САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
SAMARA UNIVERSITY

федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева»

ул. Московское шоссе, д. 34, г. Самара, 443086
Тел.: +7 (846) 335-18-26 , факс: +7 (846) 335-18-36
Сайт: www.ssau.ru, e-mail: ssau@ssau.ru
ОКПО 02068410, ОГРН 1026301168310,
ИНН 6316000632, КПП 631601001

04.12.2018 № 104-7353

На №_____ от_____

УТВЕРЖДАЮ
Первый проректор –
проректор по науке и инновациям,
д.т.н., доцент А.Б. Прокофьев

«03» 12 2018 г.

Отзыв ведущей организации
на диссертацию Макарова Р.Ю.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу
Макарова Романа Юрьевича
«Разработка и исследование численных методов определения параметров моделей реологического деформирования на основе разностных уравнений»,
представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук
по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование,
численные методы и комплексы программ»

1. Структура и объем диссертационной работы.

Диссертация Макарова Р.Ю. «Разработка и исследование численных методов определения параметров моделей реологического деформирования на основе разностных уравнений» посвящена разработке численных методов параметрической идентификации нелинейных моделей реологического деформирования на основе конечных разностей, а также программной реализации разработанных численных методов. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка используемых источников из 95 наименований. Работа содержит 260 страниц основного текста, включая 9 таблиц, 84 рисунка и 5 приложений. По объему и структуре работа соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения учёных степеней».

2. Актуальность темы диссертации. Одной из важнейших задач в области машиностроения является повышение долговечности, надежности, увеличение ресурса элементов конструкций. При этом наряду с указанными требованиями необходимо обеспечить снижение затрат на эксплуатацию, повышение экономической рентабельности и конку-

рентоспособности. Важнейшим резервом для решения указанных задач является максимальное использование ресурса конструкционных материалов и снижение материалоемкости проектируемых изделий. Стремление максимально использовать ресурс материалов может приводить к увеличению рабочих напряжений, появлению неупругих реологических деформаций и ускорению накопления поврежденности. Поэтому актуальна проблема достоверной оценки предельного ресурса элементов конструкций (предельные значения деформаций, перемещений, напряжений) в условиях реальной эксплуатации.

В настоящей работе для построения оценок предельного ресурса материалов развивается подход, основанный на разработке новых обобщенных моделей деформирования и разрушения элементов конструкций в форме соотношений типа «обобщенные нагрузки – обобщенные перемещения», которые описывают характерные стадии появления и накопления деформации от напряжения, накопления поврежденности, недопустимых деформаций как материалов, так и элементов конструкций. Для реализации разработанных моделей реологического деформирования осуществляется их параметрическая идентификация с использованием экспериментальных данных. Основная проблема построения численных методов идентификации реологических моделей деформации заключается в нелинейности исходных соотношений. При этом возникают серьезные трудности, связанные с высокой чувствительностью к малым ошибкам исходных данных вследствие того, что измеряемые характеристики, которые входят в модели в виде независимых переменных, являются медленно меняющимися. Следовательно, разработка новых численных методов определения параметров исходных нелинейных реологических моделей является важной самостоятельной проблемой.

Из вышеизложенного следует, что диссертация Макарова Р.Ю., посвященная разработке численных методов определения параметров моделей реологического деформирования и реализации разработанных численных методов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ, является актуальной.

3. Новизна проведенных исследований и полученных результатов.

В диссертации рассмотрен широкий круг вопросов, связанных с определением параметров реологических моделей деформации, для которых исходные соотношения являются нелинейными. Новизна проведенных исследований состоит в следующем.

В рамках общего подхода для большого числа известных моделей реологического деформирования осуществлен переход к линейным по параметрам дискретным моделям в форме разностных уравнений, что позволило свести решение задачи нелинейного оценивания к задаче линейного регрессионного анализа.

Разработан численный метод определения параметров моделей реологического деформирования, в основе которого лежит итерационная процедура среднеквадратичного оценивания коэффициентов линейной по параметрам модели в виде разностного уравнения и последующего перехода к параметрам исходных нелинейных моделей, что позволяет повысить точность определения оценок.

Создан и апробирован на большом числе моделей комплекс программ, реализующий разработанный численный метод в виде итерационного алгоритма уточнения среднеквадратичных оценок коэффициентов разностного уравнения, который может быть использован при обработке экспериментальных данных для прогнозирования ресурса элементов конструкций, связанного с деформированием материалов.

4. Обоснованность и достоверность полученных научных результатов. Обоснованность выносимых на защиту научных положений, выводов и рекомендаций, а также достоверность полученных результатов исследований подтверждается корректным использованием применяемого математического аппарата, вводимых допущений и гипотез; сравнением данных численного расчета, полученных с использованием разработанных методов и алгоритмов с результатами, полученными известными методами; численно-аналитическими исследованиями оценок погрешности и адекватности построенных математических моделей экспериментальным данным, а также исследованиями устойчивости численного метода путем имитационного моделирования.

5. Значимость результатов, полученных в диссертации, для науки и для практики.

Значимость результатов для науки:

– построены новые линейные по параметрам дискретные математические модели, описывающие в форме разностных уравнений различные стадии реологического деформирования материалов и элементов конструкций;

– разработан и апробирован новый численный метод определения параметров моделей реологического деформирования, отличающийся от существующих методов применением среднеквадратичного оценивания коэффициентов разностного уравнения, описывающего результаты эксперимента, что позволяет повысить точность вычислений оценок параметров и степень адекватности моделей экспериментальным данным;

– разработан комплекс программ, реализующих алгоритмы разработанного численного метода.

Значимость результатов для практики:

– результаты, полученные в диссертации, могут быть использованы при обработке результатов научно-технических экспериментов и промышленных испытаний, имеющих характерные стадии развития деградационных процессов (стадию приработки, нормальной работы, стадию старения);

Значимость результатов, полученных в диссертации, для науки и практики подтверждается актами о внедрены в «АО РКЦ «Прогресс» (г. Самара) и ООО «Специальное конструкторско-технологическое бюро «Пластик» (г. Сызрань, Самарская область), а также в учебный процесс ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет».

6. Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 16 печатных работах, из них 5 статей опубликованы в журналах из перечня ВАК, получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Основные положения и результаты диссертационной работы были представлены на различных

Международных и Всероссийских конференциях. Исходя из вышеизложенного, считаем, что диссертационная работа в достаточной мере апробирована.

В целом можно отметить соответствие поставленных в диссертационной работе целей и полученных в ней результатов. Содержание диссертации достаточно полно и подробно раскрывает постановку, методы и результаты решения рассмотренных задач. Автореферат, в целом, отражает содержание диссертации. Оформление диссертации и автореферата соответствует существующим требованиям.

7. Предложения по использованию результатов диссертации. Развитые в работе теоретические положения, разработанные алгоритмы и практические методики могут быть рекомендованы к внедрению в ОАО «Кузнецов», а также могут использоваться на других отечественных предприятиях.

Полученные результаты могут быть также рекомендованы к использованию в научно-исследовательской работе, академических и отраслевых институтов, работающих по соответствующей тематике, в частности, Институте машиноведения РАН (г. Москва), Институте машиноведения Уральского отделения РАН (г. Екатеринбург), Институте механики МГУ (г. Москва) и других академических институтах и университетах.

Полученные в диссертации теоретические результаты, разработанные методы и алгоритмы также могут быть рекомендованы для использования в учебном процессе на механико-математических и физических факультетах университетов при чтении лекций, в курсовом и дипломном проектировании, в частности, в ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет» (г. Ульяновск), ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва» (г. Самара), ФГБОУ ВО «Самарский государственный университет путей сообщения» (г. Самара), ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет» (г. Саратов), ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (г. Пермь), ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет» (г. Новосибирск).

8. Замечания по содержанию и оформлению работы.

1) Раздел после названия первой главы не имеет заголовка, что не соответствует требованиям стандарта на оформление текстовых документов.
2) В диссертации содержатся погрешности в оформлении формул, в частности:

– на стр. 13 вводятся обозначения $P(t,\sigma)$, $K(t)$, $l(t)$, $\mathrm{d}l(t)/\mathrm{d}N$ без расшифровки входящих в них величин. Эти объяснения появляются в следующем разделе, это следовало сделать при первом появлении формул;
– в разделе 1.1 после формулы $p = f_1(t) f_2(\sigma) f_3(T)$ не поясняется какой смысл имеют входящие в нее функции, это становится понятным лишь в контексте последующего изложения, кроме того, чтение текста затрудняет отсутствие нумерации ключевых формул;

– в формуле (1.1) вместо краткого обозначения p следовало бы использовать более полное обозначение $p(t)$, т.к. в данном случае это является существенным фактом;
– в выкладках после формулы (2.4) в формуле $p_{k-1} = c - ce^{-\alpha\tau k}e^{\lambda\tau}$ вместо λ должно быть α;
– из фразы (последняя строка стр. 52): «..координате $\|\varepsilon\|^2 = \|t - \tilde{t}\|^2 \to \min$ – где t – вектор данных эксперимента, $\tilde{t}$ – вектор результатов вычислений по формуле (2.51)…» только далее по тексту становится понятно, что компоненты этих векторов отсчеты времени, однако перед этой формулой и сразу после нее используются обозначения $t_{k,j}$, $\tilde{t}_{k,j}$, но тогда t не вектор, а матрица.

3) На стр. 20 представлена модель для серии экспериментов – формула (1.5). Если речь идет о серии экспериментов, то в модели должны появиться ошибки измерений. В то же время модели со случайными ошибками наблюдений впервые рассматриваются в разделе 3.1. По-видимому, в данном случае не следовало подчеркивать, что кривые ползучести различны, оставив обсуждение этого вопроса до раздела 3.1.
4) Судя по заголовку, глава 2 посвящена построению моделей в форме разностных уравнений, вместе с тем, раздел 2.1 этой главы начинается с описания блок-схемы разрабатываемого численного метода. Остается непонятным, где автор проводит границу между разработкой моделей и разработкой численного метода.
5) Формула (3.69) трактуется как *априорная* оценка погрешности, это не совсем так, поскольку число обусловленности матрицы может быть вычислено лишь после того, как она сформирована.
6) К сожалению, в тексте содержатся погрешности и неточности изложения, например:
   - в первых двух формулах раздела 3.3 пропущены вторые степени;
   - на стр. 21 после формулы (1.7) в слове обобщенные пропущена буква «б»;
   - «по этому…» на стр. 23 должно писаться слитно;
   - стр. 29 не согласованное предложение «…при всех N испытаний.»;
   - кажется, не вполне удачным обозначение нулевых блочных матриц символом Θ, обозначение цифрой **0** представляется более естественным;
   - во многих случаях объединенные общим смыслом абзацы, каждый из которых состоит из одного предложения, можно было бы объединить.

9. Заключение по диссертационной работе.

Отмеченные недостатки частного характера не уменьшают научную и практическую значимость основных результатов диссертации. В целом работа выполнена на высоком научном уровне. Результаты исследований, изложенных в диссертации, подтверждают обоснованность сформулированных автором научных положений, выводов и ре-

комендаций. Основные результаты работы в полном объеме освещены в публикациях соискателя. В связи с вышеизложенным считаем, что диссертационная работа Макарова Р.Ю. «Разработка и исследование численных методов определения параметров моделей реологического деформирования на основе разностных уравнений» является завершенной научно-квалификационной работой. Диссертационная работа Макарова Р.Ю. соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении учёных степеней и удовлетворяет требованиям, предъявляемым ВАК к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук, а её автор – Макаров Роман Юрьевич – заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Отзыв обсужден и утвержден на расширенном заседании кафедры суперкомпьютеров и общей информатики ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва», г. Самара, 22 ноября 2018 года, протокол № 4.

Заведующий кафедрой
суперкомпьютеров и общей информатики,
доктор технических наук, профессор Фурсов Владимир Алексеевич

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» (Самарский университет).
Адрес: 443086, г. Самара, Московское шоссе, 34.
Сайт: http://www.ssau.ru/
Телефон: (846) 335-18-26
E-mail: ssau@ssau.ru

С отзывом ознакомлен. Макаров. 5.12.2018.