

Федеральное государственное
бюджетное учреждение науки
Институт механики сплошных сред
Уральского отделения
Российской академии наук
(ФГБУН ИМСС УрО РАН)
Академика Королева ул., д. 1,
Пермь, 614013
Телефон (342) 237-84-61
Факс (342) 237-84-87
E-mail: mvp@icmm.ru
ОКПО 02699895, ОГРН 1025900523110
ИНН/КПП 5902290160/590201001

28.03.2017 № 16344/19-74

На №17/101-см3 от 20 февраля 2017г.

Директор ИМСС УрО РАН
академик РАН
В.П. Матвеевко



В диссертационный совет Д
501.001.91 при Московском
государственном университете имени М.В.
Ломоносова
119991, Москва, Ленинские горы, Главное
здание МГУ, механико-математический
факультет.

Отзыв ведущей организации

на диссертацию Солодовникова Александра Сергеевича
на тему «Численное моделирование деформирования физически нелинейного
композита с короткими волокнами», представленную на соискание ученой
степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.02.04 –механика деформируемого твердого тела.

На отзыв представлены: текст диссертационной работы на 123 стр.,
включая 43 рисунка и 5 таблиц, библиографический список из 142
наименований, автореферат на 30 стр., включая список из 3 публикаций по теме
диссертации (2 статьи в рецензируемых журналах перечня ВАК РФ).
Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы.

Актуальность избранной темы.

Тема диссертации актуальна. Диссертация Солодовникова Александра
Сергеевича посвящена численному моделированию физически нелинейных
композитов с короткими волокнами. Данной проблеме в настоящее время
уделяется большое внимание, так как появление новых и современных
композиционных материалов во всех отраслях производства вызывает
необходимость в усовершенствовании и дальнейшем развитии существующих
математических моделей.

Одним из примеров перспективного строительного композиционного
материала является бетон с короткими армирующими волокнами или
фибробетон. При моделировании такого типа материалов необходимо
учитывать объемное содержание волокон, различное сопротивление
сжимающим и растягивающим нагрузкам материала матрицы, процесс
образования и развития поврежденности матрицы и неидеальный контакт на
границе волокон. Представленная в работе математическая модель и ее
численная реализация на основе метода конечных элементов позволяет

проводить численные эксперименты с целью исследования влияния указанных выше особенностей на деформирование композиционного материала. На основании этого можно сделать вывод о том, что тема диссертации является **актуальной**.

Цель диссертационной работы А.С. Солодовникова заключается в построении механической и вычислительной модели композиционного материала с учетом процентного содержания армирующих волокон, физически нелинейных свойств матрицы и неидеального контакта на границе волокон, а также в решении практических инженерных задач с целью верификации разработанных алгоритмов и программ.

Краткий анализ содержания.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы.

Во введении диссертационной работы дается краткий обзор механических свойств бетонных матриц и армирующих волокон, излагается история развития фибробетона и указываются наиболее популярные области его применения. Излагаются основные подходы к математическому моделированию композиционных материалов на различных масштабных уровнях. Изложены явные и неявные подходы к моделированию процесса трещинообразования в бетонных матрицах. Выполнен обзор наиболее используемых подходов к описанию деформирования бетона и фибробетона. Формулируются цели работы и выносимые на защиту положения.

В первой главе представлены различные подходы к определению эффективных упругих характеристик композиционного материала с короткими армирующими волокнами и выполнен их сравнительный анализ. Первый подход является аналитическим и основывается на предположениях о геометрической структуре композита и решении Эшелби. Конечные выражения для эффективных упругих свойств композита были получены для двух случаев, когда волокна считались бесконечно длинными и имеющими конечный размер. Отличный подход заключался в использовании метода конечных элементов для моделирования структуры композиционного материала. В заключение главы был выполнен сравнительный анализ данных подходов на основе экспериментальных измерений, который подтвердил надежность численного подхода и обосновал его использование для построения нелинейной модели механического поведения композиционного материала с короткими армирующими волокнами.

Вторая глава посвящена изложению определяющих соотношений модели деформирования физически нелинейного композиционного материала с короткими армирующими волокнами, основанной на соотношениях, аналогичных теории пластического течения.

Представлены условия упругой разгрузки, нейтрального и активного нагружений, закон изменения поверхности нагружения в случае активного нагружения. Выведена вариационная постановка задачи и представлен процесс дискретизации вариационного уравнения по пространству и параметру нагружения. Записаны уравнения двух видов поверхностей нагружения для

учета развития микродефектов в материале матрицы. Первой уравнение задает гладкую поверхность Менетри-Уильямса, второе - кусочно-гладкую поверхность Ранкина-Друкера-Прагера. Представлен используемый подход к моделированию армирующих волокон в случаях идеальной и неидеальной связи между материалом матрицы и волокнами. Изложен процесс моделирования структуры композита и процесс нагружения для численных экспериментов.

В третьей главе представлено решение основных типов инженерных задач, таких как эксперимент на одноосное сжатие, изгиб призматических балок и изгиб плит на упругом основании, выполненное с помощью разработанного набора программ. Исследовано влияние выбора критерия возникновения неупругих деформаций в матрице на деформирование композиционного материала. Показано, что объемное содержание волокон и учет неидеального контакта на границе волокон существенно влияют на деформирование композита.

В заключении перечислены основные результаты работы.

Достоверность и обоснованность полученных научных результатов диссертационной работы основана на использовании обоснованных теоретических положений и достигается за счет использования строгих методов классического аппарата механики сплошных сред. Кроме того, полученные в диссертации результаты не противоречат физическому смыслу явлений, связанных с деформированием сред.

Апробация результатов диссертационной работы выполнена на научно-исследовательских семинарах механико-математического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, НИИ механики МГУ им. М.В. Ломоносова и Института механики сплошных сред Уральского отделения РАН, а также на различных российских научных конференциях. Результаты диссертации опубликованы в 3 научных работах, в том числе в 2 статьях из Перечня Высшей аттестационной комиссии при Министерстве образования и науки федерации.

Научная новизна результатов диссертации заключается в выполненном исследовании влияния различных физико-механических свойств матрицы, армирующих волокон и их связи на деформирование композиционного материала, а также в создании численной реализации модели физически нелинейного композита с короткими волокнами и разработанного на ее основе набора программ.

Практическая ценность работы определяется тем, что представленный в диссертационной работе подход дает более точные решения практических задач и позволяет анализировать взаимное влияние механических свойств и особенностей компонент композита на процесс его деформирования, что, в свою очередь способствует расширению применения фибробетона в сооружениях с высокими прочностными и эксплуатационными требованиями.

Тема диссертационной работы и ее содержание **соответствуют паспорту специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела.**

Автореферат в целом отражает содержание диссертации, основные результаты работы опубликованы, в том числе в журналах из списка.

Замечания по диссертационной работе:

1. В численных экспериментах по определению эффективных физико-механических свойств фибробетона с короткими армирующими свойствами было сделано предположение, что произвольно распределенные волокна распределены в изотропной среде, моделирующей бетон. Но возникает вопрос, насколько такое представление бетона для моделирования эффективных свойств фибробетона с короткими армирующими свойствами справедливо, если реально различные структурные фракции бетона имеют линейные размеры, существенно превышающие и сопоставимые с размерами волокон.

2. В работе получен ряд высоких научных результатов, определивших роль коротких армирующих волокон на особенности деформационного поведения фибробетона в области упругости и неупругости. Но к сожалению отсутствуют результаты подтверждающие работоспособность предлагаемых моделей на этапах разгрузки и последующего нагружения. Именно эти этапы в значительной степени определяют способность моделей предсказывать деформационное поведение материала в неупругости. Следует пожелать автору осуществить эти исследования в будущем.

Заключение.

На основании вышеизложенного считаем, что диссертационная работа Солодовникова Александра Сергеевича «Численное моделирование деформирования физически нелинейного композита с короткими волокнами» является законченной научно-квалификационной работой, имеющей научное и практическое значение. Новые научные результаты, представленные в диссертационной работе, имеют существенное значение для понимания влияния коротких волокон на особенности деформационных процессов в фибробетоне. Диссертационная работа соответствует всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 года, а ее автор Солодовников Александр Сергеевич заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела.

Отзыв на диссертацию и автореферат обсужден и одобрен на заседании Ученого совета ИМСС УрО РАН, протокол № 02/17_ от 1 марта 2017 г.

Заведующий лабораторией
ИМСС УрО РАН,
профессор, д.ф.-м.н.

