

ПЕРСОНАЛИИ

DOI: 10.24888/2500-1957-2020-3-129-138

УДК
531, 908
**Л.М. КАЧАНОВ – УЧИТЕЛЬ, ИССЛЕДОВАТЕЛЬ,
УЧЁНЫЙ С МИРОВЫМ ИМЕНЕМ**
Марк Лазаревич Качанов
профессор
Mark.Kachanov@tufts.edu

Тафт университет (США)

Ирина Ивановна Демидова
к.ф.-м. н, ст.н.с.
maria_ib@mail.ru
г. Санкт-Петербург
Санкт-Петербургский государственный
университет

Аннотация. Собраны материалы по биографии Л.М. Качанова. Отмечается преданность учёного выбранного направления в науке, широта и глубина его исследований. Обсуждаются его методы обучения и руководства студентами и аспирантами.

Ключевые слова: руководство кафедрой и научной работой студентов и аспирантов, преподавание основ механики деформируемого твёрдого тела, теории пластичности и ползучести, механики разрушения.

Лазарь Маркович Качанов (1914 - 1993) — выдающийся советский механик, крупнейший специалист в области теории пластичности, ползучести, теории прочности и механики разрушения (рис.2).

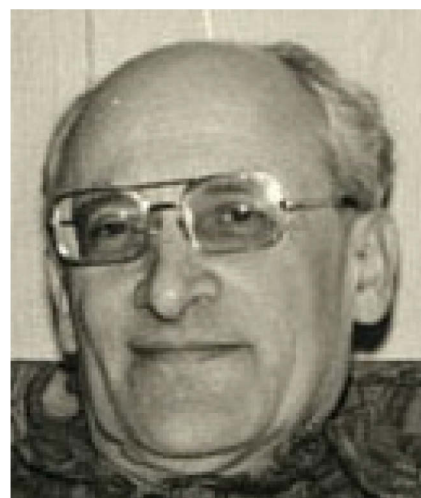


Рис. 1. Л.М. Качанов, 1945 г. Рис. 2. Л.М. Качанов, 1970 г. Рис. 3. Л.М. Качанов, 1990 г.

Лазарь Качанов в возрасте 15 лет, чтобы помочь семье, начал работать на заводе рабочим по металлу. В 1932 году он поступил в Ленинградский Государственный

Университет (ЛГУ) на математико-механический факультет, который закончил в 1938 году. До марта 1940 года он работал Центральном котлотурбинном институте ЦКТИ, а затем был сотрудником Научно-Исследовательского Института Математики и Механики (НИИММ) ЛГУ.

Введение

Металлы начали использовать люди с давних времён. Одним из первых металлов была медь – мягкий податливый материал, который можно было ковать холодным. Со временем из меди делали орудия для защиты и труда, украшения. Позже увеличилось число материалов, с которыми работали мастера. Фактически мастера при обработке металлов давлением использовали явление образования остаточных напряжений и деформаций после снятия воздействия на металл. Это явление относят к свойству пластичности материалов. С 17 века для идеально упругих тел принималось, что зависимость между напряжением и деформацией линейная, согласно закону Гука (1678). Дж.Блэк в своей монографии «Экспериментальные основы механики деформируемых тел, т.2. с.5» отметил, что первым нелинейность механических свойств кетгутовых струн при деформировании наблюдал Якоб Бернулли в 1694 г. После эксперимента сам Я. Бернулли и Г. Лейбниц и другие исследователи предложили свои аналитические функции для описания механических свойств кетгута. Бернулли предложил параболическую зависимость, а Лейбниц – гиперболическую.

Экспериментаторы с конца 17 века продолжали исследование свойств других материалов, отыскивая области с нелинейными свойствами материала. В связи с постройкой и эксплуатацией железных дорог, мостов и железного судостроения в 19 веке в Европе были открыты лаборатории для исследования механических свойств материалов, в основном, железа. В 1849 году Британская Королевская комиссия по железу рекомендовала учитывать пластические свойства железа, а не использовать в расчётах только закон Гука.

Для металлов французский инженер Анри Эдуард Треска (1814-1885), начиная с 1863г., первым провёл большое число экспериментов по пластическому деформированию твёрдых материалов. По результатам исследований он сформулировал критерий пластичности материала, который указывает, что материал будет течь пластически, если пластические деформации в общем случае не одноосного напряженного состояния возникают тогда, когда наибольшее касательное напряжение достигает половины предела текучести при одноосном растяжении. Густав Эйфель высоко оценил исследования Треска, поставив его имя третьим в списке из 72 человек, чьи имена нанесены на Эйфелевой башне в Париже.

В 70-е годы XIX столетия появились первые работы Сан Сен-Венан (1797-1886) и Морис Леви (1838-1910) по математическим моделям, описывающим неупругое пластическое деформирование твердых тел. Время появления этих работ принято считать датой зарождения теории пластичности, как самостоятельного раздела МДТТ. Большой вклад в развитие теории пластичности внесен в начале XX столетия европейскими учёными. Работы этого периода и более поздние (двадцатые годы XX столетия) исследования носили ярко выраженный феноменологический характер, причем опирались главным образом на простые эксперименты по растяжению–сжатию образцов. Начиная с 30-х годов, теория пластичности становится одним из наиболее интенсивно развивающихся разделов МДТТ. В этот период были объяснены основные механизмы пластического деформирования. В 40-х годах XX века теории пластичности развивали физики-материаловеды и механики [21].

Твёрдые материалы деформируются по-разному (рис.4), поэтому для описания деформирования материалов используются разные математические модели.

В России одним из первых В.Л. Кирпичёв (1845-1913) включил в свой курс по сопротивлению материалов описание пластичности. В своих лекциях в СПб Практическом

Технологическом институте уделил внимание неупругому поведению материалов и привёл опыты Треска [16].

Далее известный специалист по сопротивлению материалов Беляев Н.М. (1890-1944) изложил в учебнике (1932) по сопротивлению материалов явление пластичности [2, 3]. В 1933 году Г.А. Смирнов-Аляев (1898-1979) организовал в ЛГУ лабораторию пластичности. А.А. Ильюшин (1911-1998) слушал лекции известного немецкого специалиста по пластичности Г.Генки. В 1936 году Ильюшин защитил кандидатскую диссертацию «К вопросу о вязко-пластичном течении материала», а в 1939 году — докторскую диссертацию «Деформация вязко-пластичного тела». С.Г. Михлин (1908-1990), работавший в ЛГУ, занимался вопросами развития математической теории пластичности и другие исследователи [17].



Рис. 4. Кривые пластичности для металлов

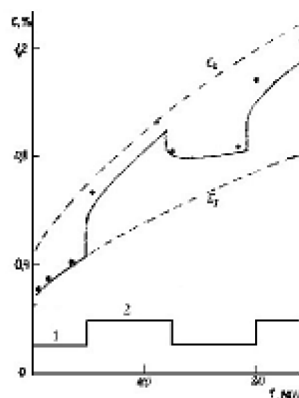


Рис. 5. Кривые ползучести при ступенчатом нагружении

Отметим, что в 1936 году состоялась конференция по пластическим деформациям. Конференция открылась вступительным словом акад. Б. Г. Галеркина и на ней были заслушаны доклады немецкого учёного проф. Г.Генки, проф. Н. М. Беляева, асп. А.А. Ильюшина, проф. А.А.Гвоздева, проф. С.А.Бернштейна, проф. Б.Н. Горбунова, проф. К.С. Завриева и инж. А.Г. Назарова.

Начало научной работы

В одной из первых работ Л.М. Качанова 1940 года «К механике пластических сред» приведён обзор литературы по теме, выведены формулы Г.Генки, но другим способом. Рассмотрены вопросы существования потенциальной работы деформации с учётом пластичности [21]. 30 июня 1941 году Л.М. Качанов защитил кандидатскую диссертацию «Некоторые исследования по теории упругопластических средин». Л., 1941. III;. 81 с. с илл. Библиогр.: с. 79— (35 назв.).

А в начале июля 1941 года ушёл добровольцем на фронт, командовал взводом зенитной морской артиллерии на Балтийском флоте в Кронштадте, защищая Ленинград [21] (рис.1). После войны в 1945 году он вернулся в ЛГУ на кафедру теории упругости в качестве ассистента, которой заведовал академик Владимир Иванович Смирнов (1887-1974) (рис. 6).

Пластичность

В 1948 году вышла первая небольшая монография Л.М. Качанова «Механика пластических сред», в которой в предисловии отмечается, что «теория пластичности имеет важные приложения во многих вопросах техники (вопросы прочности разнообразных конструкций, деформации не вполне упругих металлов, горячая и холодная обработка металлов, ползучесть машинных частей при высоких температурах и т.д.), в геофизике и в геологии. Исследователи пластичности и инженеры, использующие разнообразные

материалы, стремятся наиболее полно описать механические свойства реальных материалов, что приводит к рассмотрению сложных сред, одновременно обладающих свойствами упругости, вязкоупругости, вязкопластичности. Существуют разные алгоритмы применения математического аппарата [9]. В монографии изложены теоретические основы механики пластических сред. Для достоверности теоретических предпосылок и выводов приводятся эксперименты для пластичных материалов. Для иллюстраций возможных приложений рассмотрены частные задачи. Позднее выходили более полные издания книг по теории пластичности [13].



Рис. 6. Заседание кафедры. На переднем плане В.И. Смирнов и С.Г. Михлин

А. П. Филин, который внимательно следил за всеми публикациями Качанова с далёких сороковых годов, отмечал, что работы Лазаря Марковича «отличают предельная ясность постановки рассматриваемой проблемы, широкое применение вариационных принципов механики с учётом специфической сложности проблем механики упругопластических сред, состоящей в нелинейности основных уравнений, стремлению к доведению решения до логического завершения – получения приближённого метода, позволяющего анализировать результаты, с целью их применения в технике» [20, С.562].

Ползучесть

В первой монографии Л.М. Качанова одна из глав была посвящена теории ползучести [9]. В таком процессе при приложении постоянных нагрузок в материале могут возникать деформации, зависящие от времени (рис.5).

С процессом ползучести Лазарь Маркович столкнулся ещё в Центральном котлотурбинном институте (ЦКТИ). При подготовке экспериментов по ползучести труб из металлов совместно с инженером А.Э. Данюшевским Л.М. Качанов провели анализ экспериментальных данных европейских исследователей, полученных на трубах из разных металлов. Статья опубликована в 1940 году в журнале «Прикладная математика и механика» [4]. Это была одна из первых научных работ Л.М. Качанова. Здесь следует отметить, что уже в этой работе видна чёткая постановка задачи, анализ литературных экспериментальных данных и на их основе проверка известных теорий ползучести. Такого алгоритма Лазарь Маркович придерживался и в дальнейшей своей работе, и при оценке результатов работ других исследователей. Он всегда обращал внимание на взаимосвязь теории и эксперимента: для теоретической работы нужно находить экспериментальное подтверждение и практическое приложение, а для экспериментальных исследований делать теоретическое обоснование и применять полученные данные для решения конкретных задач.

В 1953 году Л.М. Качанов защитил докторскую диссертацию по теории ползучести. В 1955 году получил звание профессора.

Преподавательская работа и руководство кафедрой

В 1955 году Качанов принял кафедру теории упругости от акад. В.В. Новожилова (1910-1987). До 1976 года Лазарь Маркович — бессменный заведующий кафедрой теории упругости.

В ЛГУ на мат-мехе на кафедре теории упругости он читал лекции по сопромату, по теории пластичности и ползучести, механике разрушения. Л.М. Качанов - автор учебников и монографий, которые были переведены на разные языки, а также под его редакцией выходили сборники исследований сотрудников и преподавателей кафедры [7, 10, 13-15]. Все учебники и монографии отличались чётким планом книги, логичностью изложения. Именно такие требования выдвигал ко всякой начальной научной книге В.Л. Кирпичёв.

Вспоминается сдача экзаменов по курсам и спецкурсам, которые читал Лазарь Маркович. При входе в аудиторию он предлагал студентам положить на его стол один конспект лекций, которым мог пользоваться любой студент, если забыл какую-нибудь формулу. При ответе по билету он спокойно выслушивал студента. Если студент правильно всё изложил, то он начинал задавать вопросы о влиянии изменений либо начальных условий, либо некоторых параметров сначала по материалу билета, а затем по всему курсу. Тем самым, он выяснял, насколько студент понял и владел материалом, прочитанным им в курсе. По воспоминаниям А.П. Филина Лазарь Маркович огорчился из-за неподготовленности студентов- «сколь невелик бывает КПД у многих студентов» [20, С.565], хотя самим студентам спокойным голосом говорил: «Вам придётся ещё подготовиться и снова сдавать экзамен».

Еженедельно на кафедре проходили семинары кафедры, на которых, кроме обсуждения диссертационных работ, текущих дел, нередко проходило знакомство с новыми научными идеями, с актуальными задачами, возникающими на производстве и эксплуатации технических конструкций. На семинары кафедры часто приходили специалисты из институтов, проектных организаций и заводов Ленинграда. В результате формулировались новые темы научных работ, которые выполнялись под руководством Л.М. Качанова.

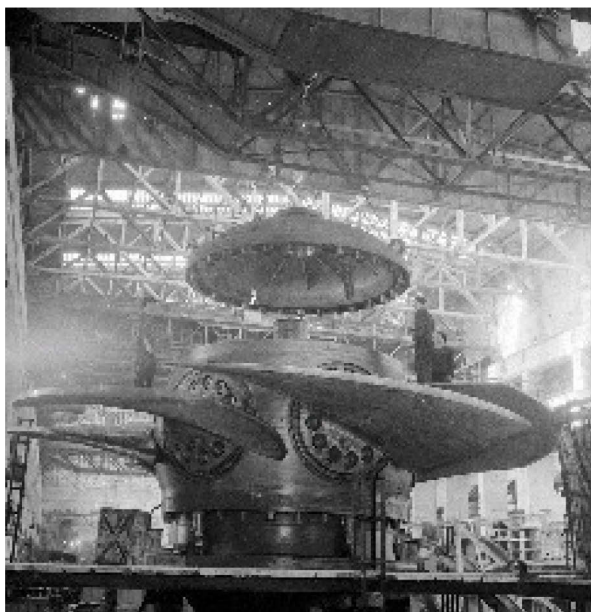
Так аспиранту И.И. Бугакову (1929-1989) он предложил для решения сложных задач ползучести металлов использовать метод фотоупругости, который был разработан на кафедре с 1929 года [6]. Кандидатскую работу аспирант выполнил на целлулоиде, моделируя поведение металлов при действии нагрузок и температур. Им было проведено большое количество экспериментов, подобраны оптические и механические функции для целлулоида, найдена простая связь между оптическими и механическими величинами, рассмотрены вопросы моделирования поведения металлов и полимера, решены задачи для определения концентрации напряжения в лопатках турбин. В 1961 году Бугаков успешно защитил кандидатскую диссертацию. Далее для решения задач термовязкоупругости был найден более термоустойчивый материал- эпоксидный полимер ЭД. После проведённых экспериментов на ЭД в широком интервале нагрузок и температур выяснилось, что для функций, определяющих свойства ЭД, невозможно использовать степенные зависимости для механических свойств и простое уравнение между измеряемыми оптическими характеристиками и приложенными нагрузками. Тогда Лазарь Маркович предложил применить уравнения Вольтерра 11 рода. Это предложение усилием группы экспериментаторов, математиков, вычислителей было успешно реализовано [5].

Под руководством Л.М. Качанова были защищены кандидатские и докторские диссертации по разным направлениям механики деформируемых твёрдых тел. Два аспиранта кафедры Е.И. Шемякин (1929-2009) и Р.А. Арутюнян (1937-2018) были удостоены звания академиков.

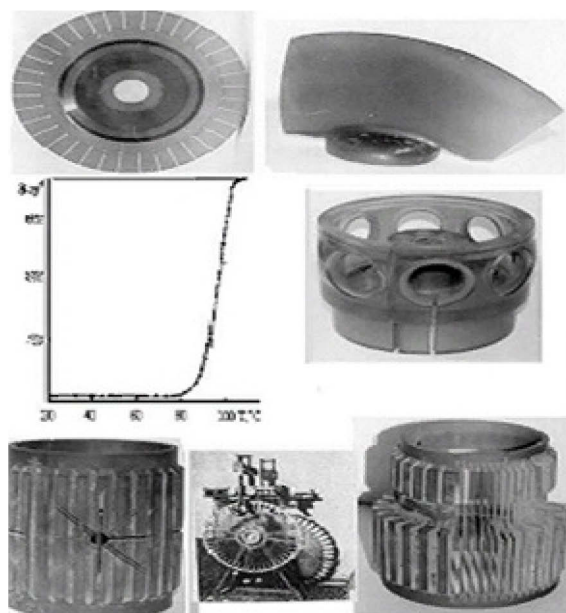
В структуру кафедры входили сначала лаборатории НИИММ им. акад. В.И. Смирнова: сопротивления материалов, фотоупругости и оболочек, позднее были открыты лаборатории механики полимеров и численных методов решения задач механики деформируемого твёрдого тела. Сотрудники старейшей лаборатории сопротивления материалов проводили лабораторные работы со студентами - механиками по курсу сопротивлению материалов. Студенты – упругисты выполняли учебные занятия по курсам фотоупругости, механики полимеров, выполняли курсовые и дипломные работы, проходили производственную практику в лабораториях кафедры.

Лазарь Маркович имел тесную связь с промышленными предприятиями, принимал участие в выполнении хоздоговорных работ с Центральным Котлотурбинным институтом, Металлическим заводом им. 22 съезда КПСС и многими другими организациями и промышленными предприятиями. В ходе этих работ им были поставлены и разработаны решения задач механики деформируемого твёрдого тела. Многие задачи формулировались как темы дипломных работ, диссертаций. Некоторые работы выполнялись сотрудниками НИИММ ЛГУ.

Сотрудники лабораторий реализовывали хоздоговорные и соцдоговорные работы для предприятий и организаций страны. Так сотрудники лаборатории фотоупругости осуществили исследования напряжённого состояния в моделях элементов турбины методом фотоупругости (рис.7, 8).



*Рис. 7. ЛМЗ им. Сталина. Турбинный цех.
1950-е гг.
Фото: Евгений Халдей*



*Рис. 8. Модели элементов турбины.
Лаборатория фотоупругости
ЛГУ им. А.А. Жданова*

Механика разрушения

Многолетняя совместная работа с ЦКТИ привела Лазаря Марковича к необходимости решать проблему накопления повреждений – задачи, казавшейся неразрешимой, по мнению современных ему механиков, в связи с невозможностью применения какого-либо математического аппарата.

В работе 1958 года Л.М. Качанов рассмотрел развитие трещин в металлах в условиях сложного напряжённого состояния при ползучести. При формулировке критерия хрупкого разрушения принималось во внимание значительное накопление дефектов (пористость) в процессе длительной ползучести (рис.9). Для описания повреждённости им был введен параметр «сплошности» - (равный единице в отсутствие поврежденности и нулю в момент разрушения) и дано кинетическое уравнение для его эволюции (отметим, что через год, в 1959 году Ю.Н. Работновым была введена подобная функция которую он назвал поврежденностью) [11, 18]. После появления работ Л.М. Качанова и Ю.Н. Работнова началось активное моделирование процессов разрушения с применением параметра поврежденности. Это положило начало механике поврежденности (damage mechanics), которая позволяет оценивать время разрушения, особенно в условиях ползучести.

В 1974 в издательстве «Наука» вышла монография «Основы механики разрушения», в которой были собраны основные результаты исследований автора и других учёных по

описанию возможных разрушений при различных состояниях материалов (пластичности, ползучести при действии разных параметров: уровень и цикличность нагрузок, изменение температуры, влияние среды и т.д.), а также механика трещин [12].

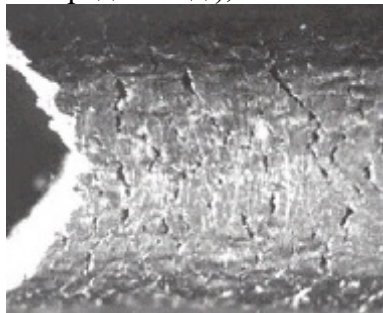


Рис. 9. Разрушенный образец из сплава ХН65ВМТЮ из-за накопления пористости и хрупкого разрушения в процессе длительной высокотемпературной ползучести при $T=550C$

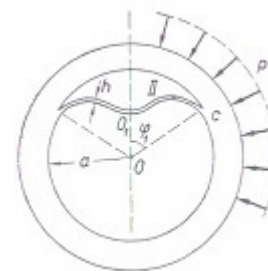


Рис. 10. Отслоение слоёв при сжатии

В 60-е годы полимерные и композитные материалы на основе полимеров стали широко применяться как в промышленности, так и в повседневной жизни. Возникли новые задачи механики, поскольку полимерные материалы характеризуются более сильными зависимостями как от нагрузок, так и температур. А для композитных материалов добавились проблемы с качеством таких материалов из-за технологических проблем- подбор компонентов материала, определение уровня адгезионной прочности, установление непрочнеев между слоями. В работе 1976 года рассмотрена задача об оценке опасного уровня напряжений при сжатии составных моделей (стержень, полоса при изгибе, кольцо при действии давления по внешней границе) [14]. Среди многих задач разрушения, решённых Л. М. Качановым, выделяется задача об отслоении составного кольца (рис.10). Для слоистых и волокнистых материалов в зоне сжатия из-за разрыва связующего нередко возникает отслаивание при достаточно высоких уровнях сжимающих напряжений. Л. М. Качанов нашел гениальное, но простое решение и справедливо считается основателем современной теории разрушения. Б.А.Зиминым было предложено использовать модель Качанова (рис.10) для объяснения возможного механизма образования отслойки сосудистой оболочки глаза, чаще всего возникающего при травмах глазного яблока [1].

Отметим, что научная деятельность Лазаря Марковича прошла в период мощного развития механики деформируемого твёрдого тела. И он вместе с коллегами из ЛГУ, аспирантами включался в разработку новых направлений. Так в 1975 году руководить лабораторией сопротивления материалов им был приглашён Владимир Александрович Лихачёв (1931–1996 гг.), работавший с 1958 по 1975 года в Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе РАН. В.А. Лихачёв – крупный ученый в области физики и механики прочности, его работы по структурно-аналитической теории прочности, континуальной теории дефектов и, особенно, по изучению и практическому применению сплавов с эффектом памяти формы хорошо известны и получили высокую оценку специалистов. Владимир Александрович с присущей ему энергией взялся в лаборатории сопротивления материалов за развитие нового направления на кафедре по изучению сплавов с эффектом памяти формы.

Заключение

Лазарь Маркович Качанов внес фундаментальный вклад в развитие ряда отраслей механики твердого тела. Некоторые из них:

- Создание новой отрасли механики твердого тела, основанной на концепции разрушения в условиях ползучести (1958). Он ввел параметр повреждения, характеризующий ухудшение микроструктуры, и сформулировал кинетическое уравнение роста повреждения.

Эта работа породила большой объем работ в области механики разрушения, от различных обобщений до широкого ее использования в экспериментальных работах;

- Пионерская работа по механике расслаивания (1976), в которой была введена энергия расслаивающегося разрушения в механику выпучивания. Сегодня механика расслоения является одной из центральных тем в механике композитов;

- Фундаментальные вклады в теорию пластичности, такие как установление вариационных принципов пластичности, анализ неустойчивости упругопластических структурных элементов и решение ряда краевых задач (например, задач о тонких пластических слоях);

- Расширение понятия траекторно-инвариантного интеграла до расчета диссипации вблизи вершины трещины, распространяющейся в вязкоупругом материале, и до вывода уравнения скорости роста трещины (1973).

Личный контакт с Лазарем Марковичем обычно давал людям ощущение благополучия. Он был скромным человеком и не любил лести и преувеличений.

Кафедра теории упругости в период заведования Л.М. Качановым приобрела известность как крупнейший центр подготовки научных кадров по механике деформируемого тела.

Посвящение

Отметим, что в Санкт-Петербурге в память о научной деятельности Л.М. Качанова в Санкт-Петербурге прошли в 2004 году XXXII Международная летняя школа-конференция "Современные проблемы механики" АРМ 2004 и в 2014 году «Петербургские XXI чтения по проблемам прочности» были посвящены столетию Л.М. Качанова и Ю.Н. Работнова.

Благодарность

Авторы благодарят библиографа Российской национальной библиотеки в Санкт-Петербурге Натненкову Надежду Николаевну за помощь по подбору литературы в сложившееся сложное время эпидемии.

Список литературы

1. Бауэр С. М., Зимин Б. А., Товстик П. Е. Простейшие модели теории оболочек и пластин в офтальмологии. 2000. Изд. СПбГУ.
2. Беляев Н.М. Соппротивление материалов. 1932. ГТ_ТИ. Л.-М. Ч.1.
3. Беляев Н.М. Теория пластических деформаций // Изв. АН СССР. ОТН. 1937. №1. С. 49-70.
4. Данюшевский Л.М. Качанов. Ползучесть труб // Советское котлотурбостроение. 1940. № 10. С. 356-359.
5. Демидова И.И. История применения интегральных уравнений Вольтерра в ЛГУ // Continuum. 2019. Вып. 2. С. 49-55.
6. Демидова И.И. Развитие метода фотоупругости // Вестник Елецкого государственного университета им. И.А. Бунина. Серия «Педагогика». 2016. С. 54-59.
7. Исследования по упругости и пластичности / под. ред Л.М. Качанова. Л.: Изд.ЛГУ. 1961-1977.
8. Кирпичёв В.Л. Соппротивление материалов. СПб. Лит. Ф. Кремер, 1887.
9. Качанов Л.М. К механике пластических сред. //Прикладная математика и механика. 1940. Т. 1У. Вып. 3. С. 37-42.
10. Качанов Л.М. Механика пластических сред. М. 1948.
11. Качанов Л.М. Некоторые вопросы теории ползучести. М.: ГИТ-ИЛ, 1949.
12. Качанов Л. М. О времени разрушения в условиях ползучести // Известия АН СССР. Отделение технических наук. 1958. № 8. С. 26–31.
13. Качанов Л. М. Основы механики разрушения. М.: Наука, 1974.

14. Качанов. Л.М. Основы теории пластичности. М.: Гостехиздат, 1956.
15. Качанов Л.М. Разрушение композитных материалов путем расслоения // Механика полимеров. 1976. №5. С. 918-922.
16. Качанов Л.М. Теория ползучести. М.: Физматгиз, 1960.
17. Михлин С.Г. Основные уравнения математической теории пластичности // Известия АН СССР, 1934.
18. Работнов Ю. Н. О механизме длительного разрушения // Вопросы прочности материалов и конструкций. М.: Изд-во АН СССР, 1959. С. 5-7.
19. Тимошенко С.П. История науки о сопротивлении материалов с краткими сведениями из истории теории упругости и теории сооружений. М.: Гос. Изд. Техн.- теор. Лит, 1957.
20. Филин А.П. Очерки об учёных-механиках. М.: Стратегия, 2007.
21. Качанов Лазарь Маркович. URL: <https://pobeda.spbu.ru/museum/item/2170-качанов-лазарь-маркович-1914.html>

LAZAR KACHANOV — A TEACHER, A RESEARCHER, A SCIENTIST WITH THE WORLD NAME

<p style="text-align: center;">M.L. Kachanov Professor of Mechanical Engineering Mark.Kachanov@tufts.edu</p>	<p style="text-align: center;">Tufts University</p>
<p style="text-align: center;">I.I. Demidova Candidate of physical and mathematical Sciences maria_ib@mail.ru Saint Petersburg</p>	<p style="text-align: center;">Sankt Petersburg University</p>

Abstract. The paper presents design approaches used by the authors to implement the module for the development of assessment tools for the automated system that supports the independent qualification assessment procedure. A functional model of the assessment tools development process is organized in the IDEF-0 notation. The paper determines categories of users of the module in question and their requirements and presents the structure of the corresponding database.

Keywords: design of an automated system, independent qualification assessment, assessment tools.

References

1. Bauer, S., Zimin, B., Tovstik, P. (2000). The simplest models of the theory of shells and plates in ophthalmology [*Prostejshie modeli teorii obolochek i plastin v oftal'mologii*]. SPb.
2. Belyaev, N. (1932). Resistance of materials [*Soprotivlenie materialov*]. GTTI. L-M. Part.1.
3. Belyaev, N. (1937). Theory of plastic deformations. Izv. USSR ACADEMY OF SCIENCES. REL, 1, 49-70.
4. Danushevskii, A., Kachanov, L. (1940). Creep of pipes [*Polzuchest' trub*]. Soviet boiler-building, 10, 356-359
5. Demidova, I. (2016). Development of method photoelasticity [*Razvitie metoda fotouprugosti*]. Vestnic of Elets university by name I. Bunin, 54-59.

6. Demidova, I. (2019). History of application of Volterra integral equations at LSU [*Istoriya primeneniya integral'nyh uravnenij Vol'terra v LGU*]. Continuum. Maths. Informatics. Education, 2, 49-55.
7. Filin, A. (2007). Essays on mechanical scientists [*Ocherki ob uchyonyh-mekhanikah*]. Moscow.
8. Kachanov, L. (1958). About the time of fracture under creep conditions [*O vremeni razrusheniya v usloviyah polzuchesti*]. Izvestia of the USSR Academy of Sciences, 8, 26–31.
9. Kachanov, L. (1976). Destruction of composite materials by stratification [*Razrushenie kompozitnyh materialov putem rassloeniya*]. Mechanics of polymers, 5, 918-922.
10. Kachanov, L. (1956). Fundamentals of the theory of plasticity [*Osnovy teorii plastichnosti*]. Moscow.
11. Kachanov, L. (1974). Fundamentals of fracture mechanics [*Osnovy mekhaniki razrusheniya*]. Moscow.
12. Kachanov, L. (1948). Mechanics of plastic media [*Mekhanika plasticheskikh sred*]. Moscow.
13. Kachanov, L. (1940). On the mechanics of plastic media. Applied mathematics and mechanics, 3(3), 37-42.
14. Kachanov, L. (1949). Some questions in the theory of creep [*Nekotorye voprosy teorii polzuchesti*]. Moscow.
15. Kachanov, L. (1960). Theory of creep [*Teoriya polzuchesti*]. Moscow.
16. Kirpichev, V. (1887). Resistance of materials [*Soprotivlenie materialov*]. St. Petersburg.
17. Mihlin, S. (1934). Basic equations of the mathematical theory of plasticity [*Osnovnye uravneniya matematicheskoy teorii plastichnosti*]. Izvestia of the USSR Academy of Sciences.
18. Pabotnov, Y. (1959). About the mechanism of long-term destruction [*O mekhanizme dlitel'nogo razrusheniya*]. Questions of strength of materials and structures, 5-7.
19. Research on elasticity and plasticity [*Issledovaniya po uprugosti i plastichnosti*]/ Ed. by L. Kachanov. Leningrad, 1961-1977.
20. Timoshenko, S. (1957). History of the science of resistance of materials with brief information from the history of the theory of elasticity and the theory of constructions [*Istoriya nauki o soprotivlenii materialov s kratkimi svedeniyami iz istorii teorii uprugosti i teorii sooruzhenij*]. Moscow.
21. Kachanov Lazar Markovich. URL: <https://pobeda.spbu.ru/museum/item/2170-качанов-лазарь-маркович-1914.html>