

Краткий обзор некоторых исследований и разработок в механике

М.А. Ильгамов

Уважаемые коллеги!

Всем известно, что беды российской науки обусловлены невостребованностью ее результатов нашей экономикой. Такое положение было характерно в значительной мере и в советское время, что было одной из причин низкой эффективности экономики, ее заката, разрушения страны.

Но в то время была одна отрасль, даже целое направление отраслей, где связи науки и производства были плодотворными. Это военно-промышленный комплекс. Не случайно, по прошествии десятилетий продукция его является конкурентоспособной. Созданные в то время изделия в аэрокосмической технике, атомной промышленности, отдельные системы вооружений все еще исправно служат, являются экспортной продукцией. Если еще в мире считаются с Россией, то именно благодаря этому наследию советского времени.

Возможно, юбилеи – это повод для воспоминаний о плодотворном взаимодействии науки и экономики, промышленности.

Такие исследования и разработки выполнялись по хоздоговорам с предприятиями, по заданиям военно-промышленной комиссии Совета Министров СССР, по постановлениям ЦК КПСС и Совета Министров СССР. К работе привлекались академические институты, отраслевые НИИ, ОКБ, вузы, предприятия, полигоны.

Довелось быть участником таких работ и мне. Остановлюсь на трех разработках.

1. Прочность и динамика камер сгорания, реакторов и трубопроводов
2. Прочность и рабочие процессы в двигателях твердого топлива
3. Динамика мягких оболочек в потоке газа

1. Исследование динамических процессов в камерах сгорания жидкостных ракетных двигателей привело к обнаружению периодических ударных волн, распространяющихся вдоль камеры. На рис. 1 показаны эти волны, возникающие в упрощенной экспериментальной установке.

Камера сгорания является резонатором таких волн, которые приводят к разрушению двигателей.

Подобные резонаторы (в виде трубы) в дальнейшем были использованы в мирных целях. Например, при создании эффективной установки для очистки отходящих газов на предприятии «Авангард» (г. Стерлитамак). На рис. 2 показан макет установки с резонатором (в нижней части рисунка).

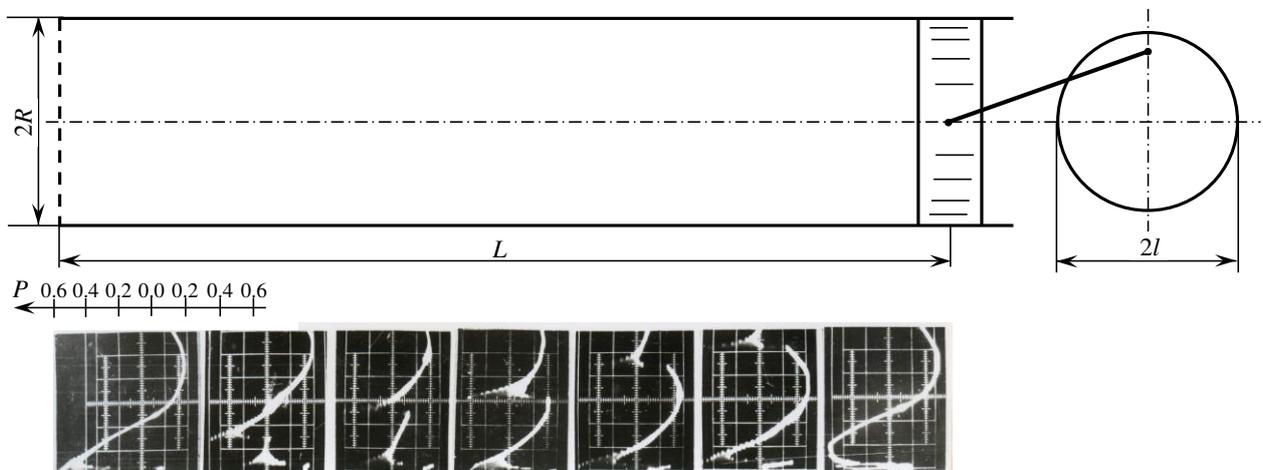


Рис. 1. Периодические ударные волны в модели камеры сгорания

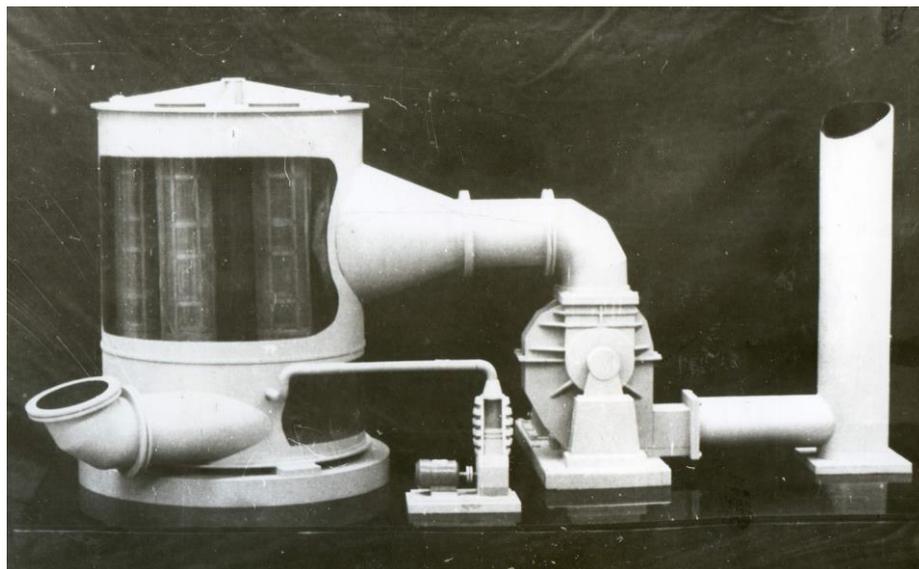


Рис. 2. Макет установки улова диметилформанида из отходящих газов с использованием ударных волн г. Стерлитамак, завод «Авангард» (1985-90г.г.)

Такая работа проводилась группой инженеров завода, сотрудников Казанского химико-технологического института с нашим участием. Если въезжаете в Стерлитамак с северной стороны города, то «Авангард» будет слева, а справа – его общежития, где мы и останавливались. Душой этих работ был заместитель директора, ныне покойный Ф.М. Газизов. В курсе работы было руководство города, которое всегда поддерживало ее. Когда был достигнут положительный результат с очисткой отходящих газов, не стало видно очень вредного ярко-оранжевого выхода из трубы (окислы азота), в городской газете появилась статья под названием «Исчез лисий хвост».

Хотя это небольшой эпизод в жизни, я привел его, так как речь идет о внедрении.

2. Динамика и прочность твердотопливных ракет. От легендарных реактивных артиллерийских систем «Катюша» времен Великой Отечественной войны до современных ракет «Тополь» – путь, пройденный двигателями на твердом топливе. На рис. 3 показана система СС–20 («Тополь», «Тополь–М» являются модификацией СС–20). Здесь виден контейнер, внутри которого находится ракета. Эта система устанавливалась также на железнодорожных вагонах для постоянного передвижения.

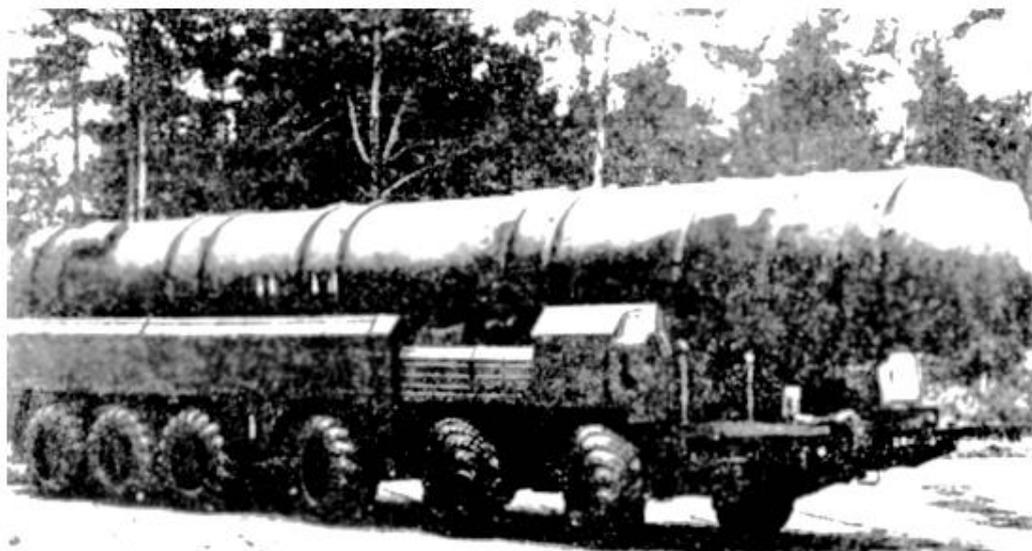


Рис. 3. Ракета с твердотопливным двигателем

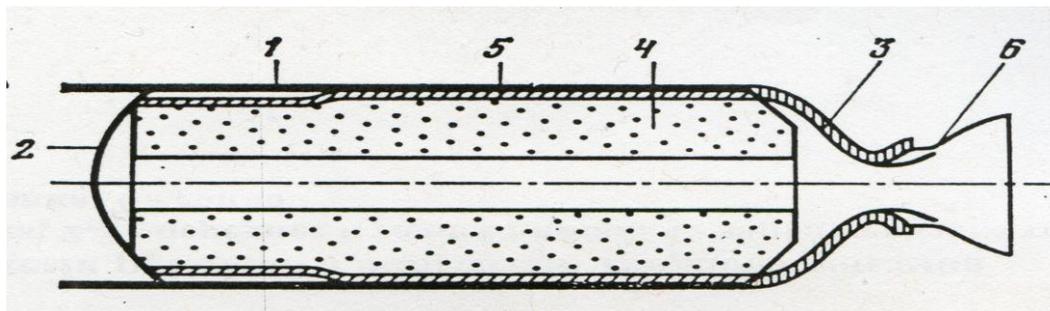


Рис. 4. Схема ракетного двигателя твердого топлива

1 – обечайка; 2, 3 – переднее и заднее днища; 4 – заряд твердого топлива; 5 – бронировка; 6 – сопло

Цикл работ был посвящен определению напряженно-деформированного состояния заряда и корпуса ракеты. На рис. 4 виден корпус, внутри которого находится твердотопливная ракета. Ракета представляет собой цилиндрическую оболочку 1 из композиционных материалов (в частности, стекловолокно с наполнителем-связующим) и само топливо 4, которое по механическим характеристикам близко к резине. На рис. 4 видны переднее днище 2 и сопло 3 и 6. Для обеспечения большей поверхности горения внутреннему каналу заряда придается звездообразная форма (рис.5).

По прочности и динамике таких ракет при хранении, транспортировке, запуске в пределах допустимого были опубликованы наши две книги, первая из которых сразу же была переведена на английский в США.

Модификации этих ракет и сейчас стоят на вооружении. Но с тех пор в них не вносились принципиальные изменения. Получается, что перевооружение, объявленное в стране в данном случае означает изготовление новых изделий той же разработки. А разработчики подобных изделий в других странах ушли вперед.

Наши ученые могли бы участвовать в решении научно-технических проблем, которые возникают при создании образцов изделий в рамках программы перевооружения армии. В этом отношении были надежды на Д.О. Рогозина, но он согласился с «реформой» РАН. Что же тогда может означать перевооружение армии без самого активного участия научных сил страны?

а – горящий с торца; б – крестообразный; в – звездообразный; г – телескопический; д – цилиндрический

Задействовать научные силы страны – это самый важный аргумент в пользу реформы научных учреждений, а количество публикаций, их цитируемость и т.д., важные для научной сферы, не интересны для общества и властей. Говоря по-простому, должен быть толк от науки для страны, т.е. внедрение. Отсюда и цель реальной реформы: снять искусственно возведенные барьеры хотя бы между предприятиями с государственным участием (от частных фирм вряд ли можно дожидаться) и вузами, РАН, остатками отраслевых НИИ, стимулировать их взаимодействие с помощью гибкой кредитно-налоговой политики, сделать так, чтобы результаты исследований, патенты, изобретения направлялись на создание новой техники, технологий, материалов, лекарств, изделий военно-промышленного комплекса и т.д. Без этого объявленный курс на модернизацию страны останется только на словах.

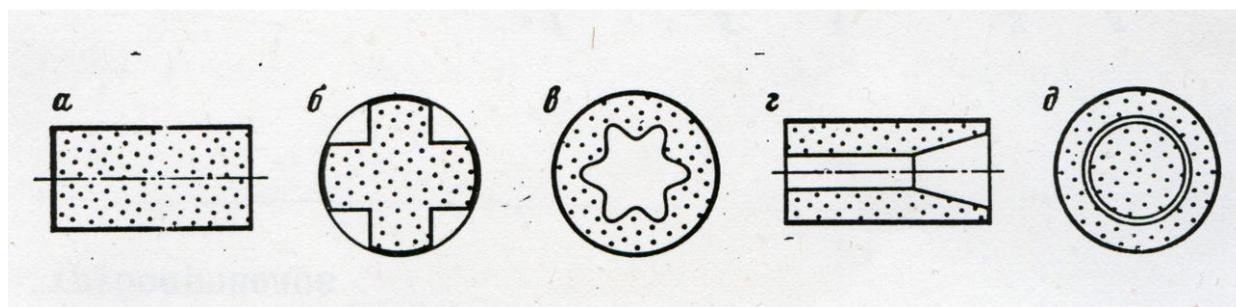


Рис. 5. Форма зарядов

Между тем, можно было бы возобновить это сотрудничество. Если взять нашу сферу деятельности, то есть и положительный фактор – сильное развитие средств и методов численного моделирования прочности, динамики, рабочих процессов. Один квалифицированный сотрудник теперь может выполнять работу, которую тогда делали два-три человека.

3. Динамика и прочность мягких оболочек в потоке газа.

На рис. 6 приведено так называемое «ветрозашитное устройство» размерами десятки метров. Белые линии представляют собой сетку, изготовленную из капроновых лент. Вся площадь покрыта капроновой тканью с большой воздухопроницаемостью. Назначение – быстрое разворачивание сооружения и защиты ответственных объектов от бокового ветра. Объект использовался также в целях мобильной радиолокации. Наша задача состояла в развитии теории разворачивания полотна в потоке воздуха, его прочности и устойчивости.

Было изучено влияние на перегрузки и переходный процесс проницаемости и сильной деформативности изделия. Дан анализ влияния ортотропии ткани, числа и длин строп и т.д. Проницаемость ткани уменьшает перегрузки, повышает устойчивость формы. Модели испытывались в аэродинамической трубе.

В технике есть стремление создавать хорошо обтекаемые тела (крылья самолетов, ракеты, подводные и надводные объекты и т.д.) ввиду необходимости уменьшения сопротивления среды. Есть и стремление создавать объекты с наибольшим сопротивлением. К ним относятся парашюты.

Когда в соответствии с высокими постановлениями мы начали заниматься математическим моделированием раскрытия, динамики и прочности парашютов, знакомые говорили нам, что в этой теме может быть нового, ведь они существуют давно. Да, это было так в отношении спасательных парашютов в военной авиации. Но в наше время начали создаваться сложные тормозные парашюты, гидропарашюты, дозвуковые, сверхзвуковые, гиперзвуковые, космические в разреженной атмосфере, в атмосфере других планет и т.д.

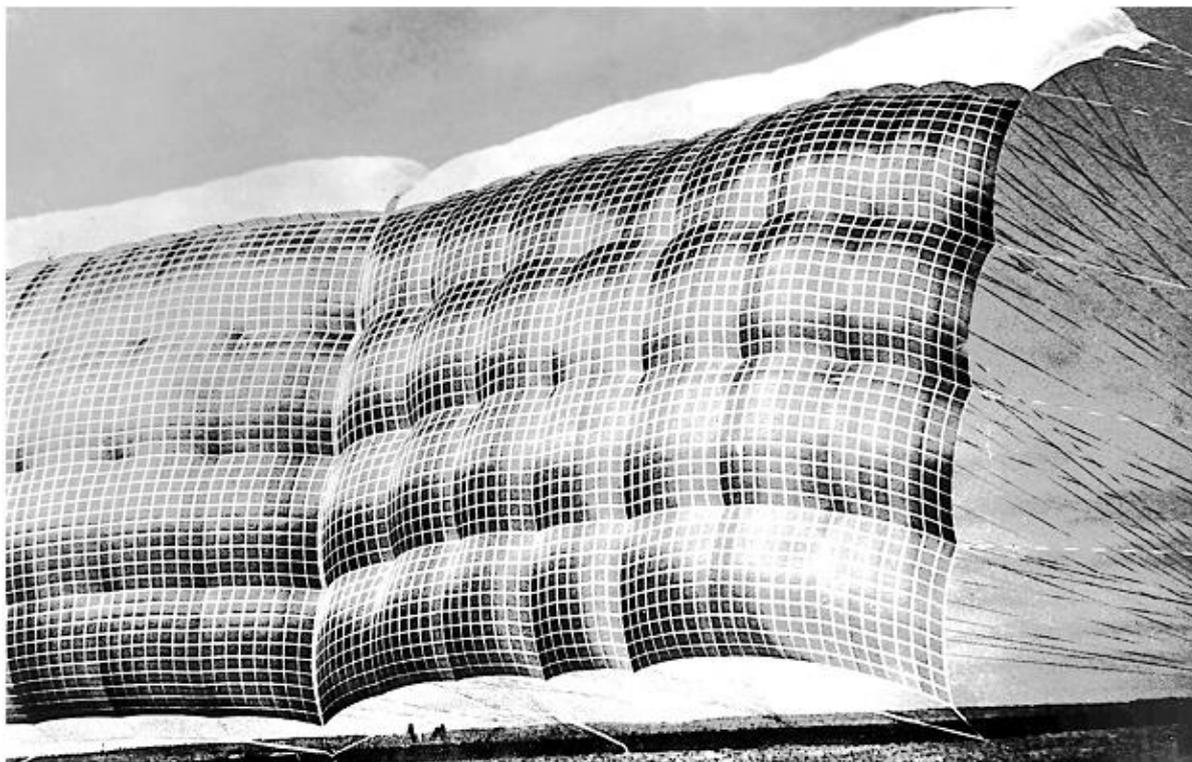


Рис. 6. Динамика мягких оболочек в потоке газа

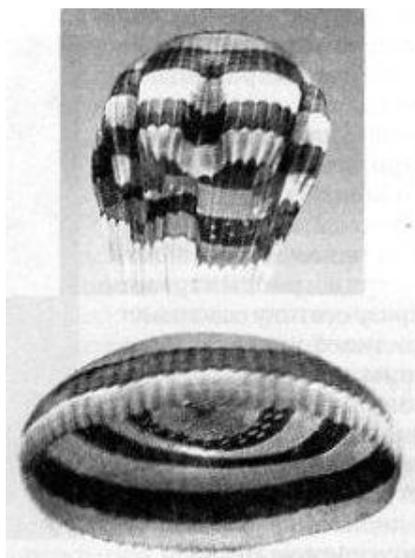


Рис. 7. Процесс раскрытия круглого парашюта

В этом деле революция произошла с применением капроновых тканей и лент. Удельная прочность их выше, чем у шелковых тканей, применявшихся до появления капрона. Есть и другие достоинства.

Всякое плохообтекаемое тело в потоке воздуха неустойчиво, происходят его колебания в направлении поперек потока. Устойчивость круглому парашюту придает полное отверстие, через которое истекает струя воздуха, и естественная воздухопроницаемость ткани (рис. 7). Но при этом сохраняется вращательная неустойчивость, которая приводит к резкому уменьшению сопротивления в результате схлопывания. От этих недостатков свободен крестообразный парашют (рис. 8).

В условиях «холодной войны» разрабатывались технологии занятия плацдармов в Западной Европе путем высадки десантов около жизненно важных мест. Ясно, что в таких местах аэродромов нет. Поэтому стали делать броски тяжелых грузов, техники с малых высот без посадки транспортных самолетов. Для вытягивания грузов использовались те же крестообразные парашюты (рис. 9). Впервые в реальных условиях эта технология использовалась при вводе наших войск в Афганистан.



Рис. 8. Испытание крестообразного парашюта



Рис. 9. Технология вытягивания тяжелых грузов из транспортных самолетов



Рис. 10.

Хотя я давно отошел от этой тематики, знаю, что такие парашюты применяются до сих пор. Две недели назад было сообщение о ночной высадке крупного десанта Ивановской десантной дивизии на острове Котельный, где нет аэродрома. Отправной базой служил аэродром Тикен на севере Якутии.

Фото (рис. 10) в штабе командующего воздушно-десантными войсками СССР генерала армии Сухорукова Дмитрия Семеновича привожу с тем, чтобы подчеркнуть, что было время, когда крупные военные специалисты, руководители предприятий, главные инженеры, главные конструкторы, руководители министерств, начальники главков их старались привлекать научные силы. А теперь президент республики говорит, что даже для него неизвестны состояние и планы предприятий, находящихся в республике, что это их коммерческая тайна.

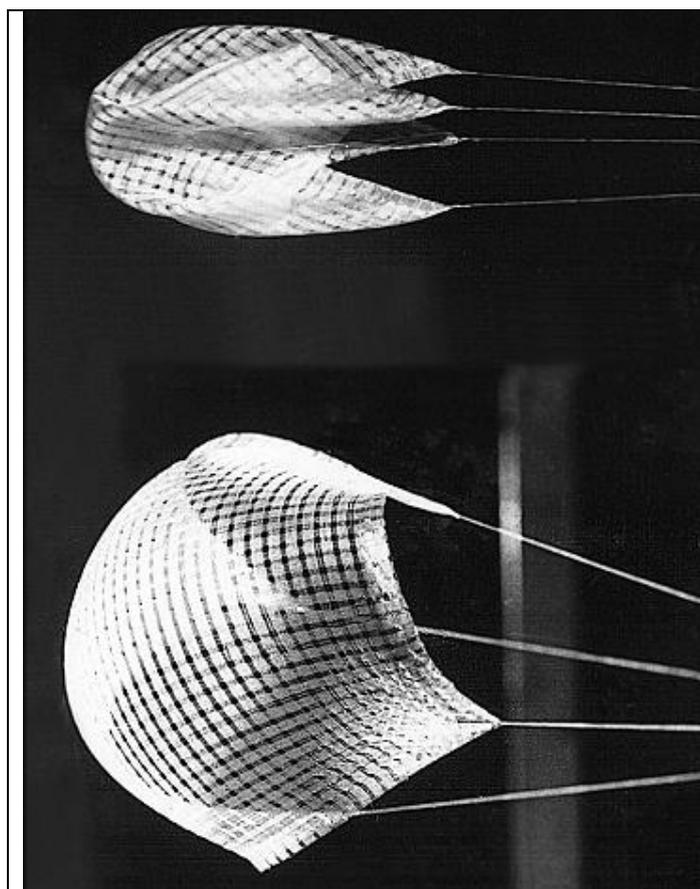


Рис. 11.

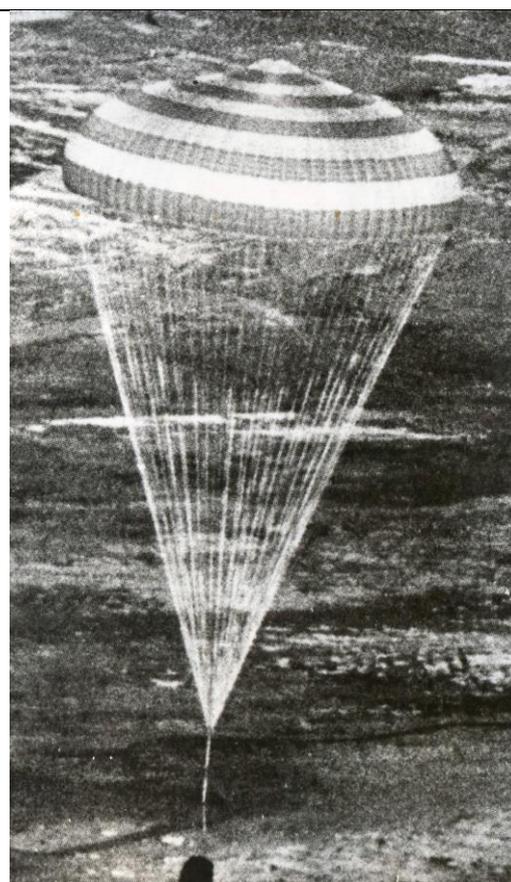


Рис. 12

Вообще, поведение мягкой проницаемой оболочки в потоке газа и жидкости – сложное явление. На рис. 11 показан переход с наполненной формы прямоугольного капронового полотнища, удерживаемого четырьмя стропами, к вытянутой форме. Такой переход происходит неожиданно и хлопком при превышении некоторых значений скорости и плотности (на разных высотах). Кроме того, это явление сильно зависит от размеров полотнища и строп. Уменьшение скорости обтекания в аэродинамической трубе приводит к переходу хлопком к наполненной форме. Мы не успели создать сколько-нибудь удовлетворительной теории, началась перестройка в стране, работы были прекращены.

Вся эта техника зиждется на математическом моделировании. Проведение физических экспериментов невозможно из-за больших размеров объектов и трудности создания потоков, подобных, например, в разреженной атмосфере, в атмосфере других планет, куда отправляются космические объекты.

На рис. 12 показана парашютная система при возвращении космического модуля на землю. Вся эта система в сложенном состоянии занимает примерно одну треть объема возвращаемого модуля. Есть своя математика как упаковать и спрессовать под многотонным прессом, чтобы при разворачивании не было трения отдельных участков купола между собой, приводящего к оплавлению капрона.

Запуск спутника и возвращение его на землю сопряжены с тысячами опасностей. При вводе в действие парашютной системы сначала выстреливается сравнительно небольшой вытяжной парашют, который вытягивает плотно упакованный основной парашют. Случались катастрофы в этот момент, которые сводили на нет весь результат работы с миллиардными затратами. Одна из них запомнилась людям, даже далеким от этих дел, тем, что погиб космонавт В.М. Комаров (первый полет в 1964 году завершился благополучно, погиб в 1967 году именно из-за парашютной системы).

Надо сказать, в начале космонавтики существовало стремление тормозить с помощью ракетных двигателей направлением струи газов вперед. Поэтому время было упущено для разработки парашютных систем.

Когда пришли к выводу, что лучше парашюта для торможения нет средств, за основу взяли парашют, который применялся для испытания водородной бомбы над островом Новая Земля (самой мощной, после испытания которой американцы согласились на мораторий для испытаний в атмосфере и на земле). А ведь условия функционирования парашюта при скоростях и высотах, когда груз сбрасывается с самолета, и в разреженной атмосфере Земли при гиперзвуковом движении модуля сильно отличаются. В первом случае имеет место обтекание препятствия воздухом, во втором случае нет обычного обтекания (молекулы воздуха не взаимодействуют друг с другом, а ударяют на поверхность тела как капли дождя, не обтекают препятствие).

Вообще, космонавтика в начале своего развития представляла собой мирное использование той техники, которая была создана в военных целях. Даже первые спутники имели размер водородной бомбы, размещаемой в головном отсеке межконтинентальной ракеты. Без развития этой техники не могли быть, например, навигация, интернет, сотовый телефон и т.д.

Вот несется к земле с космической скоростью обвятый пламенем модуль (слой за слоем горит и уносится потоком абляции, предотвращая передачу тепла во внутрь модуля).

Снова о цепочке опасностей. Начало торможения возвращаемого модуля начинается, как уже было сказано, с выстрела пиропатроном небольшого парашюта для вытягивания основного парашюта. Есть десятки факторов, в силу которых может не сработать весь механизм в этот момент. Опережение либо задержка на несколько секунд этого выстрела может привести к нераскрытию основного парашюта или приведет к большим перегрузкам при раскрытии с последующим вытягиванием в потоке (из-за быстрого изменения высоты и расчетной плотности атмосферы при гиперзвуковых скоростях модуля). Само это время может быть определено неудовлетворительно, т.к. система сложных нелинейных дифференциальных уравнений, содержащая много параметров, может быть недостаточно точной.

Для этого момента как нельзя подходят строки Роберта Рождественского

*«Не думай о секундах свысока ...
Мгновение, мгновение, мгновение».*

Даже в условиях постоянной плотности воздуха правильно определенное начало торможения важно и при приземлении самолета.

«Мгновения спрессованы в года ...» говорит поэт. Действительно, труд и талант тысяч специалистов по техническим наукам, математике, механике, физике, рабочих бывают спрессованы в момент ввода в действие космической парашютной системы.

Я завершаю свой экскурс в прошлое. Несколько слов о нашем поколении, которое уходит. Мы, дети войны, выросли рано. Наше взросление пришлось на начало научно-технической революции, изменившей мир. Она наиболее сильно повлияла на военно-промышленный комплекс и во многом стимулировалась именно этим комплексом. Многие из нас, в том числе из присутствующих в этом зале, принимали участие, в той или иной мере трудились в этой сфере (А.А. Рыжов, Р.Н. Гимаев, А.Г. Гумеров и т.д.). наши коллеги, которых уже нет, внесли свой вклад. Это Р.Р. Мавлютов, К.С. Минскер, Г.А. Толстикова, Ю.Б. Монаков и другие.

Уважаемые коллеги!

Рассказанное мной – это уже история, но не только. Это поучительный опыт и поучительный пример. Он показывает, что при должной организации дела и в России могут создаваться передовая техника, наукоемкие технологии.