

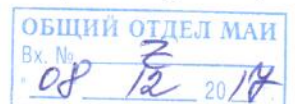
В диссертационный совет Д 212.125.05  
при ФГБОУ ВПО "Московский  
авиационный институт (национальный  
исследовательский университет)" МАИ  
125993, г. Москва, А-80, ГСП-3,  
Волоколамское шоссе, д. 4

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Голденко Натальи Александровны  
«Расчетно-экспериментальные методы исследования прочности  
трансформируемых модулей орбитальных станций при воздействии осколочно-  
метеороидной среды», представленной на соискание ученой степени кандидата  
технических наук по специальности 01.02.06 – «Динамика, прочность машин,  
приборов и аппаратуры»

Диссертация Голденко Н.А. посвящена актуальной и практически важной  
теме обеспечения защиты модулей орбитальных станций от воздействия  
осколочно-метеороидной среды. Защита от высокоскоростного удара  
космических тел требуется в связи с их реальной угрозой, как для всей планеты в  
целом (астероидная опасность), так и для космических аппаратов (КА) и их  
экипажей (осколочно-метеороидная угроза). Хотя сама проблема обеспечения  
защиты КА и разработки расчетно-экспериментальных методов подтверждения её  
функциональности не является новой, но вследствие накопления техногенного  
космического мусора и возрастания его опасности, а также с учетом интенсивного  
развития технологий синтеза новых высокомодульных композитных материалов и  
конструктивных средств защиты из них, актуальность выбранной темы  
диссертации не вызывает сомнений.

Несмотря на свою актуальность, проблема разработки защиты от  
высокоскоростного удара не решена даже в случаях реальной опасности для  
жизнедеятельности человека. В планетарном масштабе человечество в принципе  
не способно в настоящее время защититься от опасного сближения с Землей  
астероидов или комет диаметром более 1км. Современные КА и орбитальные  
станции не обеспечены средствами конструктивной защиты, способной  
противостоять высокоскоростному удару космической частицы с размером,



превышающим 1 см и скоростью более 10 км/с, что с большой вероятностью может привести к катастрофическим последствиям.

Невозможность обеспечения защиты во многом определяется отсутствием соответствующего научно-методического аппарата. Как известно, в настоящее время мы не способны численно моделировать откольные разрушения твердых тел с требуемой для практики точностью, не говоря уже о фрагментации ударника и преграды, носящей, как правило, случайный характер. Более того, во многих случаях экспериментальное исследование ударного воздействия на натурные конструкции с защитными экранами оказывается либо принципиально невозможным, либо слишком дорогостоящим, либо и, как правило, малоинформативным. Выходом из положения может быть сочетание расчетных и экспериментальных методов, именно этот подход и используется соискателем в диссертации.

Одним из перспективных и успешно развивающихся средств конструктивной защиты являются трансформируемые модули, в основе которых лежит надувная гермооболочка из мягкого полимерного материала с защитными слоями из органоткани, легко складывающимися вместе с основной конструкцией. Такие разворачиваемые после вывода КА на орбиту защитные системы оказываются весьма эффективными, но их расчетно-экспериментальная отработка остается пока ещё одной из нерешенных задач динамической прочности конструкций КА. Поэтому выбор диссертантом цели работы (совершенствование расчетно-экспериментальной прочностной отработки трансформируемых модулей орбитальных станций при воздействии осколочно-метеороидной среды) представляется обоснованным и перспективным.

Наиболее существенными результатами, полученными соискателем и определяющими научную новизну и научно-практическую значимость работы, являются следующие.

1. Разработана комплексная расчетная модель высокоскоростного воздействия осколков космического мусора (ОКМ) на трансформируемый модуль, имеющий набор разнесенных в пространстве защитных многослойных



тканевых экранов, на основе сочетания SPH-метода для расчета экранов и аналитического метода для прогнозирования прочности газосодержащей гермооболочки, нагруженной распределенным по поверхности импульсом давления. Достоверность отдельных частей модели обосновывается посредством сравнения результатов расчетов с экспериментальными данными на протяжении всей работы.

2. Впервые разработано взрывное метательное устройство (ВМУ), обеспечивающее проведение прочностных испытаний конструкций на ударное воздействие компактных алюминиевых частиц массой до 1 г и со скоростями в диапазоне 7...11 км/с. Успех этой разработки обусловлен многоплановым (рассматриваются различные постановках задач и цели расчетов) моделированием процессов в устройстве с целью определения его рациональных параметров. Следует отметить умелое сочетание автором расчетного и экспериментального подхода в этой части исследований и во всей диссертации в целом.
3. Впервые получен ряд уникальных и практически важных результатов (зависимость поглощенной энергии от состава и геометрии многослойной экранной защиты, экспериментальное подтверждение реализации вытеснительного механизма образования кратера в определенном интервале скоростей, расчетное доказательство неэффективности равномерного разнесения экранов и равенства их толщин, а также ряд других).

Достоверность научных результатов и выводов диссертации Голденко Н.А. обусловлена: корректной физико-математической постановкой рассматриваемых задач; выбором современных численных методов и программных продуктов для их реализации, сравнением расчетных и экспериментальных данных.

Диссертация Голденко Н.А. объемом 169 страниц состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. В работе содержатся 153 рисунка, 24 таблицы и 130 библиографических ссылок.

Во введении обоснована актуальность исследований, сформулированы цель и задачи работы, показаны ее научная новизна, а также теоретическая и практическая значимости, сформулированы положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлены данные об осколочно-метеороидной обстановке, характеристиках высокоскоростных частиц и динамике роста их количества. Рассмотрены существующие модели осколочно-метеороидной среды. Отмечено, что основную опасность для долговременных орбитальных станций и КА представляют ОКМ массой до 1 г и размером до 10 мм. Далее описаны основные физические принципы защиты КА и сформулированы требования к конструкции многослойной трансформируемой гибкой оболочки для реализации этой защиты. Проведен детальный сравнительный анализ метательных устройств для генерации высокоскоростных компактных частиц. Сделан вывод о необходимости разработки ВМУ и найден его прототип.

Вторая глава посвящена разработке комплексной численной модели расчета прочности трансформируемых модулей КА с защитными экранами. Использовался гибридный подход, заключающийся в сочетании численного и аналитического методов: расчет облака осколков на основе численного SPH-метода и аналитический прочностной расчет газосодержащей гермооболочки. Гибридный подход позволил существенно упростить модель без потери точности. В этой части работы диссертант продемонстрировал хорошее знание различных моделей сплошной среды и умение их использования с учетом конкретных особенностей задачи. Отметим, что численное моделирование этой задачи целиком стандартными методами (например, SPH-методом) вряд ли возможно в принципе. Как итог расчетных исследований, получен практически важный вывод о возможности обеспечения прочности защищаемой надувной гермооболочки при ударе алюминиевой частицы диаметром 10,3 мм со скоростью до 7 км/с. Этот вывод подтвержден и при испытаниях многослойного трансформируемого модуля РКК «Энергия» со встроенной экранной защитой.

В третьей главе проводится поиск рациональных параметров разрабатываемого ВМУ на основе численного моделирования газодинамических



процессов с помощью программного комплекса ANSYS\AUTODIN. Автор работы демонстрирует уверенное владение этим программным комплексом. Полученные результаты и их особенности показывают, что без использования численного моделирования создание взрывного устройства было бы очень затратным или даже неосуществимым. Результаты многочисленных систематических расчетов позволили диссертанту систематизировать полученные данные с помощью регрессионных моделей. Наличие такой систематизации даёт возможность оперативно проектировать разработанное метательное устройство для заданных параметров ОКМ.

В заключительной четвертой главе диссертации представлены результаты экспериментальной отработки ВМУ. При этом одной из основных целей помимо отработки самого устройства было экспериментальное подтверждение результатов численных расчетов. В итоге не только показана работоспособность и эффективность разработанного ВМУ, но и получила экспериментальное подтверждение газодинамическая методика, использующая комплекс ANSYS/AUNODYN. Последнее весьма важно, поскольку в настоящее время мнение об этом комплексе и достоверности получаемых с его помощью результатов в кругу специалистов-расчетчиков газодинамических задач расходятся.

В заключении к диссертации изложены основные результаты и выводы работы.

Таким образом, диссертационная работа Голденко Н.А. выполнена на высоком научном уровне, содержит ряд новых результатов, имеющих важное значение для практики. Выводы диссертации, сделанные на основе полученных расчетно-экспериментальных результатов, являются обоснованными и их достоверность не вызывает сомнений. Результаты диссертации неоднократно докладывались на отраслевых и всероссийских конференциях. Опубликованные в научной печати данные содержат полную информацию с полученных результатах. Приведенная в диссертации библиография отражает современный

уровень проблемы. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

В качестве замечания следует отметить, что соискателем уделено недостаточно внимания обсуждению и формулировке критериев разрушения ОКМ и защитных слоёв, а также их численной реализации. Также остались за рамками диссертации принципиально важные вопросы о влиянии фазовых переходов, формы и материала ОКМ (ведь не обязательно они из алюминия и имеют форму шара) на полученные автором результаты.

Сделанные замечания не изменяют общей положительной оценки диссертации Голденко Н.А. В основном, они обусловлены разнообразием и сложностью вопросов, затронутых в диссертации, и имеют характер рекомендаций для дальнейших исследований.

Диссертация Голденко Н.А. является законченной научно-исследовательской работой и соответствует требованиям "Положения о порядке присуждения ученых степеней", предъявляемых к кандидатским диссертациям, а ее автор, Голденко Наталья Александровна, заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.06 – Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры.

Официальный оппонент,  
г.н.с. отдела Экстремальных состояний вещества  
Института проблем химической физики РАН,  
доктор технических наук по специальности 20.00.14 «Вооружение и военная техника. Комплексы и системы всенного назначения», профессор

“ 6 ” декабря 2017  
e-mail: ostrik@icp.ac.ru

служебный телефон: +7 (496-52) 2-52-44, моб. телефон +7 (926) 981-32-43

служебный адрес: 142432, г. Черноголовка, просп. Акад. Н.Н. Семенова, д. 1, ИПХФ РАН  
домашний адрес: 142432, г. Черноголовка, ул. Коммунальная 3-А, кв. 31.

 Острик Афанасий Викторович

Я, Острик Афанасий Викторович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Голденко Н.А., и их дальнейшей обработкой.

Подпись А.В. Острика заверяю,  
ученый секретарь ИПХФ РАН,

доктор химических наук



13.12.2017 

 Б.Л. Психа