

УТВЕРЖДАЮ

И.о. проректора по научной работе
Воронежского государственного

технического университета, д-р техн.

наук профессор

И. Г. Дроздов

2020г.



**ОТЗЫВ
ведущей организации**

**федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования «Воронежский государственный
технический университет» на диссертационную работу**

Фроловой Оксаны Александровны «Математическое моделирование предельного состояния сыпучих сред с микроструктурой», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Актуальность темы выполненной работы

В настоящее время актуальными остаются вопросы строительства высотных зданий и тяжелых сооружений, что приводит к необходимости разработки математических моделей, позволяющих описывать процессы деформирования грунтов оснований, рассматриваемых в виде связанных сыпучих сред. Кроме этого, практический и научный интерес представляют собой задачи транспортировки различных гранулированных материалов и

проектирования объектов их хранения. Эти задачи решаются путем математического моделирования конкретных явлений и процессов в рамках теории сыпучих сред. Построение математических моделей сформулированных выше задач с учетом реальных свойств сыпучих сред приобретает черты сложной инженерной и научной проблемы. В частности, одним из проблемных вопросов при построении модели сыпучих материалов является соотношение характерных размеров представительных элементов сыпучих массивов и характерных размеров самих явлений течения и деформирования сыпучих сред. При этом для некоторых явлений течения и деформирования сыпучих сред наиболее достоверные результаты исследований получаются при учете параметров микроструктуры материала.

В свете выше изложенного тема диссертационной работы О.А. Фроловой, посвященная математическому моделированию предельных состояний связных сыпучих материалов с учетом их микроструктуры, является актуальной.

Основные научные результаты диссертационных исследований автора и их значимость

В работе Фроловой О.А. на основе модернизированной модели Соколовского, учитывающей микроструктуру материала, построена математическая модель, описывающая поле скоростей перемещений и поле предельных напряжений связных сыпучих материалов в осесимметричных задачах.

Для решения поставленных задач применены теоретические и численные методы: метод возмущений, методы «пристрелки» и Рунге-Кутта при основном предположении – для рассматриваемых явлений течения и деформирования сыпучих материалов влияние параметра микроструктуры является существенным.

В рамках разработанной математической модели предельного состояния сыпучей среды, учитывающей характерный размер микроструктуры, построены решения для осесимметричных цилиндрических задач. В частности, проведено математическое моделирование полей напряжений для следующих задач: предельное напряжённое состояние полупространства, находящегося под действием вертикальной нагрузки; осесимметричное предельное напряжённое состояние сжимаемого сыпучего материала с цилиндрической полостью, находящегося в состоянии плоской деформации; предельное напряжённо-деформированное состояние сыпучего материала с микроструктурой в конической области.

На основе численных методов «пристрелки» и Рунге-Кутта разработан комбинированный метод для решения дифференциальных уравнений третьего порядка с граничными условиями, учитывающими влияние микроструктуры на скорость перемещений осесимметричной задачи связных сыпучих материалов. На основе разработанного комбинированного метода построен программный комплекс, с помощью которого проведены численные эксперименты по определению полей скоростей перемещений в рассматриваемом классе задач.

Определённый интерес в теоретическом и практическом плане представляют обнаруженные в рассмотренном классе задач эффекты. Так, учет микроструктуры материала существенно повлиял на распределение полей предельных напряжений и на размер зоны пластического деформирования. Еще раз подтверждено, что под действием поверхностного нагружения напряженное состояние распространяется в слое конечной глубины в отличие от модели упругого тела.

Таким образом, диссертант, учитывая широкий спектр физико-механических характеристик модели связного сыпучего материала, обнаружил достаточно существенное их влияние на предельные состояния рассматриваемых конструкций. К достижениям в работе следует также

отнести разработанный численный алгоритм решения краевой задачи для дифференциальных уравнений третьего порядка.

Новизна исследования заключается: в разработке математической модели, описывающей предельное состояние связных сыпучих материалов с учетом характерного размера микроструктуры; разработке численного метода решения осесимметричных задач теории сыпучих сред и на его основе проведения численного эксперимента по определению поля скоростей перемещений в цилиндрической области и обнаружении отдельных эффектов.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций диссертации О.А. Фроловой соответствует общепринятой в рамках специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. Их достоверность, кроме теоретического анализа, подтверждается результатами математического моделирования, а также применением апробированных теоретических и численных методов.

Диссертационная работа объемом 130 страница состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 183 наименований и 1 приложения. Диссертация Фроловой О.А. структурирована, материал изложен последовательно, с научной строгостью. Полученные автором диссертации численные результаты иллюстрируются графиками и таблицами в соответствии с современными требованиями.

Автореферат отражает основное содержание диссертационного исследования.

Рекомендации по использованию результатов и выводов

Практическая значимость результатов диссертации обусловлена использованием при решении задач о предельном напряженном состоянии связных сыпучих сред разработанной автором оригинальной математической модели среды, в которой учитывается характерный размер микроструктуры, коэффициенты трения качения и внутреннего трения. Влияние указанных

характеристик для некоторых явлений течения и деформирования, имеющих место в реальных сыпучих материалах, является существенным.

Необходимо отметить, что практическая значимость работы состоит и в том, что полученные автором результаты могут быть использованы при проведении исследований предельных состояний грунтов для ряда осесимметричных задач строительной механики.

Соответствие содержания диссертации заявленной специальности и теме диссертации.

Содержание диссертационной работы соответствует профилю диссертационного совета по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ в следующих областях исследований (по паспорту специальности):

- п. 1. Разработка новых математических методов моделирования объектов и явлений;
- п. 2. Развитие качественных и приближенных аналитических методов исследования математических моделей;
- п. 4. Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента.

По работе имеются следующие замечания:

1. В работе не представлен анализ устойчивости и сходимости разработанного численного метода при получении приближенных решений рассматриваемых задач.
2. В работе не отражено, какими конкретными параметрами представляется структура сыпучего материала, которая декларируется в названии работы. Учитываются ли размеры, форма, гранулометрический состав отдельных зерен, их деформативность, связность, влажность и т. п.

3. В работе не показана применимость предложенной диссертантом математической модели, используемой для описания предельного состояния сыпучей среды с учетом характерного размера микроструктуры, применительно к реальным сыпучим материалам.

4. Какие соображения может высказать диссертант о применимости результатов научных исследований в механике грунтов, фундаментостроении?

5. В диссертации недостаточно представлен графический материал, иллюстрирующий результаты численного эксперимента, проводимого с помощью разработанного программного комплекса.

Рассматривая диссертационную работу в целом, можно отметить, что указанные замечания не снижают её общую положительную оценку. Выполненные исследования подтверждают хорошую профессиональную подготовку автора.

Заключение

В соответствии с требованиями п. 10 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, диссертация Фроловой Оксаны Александровны написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, которые свидетельствуют о личном вкладе автора в науку. Основные результаты исследований автора достаточно подробно опубликованы в его трудах.

Представленная к защите диссертация является научно-квалификационной работой, в которой разработана и реализована математическая модель для решения задачи по определению напряженно-деформированного состояния связных сыпучих материалов в различных конструкциях и технологических процессах с учетом микроструктуры материала, имеющей значение в области математического моделирования,

численных методов и комплексов программ. Диссертация Фроловой Оксаны Александровны на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор Фролова Оксана Александровна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 –Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Отзыв составил заведующий кафедрой строительной механики ВГТУ, д-р физ.-мат. наук, доцент Козлов В. А.

Отзыв на диссертационную работу О.А. Фроловой «Математическое моделирование предельного состояния сыпучих сред с микроструктурой» заслушан и одобрен на расширенном заседании кафедры строительных конструкций, оснований и фундаментов имени профессора Ю. М. Борисова ФГБОУ ВО «ВГТУ», протокол № 2 от 5 ноября 2020 года.

Д-р физ.-мат. наук, доцент,
зав. кафедрой строительной
механики ВГТУ

Козлов Владимир Анатольевич

Зав. кафедрой СКОиФ ВГТУ,
к. т. н., доцент

Панфилов Дмитрий Вячеславович



Контактный адрес:

394006 г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», кафедра строительных конструкций, оснований и фундаментов имени профессора Ю. М. Борисова. E-mail: panfilov_dv@vgasu.vrn.ru, тел. 8 (910) 349-76-59.
Контактный телефон: 8 (960) 125-59-87. E-mail: vakozlov@vgasu.vrn.ru