
МЕХАНИКА



НАУЧНАЯ ШКОЛА АКАДЕМИКА Ю.Н. РАБОТНОВА (К 85-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)

В.И. Астафьев¹, Е.В. Ломакин², А.Н. Полилов³, С.А. Шестериков⁴

Академик Юрий Николаевич Работнов (1914-1985) — выдающийся ученый-механик, внесший принципиальный вклад в развитие теории упругости и пластичности, теории оболочек и устойчивости упруго-вязкопластических систем, теории ползучести металлов и наследственной теории упругости, которые нашли широкое применение при расчете и проектировании конструкций. Он активно работал в новых направлениях механики разрушения, механики поврежденности и механики композиционных материалов. Трудно найти область механики деформируемого твердого тела, где Ю.Н. Работнову не удалось бы оставить заметного следа. Его всегда отличали поразительное ощущение нового,

¹Астафьев Владимир Иванович, кафедра механики сплошных сред Самарского государственного университета

²Ломакин Евгений Викторович, кафедра теории пластичности Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова

³Полилов Александр Николаевич, лаборатория механики композиционных материалов Института машиноведения РАН

⁴Шестериков Сергей Александрович, отдел длительной прочности Института механики МГУ им. М.В. Ломоносова

умение блестяще сформулировать задачу и эффектно изложить полученные результаты. Высокая общая и математическая культура, широчайшая эрудиция, разумное сочетание тонкой теории и тщательной экспериментальной проверки привели к тому, что еще при жизни Ю.Н. Работнов по праву занял место в плеяде классиков механики, таких как С.П. Тимошенко, Н.И. Мусхелишвили, А.Н. Крылов, В.В. Новожилов и др. Подтверждением тому является нестареющий интерес к его идеям, результатам. А книги? Несмотря на неоднократное переиздание, их не встретишь на полках магазинов, зато они на столе почти у каждого ученого-механика и прочниста.

Ю.Н. Работнов родился 24 февраля 1914 года в Нижнем Новгороде в семье учителя гимназии, члена Петербургского астрономического общества. Он получил хорошее образование, с детства как родной знал французский язык, прекрасно владел английским, немецким, в дальнейшем самостоятельно изучил еще ряд языков. После окончания в 1935 г. механико-математического факультета МГУ он приступил к преподавательской и научной работе. В 1946 г. защитил докторскую диссертацию и стал профессором МГУ, одновременно возглавляя лабораторию прочности в Институте механики АН СССР. В 1953 г. Ю.Н. Работнов создает и возглавляет (до последних дней жизни) кафедру теории пластичности на механико-математическом факультете МГУ. В том же году он избирается членом-корреспондентом, а в 1958 г. — действительным членом АН СССР. С 1958 по 1965 гг. научная и организационная деятельность Ю.Н. Работнова сосредоточена в Новосибирском Академгородке, где он является заместителем М.А. Лаврентьева на посту директора Института гидродинамики СО АН СССР, возглавляет в нем лабораторию и кафедру теории упругости и пластичности в Новосибирском государственном университете.

В 1965 г. Ю.Н. Работнов возвращается в Москву, продолжает руководить кафедрой теории пластичности в МГУ и возглавляет лабораторию прочности машиностроительных материалов в Институте машиноведения АН СССР (ИМАШ), которая в 1975 г. была переименована в лабораторию механики разрушения (одна из первых в стране с таким современным названием). Ю.Н. Работнов возглавил также специализированный диссертационный совет в ИМАШ, Научный совет ГКНТ "Конструкционная прочность и разрушение", работал в Комитете по Ленинским и Государственным премиям, а также на посту заместителя председателя общества "Знание" РСФСР. Высочайший авторитет среди ученых механиков выразился в многолетнем исполнении Ю.Н. Работновым обязанностей академика-секретаря Отделения механики и процессов управления АН СССР. Научно-педагогическая и общественная деятельность Ю.Н. Работнова отмечена орденами Октябрьской революции, Дружбы народов, трудового Красного Знамени, "Знак Почета" и медалями. Мировое признание было не меньшим. Совместно с Т. Якобори Ю.Н. Работнов создает Международный конгресс по разрушению (International Congress on Fracture — ICF), избирается его вице-президентом и одним из директоров, а в последствие — почетным Президентом конгресса.

Многие оригинальные идеи и результаты Ю.Н. Работнова послужили основой для новых научных направлений, развиваемых его учениками и последователями. Ранние результаты Ю.Н. Работнова относятся к технической теории оболочек, к исследованию в них краевого эффекта и явлений локальной неустойчивости. Разработанные им методы тензорного анализа применительно к безмоментным оболочкам позволили ввести специальную систему координат для эффективного расчета таких оболочек.

Теоретические и экспериментальные исследования Ю.Н. Работнова внесли существенный вклад в теорию упругопластических сред. Тщательно поставленные

эксперименты и точные теоретические решения доказали непротиворечивость упругопластических моделей с коническими особенностями на поверхности нагружения, позволили определить границы применимости деформационной теории пластичности. Созданные под его руководством испытательные установки позволили проводить динамические испытания при скоростях, меняющихся на 6–10 порядков. Теория Ю.Н. Работнова, основанная на понятии мгновенной кривой деформирования, позволила объяснить явление запаздывания текучести в сталях и сплавах, решить ряд фундаментальных задач динамики упругопластических сред. К новому взгляду на вопросы устойчивости упругопластических систем привели исследования Ю.Н. Работнова по потере устойчивости стержней за пределом упругости, уточнить истинный смысл концепции продолжающегося нагружения Шенли.

Основной вклад Ю.Н. Работнов внес в теорию ползучести металлов и сплавов. По мере роста эксплуатационной температуры и нагрузки время безопасной эксплуатации элементов конструкций энергетического и другого оборудования стало определяться происходящими в них процессами ползучести и накопления поврежденности. В 1948 г. доклад Ю.Н. Работнова на сессии отделения технических наук АН СССР во многом определил дальнейшее развитие феноменологической теории ползучести. Принципиальное значение для будущего развития теории ползучести и длительной прочности имело введение им в 1959 г. в определяющие уравнения теории ползучести структурного параметра (параметра поврежденности), для которого были предложены соответствующие кинетические уравнения. Как отмечают член-корреспондент РАН Н.Ф. Морозов и профессор А.А. Вакуленко — "Наряду с Л.М. Качановым Юрий Николаевич положил начало Damage Mechanics — отрасли механики сплошных сред, без которой немыслим сейчас прогресс науки о прочности и разрушении твердых тел. И хотя первая работа Юрия Николаевича в этом направлении вышла немного позже первой работы Л.М. Качанова (1958), постановка проблемы в ней была более глубокой и отражала возможность существенного во многих случаях взаимовлияния реологии материала тела и его микроповрежденности".

Одновременно Ю.Н. Работнов с сотрудниками начал развивать теорию кратковременной ползучести металлов при высоких температурах с учетом мгновенного нелинейного деформирования. Создание основ теории нелинейной ползучести сопровождается разработкой методов решения задач и интенсивными экспериментальными исследованиями. К классическим результатам можно отнести также вопросы теории устойчивости элементов конструкций при нелинейной ползучести, где в качестве критерия устойчивости выступает условие достижения величиной скорости деформации или поврежденности неограниченного значения. Важное место занимает распространение Ю.Н. Работновым вариационных методов на решение задач о ползучести элементов конструкций.

Первые работы в области наследственной теории упругости показывают гениальную научную интуицию Ю.Н. Работнова. Развитие теории Вольтерра казалось в конце 40-х годов красивыми, но далекими от практики математическими упражнениями. Однако предложенные Ю.Н. Работновым интегральные операторы на основе дробно-экспоненциального ядра (так называемые Э-функции), разработка алгебры таких операторов позволили хорошо описать как непосредственные экспериментальные результаты по ползучести полимерных и композиционных материалов, так и предложить эффективные методы и алгоритмы решения краевых задач.

Ю.Н. Работнов одним из первых обратил внимание на плодотворность феноменологических подходов к анализу разрушения конструкций в сложных режимах нагру-

жения — высокие температуры, длительные статические и циклические нагрузки в условиях неоднородного поля напряжений и под воздействием коррозионно-активных сред. На этом пути им построена одна из первых теоретических моделей коррозионного растрескивания под напряжением и длительного разрушения материала в коррозионной среде. Строгая математическая модель, описывающая ряд явлений длительного разрушения при ползучести, была разработана Ю.Н. Работновым для оценки опасности разрушения в зонах концентрации напряжений (в том числе и у вершины трещины). Разработанный Ю.Н. Работновым принцип наследственности нашел успешное применение в задачах длительного разрушения в условиях переменных температур, влажности, вибрационного нагружения.

Широчайший научный кругозор и научное предвидение позволило Ю.Н. Работнову точно оценить перспективность тех или иных научных направлений. Еще в 1972 г. на XIII Международном конгрессе по теоретической и прикладной механике он указал наиболее перспективные направления в механике твердого деформируемого тела. Это проблема разрушения крупногабаритных конструкций из металлов, механика докритического развития трещин, получившие особую актуальность в связи с развитием атомной энергетики и освоением районов Крайнего Севера, а также механика композиционных материалов. Именно эти проблемы были признаны Президиумом АН СССР в конце 70-х годов основными в области теории прочности и механики разрушения и именно этими проблемами занимается Ю.Н. Работнов с сотрудниками в последние годы. Удивительное умение Ю.Н. Работнова увидеть новое в области механики композиционных материалов и поставить красивые математические задачи, отражающие механический смысл исследуемого явления, позволило получить важные результаты, существенно влияющие на развитие механики композитов. Так, под руководством Ю.Н. Работнова выполнены фундаментальные исследования по статистической природе прочности углеродных волокон в композите, исследованы задачи об эффективных свойствах композитов, критерии предельного состояния для разориентированных композитов, о накоплении в них поврежденности в виде разрывов волокон, о развитии в них дефектов типа расслоений и расщеплений.

Научные исследования Ю.Н. Работнова нашли свое наиболее полное воплощение в монографиях, ставших классическими и переведенных на ряд иностранных языков. Монография "Ползучесть элементов конструкций" 1966 г. издания [1], ставшая библиографической редкостью, во многом определила направления научных исследований в области феноменологической теории ползучести и длительной прочности, как в нашей стране, так и за рубежом. Изданная в 1997 г. монография "Элементы наследственной механики твердых тел" [2], содержит развитие теории наследственной механики Больцмана-Вольтерра, доведенное до возможностей ее практического применения в задачах о длительном или скоростном деформировании металлов, полимеров и композитов и дополняет изданные ранее "Таблицы дробно-экспоненциальной функции отрицательных параметров и интеграла для нее" [3], которые являются справочником при расчетах изделий на ползучесть. Монография "Кратковременная ползучесть" [4] включила в себя результаты теоретических и экспериментальных исследований по кратковременной ползучести и длительной прочности, выполненные после 1966 г. В 1991 г. Институт машиноведения РАН издал избранные труды Ю.Н. Работнова "Проблемы механики деформируемого твердого тела" [5], в которые были включены только индивидуальные работы автора, и которые, как правило, являлись в дальнейшем основой для новых научных направлений.

Учебники для студентов университетов "Соппротивление материалов" [6] и "Механика деформируемого твердого тела" [7] характеризуют Ю.Н. Работнова как пре-

красного лектора и педагога, умеющего чрезвычайно простым и доступным языком изложить самые сложные физические явления, дать им строгую, но вполне понятную математическую интерпретацию. Сущность педагогического подхода Ю.Н. Работнова отражена во введении к учебнику [7], где он отмечает, что "Механика сплошной среды — это феноменологическая теория, стремящаяся найти адекватное математическое описание совокупности опытных фактов, устанавливаемых макроэкспериментом. Для механика недостаточно написать определяющие уравнения, нужно уметь их решать при данных граничных условиях и решать возможно точно. Поэтому та картина, которую строит механик, может иногда показаться чрезмерно упрощенной. Но механик вынужден блуждать между Сциллой и Харибдой; с одной стороны, его уравнения должны достаточно точно отражать действительность, с другой — быть доступными к интегрированию". Фундаментальный труд "Механика деформируемого твердого тела" представляет собой объединение теории упругости, пластичности, ползучести, механики разрушения и механики композиционных материалов, которые рассматриваются с единых позиций механики сплошной среды. Глубина и полнота изложения проблем, в каждую из которых Ю.Н. Работнов внес свои оригинальные идеи, ставят данное издание в ряд выдающихся произведений российских ученых, а компактность и широта охвата материала делают этот труд энциклопедическим. Данная книга, как и другие книги Ю.Н. Работнова стали настольными для огромной массы студентов, аспирантов, ученых-механиков и инженеров-расчетчиков.

Осуществляя постоянную активную связь науки с промышленностью, Ю.Н. Работнов в то же время одной из основных задач Академии наук считал научные публикации и этой работе он уделял большое внимание, являясь редактором многих переводных изданий, членом редколлегии журналов "Вестник Московского университета", "Прикладная математика и механика", "Известия АН СССР. МТТ", "Машиноведение", "Механика композитных материалов", реферативного журнала "Механика", главным редактором журналов "Известия АН СССР. ОТН", "Прикладная механика и техническая физика".

Работа Ю.Н. Работнова в системе высшей школы и Академии наук позволяла ему привлекать к научным исследованиям своих университетских учеников, молодых студентов и аспирантов Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Новосибирского государственного университета, что обеспечивало высокий теоретический уровень научных работ и давало молодым ученым конкретную практическую направленность в их исследованиях. За долгие годы работы под его руководством и при его участии многие ученые защитили кандидатские и докторские диссертации, получили поддержку в своей научной и педагогической карьере, заняли видное место в области механики деформируемого твердого тела и с гордостью причисляют себя к научной школе Ю.Н. Работнова. К ним относятся ведущие доктора наук С.А. Шестериков, А.М. Локощенко, В.Д. Ключников, Н.И. Малинин, Е.В. Ломакин, Л.П. Исупов, А.Н. Полилов, А.В. Березин, Ю.В. Суворова, Ю.В. Немировский, Б.Д. Аннин, О.В. Соснин, И.Ю. Цвелодуб, И.Ф. Образцов, А.А. Мовчан, Ю.М. Тарнопольский, В.П. Тамуж, С.Т. Милейко, Г.И. Брызгалин, Д.Д. Ивлев, Г.И. Быковцев, В.И. Астафьев и многие другие. Ученики Ю.Н. Работнова продолжают работать в Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова, Институте механики МГУ, Институте машиноведения РАН, Московском авиационном институте (техническом университете), Новосибирском государственном университете, Институте гидродинамики СО РАН, других учебных и научных организациях в России и за рубежом.

Значительную роль сыграл Ю.Н. Работнов в возникновении и становлении школы механиков в Самарском государственном университете. А началось все, как может показаться, со случайного, малозаметного события. Вот как об этом вспоминает бывший с 1973 по 1977 гг. ректором Самарского (в то время Куйбышевского) государственного университета д.ф.-м.н., профессор С.И. Мешков. "Мне повезло быть стажером кафедры теории пластичности мехмата МГУ и работать над докторской диссертацией под руководством Юрия Николаевича. Из многочисленных встреч вспоминается такой случай. В перерыве факультетского собрания он спросил: "Как Ваши дела?". Я ответил, что пытаюсь применить его теорию о подобии изохронных кривых ползучести к динамическим задачам, связанным с внутренним трением. Последовал вопрос: "Известна ли Вам работа японского ученого Накады по нелинейной теории отклика?". Пришлось "покраснеть", я не был знаком с этими результатами. Он посоветовал прочитать эту работу и высказать свое мнение к следующему семинару кафедры. Перед семинаром я показал Юрию Николаевичу ход мыслей автора статьи. Выслушав меня, Юрий Николаевич сказал: "Пошли на семинар". У меня создалось впечатление, что он отнесся равнодушно к результатам статьи и проделанным мною подробным вычислениям. Однако в ближайшее время он познакомил меня со своим студентом Владимиром Астафьевым, выполнявшим тогда курсовую работу по смежным вопросам. Я понял, что у Юрия Николаевича интерес к проблеме не пропал и занялся развитием идей этой статьи совместно с теорией изохронности кривых ползучести и применением знаменитых дробно-экспоненциальных функций Ю.Н. Работнова. Результаты не замедлили сказаться и были опубликованы в академическом журнале⁵. Развитие этих идей продолжается и в настоящее время..."

Развитие получила не только идея, поддержанная и одобренная Ю.Н. Работновым. Через несколько лет по рекомендации и поддержке Ю.Н. Работнова молодой доктор наук С.И. Мешков назначается ректором недавно открытого в г. Куйбышеве государственного университета и в 1974 г. создает в университете кафедру механики деформируемого твердого тела (ныне — кафедра механики сплошной среды). На кафедру приглашаются молодые выпускники аспирантуры кафедры теории пластичности МГУ В.И. Астафьев и Т.Б. Лаврова, из Воронежа приезжают талантливые ученики Д.Д. Ивлева Г.И. Быковцев и В.В. Дудукаленко, из МФТИ приезжает выпускник аспирантуры Е.Н. Кожевников, аспиранты и сотрудники других вузов. Создается костяк кафедры, которая за 25 лет своего существования превратилась в сильный научный коллектив, развивающий идеи Ю.Н. Работнова в области теории пластичности, ползучести, механики разрушения, теории накопления поврежденности в элементах конструкций, подверженных воздействию высокой температуры, а также внешней коррозионной среды. Научные исследования кафедры были поддержаны грантами Международного научного фонда (Фонд Сороса), Российского фонда фундаментальных исследований и Минобразования России. На кафедре работает аспирантура и диссертационный совет по специальности 01.02.04 — механика деформируемого твердого тела. Сотрудники кафедры В.А. Пастухов, Ю.Н. Радаев, Л.В. Степанова проходили обучение в аспирантуре кафедры теории пластичности мехмата МГУ, в Институте механики МГУ, Институте проблем механики РАН, стажировку в университетах г. Сан-Паулу (Бразилия), г. Нагоя (Япония), Сорбонны (г. Париж, Франция), Королевском технологическом институте (г. Стокгольм, Швеция). Совместно с сотрудниками кафедры теории пластичности и Института механики МГУ сотрудники кафедры МСС СамГУ входят в состав научной школы

⁵ Астафьев В.И., Мешков С.И. Вынужденные колебания полубесконечного стержня из нелинейного наследственно-упругого материала // Известия АН СССР. МТТ. 1970. 4. С. 93-98.

по определяющим соотношениям теории ползучести и длительной прочности, задачам устойчивости и развития разрушения, поддержанной грантом РФФИ (научный лидер школы — д.ф.-м.н., профессор С.А. Шестериков, основатель школы — академик Ю.Н. Работнов).

Монографии и учебники, написанные Ю.Н. Работновым

- [1] Работнов Ю.Н. Ползучесть элементов конструкций. — М.: Наука, 1966. — 752 с.
- [2] Работнов Ю.Н. Элементы наследственной механики твердых тел. — М.: Наука, 1977. — 383 с.
- [3] Таблицы дробно-экспоненциальной функции отрицательных параметров и интегралов для нее.
- [4] Работнов Ю.Н., Милетко С.Т. Кратковременная ползучесть. — М.: Наука, 1970. — 222 с.
- [5] Проблемы механики деформированного твердого тела
- [6] Работнов Ю.Н. Сопротивление материалов — М.: Физматгиз, 1962. — 456 с.
- [7] Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела. — М.: Наука, 1979. — 744 с.