

## К 70-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ С.А. ШЕСТЕРИКОВА

В.И. Астафьев, Л.В. Степанова,<sup>1</sup> А.М. Локощенко<sup>2</sup>

### Аннотация

Член-корреспондент Российской академии наук Сергей Александрович Шестериков – известный ученый-механик, внесший большой вклад в развитие теории ползучести, теории оболочек и устойчивости упруговязкопластических систем, теории прочности и надежности элементов конструкций, активно работающий в различных новых направлениях механики деформируемого твердого тела. Его идеи имели и имеют принципиальное значение как в теоретическом плане развития данной науки, так и важное прикладное значение. С.А. Шестериков отличается широчайшей эрудицией, высокой математической культурой, глубоким пониманием сущности физического явления и умением грамотно сформулировать математическую задачу, блестяще интерпретировать полученные результаты. Подтверждением этому является неослабевающий интерес к идеям и результатам С.А. Шестерикова.

Сергей Александрович Шестериков родился 6 декабря 1930 г. в Москве. С 1949 по 1954 гг. С.А. Шестериков – студент механико-математического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова, который закончил с отличием. В 1954 - 1957 гг. С.А. Шестериков учится в аспирантуре механико-математического факультета МГУ под руководством академика Ю. Н. Работнова. В декабре 1957 г. следует защита кандидатской диссертации "Устойчивость при ползучести." После защиты диссертации С.А. Шестериков приступает к самостоятельной научно-педагогической деятельности и работает ассистентом кафедры теории пластичности механико-математического факультета МГУ. С января 1960 г. и по настоящее время С.А. Шестериков – заведующий лабораторией ползучести и длительной прочности Института механики МГУ. В 1968 г. он защитил докторскую диссертацию "Некоторые общие вопросы теории ползучести и задачи устойчивости," с 1969 г. – профессор кафедры теории пластичности МГУ. В 1972 г. С.А. Шестериков избран членом Национального комитета по теоретической и прикладной механике, в 70-80 гг. – председатель методической комиссии по разработке нормативно-технической документации при Комитете стандартов СССР. В 1990 г. С.А. Шестериков стал лауреатом Государственной премии РСФСР в области науки и техники. В том же 1990 г. С.А. Шестериков получил премию Минвуза СССР за монографию "Структура и прочность материалов при лазерных воздействиях." В 1998 г. С.А. Шестериков избран действительным членом Российской академии естественных наук. В 1999 г. С.А. Шестериков получил звание "Заслуженный деятель науки Российской Федерации," в 2000 г. избран членом-корреспондентом Российской академии наук. Руководимый им коллектив ученых признан ведущей научной школой страны. Тридцать учеников С.А. Шестерикова стали кандидатами наук, а пять – докторами наук. Им опубликовано три монографии, два учебника и более 150 научных статей.

С.А. Шестериков постоянно ведет большую педагогическую работу на механико-математическом факультете МГУ и в других вузах страны. С.А. Шестериков читал

<sup>1</sup> Астафьев Владимир Иванович, Степанова Лариса Валентиновна, кафедра механики сплошных сред Самарского государственного университета

<sup>2</sup> Локощенко Александр Михайлович, лаборатория ползучести и длительной прочности Института механики МГУ им. М.В. Ломоносова

циклы лекций и выступал с научными докладами на конференциях в США, Великобритании, Франции, Китае, Польше, Болгарии и других странах. Он является членом редколлегий различных академических журналов: "Известия РАН". "Механика твердого тела", "Прикладная математика и механика", "Реферативный журнал РАН Механика" и др.) На протяжении многих лет С.А. Шестериков является членом ученых советов по защите докторских диссертаций в различных организациях (механико-математический факультет МГУ, МГТУ им. Н.Э. Баумана, Институт машиноведения РАН, Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН).

Круг научных интересов С.А. Шестерикова широк и разнообразен. Ему принадлежат принципиально новые идеи в различных разделах механики деформируемого твердого тела: в теории ползучести, механике разрушения, устойчивости, теории пластичности. Им получены фундаментальные результаты в изучении особенностей деформирования и разрушения в экстремальных условиях различных типов материалов (металлы и сплавы, полимеры и композиты, строительные материалы и т.д.) и элементов машиностроительных конструкций. Его работы имеют как теоретическое, так и прикладное значение. Они применяются при расчетах лопаток турбин, в задачах непрерывной разливки сталей, при проектировании нефтяного оборудования, при прогнозировании длительной прочности энергетического оборудования на сотни тысяч часов, при расчетах терморазрушения материалов.

Существенен вклад С.А. Шестерикова в разработку теории устойчивости при ползучести. В мировой литературе используется термин "устойчивость по Работнову-Шестерикову." Им получены решения многочисленных задач по определению условий потери несущей способности различных элементов конструкций. Разработаны методы расчетов на устойчивость и выпучивание стержней, пластин и оболочек [2,5,8].

С.А. Шестериков предложил в задачах о выпучивании оболочек с различными начальными несовершенствами аппроксимировать срединную линию в виде сопряжения дуг окружностей. Эта геометрическая гипотеза позволила получить корректное решение широкого класса задач выпучивания при учете больших перемещений.

Существенен вклад С.А. Шестерикова в изучение вопросов длительного деформирования тел и исследование закономерностей процесса ползучести. В шестидесятые годы проблемы увеличения ресурса оборудования остро поставили перед исследователями задачи совершенствования существующих феноменологических теорий деформирования и разрушения при ползучести с учетом кинетики развития микромеханизмов процесса разрушения. В практическом отношении наиболее перспективными оказались теории типа теории Ю.Н. Работнова со структурными параметрами, характеризующими меру поврежденности, и системой кинетических уравнений, описывающей процесс накопления поврежденности. Эти теории удобно применять к длительным экспериментам на ползучесть, поскольку они позволяют учитывать полиморфизм микроразрушения при ползучести. Цикл работ С.А. Шестерикова [19,21,23] посвящен конкретизации определяющих и кинетических уравнений. Модель Ю.Н. Работнова, развитая в работах С.А. Шестерикова, значительно расширила возможности применявшихся ранее теорий разрушения при ползучести.

С.А. Шестериков провел комплексное экспериментально-теоретическое исследование различных особенностей процесса ползучести при одноосном и сложном напряженном состояниях, на основе которого даны оценки длительной прочности конструкционных материалов и методы определения накопленной поврежденности в структуре материала. В целом имеется относительно немного надежных экспериментальных данных по ползучести и длительной прочности металлов в условиях

сложного напряженного состояния, что объясняется технической сложностью задач такого рода. Вследствие ограниченности и разрозненности фактического материала вопрос о формулировке механического уравнения состояния и кинетических уравнений, позволяющих учесть процесс разрушения в условиях сложного напряженного состояния, оставался открытым. Для оценки применимости некоторых известных критериев длительной прочности в Институте механики МГУ под руководством С.А. Шестерикова были проведены эксперименты.

Осуществлен большой ряд принципиально новых установок, при этом предложены новые методы измерений и созданы уникальные типы машин для проведения испытаний в нестандартных условиях. На этом оборудовании обнаружен ряд неизвестных ранее особенностей протекания процесса ползучести. Им впервые проведено исследование влияния величины рабочей длины образцов на длительную прочность при растяжении и дано объяснение полученных результатов на основе учета микроструктурной неоднородности материала. Исследовано влияние концентрации напряжений на длительную прочность и дана интерпретация полученных результатов. Разработан новый метод измерения поврежденности материалов с помощью использования металлографических данных; на основе этих методов экспериментально обосновано монотонное убывание предельной поврежденности с ростом напряжения.

С.А. Шестериков провел комплекс исследований длительной прочности металлов при сложном напряженном состоянии. Проведены уникальные испытания коррозионно-стойкой стали 12Х18Н10Т на длительную прочность [19]. Для описания ползучести при сложном напряженном состоянии предложен принципиально новый параметр поврежденности, проявляющийся как скалярные, так и квазивекторные свойства. Предложен метод выбора критерия длительной прочности при сложном напряженном состоянии, имеющий статистическую природу. Предложен критерий длительной прочности в виде кусочно-линейной комбинации главных напряжений. Впервые исследовано явление виброползучести металлов при сложном напряженном состоянии (рассмотрены условия, приводящие к резкому возрастанию процесса ползучести, и обнаружено насыщение этого эффекта) [15].

Результаты этих теоретико-экспериментальных исследований стали основой, по-видимому, единственного на русском языке издания "Закономерности ползучести и длительной прочности" [23], содержащего богатый экспериментальный материал и методику его обработки по определению материальных констант механических и кинетических уравнений, времени до разрушения конструкционных материалов.

С.А. Шестериковым предложен новый мелко-линейный закон ползучести и длительной прочности [25], который в отличие от стандартных моделей дополнительно учитывает наличие предельного напряжения, линейную ползучесть при малых напряжениях, предел ползучести, различие свойств материала при растяжении и сжатии. Этот закон, имеющий четкую физическую интерпретацию, позволил учесть особенности поведения металлов при нестационарном нагружении и получить решение цикла задач в простой наглядной форме. Для данного закона ползучести решены краевые задачи о стационарной трещине в условиях ползучести и найдены новые асимптотики скоростей деформаций ползучести с дискретным изменением показателя сингулярности в зависимости от полярного угла [32–34].

Значителен вклад С.А. Шестерикова в исследование нестационарного распространения температуры в сплошной среде и вызываемого им терморазрушения [31,36]. Это исследование основано на развитии приближенных методов решения уравнения теплопроводности, использующих введение движущегося температурного фронта в

произвольном трехмерном теле. Предложенный подход нашел широкое применение при анализе терморазрушения твердых тел при лазерной обработке поверхностей.

Практическая значимость научной деятельности С.А. Шестерикова связана с существенным повышением достоверности оценок полей напряжений, деформаций, скоростей деформаций и поврежденности в конструкциях при ползучести, возможности оценки фактических коэффициентов запаса по длительной прочности, снижением металлоемкости конструкций из дорогостоящих высоколегированных сталей и сплавов, разработкой нормативно-технической документации по методам расчета на прочность и испытаний материалов в условиях ползучести.

Научно-педагогическая деятельность С.А. Шестерикова оказала существенное влияние на становление и развитие исследований по ползучести и длительной прочности металлов в Самарском государственном университете и других вузах Самары. В 1975 г. в Самарский госуниверситет (в то время Куйбышевский госуниверситет) был распределен выпускник аспирантуры МГУ В.И. Астафьев, работавший над кандидатской диссертацией под руководством С.А. Шестерикова. Следует отметить, что конец 70-х – начало 80-х годов характеризовались активной научной жизнью ученых-механиков. В Самару приехал молодой талантливый доктор наук Г.И. Быковцев. СамГУ поддерживал тесные связи с КБ автоматизированных систем (ген. директор И.А. Бережной). Ежегодно проводились школы - семинары по механике деформируемого твердого тела, куда приезжали ведущие ученые из многих городов России, такие как Г.П. Черепанов, К.Ф. Черных, Д.Д. Ивлев, на лекциях которых, в дискуссиях после лекций проходило формирование научной школы по механике деформированного твердого тела СамГУ. Среди участников школ был и С.А. Шестериков, полемичные, бескомпромиссные выступления которого заставили по-новому взглянуть на развитие теории ползучести и длительной прочности.

В результате таких дискуссий и обсуждений на кафедре механики сплошных сред СамГУ (в то время - кафедре механики деформируемого твердого тела) сформировалось новое научное направление – механика разрушения в условиях ползучести, которое объединило подходы теории ползучести, длительной прочности и механики разрушения (теории трещин). Двадцатилетняя история развития данного направления показала его эффективность, научную и практическую значимость. Молодые выпускники кафедры механики сплошных сред СамГУ В.А. Пастухов и Л.В. Степанова прошли обучение в аспирантуре МГУ у С.А. Шестерикова и, защитив кандидатские диссертации, вернулись на кафедру (В.А. Пастухов в настоящее время работает профессором университета штата Сан-Пауло, Бразилия). Исследования профессора кафедры МСС Ю.Н. Радаева достаточно тесно связаны с направлением работы научной школы Ю.Н. Работнова и С.А. Шестерикова. В 2000 г. по материалам этих исследований Ю.Н. Радаев защитил докторскую диссертацию. На кафедре МСС под руководством В.И. Астафьева защищены кандидатские диссертации О.А. Логинова, Л.К. Ширяевой. Направление исследований кафедры входит в программу работы научной школы академика Ю.Н. Работнова и С.А. Шестерикова, поддержано несколькими грантами РФФИ и МНФ (Фонд Сороса), губернской премией в области науки и техники.

В рамках научной школы академика Ю.Н. Работнова и С.А. Шестерикова в СамГУ проводятся исследования связанных задач механики поврежденности и теории ползучести по оценке напряженно-деформированного состояния в окрестности вершины как стационарной, так и растущей трещины, влияния процессов накопления поврежденности на напряженно-деформированное состояние, прогнозирования скорости роста трещин в условиях ползучести в среде с поврежденностью. Цикл

работ В.И. Астафьева и его учеников посвящен также изучению накопления поврежденности в металлах в условиях коррозионного растрескивания под напряжением, исследованию асимптотик напряжений и скоростей деформаций в окрестности вершин трещин для дробно-линейного закона ползучести, предложенного С.А. Шестериковым, оценке распределения напряжений вблизи вершины наклонной трещины в нелинейной механике разрушения. Актуальность и перспективность данного научного направления подтверждается еще и тем, что в практике проектирования и расчета элементов конструкций в настоящее время наблюдается тенденция перехода от проектирования "по текущему состоянию" к проектированию "по текущей поврежденности." Переход к новой идеологии проектирования и расчета говорит о том, что те фундаментальные исследования, которые выполнялись и выполняются сейчас, завтра будут включены в нормативно-методическую документацию по проектированию и расчету элементов конструкций. Это еще раз подчеркивает научную интуицию С.А. Шестерикова, поддержавшего и поддерживающего новые научные направления в области механики деформируемого твердого тела.

## Список основных трудов С.А. Шестерикова

- [1] Шестериков С.А. Об одном вариационном принципе в теории ползучести // Известия ОТН. 1957. N. 2.
- [2] Шестериков С.А., Работнов Ю.Н. Устойчивость стержней и пластинок в условиях ползучести // Прикл. матем. и механика. 1957. Т. 21. N. 3.
- [3] Shesterikov S.A., Rabotnov Yu. N. Creep stability of columns and plates // J. Mech. and Phys. of Solids. 1957.
- [4] Шестериков С.А. Об одном условии для законов ползучести // Изв. ОТН, Механика и машиностроение. 1959. N. 1.
- [5] Шестериков С.А. О критерии устойчивости при ползучести // Прикл. матем. и механика. 1959. Т. 23. N. 6.
- [6] Шестериков С.А. Расчет дисков на релаксацию // ПМТФ. 1960. N. 1.
- [7] Шестериков С.А. К построению теории идеально-пластического тела // Прикл. матем. и механика. 1960. Т. 24. N. 3.
- [8] Шестериков С.А. Динамический критерий устойчивости при ползучести стержней // ПМТФ. 1961. N. 1.
- [9] Шестериков С.А. Устойчивость прямоугольных пластинок при ползучести // ПМТФ. 1961. N. 3.
- [10] Шестериков С.А. Выпучивание при ползучести // Прикл. матем. и механика. 1961. N. 4.
- [11] Шестериков С.А. Устойчивость пластинок при ползучести по теории течения // ПМТФ. 1961. N. 5.
- [12] Шестериков С.А., Бронский А.Н. Динамическая прочность строительных материалов при средних скоростях деформаций // ПМТФ. 1962. N. 5.
- [13] Шестериков С.А. Выпучивание при ползучести с учетом мгновенных пластических деформаций // ПМТФ. 1963. N. 3.
- [14] Шестериков С.А. Приближенный метод расчета на выпучивание при ползучести // ПМТФ. 1963. N. 5.
- [15] Шестериков С.А., Локощенко А.М. О виброползучести // Инж. журнал МТТ. 1966. N. 3.
- [16] Шестериков С.А. Выпучивание вязкоупругого идеально хрупкого стержня // Инж. журнал МТТ. 1966. N. 5.
- [17] Шестериков С.А., Ванько В.И. Сплющивание кольца в условиях ползучести // Инж. журнал МТТ. 1966. N. 5.
- [18] Шестериков С.А., Мякотин Е.А. Установка на девять трубчатых образцов для исследования длительной прочности металлов при сложном напряженном состоянии // Научн.тр. Ин-та мех. 1977.
- [19] Шестериков С.А., Мякотин Е.А. Ползучесть и длительная прочность стали 12Х18Н10Т в условиях сложного напряженного состояния // Изв. АН СССР. Мех. твер. тела. 1979. N. 4.
- [20] Шестериков С.А., Локощенко А.М. Ползучесть и длительная прочность. М.: Наука, 1980.
- [21] Шестериков С.А., Мельников Г.П., Аршакуни А.Л. К выбору уравнений состояния при ползучести // Проблемы прочности. 1980. N. 6. С. 77-81.
- [22] Шестериков С.А., Локощенко А.М. Устойчивость при ползучести // Изв. АН СССР. Мех. твер. тела. 1981. N. 5.
- [23] Закономерности ползучести и длительной прочности: Справочник/ Под общ. ред. С.А. Шестерикова. М.: Машиностроение, 1983. 102 с.

- [24] Дачева М.Д., Шестериков С.А. Модельное представление предельной деформации при ползучести // ПМТФ. 1984. N.4.
- [25] Шестериков С.А., Юмашева М.А. Конкретизация уравнения состояния в теории ползучести // Изв. АН СССР. Мех. твер. тела. 1984. N. 1.
- [26] Бахарев М.С., Шестериков С.А. Структура и прочность материалов при лазерных воздействиях. М.: Изд-во МГУ. 290 с.
- [27] Керштейн И.М., Ключников В.Д., Ломакин Е.В., Шестериков С.А. Основы экспериментальной механики разрушения. М.: Изд-во МГУ. 142 с.
- [28] Шестериков С.А., Локощенко А.М. Ползучесть металлов при сложном напряженном состоянии. М.: Изд. МГУ. 22 с.
- [29] Шестериков С.А., Юмашева М.А. Разрушение композиционных материалов // Проблемы удара, разрушения и технологии. 1990. N. 4.
- [30] Шестериков С.А., Локощенко А.М. Сплюсчивание цилиндрических оболочек // Изв. АН СССР. Мех. твер. тела. 1992. N. 5. С. 144-149.
- [31] Деформирование и разрушение твердых тел: Сб. трудов/ Под ред. С.А. Шестерикова. М.: Изд-во МГУ. 120 с.
- [32] Астафьев В.И., Степанова Л.В., Шестериков С.А. Асимптотика напряженно-деформированного состояния в окрестности вершины трещины // Вестник СамГУ. 1995. Спец. вып. С.59-64.
- [33] Шестериков С.А., Степанова Л.В. Анализ напряженно-деформированного состояния в окрестности вершины трещины для дробно-линейного закона ползучести // Изв. РАН. Мех. твер. тела. 1995. N. 1. С.96-103.
- [34] Astafjev V. I., Shesterikov S. A., Stepanova L. V. Crack tip asymptotic character of anti-plane stress and strain rate for linear-fractional constitutive relations// Theor. and Appl. Fracture Mech. 1996. V. 24. No. 3. P. 263-268.
- [35] Шестериков С.А., Локощенко А.М. Моделирование влияния окружающей среды на ползучесть и длительную прочность // Изв. РАН. Мех. твер. тела. 1998. N. 6. С.121-131.
- [36] Shesterikov S.A., Yumasheva M.A. Instability of thermal fracture at restrained deformation//J. fracture and fatigue. 1999. No. 12. P.1-6.