

УТВЕРЖДАЮ

Ректор АНО ВО «Университет

Инополис»



Тормасов А.Г.

«28» ноября 2019 г.

### **ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

на диссертационную работу Казакова Александра Олеговича «Численное моделирование волновых процессов в задачах ультразвукового неразрушающего контроля сеточно-характеристическим методом», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

**Диссертационная работа посвящена математическому моделированию ультразвукового неразрушающего контроля полимерных композиционных материалов и ультразвуковых исследований в медицине. В рамках работы предложена математическая модель процесса ультразвукового неразрушающего контроля, разработана новая версия сеточно-характеристического метода, позволяющая проводить расчёты на существенно неперiodических сетках, реализован расширяемый программный комплекс, проведены верификационные расчёты и сравнение с экспериментом.**

**Актуальность темы диссертационной работы**

**В современном авиастроении высока и продолжает возрастать доля использования полимерных композиционных материалов в качестве как обшивки самолёта, так и силовых элементов конструкции. При этом подверженность композитных конструкций разрушению при низкоскоростных ударах значительно выше, чем для металлических, а**

существенная часть получаемых повреждений связана с так называемым внутренним разрушением, когда снаружи не заметно расслоение между слоями материала. Применяемые в таких случаях техники ультразвукового неразрушающего контроля сталкиваются с трудностью объяснения волновых откликов ввиду сложности волновой картины в многослойном анизотропном материале. Аналогичные проблемы возникают и в других областях применения ультразвукового неразрушающего контроля, в том числе в медицинской диагностике, когда имеет место контакт большого числа разнородных тканей.

В данной работе проводится прямое численное моделирование распространения звуковых волн в исследуемой среде и в деталях прибора, что даёт возможность подробного анализа волновых картин и показаний приборов в конкретных случаях.

### **Оценка новизны и практической значимости**

Новизна работы заключается в том, что в ней были определены ограничения классической версии сеточно-характеристического метода при применении к существенно непериодическим расчётным сеткам. Для преодоления этих ограничений предложено несколько модификаций метода, которые позволяют расширить область его применения (добиться численной устойчивости) на расчёт задач с областями интегрирования гораздо более сложной формы.

В качестве практической ценности можно отметить создание программного комплекса, позволяющего проводить моделирование большого круга задач ультразвукового неразрушающего контроля и прошедшего верификацию сравнением с натурным экспериментом.

Данный программный комплекс может быть применён в научно-исследовательских институтах авиационного и медицинского направления для развития техник ультразвуковой диагностики и анализа отклика приборов в конкретных случаях диагностики.

### **Оценка достоверности результатов**

Полученные в работе выводы и выносимые на защиту положения являются достоверными. При разработке математических моделей и методов автор применяет обоснованные теоретические выводы и строгий математический аппарат. Выполнен ряд верификационных расчётов, произведено сравнение с экспериментом. Результаты работы представлены в рецензируемых научных изданиях, в том числе входящих в перечень ВАК РФ, а также доложены на научных конференциях.

### **Соответствие содержания диссертации специальности**

Содержание и результаты работы полностью соответствуют паспорту специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, поскольку основными результатами работы являются математическая модель процесса ультразвуковой диагностики, новая версия численного метода из семейства сеточно-характеристических и реализующий её программный комплекс.

### **Замечания по диссертации**

1. При том, что в работе используются как тетраэдральные, так и кубические сетки, было бы полезно выполнить сравнение скорости расчёта и точности решения на различных сетках, например, для представленной в работе модельной задачи о распространении продольной волны в твёрдом теле кубической формы в результате удара по боковой поверхности.
2. Также разумно было бы использовать для моделирования волновых процессов в композиционных материалах в связи с их правильной прямоугольной формой структурированных кубических сеток с переходом к неструктурированным тетраэдральным на существующих внутренних дефектах. Ввиду особенностей реализации сеточно-характеристического метода это позволило бы значительно сэкономить вычислительные ресурсы и повысить точность проводимых расчетов. Тем более что автор реализовал оба варианта расчета в своем программном комплексе.
3. Приведённое в разделе 4.2 диссертации описание возможностей архитектуры систем, реализуемых на динамических интерпретируемых

языках программирования, представляется излишним, поскольку не было реализовано автором в ходе разработки вычислительного программного комплекса.

Приведённые замечания не снижают ценности выполненной работы и имеют рекомендательный характер.

### **Заключение о диссертации**

Данная диссертация представляет собой целостное научное исследование на актуальную тему, в котором получен ряд новых результатов в области применения сеточно-характеристического метода. Результаты, изложенные в работе, представляют научную ценность и вносят вклад в развитие современных методов численного расчёта волновых задач. Работа удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к диссертациям, выполненным по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ». Соискатель заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18.

Отзыв на диссертацию обсужден и одобрен на заседании Института анализа данных и искусственного интеллекта Автономной некоммерческой организации высшего образования "Университет Иннополис" «21» ноября 2019 г.

Холодов Ярослав Александрович,  
к.ф.-м.н, доцент,  
заведующий лабораторией  
анализа данных и биоинформатики



*Автономная некоммерческая организация высшего образования  
"Университет Иннополис"  
420500, Российская Федерация, Республика Татарстан, город Иннополис,  
улица Университетская, д. 1  
+7 (843) 203-92-53;  
university@innopolis.ru  
<https://university.innopolis.ru>*