачи.

Программа учитывает различные особенности геотехнических конструкций и процессов возведения сооружения, используя при этом хорошо отлаженные и теоретически обоснованные вычислительные процедуры.

С помощью PLAXIS 3D сложная геометрия грунта и конструкций может быть задана в двух различных режимах. Эти режимы специально предназначены для моделирования грунтового основания и моделирования конструкций. Созданные пространственные модели автоматически пересекаются и разбиваются на конечные элементы.

Режим поэтапного возведения сооружения позволяет реалистично моделировать процесс возведения сооружения и процессы экскавации грунта путём активирования и деактивирования объемных кластеров грунта и объектов конструкции, приложением нагрузок, изменением уровней воды и т.п.

Программа вывода данных содержит разнообразные инструменты визуализации объектов.

Программы для расчета ограждения котлованов – GeoWall, расчета анкеров –

GeoAnchor, расчета устойчивости откосов – GeoStab, расчета свайно-плитных фундаментов – GeoPlate, расчета свай – GeoPile основаны на использовании инженерных методик, которые достаточно хорошо зарекомендовали себя на практике, адекватно отражая механизм разрушения и деформирования грунтового массива.

В некоторых случаях более точные решения можно получить с применением конечно-элементных моделей. Однако, следует отметить, что применение универсальных расчетных комплексов, основанных на конечно-элементных моделях и обладающих большими вычислительными возможностями, требуют значительного времени для подготовки исходных данных и большой подготовленности специалистов-расчетчиков.

Все рассмотренные выше программные комплексы позволяют выполнять расчеты с применением практически всех типов ограждений: «стены в грунте», ограждения из буронабивных свай, из труб, двутавров, металлического шпунта. Кроме того, впервые в отечественной практике появилась возможность расчета ограждающих элементов, встроенных с применением технологии струйной цементации. Все расчетные зависимости, заложенные в программы, основаны на результатах экспериментов и опытных работ.

Отличительной особенностью рассмотренных программных комплексов является возможность комплексного решения задач прочности и устойчивости ограждения котлована, позволяющая оперативно оценивать общую устойчивость подземных сооружений: склонов, откосов, бортов котлованов, а также рассчитывать несущую способность анкеров по различным методикам. Простота и удобство интерфейса программ способствует быстрой адаптации пользователя.

Совместимость программ позволяет использовать для них все одни и те же исходные данные – геологическое строение грунтового массива и физико-механические свойства грунтов. Это особенно важно при ком-

плексном решении задачи устойчивости и прочности ограждения котлована.

Кроме того, программные комплексы компании GeoSoft имеют встроенный справочник по физико-механическим характеристикам грунтов в соответствии с СП 50-101-2004 «Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений», а также справочник армирующих элементов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СТО 064 НОСТРОЙ 2.3.18-2013. Укрепление грунтов инъекционными методами в строительстве. – М., 2013.
2. Малинин, А. Г. Струйная цементация грунтов: монография / А. Г. Малинин. – Пермь : Пресстайм, 2007. – 168 с.
3. Лютов, В. Н. Исследование и анализ возможности использования современных струйных геотехнологий для укрепления лессовых грунтов в условиях Западной Сибири / В. Н. Лютов, Г. И. Швецов, С. К. Куликов // Ползуновский вестник. – 2014. – № 1. – С. 95-99.
4. Лютов, В. Н. Прикладное математическое моделирование процесса закрепления лессовых грунтов струйной цементацией для условий Барнаула / В. Н. Лютов, В. А. Казицин // Ползуновский альманах. – 2016. – № 1. – С. 143-146.
5. Малинин, А. Г. Методика расчета ограждающих конструкций с применением струйной геотехнологии / А. Г. Малинин, П. А. Малинин, С. А. Чернопазов // ПСВ. – № 9. – 2008.
6. Малинин, А. Г. Программы для геотехнических расчетов / А. Г. Малинин, П. А. Малинин, С. А. Чернопазов // Жилищное строительство. – 2009. – № 2. – С. 38-39.
7. Малинин, П. А. Расчет ограждений котлованов с помощью специализированных программных комплексов / П. А. Малинин, А. А. Жемчугов, И. Л. Гладков // Жилищное строительство. – 2010. – № 6. – С. 45-46.

Лютов В.Н. – к.т.н., заведующий кафедрой «Технология и механизация строительства» ФГБОУ ВО АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: vnlutov@mail.ru.