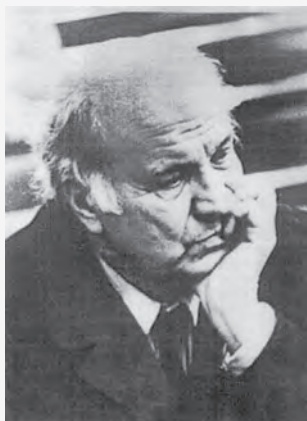


РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ ПЛАСТИЧНОСТИ

Ю. Г. КОРОТКИХ, И. А. ВОЛКОВ



А. А. Ильющин

Развитие теории пластичности связано с работами члена-корреспондента АН СССР, лауреата Государственной премии, доктора физико-математических наук, профессора Алексея Антоновича Ильющина (1911–1998 гг.).

Научное наследие А. А. Ильющина велико и многогранно, однако основным вкладом

в механику, по оценке самого Алексея Антоновича, являются его исследования по пластичности в самом общем понимании этого термина. Теория малых упругоэластических деформаций (1940-е гг.), общая математическая теория пластичности (1950–1960 гг.), теория упругоэластических процессов и термодинамика сплошной среды с мерами необратимости и повреждаемости (1970–1980 гг.) — таковы основные этапы его научного поиска.

Теория малых упругоэластических деформаций (теория пластичности при простом нагружении) была создана в связи со «снарядным голодом», в котором оказалась наша армия к концу 1941 г. Отсутствие высококачественных сталей с большой упругостью для изготовления снарядов требовало их срочной замены материалами с малой упругостью. Этот шаг был очень ответственным и нуждался в глубоком научном обосновании и инженерной интуиции. А. А. Ильющин пересмотрел расчеты на прочность артиллерийских снарядов, выполнявшиеся методами теории упругости, и нормы их приемки по величине остаточной пластической деформации, пригодные лишь для высококачественных сталей. Разработанная им теория малых упругоэластических деформаций подтверждалась экспериментами при любых простых нагружениях, осуществлявшихся, в частности, в реальных условиях применения снарядов и приводящих к пропорциональному изменению всех напряжений. Расчеты по ней показали достаточную прочность снарядов из имевшихся малоупругих материалов,

что позволило приступить к их массовому производству. Указанная теория не содержала временных параметров, была удобна для практического использования и строго обоснована теоремами «о простом нагружении» и «о разгрузке», устанавливающими достаточные условия простого нагружения в каждой точке тела и позволяющими находить остаточные деформации.

За цикл работ по пластичности при простых нагружениях с приложениями к проблеме устойчивости пластин и оболочек за пределом упругости А. А. Ильющин был удостоен Сталинской премии 1 степени. Эти исследования обобщены в его монографии «Пластичность» (1948 г.).

Построение теории пластичности при произвольных сложных процессах нагружения потребовало обобщения существовавших понятий механики сплошных сред. А. А. Ильющин ввел специальные пятимерные векторные пространства девиаторных компонент напряжений и деформаций, в которых сложность процессов нагружения и деформирования характеризовалась внутренней геометрией соответствующих кривых. Результаты экспериментальных исследований получили геометрическую интерпретацию в виде связанности внутреннего строения кривых и позволили сформулировать постулат изотропии и принцип запаздывания. Сложные функциональные зависимости удалось классифицировать по величинам кривизны траекторий деформаций и указать пределы применимости частных вариантов общей теории пластичности: теорий течения и малых упругоэластических деформаций. Для экспериментальных исследований под руководством А. А. Ильющина была создана принципиально новая испытательная машина класса СН (сложного нагружения), получившая в различных модификациях широкое распространение. В дальнейшем А. А. Ильющин реализовал свою идею: «СН-ЭВМ» — комбинированного экспериментально-теоретического метода определения напряжений и деформаций конструкций в условиях, когда заранее уравнения состояния для ее материала неизвестны. Итог работ этого периода подведен А. А. Ильющиним в монографии «Пластичность» (1963 г.) и ряде статей.

Процессы развитого формоизменения (вязкопластические течения, технология обработ-

ки давлением, ползучесть) привлекли внимание А. А. Ильюшина в конце 1930-х гг. Он разработал общую теорию соотношений «напряжения — деформации», постановки и методы решения задач, исследовал процессы тепловыделения, сформулировал и обосновал принцип минимума мощности работы вязкопластических сил, ввел понятие устойчивости процесса вязкопластического течения, которое было использовано в теории ползучести. Было предсказано теоретически и экспериментально подтверждено возникновение застойных зон при течениях вязкопластических жидкостей. Эти результаты находят применение в нефтепромысловой технике, при расчетах и прогнозировании поведения грунтовых масс и растворов.

В 1950-х гг. А. А. Ильюшин в общем виде сформулировал задачу пластического течения металлов в приложениях к процессам обработки давлением. В развитой теории учитывается влияние скорости и степени деформации, переменные температурные поля и возможность образования «зон отверждения»; введен специальный вариационный принцип. Исследованы условия подобия пластических течений и сформулированы правила моделирования; установлена аналогия с теорией малых упругопластических деформаций. Разработана теория течения тонких слоев металла по поверхностям инструментов, которая нашла применение при анализе и выборе технологии тонколистовой прокатки, штамповки и прессования ребристых панелей.

Существенный вклад внес А. А. Ильюшин в исследование динамического взаимодействия деформируемых тел и сред. В 1950-е гг. он изучает взаимодействие волн, возбуждаемых взрывом, и упругопластических конструкций и массивов, разрабатывает методы моделирования этих явлений, создает линейный ускоритель, на котором экспериментально изучаются характеристики воздействия мощных взрывов на преграды, а также параметры выбросов. К этому же периоду относится и распространение А. А. Ильюшиным закона плоских сечений на обтекание тел с большой сверхзвуковой скоростью. Одно из следствий этого — метод аффинной модели: возможность получения данных по обтеканию тел с большой скоростью в экспериментах со значительно меньшими скоростями. Другое следствие — постановка задачи аэроупругих колебаний пластин, в частности, создание теории панельного флаттера. Гипотезу плоских сечений А. А. Ильюшин распространил и на пластические среды, что открыло новые возможно-

сти для изучения процессов высокоскоростного внедрения и проникания твердых тел.

Большой цикл работ А. А. Ильюшина посвящен механике вязкоупругих материалов. Начиная с 1964 г. в течение тридцати лет он был научным руководителем и консультантом экспериментально-теоретических исследований в области прочности зарядов твердотопливных ракетных двигателей (РДТТ). Им построены нелинейные варианты теории термовязкоупругости, разработаны математические модели длительной прочности и разрушения твердых топлив и корпусов РДТТ, введены тензор повреждений и меры поврежденности, выявлена роль моментных напряжений. А. А. Ильюшин указал эффективные методы расчета прочности зарядов с использованием следствий из теорем «о простом нагружении и нагреве» и метода «аппроксимаций» для вычисления обратных преобразований Лапласа–Карсона. Обобщением результатов этих работ был выпуск под его руководством норм прочности твердотопливных зарядов и справочных руководств для конструкторов.

В последние годы жизни А. А. Ильюшин уделял много времени проблеме замыкания (в рамках термодинамики) необратимых процессов системы уравнений сплошной среды; на основе анализа общей функциональной формы уравнения состояния, а также общей постановке задач теории упругости в дисторсиях.

Разносторонность и глубину таланта А. А. Ильюшина так отметил в 1943 г. академик Л. С. Лейбензон: «Он представляет счастливое сочетание проникновенного теоретика, прекрасного конструктора и искусного экспериментатора, проникающего в самую суть исследуемых им технических проблем. Он обладает искусством облекать явления природы в математические символы».

Им созданы уникальные курсы сопротивления материалов (издан в 1958 г., переведен в США, Китае и Польше), теории упругости и пластичности, механики сплошных сред (последнее издание вышло в 1990 г.).

КОРОТКИХ Ю. Г. —

заслуженный деятель науки РФ, доктор физ.-мат. наук, профессор, зав. кафедрой Волжской государственной академии водного транспорта, Нижний Новгород

ВОЛКОВ И. А. —

доктор физ.-мат. наук, профессор, главный научный сотрудник «ОКБМ Африкантов», Нижний Новгород