

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**«Пермский национальный исследовательский
политехнический университет»**

Комсомольский проспект, д.29, г. Пермь, 614990

Тел.: (342) 219-80-67, 212-39-27. Факс: (342) 212-11-47. E-mail: rector@pstu.ac.ru

07.09.2016г. № УРС-91

На № _____ от _____

«УТВЕРЖДАЮ»



Проректор по науке и инновациям
Пермского национального исследовательского
политехнического университета,
доктор технических наук, профессор

Коротаев Владимир Николаевич

7 сентября 2016 г.

ОТЗЫВ

**Ведущей организации
на диссертационную работу Манабаева Кайрата Камитовича
«Модификации приближенных методов расчета напряженно-
деформированного состояния конструкций из вязкоупругих и
композиционных материалов», представленной на соискание ученой
степени кандидата физико-математических наук по специальности
01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела»**

Актуальность темы. В настоящее время в различных областях техники широко используются конструкции из вязкоупругих композиционных материалов. Рациональное проектирование конструкций требует построения математических моделей, адекватно описывающих поведение материалов подобного класса, а также эффективных алгоритмов решения рассматриваемых краевых задач.

Приближенные методы решения задач вязкоупругости представлены в работах А.А. Ильюшина (метод аппроксимации), Р. Шепери (метод квазиупругих аппроксимаций), В.И. Малого – Н.А. Труфанова (метод квазиконстантных операторов), А.Д. Коваленко и А.А. Кильчинского (метод переменных модулей), А.Н. Филатова (метод замораживания), А.А. Светашкова (метод эффективных по времени модулей). Приближенный итерационный метод решения задач линейной вязкоупругости (ЛВУ) был предложен С.М. Павловым и А.А. Светашковым и впоследствии обобщен на нелинейные задачи Н.А. Труфанова и Р.Г. Куликовым.

Предложенный А.А. Светашковым метод эффективных по времени модулей имеет ряд существенных преимуществ и обобщений на следующие задачи: расчет анизотропных тел, расчет стареющих вязкоупругих тел, расчет нелинейно вязкоупругих тел. Однако, применение известных эффективных по времени модулей данного метода показало недостаточную точность аппроксимации линейно-вязкоупругих свойств. Соискателем аргументировано, что является **актуальным** поиск новых выражений эффективных по времени модулей, позволяющих получить более точные оценки вязкоупругих свойств материала.

Актуальность диссертационной работы, посвященной разработке и модификации приближенных методов для расчета напряженно-деформированного состояния (НДС) и прогнозирования прочности конструкций из вязкоупругих и упругих композиционных материалов, не вызывает сомнения.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа изложена на 152 страницах машинописного текста, состоит из введения, 6 глав, заключения, списка литературы, включающего 135 наименований, 2 приложений. Работа содержит 50 рисунков и 26 таблиц.

В первой главе приведен краткий обзор методов решения задач линейной вязкоупругости и теории эффективного по времени модуля.

Во второй главе представлена методика получения новых выражений эффективных по времени модулей смешанного типа и модулей по типу Хашина–Штрикмана для расчета задач линейной вязкоупругости.

Третья глава посвящена проверке адекватности новых разработанных выражений эффективных по времени модулей.

Четвертая глава посвящена преобразованиям известных эффективных характеристик двухкомпонентных упругих изотропных тел.

Пятая глава посвящена реализации приближенного итерационного метода расчета задач линейной вязкоупругости в среде программного комплекса метода конечных элементов. Описана постановка плоской краевой задачи; изложена суть итерационного метода; представлены результаты численного анализа плоских задач линейной вязкоупругости; приведено сравнение решения, полученного итерационным методом, с решениями, полученными приближенными методами теории эффективного модуля; произведена оценка скорости сходимости итерационного алгоритма.

Шестая глава посвящена сравнению итерационного метода решения задач линейной вязкоупругости с аналитическим решением для задачи о нагружении стержня.

Научную новизну диссертационной работы определяют следующие результаты исследования, полученные лично соискателем:

1. В рамках развития теории приближенных решений задач линейной вязкоупругости соискателем разработана методика определения эффективных по времени модулей. Предложенная методика позволяет получать более высокую степень точности аппроксимации линейно-вязкоупругих свойств по сравнению с известными эффективными по времени модулями.

2. Получены выражения и установлены свойства новых эффективных по времени модулей смешанного типа и модулей типа Хашина–Штрикмана. Модели, основанные на методе эффективных по времени модулей могут

быть рекомендованы для экспресс-анализа квазистатического напряженного деформированного состояния конструкций из полимерных и композиционных материалов.

3. Для двухкомпонентного изотропного упругого композита получены выражения новых эффективных характеристик на основе итерационного и средне-геометрического преобразования классических модулей. Данные выражения рекомендуются к использованию наряду с модулями Фойгта-Рейсса и Хашина–Штрикмана для получения оценок напряженно-деформированного состояния упругих композитов.

4. Впервые разработан алгоритм реализации приближенного быстросходящегося итерационного метода расчета НДС плоских задач линейно-вязкоупругости в среде программного конечно-элементного комплекса, позволяющий получать решения краевых задач механики полимерных и композиционных материалов с заданной точностью.

5. В результате адаптации приближенного итерационного метода к среде программного конечно-элементного комплекса соискателем установлено: достаточно быстрая сходимость итерационного алгоритма, практическое совпадение расчетных и теоретических оценок сходимости, отклонения аналитического и итерационного решения в пределах 6%, что позволяет рекомендовать данный метод для расчета квазистатических плоских краевых задач вязкоупругости в линейной постановке.

Теоретическая и практическая значимость работы. Разработанный новый подход к определению математических выражений эффективных по времени модулей и эффективных модулей упругих композиционных материалов, вычислительные технологии реализации алгоритма итерационного метода расширяют теоретические основы и возможности численного исследования процессов деформирования вязкоупругих и композиционных тел.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.

Разработанные автором модифицированные методы могут быть использованы при решении широкого круга задач линейной вязкоупругости, при решении задач об определении напряженно-деформированного состояния упругих композитных материалов, в стандартных инженерных программах метода конечных элементов – для создания расчетных модулей, ориентированных на расчет квазистатического вязкоупругого поведения. Возможно использование результатов диссертации в Институте природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета для подготовки курса лекций и практических занятий по освоению программного комплекса метода конечных элементов специалистами в области механики деформируемого твердого тела.

Считаем целесообразным продолжить работу по тематике диссертации в учреждениях и академических институтах, которые занимаются исследованием полимерных композиционных материалов и конструкций из них, таких как МГУ имени М.В.Ломоносова, ПАО НПО «Искра» (г. Пермь), АО «Центральный научно-исследовательский институт специального машиностроения» (г. Хотьково), Институт механики сплошных сред УрО РАН (г. Пермь) и других учебных и академических организациях.

Замечания:

Недостатков, ставящих под сомнение справедливость какого-либо результата, в диссертации не обнаружено. По существу имеются следующие замечания:

1. На наш взгляд, представляет интерес обоснование с позиций механики возможности применения методики итерационного преобразования эффективных характеристик и методики, основанной на процедуре среднегеометрического усреднения.

2. Отсутствует обоснование выбора выражения для фиктивного удельного объемного содержания компонента при определении эффективных

по времени модулей смешанного типа. Остается открытым вопрос, чем предложенный вариант лучше прочих возможных.

3. Автор, к сожалению, не отметил важный результат. На рис.4, 5, 7-11 приведены зависимости относительной погрешности приближенного решения от времени. Общеизвестно, что использование приближения (1) (с.18) позволяет получить точное решение в начальный момент времени и для достаточно больших времён, значительно превышающих характерные времена релаксации материала. Результаты автора с позиций развиваемого подхода подтверждают, что погрешность зависит от момента времени, для которого разыскивается решение, а её максимальное значение соответствует максимальному значению показателя квазиконстантности вязкоупругого оператора, что ранее установлено с позиций теории квазиконстантных операторов в работах В.И.Малого.

4. Хотелось бы видеть предложения, как обобщить развиваемый подход на случай переменных во времени внешних воздействий. В работе исследован только случай воздействий, пропорциональных функции Хевисайда.

Указанные замечания не являются принципиальными и не снижают общей высокой положительной оценки диссертации.

Заключение. В целом диссертация Манабаева К.К. является завершённой научно-исследовательской работой, выполненной на актуальную тему, в которой автором самостоятельно и на высоком научном уровне найдены новые решения важных задач теории вязкоупругости, имеющие существенное значение для механики деформируемого твёрдого тела. Выводы и рекомендации обоснованы. Диссертация удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, автореферат достаточно полно отражает основное содержание работы, а автор диссертации Манабаев Кайрат Камитович заслуживает присуждения

ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности **01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела».**

Отзыв на диссертацию и автореферат обсужден на заседании кафедры «Вычислительная математика и механика» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет».

"5" сентября 2016 г., протокол № 2.

Заведующий кафедрой «Вычислительная математика и механика» ПНИПУ, доктор технических наук (01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела»), профессор
Сот. тел.: +7 902 472 68 35
Mail: nat@pstu.ru



Труфанов
Николай
Александрович

Доцент кафедры «Вычислительная математика и механика» ПНИПУ, кандидат физико-математических наук (01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела»), доцент
Сот.тел.: 8 919 485 09 65
Mail: kulrtg@mail.ru



Куликов
Роман
Георгиевич

Подпись Труфанова Николая Александровича, подпись Куликова Романа Георгиевича заверяю.
Ученый секретарь ПНИПУ



Макаревич
Владимир
Иванович