

УТВЕРЖДАЮ

Директор Института проблем машиностроения
Национальной Академии Наук Украины,
член-корреспондент (академик с 1995 года)
Национальной Академии Наук Украины
Анатолий Николаевич Подгорный
17.05.1994 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

о диссертации Льва Григорьевича Гелимсона
«Обобщение аналитических методов решения задач прочности типовых элементов
конструкций в технике высоких давлений»
на соискание учёной степени доктора технических наук
по специальности 01.02.06 «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры»

Диссертация Льва Григорьевича Гелимсона посвящена созданию обобщённых математических методов решения задач механики деформируемого твёрдого тела и прочности пространственных тел под кусочно-гладкими поверхностными нагрузками, а также приложениям этих методов к получению простейших приближённых аналитических решений пространственных задач для типовых расчётных схем и реальных объектов техники высоких гидростатических давлений. Такие решения наиболее эффективны в задачах многопараметрической оптимизации на стадии проектирования элементов машиностроительных конструкций для экстремальных условий эксплуатации при высоких удельных нагрузках. Однако подобных решений известно явно недостаточно, и поэтому в практике проектирования широко используются расчётные схемы балок, пластин, плит и оболочек, заведомо неадекватные реальным пространственным объектам. Следовательно, весьма актуальна в теоретическом и прикладном аспектах тема данной диссертации, нацеленной на получение простейших приближённых аналитических решений пространственных задач и тем более на создание обобщённых методов получения таких решений.

Работа Льва Григорьевича Гелимсона выполнена в результате исследований по хоздоговорным и госбюджетным темам, включая тему 1.10.2.11-63 (№ ГР 0186.0016446) по Постановлению № 474 Президиума АН Украины от 27.12.1985 г. и тему 63.01.09.86-90/48-С (№ ГР 0186.0045604), отнесённой Президиумом АН Украины к числу важнейших, в рамках целевой комплексной программы ГКНТ 074.01 «Мировой океан» и утверждённого АН Украины научного направления Сумского физико-технологического института «Оптико-механические проблемы в современной глубоководной технике».

Работа Льва Григорьевича Гелимсона начинается с ряда математических обобщений, завершается внедрением реальных машиностроительных конструкций и носит нетрадиционный, многоплановый характер. Единство работы обеспечивается общими для неё предметом исследований – прочностью пространственных элементов конструкций, аналитическими методами и основным принципом допустимой простоты. Согласно последнему, для каждой рассматриваемой задачи строится простейшее достаточно адекватное аналитическое решение, а не ставится целью непременно использование обобщённых методов, если они дают усложнённые результаты. В приложениях поставлены и решены многие математические проблемы, возникающие при использовании аналитических методов, что придаёт известную замкнутость этой диссертации, полностью соответствующей профилю специальности 01.02.06 «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры».

Научной новизной обладают обобщённые математические методы, сами решения преимущественно осесимметричных задач теории упругости и прочности для пространственных тел, а также разработанные на этой основе рациональные конструкции и

способы испытаний, защищённые авторскими свидетельствами. При этом обобщениями охвачены все этапы решения задачи прочности.

Математическое моделирование в общем случае приводит к решению произвольной системы функциональных уравнений, обобщающей дифференциальные (обыкновенные и в частных производных), интегральные, разностные, комбинированные и другие уравнения, их системы и краевые задачи.

Для решения такой системы предложены четыре обобщённых математических метода. Линейно-комбинационный метод основан на существенном обобщении понятий линейной независимости системы и линейности оператора на случай бесконечных линейных комбинаций и в явном виде устанавливает общее решение системы в совокупности классов искомых функций, собственной для системы заданных операторов. Парциальный метод предусматривает разбиение системы неравносложных уравнений на разрешающую подсистему относительно простых уравнений, которая формирует частичное решение целой системы, и на оценочную подсистему относительно сложных уравнений, препятствующих получению явного решения целой системы, а в данном методе вовсе не влияющих на формирование частичного решения и используемых только при оценке погрешности этого псевдорешения для целой системы. Показано, что метод наименьших квадратов теряет смысл при несовпадении физических размерностей уравнений системы, даёт неинвариантный результат при эквивалентном её преобразовании сложным её умножением (каждого из уравнений на свой ненулевой множитель), фактически игнорирует уравнения с относительно малыми коэффициентами, даёт неравномерное по области определения качество аппроксимации, неадекватен для систем более трёх уравнений и не позволяет улучшить получаемый результат. Обобщение и коррекция этого метода достигаются предложенным методом наименьших нормированных степеней с нормированием нового приближения оптимального псевдорешения по предыдущему его приближению в итерационном процессе. Ещё эффективнее для поиска оптимального псевдорешения метод выравнивания относительных погрешностей уравнений системы. Кроме того, показана недостаточность известных методов оценки абсолютной и относительной погрешностей неточного равенства и псевдорешения и предложен новый универсальный метод инвариантной оценки. Он впервые позволяет оценить погрешность наилучшего известного приближённого решения. Предложена инвариантная числовая мера противоречивости несовместной системы уравнений. При этом обобщены понятия множества и его точной верхней грани.

Аналитический метод макроэлементов в отличие от МКЭ позволяет непосредственно получать простейшие приближённые аналитические решения для распределений напряжённо-деформированных состояний в пространственных линейно упругих задачах при кусочно-гладких поверхностных нагрузках. Степенная модификация этого метода использует полученные линейно-комбинационным методом общие решения гармонического и бигармонического уравнений в степенных рядах для решения трёхмерной задачи в форме Папковича-Нейбера и осесимметричной задачи через функцию напряжений Лява, для бигармоничности которой впервые поставлена и положительно решена проблема необходимости. Показана невозможность точного нелинейного обобщения решения Ламе. Интегральная модификация есть приложение парциального метода к системе уравнений в напряжениях осесимметричной задачи без объёмных усилий и кручения с отнесением единственного уравнения неразрывности второго порядка в оценочную подсистему. При этом можно рассматривать целое тело как единственный макроэлемент. Получено приближённое нелинейное обобщение решения Ламе. Для эффективного применения аналитического метода макроэлементов предложен представляющий и самостоятельный интерес и дополняющий принцип суперпозиции метод типизации схем нагружения пространственного тела с определением основного типа, линейные комбинации схем которого исчерпывают общий тип.

Способы приведения и коррекции критериев предельного состояния дают аналитические аппроксимации предельных поверхностей пластичных и хрупких изотропных и

анизотропных материалов при статическом и нестационарном нагружениях. Впервые учитывается установленная Бриджменом чувствительность пластичного материала к гидростатическим растяжениям и сжатиям. В физически осмысленных приведённых главных напряжениях унифицируются экспериментальные данные о предельных напряжениях различных изотропных материалов. Предложена гипотетическая трактовка неравносопротивляемости материала растяжениям и сжатиям как феноменологического макрорезультата микро- и субмикронапряжений.

Способ индивидуализации коэффициентов запаса для разных исходных параметров задачи прочности выражает эти коэффициенты через дополнительный коэффициент запаса, который существенно уточняет обычный коэффициент запаса при сложных напряжённых состояниях и сложных нагружениях. В результате адекватно оценивается мера неопределённости реального напряжённого состояния в опасной точке пространственного тела.

Способ оценки и коррекции погрешностей усреднения при измерениях неоднородных распределений позволяет восстанавливать искомое континуальное распределение по дискретной искажённой измерительной информации.

Впервые поставлены и решены некоторые классы задач статической и усталостной прочности для пространственных осесимметричных тел с установлением критических зависимостей между исходными параметрами, соответствующих качественным изменениям инициирования и характера разрушения. В задаче для свободно опёртого по боковой поверхности цилиндрического тела под равномерным давлением на один торец установлено, что радиальное и окружное напряжения достаточно точно определяются теорией пластин, а осевое и сдвиговое напряжения – теорией плит. В аналогичной задаче для защемления этой поверхности удаётся аннулировать на ней радиальное перемещение, а осевое перемещение – только на одной окружности, что вполне соответствует конструктивной реализации. В задаче для усечённого конического тела под равномерными давлениями на торцы решение имеет особенность на краю большего торца. В задаче для цилиндрического тела, нагруженного равномерными давлениями на боковую поверхность, один торец и кольцевую периферическую часть другого торца по схеме основного типа в технике высоких давлений, показано в несколько раз большее искривление частично нагруженного торца сравнительно с полностью нагруженным торцом. Установлено существование такого критического значения отношения бокового давления к внешнему давлению, что при превышении этого значения опасная точка переходит скачком из центра на край ненагруженного центрального участка частично нагруженного торца и в случае хрупкости материала тела взамен его радиального растрескивания происходит скалывание меньшего полусферы сегмента, опирающегося на ненагруженный участок, с последующим растрескиванием именно этого сегмента. Кроме того, существует оптимальное значение названного отношения, обеспечивающее повышение разрушающего внешнего давления на порядок сравнительно со случаем отсутствия бокового давления. Решены и осесимметричные контактные задачи с искомыми участками сцепления и проскальзывания по первоначально плоским или цилиндрическим поверхностям сопряжения. В термоупругой задаче для стянутого комплекта цилиндрических деталей установлено существование двух главных критических значений суммарной осевой силы, соответствующих переходам к повсеместным сцеплению или проскальзыванию, а также промежуточных критических значений, каждое из которых соответствует изменению числа участков сцепления или проскальзывания. В задачах для составного цилиндра конечной длины при реальных технологиях тепловой сборки и впервые проанализированной запрессовки и при циклическом нагружении внутренним давлением достигнуты обобщения решения Гадолина. Показана возможность получения простых приближённых аналитических решений для тел усложнённой формы с концентраторами напряжений. Предложены принципы и методы эффективного использования полученных представлений о деформировании и разрушении пространственных тел для рационального управления напряжённо-деформированными состояниями и прочностью элементов конструкций для высоких гидростатических давлений средствами гермотехники. Предложены новые

конструкции иллюминаторов, сосудов высокого давления, уплотнений, гермовводов и способы испытаний, защищённые авторскими свидетельствами. Новизной обладают выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации.

Достоверность и научная обоснованность обобщённых аналитических методов и результатов их применения обеспечиваются многовариантностью методов и проверяемостью решений, оценением точности выполнения условий решаемых задач, проверкой полученных результатов путём их сопоставлений с известными, численными по апробированным программам МКЭ «Ротор-Б» и «Ротор-К» Института проблем машиностроения Национальной Академии Наук Украины, а также с экспериментальными данными при использовании современного оборудования и адекватных методов математической обработки измерительной информации, причём достигается согласование результатов в пределах инженерной точности. Установлено, что в решённых задачах для цилиндрических тел погрешность решения инвариантна при любых изменениях отношения толщины к радиусу. Достаточная апробированность решений для пластин даёт основания предполагать и адекватность полученных решений для цилиндрических тел.

Ценными для науки и практики являются как обобщённые аналитические методы, так и результаты их приложений к решению задач прочности для пространственных элементов конструкций. Методы решения систем функциональных уравнений и способ оценки погрешностей неточных, в частности приближённых, равенств и решений дают возможность в явной форме получать решения различных типов теоретических и прикладных задач. Для многих математических, механических и физических проблем полезны полученные общие решения гармонического и бигармонического уравнений в классах степенных рядов. Аналитический метод макроэлементов и метод типизации схем нагружения пространственного тела приводят к простым и эффективным расчётным формулам для напряжённо-деформированных состояний пространственных упругих тел под кусочно-гладкими поверхностными нагрузками. Способы приведения и коррекции критериев предельного состояния дают единые формулы для эквивалентных напряжений и универсальную единичную базу сопоставления, что удобно при решении задач прочности пространственных тел из различных типов материалов под статическими и нестационарными нагрузками, а также при аналитической аппроксимации дискретных экспериментальных данных о предельных поверхностях материалов. Метод индивидуализации коэффициентов запаса для различных исходных параметров задачи прочности даёт возможность выявлять реальные её резервы и рационально управлять ими с целью повышения прочности элементов конструкций при сложных напряжённых состояниях и сложных нагружениях. Способ оценки и коррекции погрешностей усреднения при измерениях неоднородных распределений представляет интерес для метрологии, в том числе электротензометрии зон концентрации напряжений. Решения пространственных упругих задач позволяют аналитически тестировать численные методы, выявлять законы деформирования и разрушения элементов конструкций, а также комплексно оптимизировать их на стадии эскизного проекта, причём в некоторых случаях достигается улучшение на порядок.

Обобщённые аналитические методы и спроектированные с их помощью рациональные конструкции для высоких давлений внедрены в Институте проблем машиностроения Национальной Академии Наук Украины, Институте проблем прочности Национальной Академии Наук Украины, НИПИокеангеофизике, Ленинградском институте точной механики и оптики, НИИ компрессорного машиностроения, Украинском Государственном институте стекла и других учреждениях с суммарным годовым экономическим эффектом более 10 млн. руб. в ценах до 1990 г.

Результаты исследований в достаточной мере опубликованы в научной монографии, двух книгах и ещё 66 научных публикациях и защищены 30 авторскими свидетельствами. Работа вполне апробирована на 30 Всесоюзных в Международной научно-технических конференциях и 10 раз полностью докладывалась и обсуждалась в авторитетных

организациях. Основные результаты диссертации достаточно полно представлены в её автореферате.

Результаты и выводы работы целесообразно использовать и в других, помимо названных, академических и отраслевых институтах, НПО и вузах, ведущих исследования в областях математики, механики, физики, техники высоких давлений и создающих машиностроительные и другие конструкции для высоких удельных нагрузок, в частности в Институте математики НАН Украины, Институте механики НАН Украины, Институте технической механики НАН Украины, Институте геотехнической механики НАН Украины, УкрНИИхиммаше, СМНПО им. М. В. Фрунзе, ПО «Насосэнергомаш» и др.

Выполненные исследования целесообразно продолжить и развить в Институте проблем прочности НАН Украины, Институте проблем машиностроения НАН Украины, Сумском государственном университете и других академических институтах и вузах.

Замечания по диссертации:

- 1) в аналитическом обзоре недостаточно отражены известные методы численных и экспериментальных исследований напряжённо-деформированных состояний элементов конструкций;
- 2) изложение сущности обобщённых аналитических методов местами настолько сжато, что представляет трудности для восприятия;
- 3) недостаточно подробно представлены первичные данные сопоставлений полученных результатов с известными.

В целом диссертантом выполнена очень большая и нужная работа, проявлены изобретательность и нестандартное мышление, создан ряд новых эффективных обобщённых методов и получены простые приближённые решения сложных пространственных задач теории упругости и прочности, наиболее полезные при оптимизации элементов машиностроительных конструкций.

Представленная работа Льва Григорьевича Гелимсона является законченным исследованием, обладающим актуальностью, новизной, высоким научным уровнем и ценностью для науки и практики. В диссертации на основе большого комплекса теоретических исследований, результаты которых проверены путём сопоставлений с известными, численными и экспериментальными данными, созданы и обоснованы новые теоретические положения – обобщённые аналитические методы решения задач прочности, совокупность которых можно квалифицировать как новое крупное достижение в развитии перспективного научного направления в динамике, прочности машин, приборов и аппаратуры – создания обобщённых аналитических методов, устанавливающих основные закономерности деформирования и прочности пространственных тел применительно к рациональному проектированию элементов конструкций из различных материалов для высоких удельных нагрузок. Кроме того, в диссертации изложены научно обоснованные технические решения актуальных задач рационального проектирования типовых элементов конструкций в технике высоких давлений, внедрение которых позволяет обеспечить существенное повышение прочности и других основных эксплуатационных характеристик и снижение материалоёмкости и тем самым вносит заметный вклад в научно-технический прогресс. Следовательно, диссертация полностью соответствует пункту 12 «Положения о порядке присуждения учёных степеней и присвоения учёных званий» ВАК Украины, а её автор, Лев Григорьевич Гелимсон, вполне заслуживает присуждения ему учёной степени доктора технических наук по специальности 01.02.06 «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры».

Председатель
Научно-технического проблемного совета
по статической прочности,
заведующий отделом
Института проблем машиностроения
Национальной Академии Наук Украины,

доктор технических наук, профессор
Борис Яковлевич Кантор

Заведующий отделом нестационарных механических процессов
Института проблем машиностроения
Национальной Академии Наук Украины,
доктор технических наук, профессор
Юрий Сергеевич Воробъев

Ответы (без кавычек)
благодарного диссертанта Льва Григорьевича Гелимсона
на замечания (в кавычках):

«1) в аналитическом обзоре недостаточно отражены известные методы численных и экспериментальных исследований напряжённо-деформированных состояний элементов конструкций».

Диссертант Лев Григорьевич Гелимсон:

Полностью согласен с этим замечанием. Во избежание превышения общепринятого объёма пришлось сократить изложение общеизвестного в аналитическом обзоре с целью более полного представления именно оригинальных исследований и их результатов.

«2) изложение сущности обобщённых аналитических методов местами настолько сжато, что представляет трудности для восприятия».

Диссертант Лев Григорьевич Гелимсон:

Полностью согласен с этим замечанием. Во избежание превышения общепринятого объёма пришлось сократить изложение сущности обобщённых аналитических методов.

«3) недостаточно подробно представлены первичные данные сопоставлений полученных результатов с известными».

Диссертант Лев Григорьевич Гелимсон:

Полностью согласен с этим замечанием. Во избежание превышения общепринятого объёма пришлось сократить изложение первичных данных сопоставлений полученных результатов с известными.