

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УКРЕПЛЕНИЯ ОСНОВАНИЯ ПЛИТНОГО ФУНДАМЕНТА НА ЛЕССОВЫХ ГРУНТАХ В Г. БАРНАУЛЕ

В. Н. Лютов

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

Приводятся некоторые результаты математического моделирования для реальных условий закрепления основания плитного фундамента многоэтажного жилого здания на лёссовых грунтах города Барнаула. Расчёты напряжений и нагрузений, передаваемых на основание плитного фундамента от проектируемого здания были выполнены в программном комплексе SCAD с использованием метода конечных элементов (МКЭ), адаптированном к реальным условиям. Представлен алгоритм программы моделирования и основные этапы его реализации.

Ключевые слова: лёссовые и лёссовидные грунты, инъекционные способы укрепления грунтов, математическое моделирование, закрепления лёссовых грунтов, плитный фундамент.

Создание математической модели предполагает наличие достаточно полной картины физической природы изучаемого явления. Она может уточняться на основе специально поставленных экспериментов до степени, позволяющей охватить наиболее важные характерные свойства явления. Сущность математической модели состоит в замене исходного объекта его «образом» – математической моделью – и в изучении этой модели с помощью реализуемых на компьютерах вычислительно-логических алгоритмов. Этот метод познания сочетает в себе многие достоинства, как теории, так и эксперимента. Работа не с самим объектом (явлением, процессом), а с его моделью дает возможность безопасно, относительно быстро и без существенных затрат исследовать его свойства и поведение в любых мыслимых ситуациях [2, 3, 4].

Сложность и малая изученность основных физических явлений, происходящих в грунтах (особенно в лёссовых и лёссовидных), при действии на них значительных внешних нагрузок от зданий и сооружений, весьма затрудняют создание теории расчета, которая является актуальной задачей. На практике обычно пользуются эмпирическими формулами, которые имеют ряд существенных недостатков.

Во-первых, они, как правило, пригодны лишь в тех пределах, в каких проводился эксперимент. Поэтому при появлении новых способов производства работ эмпирические формулы периодически приходится прове-

рять в опытных условиях. Во-вторых, пользование этими формулами лишает возможности сознательно управлять физическими процессами.

В этих условиях метод моделирования весьма эффективен не только потому, что применение моделей значительно удешевляет эксперимент. Главное заключается в том, что этот метод делает эксперимент более гибким, позволяет полнее расшифровать сложный комплекс физических явлений. Разумное сочетание экспериментов с теорией позволяет устанавливать теоретическим путем новые расчетные зависимости [4, 6].

Из всего диапазона существующих в настоящее время методов и технологий по укреплению и стабилизации различных грунтов, в том числе лёссовых и лёссовидных, для усиления оснований зданий и сооружений в условиях Барнаула и Алтайского края наиболее приемлемым является инъекционная струйная технология цементации грунтов (jet-grouting) [1, 5].

Несомненным достоинством инъекционной струйной технологии является её гибкость, манёвренность, возможность оперативно, по мере необходимости, корректировать принятые технологические режимы. Однако, в силу своей новизны и коммерческой ценности, результаты научных и практических исследований, посвященных установлению закономерностей при укреплении лёссовых грунтов как оснований зданий и сооружений, с их особенными структурно-текстурными и физико-механическими свой-

ствами, с помощью методов струйной геотехнологии, в открытой и доступной печати практически не публикуются, что существенно затрудняет разработку и внедрение этих методов в строительство.

Для моделирования процесса укрепления основания плитного фундамента на лесовых грунтах было принято решение взять за основу проект строящегося в городе Барнауле здания, обладающего следующими характеристиками:

- здание многоэтажное, имеет 17 этажей;
- в качестве фундамента выступает фундаментная плита сложной формы.

Строительная площадка расположена по адресу: г. Барнаул, ул. Космонавтов бв. Для определения грунтовых условий были пробурены 5 скважин глубиной по 15,0 м, а также выполнены геофизические работы по определению наличия блуждающих токов в 2-х точках. В грунтовой лаборатории в соответствии с действующими ГОСТами определялись физико-механические и агрессивные свойства грунтов. Компрессионные испытания проведены методом «двух кривых» в условиях природного залегания грунтов. Сдвиговые испытания произведены в условиях консолидированного среза при полном водонасыщении в условиях природного залегания грунтов. Краткое заключение по грунтовой ситуации следующее.

Исследуемая область основания сложена на тремя слоями грунтов:

- 1 слой – Супесь лёссовидная просадочная высокопористая твёрдая;
- 2 слой – Суглинок лёссовидный просадочный низкопористый полутвёрдый;
- 3 слой – Суглинок лёссовидный непросадочный твёрдый.

На основании данного заключения справедливо полагать, что проектируемое здание передаёт на основание гораздо более высокие нагрузки, чем данное лёссовое основание способно воспринять.

Соответственно необходимо проведение мероприятий по улучшению свойств грунта. В качестве таких мероприятий принимается укрепление грунта методом инъекционной струйной технологии [7].

Поскольку в данном расчёте имеет особую значимость именно нагрузка на фундаментную плиту, то все расчёты были направлены на определение нагрузок, статических моментов и построение изополей напряжений только для фундаментной плиты при учёте веса и нагрузок от проектируемого здания

(рисунок 1). Наружная линия контура фундаментной плиты формируется автоматически.

По окончании ввода исходных данных – линии контура преобразовываются в полигон и приобретают свойства и очертания проектируемой фундаментной плиты (рисунок 2).

После получения очертания фундаментной плиты, задаются характер и величины нагрузжений. Кроме того, данная математическая модель позволяет рассчитать и стандартный свайно-плитный фундамент, однако, при этом в расчётной методике исходные данные по прочностным характеристикам свай придется дополнительно вводить вручную.

Рисунок 1 – Диалоговое окно задания линейной нагрузки на фундаментную плиту

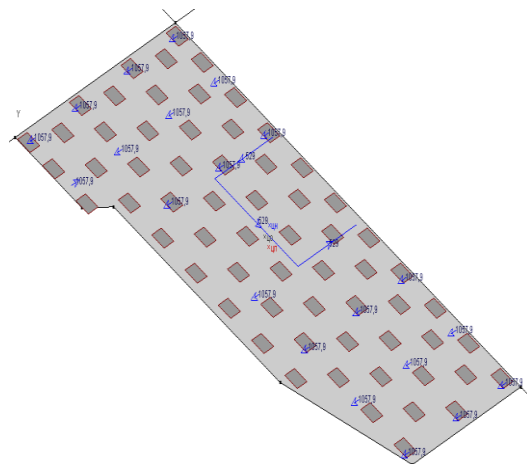


Рисунок 2 – Расчётная схема фундаментной плиты для определения осадки закрепленного основания

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УКРЕПЛЕНИЯ ОСНОВАНИЯ ПЛИТНОГО ФУНДАМЕНТА НА ЛЕССОВЫХ ГРУНТАХ В Г. БАРНАУЛЕ

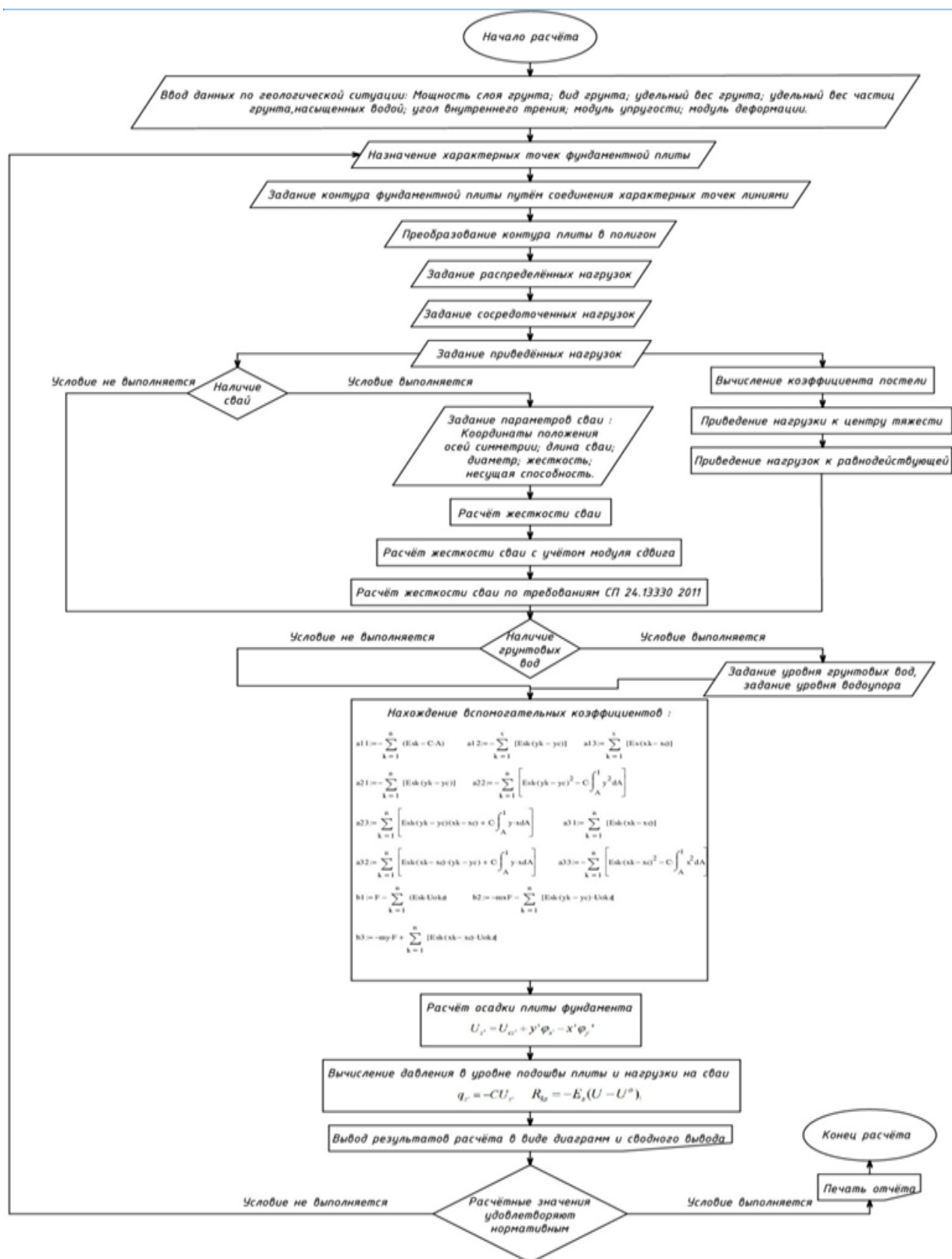


Рисунок 3 – Алгоритм программы моделирования процесса укрепления фундаментной плиты на лессовых грунтах

Расчёты напряжений и нагрузений, передаваемых на основание плитного фундамента от проектируемого здания были выполнены в программном комплексе SCAD с использованием метода конечных элементов (МКЭ). Основные этапы алгоритма программы моделирования следующие (рисунок 3):

- Задание всех необходимых видов нагружения и их количественных величин.
- Назначение материалов, прочностных свойств конструктивных элементов проектируемого здания и характеристика грунта.
- Построение пространственной модели конструктивных элементов здания.
- Выполнение непосредственного расчёта с использованием метода конечных элементов.

Нагружения, передаваемые на основание плитного фундамента от зданий и сооружений, по характеру могут быть:

- точечными (чаще всего такие нагрузки задаются в случае, когда нагрузка на фундаментную плиту передаётся от колонны квадратного сечения);
- линейными (нагрузки от несущих стен и пилонов);
- полосовидными (задаются в случае передачи нагрузки от большого по площади поперечного сечения объекта прямоугольной формы);
- эллиптическими (задаются в случае передачи нагрузки от большого по площади поперечного сечения объекта криволинейной формы).

Полученная расчетная схема плитного фундамента впоследствии разбивается на конечные элементы и воспринимается моделью как интегральные бесконечно малые площадки. После составления расчётной схемы плитного фундамента для проведения дальнейших расчётов задаются свойства грунта, на который передаётся нагрузка от фундамента. В нашем случае задаются свойства грунта, полученные при проведении полевых работ и лабораторных испытаний проб грунта со строительной площадки, расположенной по адресу г. Барнаул, ул. Космонавтов 6, в [7]. Кроме того, в реализуемой модели вычисляется коэффициент постели для фундаментной плиты, расчёт которого автоматизирован. По завершении процедуры работы модели выполняется расчёт осадки основания плитного фундамента, а так же появляется возможность получить диаграм-

мы изополей напряжений. Наиболее важным показателем результатов моделирования процесса закрепления лёссовых просадочных грунтов методом инъекционной струйной технологии по закреплению плитного фундамента многоэтажного жилого здания является диаграмма осадки плитного фундамента, которая показывает равномерность и степень осадки фундамента после произведения закрепления основания. Кроме того, метод конечных элементов и данная математическая модель позволяют получить диаграммы и поля моментов, сил кручения и поперечных осей плитного фундамента относительно осей X, Y и Z.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СТО 064 НОСТРОЙ 2.3.18-2013. Укрепление грунтов инъекционными методами в строительстве. – М., 2013.
2. Плещинский, Н. Б. Математическое моделирование реологии набухающих систем / Н. Б. Плещинский, М. Г. Храмченков, Э. М. Храмченков // Инженерно-физический журнал. – 2005. – Т. 78, № 6. – С. 93-99.
3. Трофимов, В. Т. Модели формирования просадочности лёссовых пород / В. Т. Трофимов // Вестник Московского ун-та. – Серия 4, Геология. 1996. – № 2. – с. 3-19.
4. Малинин, А. Г. Струйная цементация грунтов: монография / А. Г. Малинин. – Пермь : Пресстайм, 2007. – 168 с.
5. Лютов, В. Н. Исследование и анализ возможности использования современных струйных геотехнологий для укрепления лёссовых грунтов в условиях Западной Сибири / В. Н. Лютов, Г. И. Швецов, С. К. Куликов // Ползуновский вестник, 2014. – № 1. – С. 95-99.
6. Лютов, В. Н. Исследование и анализ методов моделирования закрепления лёссовых и лесовидных грунтов Алтайского края инъекционной струйной технологией / В. Н. Лютов, Т. Е. Лютова // Сб. матер. Междунар. науч.-техн. конф. «Интерстроймех – 2015». Казань : Изд-во Казанск. Гос. архит. - строит. Ун-та, 2015. – С. 241-244.
7. Лютов, В. Н. Прикладное математическое моделирование процесса закрепления лёссовых грунтов струйной цементацией для условий Барнаула / В. Н. Лютов, В. А. Казицин // Ползуновский альманах, 2016. – № 1. – С. 143-146.

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