

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА
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. Актуальность темы диссертации.

В диссертационной работе Макарова Р.Ю. представлены результаты научных исследований, связанных с разработкой и анализом новых математических моделей, численных методов и комплекса программ, реализующего устойчивые алгоритмы вычислений, для оценки параметров моделей реологического деформирования по результатам наблюдений в условиях реальной эксплуатации, промышленных испытаний или научно-технического эксперимента. Актуальность исследований обусловлена современной тенденцией возрастания доли элементов конструкций, отработавших расчетный или нормативный срок службы. Увеличение предельного ресурса оборудования при одновременном форсировании режимов работы и снижению материалоемкости объективно приводит к увеличению рабочих напряжений, появлению неупругих реологических деформаций, интенсификацией процессов рассеянного накопления поврежденности. Все это позволяет говорить о необходимости разработки новых методов построения моделей деформирования и разрушения конструкций, позволяющих достоверно оценивать напряженно-деформируемое состояние в наиболее нагруженных областях изделий и допускающих как теоретическое, так и экспериментальное определение параметров модели.

Одной из проблем полного и адекватного описания эволюции элементов конструкций является необходимость экспериментального исследования материалов на промежутках времени, соизмеримых со временем эксплуатации самой конструкции. В связи с этой проблемой в последнее время получили развитие обобщенные реологические модели для случая изотермической ползучести в пределах не только первых двух стадий, но и с учетом третьей стадии ползучести и разрушения конструкций. При построении таких

моделей были выявлены серьезные недостатки существующих методов и алгоритмов, применяемых при оценки параметров моделей реологического деформирования, а также возникли проблемы при разработке новых численных методов, связанные с существенной нелинейностью моделей в форме определяющих соотношений.

Таким образом, решение проблемы достоверной оценки предельного ресурса элементов конструкций (предельных значений деформаций и напряжений) требует разработки и исследования новых численных методов оценки параметров процесса реологического деформирования, реализации вычислительных алгоритмов в виде комплексов программ, численно-аналитических исследований с применение вычислительного и натурного эксперимента.

С этой точки зрения диссертационную работу Макарова Р.Ю. следует рассматривать как актуальную в теоретическом и практическом отношении. В ней автор решает проблему совершенствования методов параметрической идентификации моделей реологического деформирования на основе новых математических моделей, описывающих в форме разностных уравнений результаты наблюдений. По существу данная работа является не просто развитием исследований в области механики деформируемого твердого тела, но представляет собой новый научный подход к решению проблемы параметрической идентификации нелинейных механических систем.

2. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Обоснованность и достоверность результатов исследований, выводов и рекомендаций, изложенных в диссертационной работе Макарова Р.Ю., базируется на тех методах исследования, которыми пользовался автор. Для решения поставленных задач применялся системный подход к решаемой проблеме, в том числе методы математического и функционального анализов, линейной алгебры, методы прикладного регрессионного анализа, статистические методы оценивания и обработки результатов эксперимента.

Достоверность и обоснованность полученных в диссертационной работе научных результатов обеспечивается корректным использованием применяемого математического аппарата и вводимых при аналитических исследованиях и математическом моделировании допущений и гипотез.

Выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации Макарова Р.Ю., полностью основаны на теоретических и экспериментальных исследованиях, проведенных автором. Достоверность результатов исследований и обоснованность выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, также подтверждается актами внедрения результатов диссертации, аprobацией на многочисленных научно-технических конференциях и публикациями автора в открытой печати. Значительная часть результатов получена Макаровым Р.Ю. в результате компьютерного моделирования и физического эксперимента.

3. Анализ новизны проведенных исследований и полученных результатов.

На мой взгляд, основные элементы новизны диссертационной работы Макарова Р.Ю. связаны с реализацией нового научного подхода к решению задач нелинейного оценивания, в основе которого лежит среднеквадратичное оценивание коэффициентов линейно-параметрической дискретной модели, описывающей в форме разностных уравнений результаты наблюдений. В этом контексте естественным покажется заключение, что автор получил целый ряд новых научных результатов, связанных с построением и исследованием математических моделей реологического деформирования в форме разностных уравнений и разработкой различных алгоритмов численного метода на их основе.

В частности, автором получены следующие новые научные результаты:

- построены новые линейно-параметрические дискретные математические модели, описывающие в форме разностных уравнений первую стадию (неустановившейся) ползучести по совокупности нескольких кривых ползучести для различных постоянных напряжений;
- построены новые линейно-параметрические дискретные математические модели, описывающие в форме разностных уравнений первые две стадии (неустановившейся и установившейся) ползучести при различном количестве экспоненциальных составляющих в модели;
- построены новые линейно-параметрические дискретные математические модели, описывающие в форме разностных уравнений третью стадию ползучести (стадию ускоренной ползучести) по совокупности нескольких кривых ползучести для различных постоянных напряжений, в том числе, с

учетом степенной зависимости параметра разупрочнения от величины напряжения;

– получены новые соотношения, связывающие коэффициенты построенных разностных уравнений с параметрами нелинейных моделей реологического деформирования;

– разработаны и апробированы новые численные методы определения параметров моделей реологического деформирования, отличающиеся 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 предлагаемых численных методов, который может быть использован при обработке экспериментальных данных при исследовании реологической деформации.

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

Основными научными результатами, полученными в диссертационной работе, являются, во-первых, построенные и систематизированные как по области применения (неустановившаяся, неустановившаяся и установившаяся стадии ползучести, стадия ускоренной ползучести), так и по виду аппроксимирующей функции, линейно-параметрические дискретные модели, описывающие в форме разностных уравнений различные стадии деформации ползучести. Значимость этих результатов подтверждается использованием этих моделей в новых численных методах оценивания параметров моделей реологического деформирования.

Во-вторых, к основным научным результатам следует отнести разработанные алгоритмы численных методов, в основе которых лежит итерационная процедура уточнения среднеквадратичных оценок коэффициентов разностных уравнений. Значимость этих результатов заключается в том, что они лежат в основе разработки пакета прикладных программ, предназначенного для использования при обработке результатов научно-технических экспериментов и промышленных испытаний, имеющих характерные стадии развития деградационных процессов (стадию приработки, нормальной работы, стадию старения).

В-третьих, значимым для практики результатом диссертационной работы является разработанный комплекс программ, реализующий алгоритмы численного метода на основе разностных уравнений, который может быть использован при оценке напряженно-деформированного состояния реальных конструкций, работающих в условиях ползучести.

5. Рекомендации по использованию результатов диссертационных исследований.

Результаты диссертационной работы могут быть использованы в научно-исследовательских и проектно-конструкторских организациях, а также отраслевых предприятиях, при проведении научно-исследовательских работ, связанных с исследованием процессов реологического деформирования и разрушения материалов и элементов конструкций. Например: в Самарском государственном техническом университете (443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244), Самарском национальном исследовательском университете имени академика С.П. Королева (443086, г Самара, Московское шоссе, 34), Институте машиноведения УрО РАН (620049, г. Екатеринбург, ул. Комсомольская, 34), Институте механики МГУ (119192, г. Москва, Мичуринский пр. 1), Институте проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН (119526, г. Москва, просп. Вернадского, 101), Институте машиноведения и металлургии Дальневосточного отделения РАН (681013, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, ул. Металлургов, 1).

6. Соответствие диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка используемых источников и литературы, трех приложений: включает 230 страниц основного текста, 92 рисунка, 9 таблиц, 95 наименований списка литературы. Изложение диссертации строго подчинено сформулированным целям и задачам исследования.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, определяются цели исследования, излагается научная новизна и практическая значимость работы, формулируются основные положения, выносимые на защиту, приводится структура диссертационной работы, а также сведения об апробации работы и публикациях.

В первой главе описываются известные математические модели реологического деформирования в случае одноосного напряженного состояния. Проведен анализ существующих подходов и методов, применяемых в задачах параметрической идентификации нелинейных моделей реологического деформирования. На основе результатов анализа формулируются научная проблема, цель и задачи диссертации.

В второй главе рассматривается построение систем разностных уравнений для моделей реологического деформирования в пределах одной первой стадии, первых двух стадий ползучести при различном числе экспоненциальных слагаемых. Рассматривается построение разностных уравнений для третьей стадии ползучести (стадии ускоренной ползучести) по совокупности нескольких кривых ползучести для различных постоянных напряжений, в том числе, с учетом степенной зависимости параметра разупрочнения от величины напряжения.

В третьей главе рассматривается построение обобщенных регрессионных моделей, описывающих результаты наблюдений реологической деформации в пределах первой, первой и второй стадий ползучести и третьей стадии разрушения. Рассматриваются основные этапы нового численного метода определения параметров моделей реологического деформирования на основе разностных уравнений. Описывается процедура оценки погрешности результатов вычисления и построения доверительных интервалов. Разрабатываются и исследуются различные алгоритмы итерационной процедуры среднеквадратичного оценивания коэффициентов обобщенной регрессионной модели. Представлены результаты численно-аналитических исследований помехоустойчивости разработанных алгоритмов вычислений и оценки погрешности результатов вычисления параметров моделей реологического деформирования.

В четвертой главе приводятся результаты апробации разработанных алгоритмов численного метода при оценке параметров моделей реологического деформирования для различных материалов. Приводятся результаты сравнительного анализа разработанного численного метода и известного численного метода нелинейного оценивания. Строится математическая модель зависимости удлинения трещины от нагрузки для плоских образцов из стали 316L.

В пятой главе описывается комплекс программ для определения параметров реологического деформирования на основе разностных уравнений. Описываются основные этапы алгоритма вычислений на основе разработанного численного метода; представлена блок-схемы алгоритма. Приведено описание основных элементов и интерфейса программного обеспечения, системы диалоговых и информационных окон.

В заключении перечислены основные научные результаты, полученные в диссертационной работе.

Диссертационная работа Макарова Р.Ю., представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, представляет собой завершенную научную квалификационную работу, в которой автором получены новые результаты, имеющие самостоятельную научную и практическую ценность.

Тема и содержание диссертационной работы соответствует научной специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Полученные в диссертации научные и практические результаты соответствуют поставленным в ней целям.

Автореферат отражает основные положения и выводы, сделанные в диссертации, и соответствует её содержанию.

К аprobации результатов работы вопросов не возникает, так как все основные положения диссертации были аprobированы на 11 Международных и Всероссийских конференциях и семинарах. Результаты диссертационной работы опубликованы в 16 печатных работах, из которых 5 статей в рецензируемых журналах из перечня ВАК. В Роспатенте получено одно свидетельство государственной регистрации программы для ЭВМ.

В диссертации отсутствуют заимствованные материалы без ссылок на автора и (или) источник заимствования, результаты научных работ, выполненных соискателем ученой степени в соавторстве, без ссылок на соавторов.

Диссертация и автореферат написаны ясно и грамотно, существенных замечаний по оформлению не имеется.

7. Замечания по содержанию и оформлению диссертации.

1. При анализе известных методов определения параметров реологического деформирования в диссертации рассматривается, анализируется и используется для сравнения только один метод выделения экспоненциальных

слагаемых. Однако известно множество других законов для описания деформации ползучести, например, законы Бейли, Работнова, Фройденталя. Автором эти модели ползучести не рассматриваются, что сужает область применения разработанных алгоритмов вычислений.

2. В диссертации в качестве исходной реологической модели используются определяющие соотношения, описывающие не только деформацию ползучести, но и упругую и пластическую деформации. Более того, из трех составляющих деформации ползучести в уравнениях (1.2) – (1.4) используется только одна вязкая составляющая $w(t)$. В связи с этим результаты вычислений будут содержать систематическую ошибку, связанную с упрощением исходной модели реологического деформирования.

3. При построении модели ползучести для стали 15Х2МФА (п.4.6) для разных стадий ползучести использовались различные критерии среднеквадратичной минимизации с оценкой их величины: 4,3% для первой и второй стадий (4.62) и 3,3% для третьей стадии (4.65). Возникает вопрос, каким образом (по какому критерию) следует оценивать величину среднеквадратичного отклонения модели (4.66) от данных эксперимента?

4. В основе алгоритмов численного метода лежит итерационная процедура уточнения среднеквадратичных оценок коэффициентов разностного уравнения. Одной из основных проблем в таких алгоритмах является сходимость итерационной процедуры. В работе эта проблема не рассматривается, достаточные условия сходимости не формулируются.

5. На мой взгляд, в диссертации излишне подробно описаны алгоритмы известных методов нелинейного оценивания (стр. 29 – 33).

Сделанные замечания носят частный характер, не умаляют достоинств диссертации и не влияют на общую положительную оценку выполненной работы.

Заключение по работе в целом.

Диссертационная работа на тему: «Разработка и исследование численных методов определения параметров моделей реологического деформирования на основе разностных уравнений» является законченной научной работой, в которой решена задача повышения достоверности оценок параметров моделей реологического деформирования при анализе напряженно-

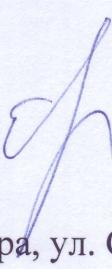
деформируемого состояния элементов конструкций в наиболее нагруженных областях изделий.

Диссертация соответствует паспорту специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. Работа отвечает требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Автор диссертационной работы «Разработка и исследование численных методов определения параметров моделей реологического деформирования на основе разностных уравнений», Макаров Роман Юрьевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Официальный оппонент:

профессор кафедры «Прикладная
математика, информатика и
информационные системы»
Федерального государственного
бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Самарский государственный
университет путей сообщения»
доктор технических наук,
доцент


Ермоленко Георгий Юрьевич

Служебный адрес: 4430066, г. Самара, ул. Свободы, 2В

Служебный телефон: 8 (846) 255-68-94,

E-mail: georgy12@yandex.ru

*С отрывом
однокомис.
Макаров. 6.12.2018*

Подпись заверяю:

Ученый секретарь
ФГБОУ ВО «Самарский государственный
университет путей сообщения»

