

О Т З Ы В

официального оппонента на диссертационную работу Евгения Павловича Даца
«Неустановившиеся температурные напряжения в условиях зависимости предела
текучести от температуры», представленную к защите
на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.02.04 - механика деформируемого твердого тела

Диссертационная работа Даца Е.П. посвящена развитию теории температурных напряжений в упругопластических телах путем постановки и решения ряда новых модельных задач, а также обеспечению на этой основе расчетного прогнозирования изменений температурных напряжений в зависимости от особенностей эволюции областей пластического течения в условиях меняющихся термомеханических воздействий. Работа связана с направлением исследований в области механики деформируемого твердого тела, которое было инициировано работами его научного руководителя А. А. Буренина.

В последние годы направление, связанное с вопросами неизотермического деформирования тел, получило значительное развитие. В настоящее время в нашей стране и за рубежом появляются все новые и новые научные исследования в области термопластичности. Здесь можно отметить работы Ю. Н. Шевченко, У. Гамера, А. А. Буренина, Ю.Н. Радаева, С.Е. Александрова, А. Эраслана и многих других авторов.

Актуальность темы научного исследования

Актуальность научного исследования Е.П. Даца обусловлена возможностями практического применения результатов работы, которые позволяют не просто моделировать особенности некоторых технологических процессов, но позволяют понять, каким образом нужно управлять процессом, чтобы получить требуемый результат.

В настоящее время во многих технологиях важным фактором является именно тепловое воздействие, а ряд технологических процессов просто невозможен без теплового влияния на материал. Все это позволяет не просто улучшать существующие технологические процессы, но и создавать принципиально новые.

В процессе эксплуатации разных конструкций тепловое воздействие может быть доминирующим, поэтому понимание того, что происходит с элементами конструкций, позволяет определить срок их службы, предотвратить разрушение. Следует также отметить, что в данном направлении получено не так много результатов, что связано с существенной сложностью алгоритмов решения нестационарных задач, когда

учитывается зависимость параметров материала от температуры. Все это всегда было и будет актуальным направлением развития науки.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Все положения диссертационной работы являются обоснованными, поскольку базируются на хорошо известных и многократно подтвержденных фундаментальных законах природы. Парадигма континуального подхода позволяет использовать хорошо развитый и многократно применяемый аппарат дифференциального и интегрального исчисления. Использование этого аппарата и фундаментальные положения механики сплошной среды позволяют автору рассматривать подходы построения различных математических моделей и использовать их при решении конкретных задач. Все численные расчеты автор провел с использованием многократно проверенных прикладных компьютерных программ, и методов решения, используемых в этих программах. Выбор методов решения, ясный и четкий стиль изложения алгоритмов решения задач, делает результаты и выводы, полученные в диссертации, легко проверяемыми. Все результаты, представленные в диссертации, прошли апробацию в виде многочисленных публикаций и выступлений на конференциях и семинарах разного уровня.

Научная новизна

Результаты, представленные в диссертационной работе, являются новыми. Поскольку работа очень объемная и содержит много новых результатов, то укажу лишь основные из них.

1) Автор впервые получил новые решения, как аналитические так и численные, ряда краевых задач теории термопластичности.

2) Приведены новые алгоритмы решения, которые позволяют проследить эволюцию обратимого деформирования и пластического течения в условиях неустановившихся температурных полей.

3) Автор показал, что использование кусочно-линейных условий пластичности позволяет получить решение задач в квадратурах.

4) Впервые рассмотрены все этапы решения задач при реализации и смены режимов пластичности в процессе нагревания и остывания материальных тел разных конфигураций.

5) Определены условия, при которых возможен эффект возникновения повторного пластического течения, обусловленный существенной зависимостью предела текучести от температуры.

Глава 1

Раздел 1.1. В этой главе приведен обзор литературы, связанной с темой диссертационной работы и приведены основные соотношения, используемые в работе.

Раздел 1.2. В этом разделе рассматривается в общем виде задача определения напряженно-деформированного состояния тел, подверженных влиянию температурного градиента. Выбирается условие пластичности Мизеса. Поскольку в общем случае соотношения ассоциированного закона пластического течения не интегрируются, автор временной процесс разбивает на отдельные шаги. В финале для каждого отдельного шага по времени автор получает уравнения для определения компонент вектора перемещений.

Глава 2

В этой главе рассматриваются задачи о термопластическом состоянии сплошного и полого шаров для разных условий пластичности. На поверхности шара задается закон изменения температуры. В сферической системе выписаны все необходимые для решения задачи уравнения и соотношения. Для предела пластичности выбирается линейная зависимость от температуры.

Поскольку поле температур известно, то в каждый момент времени упругопластическая задача аналогична изотермической задаче для тела с пределом пластичности, зависящим от радиуса.

Равенство окружной и радиальной компонент тензора пластических деформаций справедливо для всех условий пластичности, зависящих от девиатора напряжений, за исключением сингулярных точек поверхности пластичности, что, например, имеет место для условия пластичности Треска.

В задачах о шаре нет необходимости пошагового интегрирования соотношений закона нормальной связи. Задача существенно упрощается.

После решения уравнения (2.2) с учетом начального состояния и граничных условий автор приводит графики распределения температуры по шару для некоторых моментов времени, которые наглядно показывают характер изменения градиента температуры.

Автор определил условие, при котором происходит уменьшение зоны пластического течения, а также условие, при котором эта зона полностью исчезает.

Весьма интересным является результат представления итоговой необратимой деформации (Рис. 2.2). В процессе уменьшения градиента температуры, в зависимости от величины параметров задачи, возможно появление новой пластической зоны. Поскольку такой вариант возможен, то для получения правильного решения, необходимо в алгоритм решения задачи заложить необходимые проверки.

Решение в зоне повторного пластического течения вполне аналогично, ранее рассмотренному алгоритму.

На основании проведённых расчетов автор делает вывод, что процессы необратимого деформирования не влияют на размер сплошного шара при остывании до первоначальной температуры.

Раздел 2.2. Рассматривается задача о вычислении необратимых деформаций полого шара при нестационарном тепловом воздействии на внешней поверхности. Решение этой задачи приводит к более сложному алгоритму, нежели в задаче о сплошном шаре.

Автор показал, что возможно одновременное существование областей пластического течения и разгрузки, поэтому в каждый момент времени приходится вычислять положение упругопластических границ и находить остаточные на деформации. Установлено, что наличие полости в шаре при остывании приводит к уменьшению его размеров.

Глава 3

Рассматривается вопрос об определении напряженно-деформированного состояния упругопластического диска, испытывающего тепловое воздействие.

Раздел 3.1. Решается задача о круговом диске, на боковой поверхности которого поддерживается постоянная температура, а в центральной части диска температурное поле считается однородным и изменяется по заданному закону.

Из решения задачи для упругого состояния диска при задании условия пластичности несложно определить значение температуры в центральной области диска, при которой будет зарождаться пластическая зона.

Сначала автор рассматривает случай, когда предел пластичности не зависит от температуры. Если на границе центральной части диска модуль радиального напряжения достигнет значения удвоенного предела пластичности при сдвиге, то центральная часть диска перейдет в предельное состояние. Дальнейшее увеличение температуры приведет к расширению зоны предельного состояния.

Все объяснения процесса деформирования, приведенные в этом пункте, являются логически верными, обоснованными и непротиворечивыми.

При учете зависимости предела пластичности от температуры, автор отмечает, что режим полной пластичности не может выйти за границу нулевого градиента температуры и поэтому условие пластичности Треска нельзя использовать.

Далее автор переходит к выбору условия пластичности максимального приведенного напряжения. Анализ полученного решения позволил автору указать на возможность появления пластической зоны у внешней границы диска.

Далее автор рассматривает процесс нагревания и остывания диска.

В пункте 3.1.4. рассматривается численное решение задачи при выборе условия пластичности Мизеса. Численное решение имеет свою специфику, поскольку уже нет явных формул для определения напряжений и перемещений в возможных зонах пластического деформирования. Поэтому алгоритм решения задачи приходится строить, исходя из общего понимания того, каким образом может меняться картина деформирования отдельных областей диска.

Раздел 3.2. Рассматривается бесконечно большая тонкая пластина, подверженная тепловому воздействию по окружности заданного радиуса.

Глава 4

Рассматривается задача о тепловом воздействии на бесконечно длинный полый круговой цилиндр. На его внешней поверхности задан закон изменения температуры. На внутренней поверхности температура не изменяется. Приведены формулы для напряжений и радиального перемещения, когда цилиндр находится в упругом состоянии.

В работе показано, что процесс квазистационарного нагревания и последующего остывания цилиндра приводит к изменению радиусов его стенок. Установлено, что в случае малых деформаций решение не зависит от геометрических параметров.

Раздел 4.1. Рассматривается необратимое деформирование цилиндра в случае неравномерного теплового расширения. Из анализа полученного решения в пластической зоне автор устанавливает, что в процессе теплового воздействия возможно появления новой области, в которой будет выполняться режим полной пластичности.

Раздел 4.2. Рассматривается вопрос об определении температурных напряжений длинного полого цилиндра для условия пластичности максимального приведенного напряжения. Алгоритм нахождения напряжений для этого условия пластичности принципиально не отличается от предыдущего алгоритма.

Раздел 4.3. Рассматривается численное решение задачи определения напряженно-деформированного состояния материала при пластическом течении в рамках условия пластичности Мизеса. Гладкие пластические потенциалы не имеют сингулярных точек и не вызывают особых проблем при решении задачи. Единственное, что решение при учете сжимаемости будет численным. Приходится использовать пошаговое интегрирование соотношений закона нормальной связи.

Алгоритм решение данной задачи прописан четко. Автор провел сравнение решение задачи для разных условий пластичности. Сделанные выводы справедливы.

Раздел 4.4. Рассматривается задача о расчете температурных напряжений, формирующихся при скреплении двух цилиндров при помощи технологии горячей

посадки. Процесс теплового воздействия на отдельный цилиндр уже был рассмотрен автором. Поэтому в алгоритм решения добавляются шаги, связанные с учетом контакта цилиндров. При решении задачи автор продемонстрировал глубокое и правильное понимание процесса тепловой посадки цилиндров. Приведены все необходимые формулы для проведения расчетов напряжений, деформаций и перемещений в разные моменты времени.

Подводя итог изучения диссертационной работы Е. П. Даца, хочу отметить значимость выполненных им исследований. Е. П. Дац показал, что при тепловом воздействии на упругопластическое тело, когда предел пластичности зависит от температуры, в процессе нагревания и остывания даже для материальных тел, имеющих несложную конфигурацию, сценарий изменения деформированного состояния является весьма сложным. Следует отметить, что именно рассмотрение кусочно-линейных условий пластичности, не смотря на их недостатки, позволило автору показать, какие сценарии изменения деформированного моно ожидать в процессе теплового воздействия. При рассмотрении более сложных конфигураций материальных тел практически все задачи определения напряженного и деформированного состояния решаются только численно. Поэтому особенности изменения деформированного состояния, которые эвристически предсказать невозможно, должны быть учтены в алгоритмах численного решения.

Поэтому считаю, что одним из наиболее значимых результатов исследований Е. П. Даца, является построение правильных алгоритмов решения большого количества рассмотренных задач, которое невозможно без глубокого профессионального знания и понимания математической теории пластичности.

Замечания

1). Формулы (1.29), (1.30), определяющие условия пластичности, следует поменять местами.

2) В отдельных предложениях пропущены знаки препинания. Например, стр. 19. Есть опечатки в формулах, например, для вычисления величины $A(t)$ (стр. 26). В формуле (2.11) пропущен оператор дифференцирования. Формулы (3.5) содержат опечатку для области, где поле температур является однородным. В списке литературы для ссылки [28] неточно указаны страницы. В ссылке [79] неправильно указан год.

3) Автор рассматривает пластически несжимаемое тело, т.е. пластический потенциал зависит только от девиатора напряжений. Поэтому непонятно, почему условие полной пластичности, имеющее вид (4.11) для всех функций пластичности, называется условием пластичности Треска.

4) Автор использует термин «медленное увеличение температуры». При математическом моделировании физических процессов следует определять, что есть медленное изменение температуры.

5) Рассматривая статически определимый случай для условия максимального приведенного напряжения, автор ошибочно говорит о полной пластичности.

6) В формуле (4.1) для вычисления поля температур имеется опечатка.

Однако, учитывая высокий научный уровень, который продемонстрировал соискатель в диссертационной работе, указанные недочеты следует отнести к его невнимательности и поэтому они никоим образом не влияют на высокую положительную оценку результатов диссертационной работы.

Заключение

На основе изучения диссертационной работы Даца Е. П. и опубликованных им работ по теме диссертации, можно сказать следующее. Каждая из трех последних глав диссертации могла бы быть рассмотрена в качестве отдельного законченного научного исследования. Не будет преувеличением сказать, что результаты, полученные соискателем, явно превосходят кандидатский уровень. За исключением некоторых неточностей, которые можно рассматривать как опечатки, текст и стиль изложения диссертации ясный, понятный и четкий. Замечаний по существу, которые я мог бы сделать по такой достаточно сложной работе, нет.

Подробное изложение алгоритмов решения задач, позволяет проверить правильность практически всех формул. Судя по уровню проблем, с которыми пришлось столкнуться Дацу Е. П., и которые он уверенно преодолел, могу заключить, что Дац Е. П. обладает высокими профессиональными знаниями и навыками не только в области решения задач математической теории пластичности, но и хорошими знаниями в области программирования и численного решения уравнений разного типа.

Полученные автором результаты являются новыми нетривиальными, а обоснования не оставляют сомнений в их правильности и демонстрируют высокий профессиональный уровень автора. Диссертация содержит обширный список цитированной литературы и хорошо оформлена.

Можно дать общую положительную оценку диссертационной работы Е.П. Даца как оригинального, достаточно сложного в содержательном и техническом смысле исследования. Основные результаты диссертации опубликованы (в том числе в журналах из «Перечня ВАК») и апробированы на семинарах и конференциях.

Автореферат полностью и правильно отражает содержание диссертационной работы.

Полученные автором результаты могут быть использованы в исследованиях, проводимых в МГУ имени М. В. Ломоносова, СПбГУ, ВГУ, НГУ, РУДН, в ИПМ имени А. Ю. Ишлинского РАН и других научно-исследовательских центрах России.

Считаю, что рассматриваемая работа полностью удовлетворяет требованиям Положения ВАК РФ о порядке присуждения научным и научно-педагогическим работникам ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям по физико-математическим наукам, а ее автор Е. П. Дац заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

Официальный оппонент доктор физико-математических наук,
профессор, заведующий кафедрой программного обеспечения
и администрирования информационных систем
Воронежского государственного университета

Михаил Анатольевич Артемов

Адрес: 394006, г. Воронеж, Университетская пл. 1, ВГУ, факультет прикладной математики, информатики и механики.

Телефон: +7-(473)-22-08-226.

