

ДИСКУССИЯ «КРУГЛОГО СТОЛА»

Дискуссия «Круглого стола» на тему «Модели механики для исследования технологических процессов в условиях микрогравитации и постановки новых задач» проходила под председательством акад. Г. Г. Черного.

Ниже дается краткое изложение выступлений на этой дискуссии.

В своем выступлении акад. В. С. Авдеевский (зам. предс. Проблемного совета по проблемам производства материалов с улучшенными свойствами в невесомости Российского космического агентства) отметил, что начиная с середины 70-х годов в нашей стране ведутся систематические исследования в области гидромеханики и теплообмена в условиях невесомости, результаты которых обсуждались на всесоюзных семинарах. Первый из серии этих семинаров проведен в Институте проблем механики РАН в декабре 1979 г., второй — в 1981 г. в Перми, третий — совместно с Ю. А. Осипьяном и его специалистами по физике твердого тела — в Черногоровке, четвертый в 1987 г. в Новосибирске совместно с Институтом механики сплошных сред УрО АН СССР. Последний, пятый всесоюзный семинар, проведенный на пароходе, следовавшем из Перми в Москву, был одновременно Первым международным симпозиумом по гидромеханике и теплообмену и собрал большой круг специалистов из Европейского космического агентства. Труды всех этих семинаров изданы, а последний вышел в виде большого тома совместных с зарубежными авторами работ на английском языке. Возможно, что в 1995 г. состоится следующий из этой серии симпозиумов, ставших теперь международными.

В настоящее время деятельность наших специалистов по микрогравитации координируется упомянутым Проблемным советом при Российском космическом агентстве, а также секцией по микрогравитации, созданной при Совете по Космосу РАН. Таким образом, это направление как направление механики в совокупности с приложениями уже сформировано.

В области гидромеханики невесомости и ее приложений ведется много работ. Некоторые из направлений, возникшие в начале интенсивного развития этой области науки, т. е. около 20 лет тому назад, уже потеряли связь с непосредственными приложениями и обслуживают нужды самой науки, что тоже бывает хорошо. На регулярно проводимых международных конференциях можно видеть множество работ по всем разделам гидромеханики, которые относятся к этому направлению (капиллярность, конвекция, движения частиц).

Тем не менее, несмотря на очень широкий фронт работ, ведущихся в нашей стране и за рубежом, нет прямого ответа на вопрос: как изменение поведения жидкости в условиях невесомости влияет на качество выращиваемых кристаллов и как выбрать оптимальные условия роста кристалла, с учетом множества других действующих факторов?

Например, как выяснилось, существенную роль играют вибрации на борту орбитальной станции, в связи с чем качество кристаллов, выращенных в космосе, может быть даже хуже, чем на Земле. В то же время проводятся работы по подавлению неустойчивости конвективного течения и турбулентности, имеющих

место на Земле, с помощью магнитного поля. Но здесь тоже есть побочные эффекты, которые были предметом рассмотрения на наших семинарах.

Таким образом, глубоких научных результатов, которые выявили бы особенности фазового перехода — кристаллизации на границе твердое тело — жидкость (расплав), в невесомости все еще нет. Однако в последние годы накоплено много эмпирических фактов и ведущиеся в этом направлении работы следовало бы форсировать и объединить в одну научную программу, целью которой была бы систематизация этих фактов и выделение действующих факторов, чтобы оценить, как действует каждый из них. Необходимо учитывать, что многие из этих факторов изучаются в отрыве от реального роста кристаллов (в том числе такой важный фактор, как скорость кристаллизации) и разрабатывать средства диагностики, чтобы судить, как в действительности растет кристалл. Далее этим вопросом должны заниматься специалисты по физике твердого тела (которые имеются в секции Научного совета по космосу РАН под руководством Ю. А. Осипьяна) с тем, чтобы определить, каковы последствия всех этих процессов в твердом кристалле, каковы его важнейшие характеристики. Таким образом, успех в решении этих задач будет в объединении усилий упомянутых групп специалистов.

Научный совет при Российском космическом агентстве занимается координацией этих работ, формируя общую программу исследований. В сферу его деятельности входят также вопросы международного сотрудничества, которое в этой области особенно целесообразно. У нас имеются хорошие контакты с Европейским космическим агентством, представитель которого Х. Вальтер активно участвовал в организации упоминавшегося международного симпозиума в июле 1991 г. Европейское космическое агентство имеет планы дальнейшего сотрудничества в области микрогравитации в связи с пилотируемыми полетами на станции «Мир». Весьма обширны перспективы сотрудничества с США в связи с соглашением о стыковках (их около 10) станций «Мир» и «Спейс Шаттл».

В заключение В. С. Авдеевский отметил, что у нас в значительно меньшей степени ведутся работы по биотехнологии: по получению новых лекарственных препаратов с использованием технологии роста кристаллов белков и разделения веществ в условиях невесомости, например, методом электрофореза. Здесь могут существовать значительно большие, но пока еще мало используемые возможности. В отличие от направления по космическому материаловедению в этой области еще очень мало сделано по формулировке моделей механики, а работы имеют сугубо эмпирический характер.

В своем выступлении акад. Ю. А. Осипьян (председатель секции по Космическому материаловедению Научного совета по космосу РАН) отметил, что в настоящее время научная деятельность в области микрогравитации в нашей стране координируется двумя Научными советами, один из которых организован при Российском космическом агентстве, а второй является секцией Совета по космосу РАН.

Оценивая прошлый опыт и результаты работ, ведущихся начиная примерно с 1976 г., Ю. А. Осипьян остановился на центральной проблеме — возможности получения материалов лучшего качества в невесомости.

Несмотря на то, что имеются отдельные положительные результаты, систематического ответа на вопрос о том, можно ли вырастить в невесомости кристаллы более высокого качества, нет, так как иногда кристаллы получаются и худшего качества. Единственный выход из этого состояния — дальнейшие систематические исследования получения материалов в невесомости.

Один из существенных факторов, действующих в невесомости, — ослабление конвекции, вызываемой массовыми силами. Но на смену ей приходит конвекция поверхностного типа (конвекция Марангони). Таким образом, появляются совсем новые факторы, оказывающие существенное влияние на процесс образования твердого тела. Здесь физика твердого тела, детально исследующая это состояние, не работает. Нужны исследования по механике жидкости, а также исследования

процессов на фронте кристаллизации. Таким образом, требуется построение новых моделей и их детальное исследование.

Решающее слово за специалистами в области механики жидкости и газа. Поэтому те работы, которые были представлены на данной сессии, имеют важное значение для ответа на поставленные вопросы. Этот ответ может быть дан при последовательном исследовании всех упомянутых факторов в отдельности.

В нашей стране выполнено много так называемых технологических экспериментов в космосе. Основное влияние на принятие решений о проведении этих экспериментов имело Министерство общего машиностроения, в ведении которого была орбитальная станция. Такое положение, при котором принятие ответственных решений происходило без участия профессионалов, а результаты не могли подвергаться критике, существовало довольно долго.

Когда возник вопрос об образовании Российского космического агентства, было решено, что нам нужно иметь, по аналогии с США и Европой, комиссии, которые были бы независимы от Космического агентства и не заинтересованы в собственности, а проводили бы экспертизу работ. Научный совет при Российском космическом агентстве, который сейчас создан, планирует общую программу работ.

В Академии наук в течение долгого времени не было ведущего учреждения в данной области. Лаборатория в Институте космических исследований, которую возглавляла Л. Л. Регель, играла преимущественно диспетчерскую роль. Конкретную исследовательскую работу вели институты: кристаллографии, металлургии им. А. А. Байкова, Физико-Технический им. А. Ф. Иоффе, Государственный институт редких металлов, Государственный оптический и ряд других. Сейчас эта лаборатория расформирована. Нам нужен научный центр, в котором велись бы как научные работы, так и координация исследований. Директор филиала Института кристаллизации в Калуге проф. Б. Г. Захаров взялся за эту работу, и ему нужно помочь.

Что касается самой проблематики, то вопрос о важности исследований или производства в условиях микрогравитации, не ясен. В настоящее время преобладает тенденция к получению полупроводниковых материалов, которая была начата около 20 лет тому назад экспериментами по кристаллизации германия с легирующими примесями. Проводятся эксперименты по росту монокристаллов арсенида галлия, однако обоснования преимуществ выращивания монокристаллов этого типа в условиях микрогравитации нет, хотя не показано и обратное. Сегодня более перспективно, по мнению Ю. А. Осипьяна, биотехнологическое направление, о котором уже говорил В. С. Авдеевский. Рост кристаллов белков, в которых макромолекулы имеют большую гравитационную чувствительность, может оказаться намного более эффективным в условиях микрогравитации, чем рост монокристаллов полупроводников, в которых и в невесомости обнаруживаются дефекты концентрационной макро- и микронеоднородности. Фармацевтическая промышленность, имеющая огромный финансовый оборот, нуждается в образцах совершенных макромолекулярных кристаллов, чтобы исследовать механизм лекарственного действия. Именно поэтому получение таких образцов в условиях микрогравитации может быть весьма эффективным.

Представляют интерес также новые направления в технологиях металлургических производств в связи с получением эвтектических композиций, отличающихся, как известно, весьма высокой гравитационной чувствительностью, а также рост многофазной (дендритной) структуры. Здесь, как и в упомянутых случаях, существенно выявление действующих механизмов и оценки влияния силы тяжести.

Выступление чл.-кор. РАН Р. Ф. Ганиева (Институт машиноведения РАН) было посвящено обсуждению некоторых особенностей воздействия вибраций в условиях микрогравитации. В отсутствие силы тяжести вибрации могут быть особенно эффективны при создании композитных структур или, наоборот, разделении веществ. Эти вибрационные технологии уже успешно применяются для многих технологических процессов в земных условиях.

Канд. техн. наук А. И. Феонычев (Московский авиационный институт) остановился на методах теоретического описания вибрационных составляющих микроускорений в космическом полете. Он, в частности, отметил, что модель, разработанная в МАИ, учитывает жесткость конструкции и позволяет определять изменение амплитуды и дисперсию колебаний микроускорения. По его мнению, измерение микроускорений на основе «датчика конвекции», обсуждавшееся в ряде работ, не представляется ему перспективным.

Выступление В. Ф. Агаркова (ЦСКБ, Самара) касалось особенностей проектирования специализированных космических платформ, предназначенных для проведения научных исследований в условиях микрогравитации, и их сертификации. В настоящее время основные работы в указанном направлении осуществляются с помощью автоматических беспилотных КА серий «Фотон» и «Бион», которые имеют уровень $g/g_0 < 10^{-5}$ по линейным микроускорениям и $g/g_0 < 10^{-3}$ по вибрационным микроускорениям. Вместе с тем разрабатывается новое поколение КА технологического и биотехнологического назначения, которые должны обеспечить значительно меньший уровень микроускорений (до $g/g_0 < 5 \cdot 10^{-7}$ по линейным микроускорениям). Это КА «НИКА-Т» (технологический аппарат) и «НИКА-Б» (биотехнологический аппарат). В связи с сертификацией этого нового поколения КА по микроускорениям возникают задачи прецизионного расчета и измерения микроускорений, а также специального проектирования космических платформ с применением устройств для гашения вибраций.

В своем выступлении докт. физ.-мат. наук С. Г. Черкасов (НИИ тепловых процессов Российского космического агентства) сказал, что хотя подавляющее большинство докладов и выступлений, заслушанных на сессии, посвящено задачам механики, связанным с технологическими процессами получения в космосе различных материалов, однако в целом гидромеханика в условиях микрогравитации является гораздо более широким научным направлением и имеет более широкую область приложения, чем космическая технология. Примером являются гидродинамические и тепломассообменные процессы, протекающие в топливных баках ракетно-космических систем. Условия микрогравитации оказывают определяющее влияние на качественный и количественный характер протекания процессов в баках космических аппаратов. И здесь для механики жидкости в условиях микрогравитации как научного направления существует очень широкая и важная область приложения.

В последние годы отечественные ученые, занимающиеся вопросами гидромеханики невесомости, стали отходить от проблем, связанных с внутрибаковыми процессами, но по некоторым вопросам этот отрыв можно сравнительно легко ликвидировать. Это касается в первую очередь тех процессов в области космической технологии и процессов, протекающих в баках, которые близки по своей физической сущности. Например, в криогенных топливных баках, как и при выращивании кристаллов, важную роль играет естественная конвекция. По обоим направлениям, хотя и на основе разных подходов, получены существенные результаты. Поэтому координация усилий в этой части как в идейном, так и организационном плане может дать большой эффект.

С. Г. Черкасов заметил далее, что в области внутрибаковых процессов существует и другой круг проблем, практически не изученных в фундаментальном плане. Например, для обеспечения длительного хранения криогенных компонентов топлива в космосе необходимы специальные системы охлаждения, компенсирующие фоновые теплопритоки к бакам и связанный с этим рост давления. Такие системы должны включать в свой состав расположенные в баках теплообменники. Если охлаждаемая трубка теплообменника расположена в паровой фазе топлива, то на этой трубке будет происходить конденсация. В земных условиях теплообмен за счет конденсации является весьма эффективным механизмом теплообмена из-за стекания пленки конденсата с теплообменной по-

верхности под действием силы тяжести. В условиях космического полета картина, очевидно, будет иной.

На первый взгляд, трубка теплообменника должна быстро обрасти толстым слоем конденсата и процесс на этом прекратится. Однако существуют еще и капиллярные силы, которые могут вызвать те или иные течения конденсата. Например, можно показать, что пленка постоянной толщины на цилиндрической трубке будет неустойчивой. Кроме того, избыточное капиллярное давление может вызвать стекание пленки с трубки, где кривизна свободной поверхности велика, на соединительные узлы и стенки бака, где кривизна свободной поверхности будет меньше. Такие течения, вызванные капиллярными силами, могут, очевидно, существенно повлиять на эффективность работы теплообменника, однако их интенсивность трудно даже оценить, поскольку этот тип течений в настоящее время совершенно не исследован.

С. Г. Черкасов подчеркнул, что проведенный пример наряду с другими показывает, что задачи гидромеханики в условиях невесомости и микрогравитации далеко не исчерпываются проблемами, связанными с получением в космосе материалов. Существуют и другие важные для практики направления, и исследование по этим направлениям велось и ведется. Поэтому на данном этапе очень нужна координация усилий как в части информации о полученных результатах и разработанных методах, так и в части выбора направлений дальнейших исследований.

В своем выступлении проф. В. С. Земсков (Институт металлургии РАН им. А. А. Байкова) отметил важность обсуждавшихся в докладах научной сессии вопросов теоретического и экспериментального исследования гидромеханики в решении проблем выращивания однородных монокристаллов полупроводников. Процессы выращивания как объемных монокристаллов, так и слоев полупроводников сопровождаются сложными гетерогенными процессами, происходящими на границе раздела многокомпонентной твердой, жидкой и газообразной фаз. Вполне естественно, что при рассмотрении и анализе этих процессов нельзя обойтись без использования методов и математического аппарата гидромеханики.

В. С. Земсков сообщил, что уже первые технологические эксперименты в условиях космического полета показали высокую гравитационную чувствительность процессов кристаллизации. Например, в эксперименте «Универсальная печь» программы «Союз — Аполлон» монокристаллы твердого раствора германий — кремний, легированные сурьмой, оказались более неоднородными по составу и менее совершенными по структуре, чем их аналоги, полученные в земных условиях. Такие неожиданные результаты технологических экспериментов явились стимулом к постановке и развитию теоретических и экспериментальных исследований гидромеханики и процессов тепло- и массопереноса в невесомости. В этом направлении сделано очень многое. По существу создано новое направление — гидромеханика невесомости. Основное достижение и итоги этих исследований доложены и обсуждены на данной научной сессии.

Далее В. С. Земсков отметил, что все еще мало уделяется внимания анализу процессов выращивания монокристаллов и слоев полупроводников с привлечением представлений и математического аппарата физико-химической гидродинамики. Однородность состава монокристаллов и слоев зависит не только от характера тепло- и массопереноса, от величин и направлений векторов течений в расплаве (газообразной фазе), но и от физико-химических параметров конкретных компонентов кристаллизующейся системы, например, коэффициентов распределения компонентов между фазами, коэффициентов диффузии компонентов в расплаве и т. д.

В работах, выполненных в Институте металлургии РАН по исследованию процессов направленной кристаллизации в ампулах, содержащих расплавы германия, легированного различными добавками, в условиях полета спутников

типа «Космос» и земных лабораторий, показано, что однородность выращенных слитков зависит как от условий массопереноса в расплаве, так и от величины коэффициентов распределения компонентов между расплавом и твердой фазой. Для каждого компонента существуют свои гравитационные условия, при которых можно достичь желаемой однородности распределения компонентов в слитке.

В. С. Земсков сообщил также, что в работах последнего времени совершенно обоснованно много внимания уделяется проблеме влияния нестабильности микроускорения (вибраций) на процессы тепло- и массопереноса при кристаллизации в условиях космического полета. Однако, имеются экспериментальные данные, указывающие на то, что постоянная составляющая микроускорения (линейное ускорение), существующая на космическом аппарате, оказывает очень сильное влияние на неоднородное распределение компонентов в расплаве.

В частности, в Институте металлургии РАН выполнены исследования распределения компонентов в расплавах системы индий — висмут — сурьма при значениях линейных ускорений силы тяжести $10^{-5}g_0$, $10^{-3}g_0$ и g_0 — ускорение силы тяжести в земных условиях. Эксперименты при $10^{-5}g_0$ и $10^{-3}g_0$ выполнены на станции «Салют-6 — Союз» соответственно при полете станции в режиме гравитационной стабилизации и при специальном вращении станции.

Для достижения полной гомогенизации расплавов исследованной системы линейное микроускорение не должно превышать $10^{-6}g_0$. Без учета линейной составляющей микроускорения анализ процессов переноса в невесомости будет неполным. Для полной характеристики гравитационных условий на космических аппаратах необходимы измерения не только вибрационных составляющих, но и линейной составляющей микроускорения. Приведенные данные были представлены на научной сессии в виде стендовых докладов.

В выступлении докт. техн. наук Б. Г. Захарова (филиал Института кристаллографии РАН) отмечалась недостаточная связь фундаментальных исследований с их приложениями к процессам, протекающим в расплавах при кристаллизации. В частности, по этой же причине нет необходимой основы для построения физической модели и проведения систематических расчетов. Поэтому в формировании программы космического материаловедения следует особо поддержать те работы, в которых будут тесно взаимоувязаны исследования процессов, протекающих на Земле и в условиях микрогравитации, а отработка методов получения, например, кристаллов и сравнение результатов должны основываться на однотипных моделях и аппаратуре. При этом центр тяжести исследований необходимо сместить на детальную подготовку и проведение наземной части экспериментов и расчетов, которые в качестве научной базы обеспечат в дальнейшем успех полетных экспериментов.

В настоящее время, по мнению Б. Г. Захарова, большой интерес для материаловедения и микроэлектроники представляют исследования по усовершенствованию технологий получения монокристаллов арсенида галлия, в которых возможности улучшения микрооднородности структуры и свойств кристаллов связаны с уменьшением отклонений от стехиометрии в жидкой фазе. Естественно, это должно воспроизводиться и в условиях микрогравитации, причем при постановке таких экспериментов наземная обработка результатов с детальным математическим моделированием и сопоставлением всех возможных альтернатив (улучшения технологии (среди которых микрогравитация — только одна из возможных) должна быть не только обязательной, но и превалирующей. К этому будет стремиться центр, создаваемый на базе филиала Института кристаллографии в Калуге.

В своем выступлении проф. В. И. Полежаев (Институт проблем механики РАН) отметил, что в настоящее время космическое материаловедение и механика невесомости являются одним из ведущих направлений в космических исследова-

ниях, в связи с чем в национальных и международных космических агентствах за рубежом имеются отделы, координирующие эту область деятельности, а объем финансирования составляет от нескольких десятков до нескольких сотен миллионов долларов в год. Рынок полезной нагрузки в США, Японии и Западной Европе весьма велик и имеет тенденцию к увеличению, в частности за счет стран, стремящихся развивать высокие наукоемкие технологии (Тайвань, Южная Корея, Турция, Китай и др.).

В России нет в настоящее время достаточно богатого заказчика для таких работ, в связи с тем что отечественная технология не дает высоких прибылей, а финансирование фундаментальных исследований ограничено. Но ракетно-космические системы России при рациональной организации работ могут успешно конкурировать с зарубежными. Однако полезная нагрузка поставляется, как правило, в виде «черного ящика», т. е. без привлечения отечественных специалистов в соответствующих предметных областях, что сужает потенциальный рынок пользователей и мало служит развитию тех научных направлений, которые могли бы в дальнейшем поддержать эту область деятельности научно-производственных объединений ракетно-космической техники.

Далее В. И. Полежаев отметил, что в течение более чем 15 лет программы космического материаловедения и механики невесомости СССР широким фронтом велись при централизованном финансировании через головные организации ЦНИИМАШ (МОМ) и ИКИ (АН), которые, как правило, копировали тенденции развития микрогравитационных наук на Западе. Например, была распространена и получила техническое воплощение «легенда» о баснословных прибылях от биотехнологической индустрии в космосе, в результате чего в СССР (где до сих пор нет развитой наземной индустрии) построено больше электрофоретических камер, чем в США, где это направление свернуто.

Использование орбитальных станций и ракет-зондов для работ по космическому материаловедению в настоящее время в России неизбежно связано с выходом на международный рынок полезной нагрузки со всеми вытекающими отсюда последствиями: конкуренцией и необходимостью поддерживать технический уровень, уделяя особенное внимание сравнительно далекой перспективе (международные космические лаборатории готовятся 7—10 лет), тщательной экспертизе ведущихся исследований, особенно анализу и интерпретации результатов, а также реализации технических возможностей полезной нагрузки в условиях орбитального полета и ее рекламе. На одно из первых мест здесь ставится поддержание контролируемых условий длительного космического полета в невесомости, в том числе при комбинированном действии других факторов (вакуум, солнечное излучение). Следует иметь в виду, что в новых условиях ученые, работавшие ранее на государственные программы космического материаловедения и ставшие частично или полностью безработными, имеют альтернативные возможности выхода на международный рынок научной продукции.

Поэтому исследования должны быть направлены на разработку рекомендаций по проектированию и применению орбитальных лабораторий для космического материаловедения, экспертизу выполненных работ, выработку направлений наиболее эффективного использования условий микрогравитации на орбитальных комплексах, информационно-экспертный поиск наиболее эффективного коммерческого использования условий микрогравитации, подготовку и проведение экспериментов по микрогравитации во время совместных международных полетов.

Если говорить о самих направлениях исследований, то в отличие от широких программ по космическому материаловедению и технологии, имевших бюджетное финансирование, на ближайшее время представляется целесообразной более узкая программа исследований, ориентированная на рациональное использование полезной нагрузки с применением количественного аппарата математического и физического моделирования для анализа и интерпретации результатов.

Экспертный анализ и интерпретация технологических экспериментов на

орбитальных станциях по получению материалов и веществ должны осуществляться с учетом реальных условий полета и на основе уже разработанных методик и программных комплексов и должны содержать анализ гравитационной чувствительности, а также выводы и рекомендации по исключению дефектов в дальнейших экспериментах. Только на этом пути могут быть сделаны выводы о перспективе промышленного и полупромышленного производства. Большое значение имеет организация международных симпозиумов и участие в работе комиссий по микрогравитации с целью привлечения заказчиков полезной нагрузки из числа зарубежных ученых, центров по микрогравитации, космических агентств и компаний.

Подводя итоги дискуссии «Круглого стола», акад. Г. Г. Черный сказал, что данная научная сессия продемонстрировала состояние работ по механике в условиях микрогравитации и ряду ее приложений и в этом отношении та цель, которая ставилась перед сессией, достигнута. Очевидно, что область приложений механики в условиях микрогравитации весьма широка и не ограничивается многократно упоминавшейся на этой сессии проблемой роста кристаллов в космосе.

Весьма интересны проблемы конденсации в невесомости в связи с возможностью создания эффективных теплообменников (тепловых труб) за счет фазового перехода. В условиях невесомости в связи с отсутствием действия силы тяжести Земли можно, применяя, например, электрические поля, создавать центрально симметричные поля массовых сил, моделируя атмосферы планет и звезд.

Значительные проблемы в механике возникают при рассмотрении процессов на фронте кристаллизации, где феноменологические модели, которые широко используются, не могут дать полного описания. Это относится и к проблеме дендритной кристаллизации. Следует отметить, что приложения физико-химической гидромеханики в этой области мало разработаны по сравнению, например, с проблемами сверхзвуковой газовой динамики, где в этой области работали большие научные коллективы. Поэтому накопленный в механике научный потенциал может быть с успехом применен в такой сравнительно новой области механики, как гидромеханика в условиях микрогравитации.

В заключение акад. Г. Г. Черный отметил весьма интенсивное развитие всего комплекса наук о микрогравитации за рубежом, включая многие из рассматривавшихся на данной сессии вопросов гидромеханики в условиях микрогравитации. Зарубежные компании проявляют большой интерес к проведению своих экспериментов на наших пилотируемых и автоматических КА, в частности на спутниках серии «Фотон», предлагая свою полезную нагрузку в качестве «черного ящика». Однако есть предложения по проведению совместных научных исследований: например, при посещении Отделения проблем машиностроения, механики и процессов управления РАН главный научный сотрудник отдела микрогравитации Европейского космического агентства Х. Вальтер (H. Walter) высказал ряд конкретных предложений.