

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора физико-математических наук,

профессора Бутова Александра Александровича

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»

Актуальность темы диссертационной работы. Одной из основных тенденций развития современного машиностроения является повышение долговечности и увеличения ресурсов элементов различных конструкций при снижении их материоемкости. Возникающая при этом проблема достоверной оценки предельных ресурсов элементов конструкций в условиях реальной эксплуатации, требует разработки новых численных методов анализа напряженно-деформированного состояния, а также предполагает разработку комплексов проблемно-ориентированных программ для соответствующей реализации устойчивые алгоритмов вычислений.

Диссертационная работа Макарова Р.Ю. посвящена решению актуальной научно-технической проблемы повышения достоверности и оперативности параметрической идентификации моделей реологического деформирования в пределах трех стадий ползучести. Известны различные подходы к решению задач оценивания параметров моделей реологического деформирования – как на основе результатов промышленных испытаний, так и научно-технических экспериментов. Так, в одних случаях используют методики расчетов, ориентированные на специфику предметной области механики деформируемого твердого тела, и не предусматривающие статистической обработки экспериментальных данных. В основе другого подхода лежат известные

методы нелинейного оценивания при среднеквадратических критериях оценивания. Однако при этом для моделей реологического деформирования, характеризуемых существенно нелинейными математическими зависимостями, как правило, возникают значительные проблемы, связанные с выбором начального приближения, единственностью решения, а также со сходимостью итерационных процедур уточнения среднеквадратичных оценок параметров. В связи с этим имеет существенное научное и практическое значение, как разработка, так и теоретическое и экспериментальное исследования новых, эффективных методов оценивания параметров моделей реологического деформирования, обеспечивающих высокую достоверность результатов вычислений за счет повышения адекватности построенных моделей результатам эксперимента.

Предлагаемый в диссертационной работе новый подход к решению задачи параметрической идентификации моделей реологического деформирования включает комплекс всех необходимых для решения поставленной задачи составляющих: построение линейно-параметрических дискретных моделей, описывающих в форме разностных уравнений результаты эксперимента, разработку на их основе нового численного метода оценки параметров ползучести и разработку пакета прикладных программ, реализующих алгоритмы вычислений.

Для реализации предлагаемого подхода автором были поставлены и решены следующие задачи:

- построение линейно-параметрических дискретных моделей, описывающих в форме разностных уравнений результаты наблюдений деформации;
- разработка алгоритмов нового численного метода определения параметров моделей реологического деформирования на основе среднеквадратичной оценки коэффициентов разностного уравнения;

- численно-аналитические исследования помехозащищенности и устойчивости результатов вычислений оценок параметров моделей реологического деформирования на основе разностных уравнений;
- сравнительный анализ эффективности разработанного численного метода и известных методов оценки параметров реологического деформирования;
- разработка программного обеспечения, реализующего алгоритмы вычислений параметров моделей реологического деформирования на основе среднеквадратичного оценивания коэффициентов разностных уравнений.

Обоснованность и достоверность каждого из полученных научных положений, выводов, рекомендаций и заключений, сформулированных в диссертации, подтверждается, во-первых, корректным использованием математического аппарата: методов математического анализа, линейной алгебры, вычислительной математики, теории вероятностей и математической статистики.

Во-вторых, достоверность подтверждается выполненным в работе анализом результатов численных расчетов, полученных на компьютере с помощью разработанного комплекса программ, а также апробацией основных результатов работы на научных конференциях и семинарах.

В-третьих, обоснованность и достоверность научных результатов подтверждается практическими результатами применения разработанных численных методов, в частности:

- при обработке экспериментальных диаграмм ползучести трубчатых образцов поливинилхлоридного пластика длиною 1000 мм при температуре $T=20^{\circ}\text{C}$;
- при обработке экспериментальных диаграмм ползучести алюминиевого сплава Д16АТ, полученных при различных значениях номинального напряжения и температуре 150°C ;

- при оценке параметров модели стадии ускоренной ползучести сплава Д16Т (пруток диаметром 40 мм) при испытаниях на растяжение и сжатие при температуре 250 °С и различных значениях номинального напряжения;
- при обработке экспериментальных диаграмм ползучести стали 15Х2МФА, полученных при температуре 550 °С в пределах трех стадий;
- при обработке экспериментальных данных по раскрытию трещины для плоских образцов из стали 316L при температуре T=600 °С.

Достоверность полученных результатов подтверждается также актом об использовании результатов диссертационной работы Макарова Р.Ю. в АО «Ракетно-космический центр «Прогресс», г. Самара, и актом о внедрении результатов диссертации в ОКР, выполненную ООО «Специальное Конструкторское Технологическое бюро «Пластик», г. Сызрань.

Анализ новизны проведенных исследований. Научная новизна диссертационной работы состоит в новом подходе к решению задачи оценивания параметров моделей реологического деформирования. На мой взгляд, в работе получены следующие новые научные результаты:

- построены новые линейно-параметрические дискретные математические модели, описывающие в форме разностных уравнений различные стадии реологического деформирования материалов и элементов конструкций;
- получены соотношения, связывающие коэффициенты разностных уравнений с параметрами 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;
- разработана методика вычисления погрешности оценок параметров моделей реологического деформирования и доверительных интервалов для кривых ползучести;

– разработан комплекс программ, реализующих алгоритмы предлагаемых численных методов, который может быть использован при обработке экспериментальных данных при исследовании деформации ползучести и других процессах эволюции деформации элементов конструкций.

Значимость результатов, полученных в диссертации, для науки и практики. Представленная диссертация имеет важное как прикладное, так и теоретическое значение. Практическая ценность работы состоит в том, что, во-первых, применение алгоритмов предлагаемого численного метода на основе разностных уравнений обеспечивает высокую достоверность информации о напряженно-деформированном состоянии в наиболее нагруженных областях изделий и элементов конструкций. Во-вторых, применение разработанных в диссертации линейно-параметрических дискретных моделей в форме разностных уравнений и численных методов на их основе позволяет обеспечить высокую оперативность получения результатов оценивания, что позволяет рекомендовать разработанные алгоритмы вычислений для использования на стадиях «лавинной» ползучести, в областях разрушения материала. В-третьих, разработанное программное обеспечение под управлением операционной системы Windows может быть использовано при обработке результатов натурных экспериментов при исследовании деформации ползучести, раскрытию трещин, оценки энергетического состояния материала в области вершины трещины и т.п.

В теоретическом плане разработанный численный метод имеет более широкую область применения, чем класс нелинейных моделей реологического деформирования. Например, предлагаемый подход к решению задачи параметрической идентификации нелинейных математических моделей на основе разностных уравнений может быть эффективно использован в задачах параметрической идентификации механических, электротехнических, химических и других систем.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы. Основные результаты и выводы диссертационной работы

могут быть рекомендованы к использованию в научно-исследовательских учреждениях, проектно-конструкторских организациях и отраслевых предприятиях, а также при проведении научно-исследовательских работ и учебного процесса в Самарском национальном исследовательском университете имени академика С.П. Королева (443086, г Самара, Московское шоссе, 34), Ульяновском государственном техническом университете (432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32), Ульяновском государственном университете (432000, г. Ульяновск, ул. Льва Толстого, 42), Самарском государственном техническом университете (443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244).

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней. Тема диссертационной работы Макарова Р.Ю. в полной мере соответствует научной специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. По диссертации можно сделать вывод и о соответствии поставленных целей и полученных в ней научных и практических результатов.

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

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 16 научных статьях и тезисах научных конференций. Из них в ведущих рецензируемых научных изданиях, внесенных в Перечень журналов и изданий, утвержденных Высшей аттестационной комиссией, опубликовано 5 научных статей. Получено авторское свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «Программа расчета параметров моделей ползучести на основе разностных уравнений». Полученные научные результаты апробированы в достаточном объеме на различных научных конференциях и семинарах.

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 написана достаточно грамотно, имеет внутреннюю логику изложения, стиль и язык диссертации и автореферата удовлетворителен. Составитель проявил умение структурно-содержательно оформить выводы по работе, показать результативность проведенных исследований.

Замечания по содержанию и оформлению работы.

1. В обзоре по методам нелинейного оценивания недостаточно полно отражены последние работы, опубликованные в зарубежных и отечественных научных изданиях.

2. При вычислении среднеквадратичных оценок автор использует только метод нормальных уравнений, что существенно снижает вычислительную устойчивость при решении плохо обусловленных задач наименьших квадратов.

3. В формуле (3.81), лежащей в основе итерационной процедуры среднеквадратичного оценивания непонятно, что за матрица Ω , при каком условии она является невырожденной?

4. Заголовок рисунка 3.28 не соответствует изображенным на рисунке кривым.

5. Результаты проведенных исследований (стр.131,139) указывают на резкий рост погрешности оценок параметров при уменьшении периода дискретизации, что ограничивает величину используемого объема выборки результатов наблюдений. Однако в работе не исследуются причины этого явления и не предлагаются методы устранения этого недостатка.

Заключение по работе в целом.

Представленная диссертация является завершенной научно-исследовательской работой, в которой решена актуальная задача – разработан новый численный метод оценки параметров моделей реологического деформирования. В основе этого численного метода лежат новые линейно-параметрические дискретные модели, описывающие в форме разностных уравнений результаты наблюдений. Разработанный комплекс программ, реа-

лизующий алгоритмы численного метода, может быть использован при исследовании деформации ползучести в пределах всех трех стадий для различных материалов и элементов конструкций.

Сделанные замечания не снижают ценности диссертационной работы в целом.

Считаю, что диссертация Макарова Р.Ю. соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Официальный оппонент:

Заведующий кафедрой «Прикладная
математика» ФГБОУ ВО «Ульяновский
государственный университет»,
доктор физико-математических наук,
профессор

Бутов Александр Александрович

Подпись А.А. Бутова заверяю

Ученый секретарь УлГУ

О.А. Литвинко



Место работы: 432017, Ульяновск, ул. Толстого, 42

Адрес электронной почты: butov.a.a @google.com

Телефон: (8422) 372473