

## СЕРИЯ 3. ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

**О некоторых проблемах прочности тонкостенных конструкций  
(к 90-летию члена-корреспондента РАН Э.И. Григолюка)**к.ф.-м.н. доц. Коган Е.А., д.т.н. **Мамай В.И.***Университет машиностроения, НИИ механики МГУ им М.В.Ломоносова  
8(495)223-05-23, [kogan\\_ea@mail.ru](mailto:kogan_ea@mail.ru), 8(495)939-27-71, [mamai@imec.msu.ru](mailto:mamai@imec.msu.ru)*

*Аннотация.* В статье проанализирован творческий путь и вклад в механику деформируемого твердого тела, в частности, в теорию оболочек и пластин, в решение прикладных задач прочности конструкций авиационной и ракетной техники, ядерной энергетики, автомобильных конструкций члена-корреспондента РАН Э.И. Григолюка.

*Ключевые слова:* прочность конструкций, тонкостенные пластины и оболочки, трехслойные и многослойные оболочки, нормы прочности



Тонкостенные оболочки и пластины являются основными несущими элементами конструкций, применяемых в самых различных областях техники: в авиационной и ракетной технике, судостроении, строительстве, энергомашиностроении, автомобилестроении. Неуклонно возрастающие потребности практики и внутренняя логика развития самой теории оболочек и пластин привели к большому числу различных моделей и методов исследования напряженно – деформированного состояния, устойчивости и динамического поведения оболочек и пластин, а также к формированию и развитию многих научных школ. Одной из ведущих научных школ, внесших заметный вклад в развитие многих разделов теории оболочек и пластин, явилась школа, созданная известным отечественным механиком - членом- корреспондентом РАН Э.И. Григолюком.

Начало творческой деятельности Э.И. Григолюка совпало с исключительно бурным послевоенным периодом развития техники в нашей стране, появлением принципиально новых конструкций в реактивной авиации, ракетно-космической отрасли, ядерной энергетике и в этой связи с постановкой и решением многих новых сложных задач механики, особенно теории оболочек и пластин. В решение этих проблем Э.И. Григолюк внес существенный вклад.

Начинал свою научную деятельность Э.И. Григолюк с исследования биметаллических полос, пластин и оболочек. Они находили широкое применение, прежде всего, в приборостроении в качестве, например, чувствительных элементов термокомпенсаторов и терморегуляторов различного типа. Прощелкивание при определенной (критической) температуре чувствительного элемента из биметалла из-за разности коэффициентов линейного температурного расширения слоев и связанное с этим прерывание цепи требовало учета больших перемещений. Задача расчета биметаллических полос была поставлена еще в 1863 году Ивон'ом Вилларсо, а прощелкивание биметаллической полосы в линейном приближении методами сопротивления материалов было рассмотрено С.П. Тимошенко.

Э.И. Григолюком в цикле работ, опубликованных в период с 1947 по 1956 годы [1,2], было дано значительное обобщение этих результатов и построена общая теория биметаллических полос, пластин и оболочек (как упругих, так и упруго – пластических) при конечных перемещениях.

Следует отметить, что работы по биметаллическим оболочкам выполнялись, в частности, в связи с расчетом корпусов ракетных двигателей В.П. Глушко и их результаты были учтены при конструировании двигателей.

В этих работах подробно исследованы прочность и устойчивость цилиндрических биметаллических оболочек, а также сферы, конуса, тора, осесимметричная деформация круговых пластин, решено очень большое число задач о прощелкивании биметаллических полос, различным образом нагруженных и закрепленных. Было получено обобщение на случай биметаллических не пологих оболочек вращения известных уравнений Е. Мейсснера. Был также исследован принципиальный в теории неоднородных оболочек вопрос о выборе исходной поверхности приведения, относительно которой соотношения упругости разделяются и имеют наиболее простой вид. Работы этого периода объемом, насыщенностью информацией, большим количеством решенных задач очень впечатляют.

Совокупность полученных результатов была такова, что теорию биметаллических пластин и оболочек в идейном смысле можно было считать завершенной. Показательно в этом отношении, что число публикаций в этой области в дальнейшем было относительно невелико.

В связи с расчетом посадки самолета-мишени ЛА-17 на грунт Э.И. Григолюком была разработана теория прочности, устойчивости и колебаний оболочек с жестким продольным набором.

Значительно более сложной оказалась теория трехслойных и многослойных пластин и оболочек. Необходимость учета в маложестком заполнителе деформаций и напряжений, обусловленных поперечным сдвигом, а также возможность присущей именно трехслойным конструкциям симметричной (местной) формы потери устойчивости несущих слоев как слоев на упругом основании конечной толщины привели к тому, что в ранних работах 40-ых годов по трехслойным панелям заполнитель рассматривался как трехмерное тело. Эти работы поискового характера показали в полной мере сложность использования уравнений трехмерной теории упругости и необходимость применения уточненных двумерных теорий.

Именно в этот период появились работы, в которых были предложены эффективные расчетные схемы, основанные на удачном сочетании кинематических и статических гипотез, более общих, чем в классической теории, которые использовались позднее многими авторами и определили в значительной мере направление дальнейшего развития теории трехслойных оболочек и пластин. К числу их относятся работы Э.И. Григолюка (1957-1958 г.) [3, 4]. В них на основе применения вариационного метода были получены система дифференциальных уравнений равновесия и граничные условия для трехслойных оболочек симметричной структуры, как изотропных, так и ортотропных, с легким (1957 г.) и с жестким (то есть передающим не только поперечный сдвиг, но и воспринимающим продольные усилия и моменты) заполнителем (1958 г.) и с моментными несущими слоями. При этом впервые в теории оболочек была применена гипотеза о линейном распределении тангенциальных перемещений по толщине заполнителя в совокупности с учетом работы несущих слоев на изгиб и кручение, что приводило к гипотезе ломаной линии по толщине пакета слоев. Это позволяло, как отмечалось в дальнейшем в литературе, методологически строить теорию в духе однослойных оболочек и распространить этот подход на теорию многослойных оболочек нерегулярной структуры. Существенно, что в этих работах был также реализован прием, впоследствии неоднократно использовавшийся и состоящий в редукции исходной системы уравнений к меньшему числу их введением функции усилий и сдвигов.

Отмеченные работы Э.И. Григолюка имеют очень высокую цитируемость. Практически во всех диссертациях отечественных авторов, посвященных разработке различных вариантов теории трехслойных пластин и оболочек, выполнявшихся в 60 – 70-ые годы, для оценки области применимости и достоверности теории проводилось сравнение с работами Е. Рейсснера, С.А. Амбарцумяна и Э.И. Григолюка.

В тот же период Э.И. Григолюком было дано обобщение этих результатов, а именно построена общая теория упруго – пластической устойчивости неоднородных биметаллических и трехслойных оболочек для двух вариантов теории пластичности – теории Хенки и Прандтля-Рейсса. Были получены формулы для определения критических нагрузок при действии на цилиндрические и сферические оболочки различных комбинаций сжимающих усилий. Подробное обсуждение этих результатов было дано позднее в известном обзоре Э.И. Григолюка, опубликованном в серии: Итоги науки. ВИНТИ. Механика [5].

Как известно, уравнения теории оболочек уже в простейшем случае однородных тонких упругих симметрично нагруженных оболочек имеют достаточно сложную структуру. Поэтому для дальнейшего развития теории очень важное значение имел большой цикл работ Э.И. Григолюка и П.П. Чулкова в начале 60 – ых годов, когда была разработана в геометрически нелинейной постановке общая теория трехслойных оболочек и пластин несимметричной структуры с жестким несжимаемым трансверсально изотропным наполнителем и моментными несущими слоями, и получена компактная система разрешающих уравнений в смешанной форме, обобщающая классические уравнения Феппля – Кармана и Маргерра соответственно для однородных пластин и оболочек конечного прогиба.

В малоизвестной и труднодоступной сейчас книге 1966 года [6] уже были даны не только общая теория пологих оболочек конечного прогиба, но и теория непологих трехслойных оболочек при малых и конечных перемещениях с учетом изменения метрики слоев, и полубезмоментная теория трехслойных цилиндрических оболочек с несжимаемым наполнителем, и очень подробно исследованы численно устойчивость круговых цилиндрических и конических оболочек и панелей во всем диапазоне изменения геометрических и механических параметров. Эти результаты, а также общая теория трехслойных стержней и некоторые точные решения задач колебаний сферических оболочек были включены в изданную позднее малую по объему, но чрезвычайно содержательную книгу 1973 г. [7].

Развитая теория была обобщена на многослойные оболочки регулярной структуры, анизотропные и вязкоупругие многослойные оболочки [8 - 10].

На основе полученных результатов стало возможным интенсивное развитие теории слоистых оболочек и пластин в разных направлениях. В последующие годы Э.И. Григолюк был инициатором постановок многих новых задач, и под его руководством его учениками были проведены всесторонние исследования: критических нагрузок и форм потери устойчивости цилиндрических панелей и оболочек и конических оболочек для различных внешних нагрузок и граничных условий; послекритического поведения трехслойных оболочек; устойчивости прямоугольных круговых и кольцевых пластин; собственных колебаний трехслойных оболочек вращения и трехслойных конических панелей; различных краевых задач теории колебаний и панельного флаттера трехслойных стержней пластин и оболочек и неконсервативных задач упругой устойчивости трехслойных стержней; динамической реакции трехслойных пластин и оболочек при ударе о жидкость, при действии акустических ударных волн, при кратковременных нестационарных импульсных нагрузках; по разрешимости уравнений трехслойных оболочек Григолюка – Чулкова. Проведены асимптотическое исследование и анализ частотных спектров и обоснование редуцированной системы уравнений; дано обобщение теории трехслойных пластин и оболочек на случай учета поперечных нормальных деформаций и напряжений в наполнителе и получены уравнения устойчивости трехслойных пластин и различные варианты уравнений трехслойных оболочек со сжимаемым наполнителем; разработана полубезмоментная теория трехслойных цилиндрических оболочек с учетом сжимаемости наполнителя; получено обобщение уравнений Мейсснера на непологие трехслойные оболочки вращения с учетом моментности внешних слоев, исследован осесимметричный краевой эффект в непологих оболочках вращения и в слоистых пластинах; исследовано напряженно – деформированное состояние непологих слоистых конструктивно – ортотропных оболочек при термосиловом нагружении; развита обобщенная двумерная

теория многослойных толстостенных анизотропных оболочек произвольной формы с учетом изменения метрики слоев и проведено исследование задач устойчивости, а также асимптотический анализ и классификация различных прикладных двумерных теорий; построена теория и реализован алгоритм расчета геометрически нелинейного неосесимметричного деформирования слоистых анизотропных композитных оболочек вращения на основе пространственной теории упругости; разработаны различные варианты теории многослойных анизотропных оболочек сложной геометрии применительно к механике шин и пакет прикладных программ для решения контактных задач взаимодействия шин с жестким основанием; разработана математическая модель деформирования при изгибе неравномерно нагретых и нагруженных трехслойных стержней, пластин и осесимметричных оболочек со сжимаемым заполнителем с учетом произвольно расположенных друг относительно друга нераспространяющихся сдвиговых расслоений на поверхностях контакта несущих слоев с заполнителем; исследована динамическая реакция трехслойных пластин конечного прогиба при нестационарном кратковременном нагружении; написан ряд обстоятельных обзоров по разным аспектам теории [11 – 16].

В разные периоды своей жизни Э.И. Григолюк успешно занимался различными проблемами механики. Постоянная тесная связь с предприятиями оборонного комплекса позволила Э.И.Григолюку поставить и решить многие актуальные прикладные задачи.

Применительно к задачам ядерной энергетики Э.И. Григолюком совместно с Ф.Р. Фильштинским изучалось напряженно-деформированное состояние перфорированных пластин и оболочек, ослабленных двоякопериодическими системами круговых и некруговых отверстий. Для основных типов перфорации на основе построенных комплексных потенциалов выполнено полное исследование напряжений и приведенных упругих характеристик таких конструкций [17].

В связи с исследованием прочности корпусов ракет (в частности, Р-7) и двигателей при нагреве были поставлены и решены совместно с Я.С. Подстригачем задачи оптимизации термонапряженного состояния деформируемых тел для определения рациональных режимов и схем высокотемпературной локальной обработки сварных элементов тонкостенных конструкций. За этот цикл работ Э.И. Григолюк был удостоен Государственной премии.

Обширные исследования выполнены Э.И. Григолюком и А.Г. Горшковым по проблемам взаимодействия упругих конструкций с жидкостью (при ударе и погружении), с акустическими ударными волнами. На основе предложенных асимптотических формул различных приближений для гидродинамического давления решен широкий круг практически важных задач по исследованию напряженно-деформированного состояния пологих сферических, конических оболочек, плоскокилеватых днищ при их ударе и погружении в несжимаемую жидкость. Исследованы также колебания и динамическая устойчивость сложных упругих конструкций типа панелей, цилиндрических и конических оболочек при взаимодействии со сверхзвуковым потоком газа [18, 19].

Важные результаты получены Э.И. Григолюком по контактными задачам теории оболочек [20] по проблеме нелинейного деформирования и устойчивости тонкостенных упругих стержней, пластин и оболочек [21 - 23]. Э.И. Григолюк первым решил нелинейную задачу о неосесимметричной потере устойчивости сферической оболочки, нагруженной радиальным давлением. Он исследовал симметричное и несимметричное прощелкивание пологих однородных и неоднородных стержней. Им впервые (в 1955 году) построено решение задачи о нелинейных колебаниях с конечной амплитудой пологих и непологих стержней, прямоугольных и круговых пластин и пологих панелей [24, 25].

Не имея возможности подробно рассматривать эти работы из-за ограниченного объема статьи, авторы хотят более подробно обсудить менее известный последний период деятельности Э.И. Григолюка после его перехода в 1977 году из Московского авиационного института на работу в Московский автомеханический институт (ныне Московский государствен-



ный машиностроительный университет (МАМИ)). Под руководством Э.И. Григолюка сотрудниками руководимой им кафедры прикладной и вычислительной математики в течение примерно двадцати пяти лет были поставлены и проведены обширные исследования в области расчета прочности конструкций различных автотранспортных средств: автобусов, большегрузных карьерных самосвалов, обитаемых кузовов – контейнеров многоцелевого назначения, пневматических шин. Велась разработка общего динамического метода расчета прочности и сопротивления усталости автомобиля в процессе движения по дорогам различного профиля; методов и программ расчета напряженно-деформированного состояния и устойчивости несущих систем автомобилей при статическом нагружении и при опрокидывании; норм прочности несущих систем автомобилей.

Следует отметить, что по мере развития техники регламентирование расчетных и экспериментальных методов оценки прочности при проектировании массовых однотипных конструкций стало традиционным и обязательным в авиации, судостроении, строительстве, на железнодорожном транспорте, в энергомашиностроении. И только в такой гигантской по объемам производства области, как автомобилестроение, исторически сложился иной подход к проектированию новых конструкций, при котором определяющими считались требования технологии производства, а расчетным методам уделялось существенно меньше внимания. В конце семидесятых годов в автомобилестроении СССР было накоплено достаточно большое число различных нормативных документов, регламентирующих отдельные частные вопросы расчетов и испытаний автомобилей и их агрегатов, но единой отраслевой системы нормирования прочности, безопасности и сертификации автотранспортных средств так и не было создано, о ней даже не помышляли.

Изучив состояние дел в этой области, Э.И. Григолюк выступил инициатором разработки норм прочности в автомобилестроении. В 1979 году им было создано крупное совещание по нормам прочности. Были приглашены представители более 15 видов промышленного производства – авиации (А.Ф. Селихов и др.), двигателей (И.А. Биргер и др.), кораблестроения (О.М. Палий и др.), турбостроения, котельного производства, вагоностроения, автомобилестроения и т.п. В результате был проведен всесторонний анализ норм в промышленных отраслях и сформулированы направления разработки единой для автомобильной промышленности системы норм прочности, безопасности и сертификации. Для развития этих работ в стране и координации усилий академической, вузовской и отраслевой наук в составе Научного Совета Академии наук СССР по проблемам машиностроения и технологических процессов была организована секция "Динамика и прочность автомобильных конструкций", которую возглавил Э.И. Григолюк. В 1992 году он был избран действительным членом Российской академии транспорта.

Значимость проводимых работ была подчеркнута в письме Председателя научного Совета по прочности и пластичности АН СССР А.А. Ильюшина, направленном ректору МАМИ в мае 1984 года, в котором отмечалось, что «работы ... по разработке и внедрению единых правил и норм расчета на прочность автотракторной техники включены в план важнейших работ АН СССР и ГКНТ СССР».

В результате были разработаны проекты норм прочности несущих систем легковых автомобилей, большегрузных карьерных самосвалов (БЕЛАЗ'ов).

Весьма подробно были разработаны правила и нормы расчета и испытаний на прочность несущих систем автобусов. В проекте были выделены основные случаи нагружения кузова в различных условиях эксплуатации. Для всех этих случаев приведены величины расчетных и эксплуатационных нагрузок, коэффициенты динамичности и безопасности. Были даны также рекомендации по выбору расчетных схем и указана общая процедура определения расчетных случаев для различных элементов конструкции кузова. Отпечатанные в НАМИ в 1994 году нормы прочности автобусов были изданы за счет фонда академика А.И. Титкова [26].

В последние годы рядом организаций нашей страны ведутся работы по созданию обитаемых кузовов-контейнеров многоцелевого назначения. Это специальное транспортное средство, предназначенное для транспортирования различными видами транспорта: автомобильным, воздушным, железнодорожным, водным. Ввиду намечавшегося изготовления широкой номенклатуры кузовов-контейнеров различных типоразмеров, а также предъявляемых к ним жестких требований по обеспечению прочности и долговечности при разнообразных условиях эксплуатации, были разработаны "Нормы расчета, проектирования и испытаний кузовов-контейнеров", регламентирующие единый подход к применению расчетных и экспериментальных методов проектирования таких конструкций.

К сожалению, в 90-ые годы чрезвычайно затруднительным стало получение необходимой информации и обмен ею, хотя по самой своей сути правила и нормы прочности должны представлять собой постоянно совершенствующиеся документы, учитывающие передовой инженерный опыт, накапливаемый в соответствующих отраслях техники. Это и отсутствие финансирования, к сожалению, привело к постепенному свертыванию успешно продвигавшейся работы.

Большой комплекс работ был выполнен по разработке теории и методов расчета пневматических шин. Расчетные модели шин, использовавшиеся в НИИ шинной промышленности (НИИШП), не давали полного представления о напряженно-деформированном состоянии шины. В 1979 году Э.И. Григолюк был приглашен руководством НИИШП в институт для обсуждения участия МАМИ в работе по шинам. Камнем преткновения при создании теории шин, как считал В.Л. Бидерман, было непонимание того, как аппроксимировать исходную поверхность шины. Когда в МАМИ взялись за эту проблему, было осознано, что исходная поверхность шины образуется вращением плоской кривой произвольного вида. Задается она набором дискретных точек, поэтому незначительная ошибка в координатах дает существенные погрешности в кривизнах. Для сглаживания поверхности было предложено использовать кубические сплайны. Применяя далее разработанную Э.И. Григолюком и его учениками теорию тонких слоистых анизотропных оболочек конечного прогиба, удалось описать механизм деформирования шин, которые представляют собой тонкостенную конструкцию сложной структуры по толщине.

По этой теории в монографии Э.И. Григолюка и Г.М. Куликова [27] были приведены расчеты на прочность осесимметричных шин: грузовой диагональной и радиальной, легкой и сельскохозяйственной радиальной, крупногабаритной шины диагональной и радиальной. По проблеме шин, кроме НИИШП и НАМИ, сотрудничество велось и с рядом других ведущих предприятий в этой отрасли. По решению ГКНТ (1981г.) МАМИ был определен головной организацией по комплексной проблеме "Разработка конструкций перспективных моделей автомобильных шин".

Позднее были разработаны методы уточнения распределения напряжений и деформаций в шинах, особенно поперечных касательных напряжений, на основе глобальной двумерной теории многослойных оболочек (теории оболочек типа Тимошенко) путем использования смешанного вариационного принципа Ху-Васидзу и более общей дискретно-структурной теории многослойных оболочек. Разработанный подход позволил упростить формулировку нелинейных задач статики для многослойных композитных оболочек и создавать эффективные численные алгоритмы. Полный обзор состояния работ по пневматическим шинам был опубликован Э.И. Григолюком и Г.М. Куликовым в 1993 году [28]

В 80-ые годы совместно с Львовским ВКЭИ Автобуспром'ом велась большая работа по проектированию кузова автобуса большого класса, впоследствии известного как автобус ЛИАЗ-5256. Была разработана интерактивная система компьютерного анализа для проектирования и расчета напряженного состояния, устойчивости и колебаний кузовов автобусов; выполнена весовая оптимизация кузова с использованием принципа дискретной равнопрочности.

Были проведены расчетные работы для большегрузного (75-тонного) карьерного самосвала БЕЛАЗ–549: создана расчетная модель рамы как несущей системы автомобиля, разработана методика определения нагрузок и программа расчета напряженно–деформированного и прочности кузовов большегрузных карьерных самосвалов. При анализе корпуса редуктора мотор–колеса была забракована конструкция завода и предложен новый безопасный вариант конструкции.

По предложению воинской части 63539 были разработаны методы расчета динамических характеристик колесных и гусеничных машин, модели конструкций, оценены напряжения и деформации в них для ряда расчетных случаев. Был разработан метод оценки частот автомобиля как многомассовой (произвольное число масс) системы. Определено напряженно–деформированное состояние кузовов, расположенных на автомобилях при тепловой и ударной нагрузке (одно– и трехслойные конструкции при ударных волнах с учетом отражения). Описана модель "дорога–кузов" с целью установления воздействия неровностей дороги на кузов–фургон: получены показатели нагруженности, и обнаружена избирательность воздействия дорожных условий на динамическую нагруженность автомобиля.

Выполнялись работы по исследованию динамического поведения автомобилей и экипажа при подрыве на минах. Проводились натурные испытания основных грузовых армейских автомобилей типа «Урал» и «КаМАЗ» при подрыве на фугасах в широком диапазоне мощностей заряда. Получены уникальные данные по перегрузкам в элементах конструкции и на местах экипажа. Создана математическая модель, описывающая действие взрыва и представляющая собой систему с конечным числом степеней свободы, состоящую из абсолютно жестких элементов, соединенных нелинейными упругими и демпфирующими элементами, а также поведение конструкции и экипажа. Выявлены поражающие факторы и предложены пути снижения их воздействия. Эта работа продолжается и в настоящее время.

Существенное место в научно-исследовательской работе сотрудников кафедры, руководимой Э.И. Григолюком, занимала проблема прочности тонких оболочечных конструкций в условиях нелинейного деформирования. В частности, на протяжении многих лет Э.И. Григолюком и Е.А. Лопаницыным были выполнены исследования по конечным перемещениям арок и пологих оболочек, их устойчивости и закритического поведения. Эти результаты систематизированы в монографии [29].

При кафедре, в период, когда ею руководил Э.И. Григолюк, работали два известных в стране научно–технических подразделения: Комиссия по прочности двигателей и Секция динамики и прочности автомобиля, состоящие при Научных советах Отделения проблем машиностроения, механики и процессов управления АН СССР (РАН). Одним из важных направлений научной деятельности кафедры являлась организация и проведение научно–технических совещаний и конференций по прочности двигателей, по динамике и прочности автомобиля. При указанных научно–технических советах было проведено семь Всесоюзных и пять Международных научно–технических совещаний по проблемам прочности двигателей (охватывавших проблемы динамики и прочности не только автомобильных двигателей, но и двигателей для авиации, ракет, стационарного турбостроения, судостроения и т.д.) и девять научно – технических совещаний по прочности и динамике автомобиля (с 1979 по 2005) годы. Председателем Оргкомитета всех этих совещаний был Э.И. Григолюк.

Параллельно с работой в МАМИ Э.И. Григолюк заведовал лабораторией испытания конструкций в Институте механики МГУ им. М.В. Ломоносова. В его лаборатории велись интенсивные работы с оборонными предприятиями НПО Машиностроения, НПО им. С.А. Лавочкина, ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова и другими.

По решению Секции прикладных проблем РАН Институт механики МГУ в 1996–2005 г.г. возглавлял исследования по теме «Идеал-РВО» и «Идеал-2РВО» для Ракетных войск стратегического назначения и Космических войск Министерства Обороны. В работе участвовали специалисты ведущих предприятий и вузов: ЦНИИ Машиностроения, НПО Машино-

строения, НПО им. С.А. Лавочкина, 50 ЦНИИ им. М.К. Тихонравова, Института Машиностроения РАН им. В.В. Благодирова, ПММ МВТУ им. Н.Э. Баумана, МАИ, ИММ Казанского научного центра РАН, Института физико-технических проблем МНТК «Прогресс», Пермского государственного университета, Военной академии им. Ф.Э. Дзержинского, МАМИ. Руководил исследованиями в области прочности член-корр. РАН Э.И. Григолюк.

Коллектив научных сотрудников под его руководством неоднократно участвовал в технических экспертизах по проблемам прочности ракетно-космических конструкций и автомобильных конструкций. В качестве примера приведем совместную работу с НПО Машиностроения по оценке устойчивости трехслойного днища спускаемого космического аппарата орбитальной станции «Алмаз» при посадке и выяснению причин возникновения нештатных колебаний ракет-носителей при подходе к цели при неполной выработке топлива.

Много сил было затрачено научным коллективом под руководством Э.И. Григолюка на издательско-просветительскую деятельность в области механики. Это и переводы на русский язык современных монографий по механике (было переведено с английского и немецкого языков 48 книг), аналитические обзоры по отдельным разделам механики и, главное, популяризация научного наследия С.П. Тимошенко, многие из работ которого были практически недоступны. Трудность состояла не только в поиске и переводе этих работ, но и в проверке всех библиографических ссылок в этих работах.

Были изданы три тома оригинальных работ С.П. Тимошенко – один в киевском издательстве «Наукова думка» в 1975 г. и два в московском издательстве «Наука» в 1971 и 1975 гг., в которые вошли также анализ творческого наследия С.П. Тимошенко и библиографический список его работ. Два переиздания выдержала книга о жизни и творческой деятельности самого С.П. Тимошенко [30].

Существенен вклад Э.И. Григолюка в анализ фундаментальных механических идей и творческого наследия классиков естествознания и отечественных ученых-механиков, в том числе работ И.Г. Бубнова и предложенного им метода интегрирования дифференциальных уравнений.

Многолетняя работа Э.И. Григолюка редактором реферативного журнала «Механика» ВИНТИ АН СССР способствовала написанию им широко известных фундаментальных обзоров по устойчивости цилиндрических оболочек, по устойчивости оболочек за пределом упругости, по многослойным оболочкам, по неклассическим теориям колебаний стержней, пластин и оболочек, по аэроупругим задачам, по нелинейному поведению тонкостенных конструкций [5, 11 - 16, 31 - 33]. В качестве заместителя главного редактора и зам. председателя редсовета он принимал участие в издании шеститомного энциклопедического справочника «Вибрации в технике».

Присущая Э.И. Григолюку исключительная широта научных интересов явилась естественным результатом его многолетнего тесного сотрудничества с ведущими конструкторскими бюро авиационной и ракетной техники, возглавлявшимися С.П. Королевым, В.П. Глушко, В.Н. Челомеем, П.Д. Грушиным, С.А. Лавочкиным, И.П. Братухиным, Р.А. Бартини и др. Много лет Э.И. Григолюк непосредственно работал в ОКБ «Красная звезда» М.М. Бондарюка (став научным руководителем ОКБ), в Сибирском научно-исследовательском институте авиации им. С.А. Чаплыгина.

Э.И. Григолюк был главой крупной механической школы, воспитав свыше 35 докторов и 80 кандидатов наук.

Многогранная многолетняя деятельность Э.И. Григолюка являет собой пример самоотверженного служения Отечеству и науке.

### Литература

1. Григолюк Э.И. Температурные напряжения в круглой сплошной биметаллической пластинке // Тр. кафедры сопротивления материалов МВТУ им. Н.Э. Баумана. Разд. III, 1947. С.55-69; О прогибах и устойчивости биметаллических полос // Инженерный сборник,



1950. Т.7. С.69-90; О прочности и устойчивости цилиндрических биметаллических оболочек // *ibid*, 1953. Т.16. С.119-148; Тонкие биметаллические оболочки и пластины // *ibid*, 1953. Т. 17; Уравнения осесимметричных биметаллических упругих оболочек // *ibid*, 1954. Т.18. С.89-98; Об устойчивости замкнутой двухслойной конической оболочки под действием равномерного давления // *ibid*, 1954. Т.19. С.73-82.
2. Григолюк Э.И. О выборе исходной поверхности в теории неоднородных оболочек // Изв. АН СССР, ОТН. 1956, № 8. С.120-121.
  3. Григолюк Э.И. Уравнения трехслойных оболочек с легким наполнителем // Изв. АН СССР, ОТН. 1957, № 1. С. 77-84.
  4. Григолюк Э.И. Конечные прогибы трехслойных оболочек с жестким наполнителем. Изв. АН СССР, ОТН. 1958, № 1. С. 26-34.
  5. Григолюк Э.И. Упругость и пластичность. 1964. “Теоретическое и экспериментальное исследование устойчивости тонких оболочек за пределом упругости”. М.: ВИНТИ, 1966. С. 7-80.
  6. Григолюк Э.И., Чулков П.П. Критические нагрузки трехслойных цилиндрических и конических оболочек. Новосибирск: Западно-Сибирское книжное издательство. 1966. 224 с.
  7. Григолюк Э.И., Чулков П.П. Устойчивость и колебания трехслойных оболочек”. М.: Машиностроение, 1973. 172 с.
  8. Григолюк Э.И., Чулков П.П. Теория вязко - упругих многослойных оболочек с жестким наполнителем при конечных прогибах // ПМТФ, 1964, № 5. С. 109 – 117.
  9. Григолюк Э.И., Чулков П.П. Нелинейные уравнения тонких упругих слоистых анизотропных пологих оболочек с жестким наполнителем // Изв. АН СССР. Механика. 1965, № 5. С. 65 – 80.
  10. Григолюк Э.И., Чулков П.П. Нелинейные уравнения тонких многослойных оболочек регулярного строения // Инженерный журнал. Механика твердого тела. 1967, № 1. С. 163 – 169.
  11. Григолюк Э.И., Селезов И.Т. Неклассические теории колебаний стержней, пластин и оболочек // Итоги науки и техники. Сер. Механика деформируемых твердых тел. Том 5. М.” ВИНТИ, 1973. 272 с.
  12. Болотин В.В., Григолюк Э.И. Устойчивость упругих и неупругих систем // Механика в СССР за 50 лет. Том 3. Механика деформируемого твердого тела. М.: Изд-во “Наука”. Глав. ред. физ.-матем. лит.-ры. М.: 1973. С. 325 – 363.
  13. Григолюк Э.И., Куликов Г.М. Развитие общего направления в теории многослойных оболочек // Мех. композит. материалов. 1988, № 2. С.287 – 298.
  14. Григолюк Э.И., Коган Е.А., Мамай В.И. Проблемы деформирования тонкостенных слоистых оболочек с расслоениями // Изв. РАН. Механика твердого тела. 1994, № 2. С. 6 – 32.
  15. Григолюк Э.И., Коган Е.А. Статика упругих слоистых оболочек. М.: НИИ Механики МГУ, 1999. 215 с.
  16. Григолюк Э.И., Коган Е.А. Анализ основных направлений развития и расчетных моделей анизотропных слоистых оболочек // Межвузовский научный сборник «Механика оболочек и пластин в XXI веке». Саратов, Саратовск. гос. техн. ун-т, 1999. С. 3-30.
  17. Григолюк Э.И., Фильштинский Л.А. Регулярные кусочно-однородные структуры с дефектами. М.: Изд. фирма “Физико-математическая литература”, 1994. 336 с.
  18. Григолюк Э.И., Горшков А.Г. Нестационарная гидроупругость оболочек.–Л.: Судостроение, 1974. 208 с.
  19. Григолюк Э.И., Горшков А.Г. Взаимодействие упругих конструкций с жидкостью (удар и погружение). – Л.: Судостроение, 1976. 199 с.
  20. Григолюк Э.И., Толкачев В.М. Контактные задачи теории пластин и оболочек.– М.: Машиностроение, 1980. 412 с.
  21. Григолюк Э.И., Мамай В.И. Механика деформирования сферических оболочек.– М.:

- Изд-во МГУ, 1983. 115 с.
22. Григолюк Э.И., Мамай В.И. Нелинейное деформирование тонкостенных конструкций.– М.: Наука. Физматлит, 1997. 272 с.
  23. Григолюк Э.И., Шалашилин В.И. Проблемы нелинейного деформирования: метод продолжения по параметру в нелинейных задачах механики твердого деформируемого тела. – М.: Наука. Физматлит, 1988. 231 с.
  24. Григолюк Э.И. Нелинейные колебания и устойчивость пологих оболочек и стержней // Изв. АН СССР, ОТН. 1955, № 3. С. 33 – 68.
  25. Григолюк Э.И. О колебаниях круговой цилиндрической панели, испытывающей конечные прогибы // Прикл. матем. и механика. 1955. Т. 19, № 3. С. 376-382.
  26. Григолюк Э.И., Коган Е.А., Кулаков Н.А. Нормы прочности автомобиля. Нормирование прочности несущих систем автобусов. Под редакцией Э.И. Григолюка // Московская государственная академия автомобильного и тракторного машиностроения. М.: тип. НАМИ, 1994. 132 с.
  27. Григолюк Э.И., Куликов Г.М. Многослойные армированные оболочки. Расчет пневматических шин. М.: Машиностроение, 1988. 288 с.
  28. Григолюк Э.И., Куликов Г.М. Методы исследования напряженно-деформированного состояния многослойных композитных оболочек с приложением к механике пневматических шин // Научно-техн. прогресс в машиностроении. Вып. 39. М.: Междунар. центр научной и техн. информации. Ин-т машиноведения им А.А. Благоднарова. 1993. 50 с.
  29. Григолюк Э.И., Лопаницын Е.А. Конечные прогибы, устойчивость и закритическое поведение тонких пологих оболочек. М.: МГТУ «МАМИ». 2004. 162 с.
  30. Григолюк Э.И., С.П.Тимошенко. Жизнь и судьба. С.–Петербург: ЦНИИ им. акад. А.Н.Крылова, 2000. 274 с. Второе издание. М.: МАИ, 2002. 404 с.
  31. Григолюк Э.И., Кабанов В.В. Устойчивость круговых цилиндрических оболочек. Итоги науки. «Механика твердых деформируемых тел». М.: ВИНТИ, 1969. 348 с.
  32. Григолюк Э.И., Коган Е.А., Сальков С.Г. Проблемы нормирования прочности автомобильных конструкций // Проблемы машиностроения и надежности машин. 1999, №1. С. 92 – 99.
  33. Григолюк Э.И. Проблемы прочности автомобильных конструкций и их разработка кафедрой прикладной и вычислительной математики МАМИ // Международный научный симпозиум, посвященный 60-летию воссоздания МАМИ, 30 сентября 1999 г.
  34. Избранные проблемы прочности современного машиностроения. Сборник научных статей, посвященный 85-летию члена-корреспондента Российской академии наук Эдуарда Ивановича Григолюка (1923 - 2005). М.: Физматлит, 2008, 204 с..

**О термомеханических процессах**

д.ф.-м.н. проф. Кийко И.А.  
МГУ им. М.В. Ломоносова  
8(495)9395539, [elast5539@mail.ru](mailto:elast5539@mail.ru)

*Аннотация.* Теория термомеханических процессов как рабочий аппарат при разработке уравнений состояния и термодинамики сплошной среды включает в себя все основные разделы фундаментальной механики деформируемого твердого тела. В предлагаемой работе рассматриваются два аспекта общей проблемы: 1) немонотонные процессы вязкопластических течений; 2) панельный флаттер вязкоупругих пластин. В первом случае выделяется принципиально новая проблема – определение функционала контактного трения и построение теории пластичности при сложных нагружениях тел с неоднородным начальным напряженно-деформированным состоянием. Решение предполагается искать с помощью метода СН-ЭВМ в совокупности с образованием банка данных. Во втором случае ставится проблема окончательно разъяснить известный парадокс об определении критических параметров в задаче о флаттере вязкоупругой пластины. В статье также затрагиваются вопросы научной этики и морали; побудительной причиной к этому послужили появившиеся публикации, в которых субъективно и предвзято трактуются исторические факты, касающиеся развития науки о термомеханических процессах.

*Ключевые слова:* термомеханические процессы, функционалы пластичности и контактного трения, немонотонные процессы, панельный флаттер как процесс, научная этика и мораль

Работа подготовлена по материалам доклада, прочитанного на XIV международной конференции «Современные проблемы математики, механики, информатики», посвященной 90-летию со дня рождения профессора Л.А.Голоконникова. Тула, 17–20 сентября 2013 г.

Фундаментальная механика деформируемых твердых тел – это наука о термомеханических процессах (ТМП), происходящих в телах, конструкциях, сооружениях, природных образованиях, биологических структурах при их взаимодействии между собой и с внешними физическими полями различной природы (тяготение, потоки тепла, электромагнитные поля, проникающие излучения). В данном определении ТМП содержится предмет исследования. Метод исследования – это разработка физической модели явления, соответственно ей – математической модели и ее исследование средствами современной математики и вычислительной техники. Неотъемлемой частью исследования на всех его стадиях является макроэксперимент (натурный, производственный, лабораторный). Очевидно, теория ТМП – это феноменологическая наука, активно использующая достижения физики твердого тела, материаловедения, других естественных наук.

Под термомеханическим процессом, происходящим в материальной частице сплошной среды, мы понимаем задание одних параметров (как правило, деформаций, их скоростей, температуры и др.) и определение (отклик системы) других (как правило, напряжений). Эта связь представляется в форме функционалов по времени (примеры будут приведены ниже). В рамках этих представлений не бывает упругих, упругопластических или других тел, в разных ТМП тела могут проявлять разные свойства (пример – сталь: в большинстве конструкций и сооружений она проявляет свойства упругости, с ростом нагрузок – упругопластические свойства, в области сверхвысоких давлений и температур – кумулятивная струя – она ведет себя как идеальная несжимаемая жидкость).

Теория ТМП включает в себя основные разделы современной механики деформируемого твердого тела

- термовязкопластичность, исчерпание запаса пластичности (физико–математические основы технологии обработки материалов давлением);