



**Добрый день, Уважаемые коллеги!**

Позвольте представить Вашему вниманию видение «Русской Ассоциации МЭМС» по Концепции развития системы производства различных микроэлектромеханических изделий (МЭМС) в нашей стране. Основные положения Концепции представлены ниже.

## **КОНЦЕПЦИЯ по развитию производства МЭМС-изделий в России на период до 2017г.**

### **Актуальность проблемы**

За период прошедший с начала XXI века и до настоящего времени, одним из наиболее интенсивно и динамично развивающихся направлений мировой индустрии стала микро-системная техника. Ее стремительное развитие в основном основано на разработке и производстве различных миниатюрных датчиков инерциальной и внешней информации, микродвигателей и преобразователей. Применение новых технологий микроэлектромеханических систем (МЭМС) позволило значительно уменьшить массово-геометрические характеристики, энергопотребление и стоимость датчиков, что позволило расширить сферу применения микросистемной техники в народном хозяйстве.

Проблема разработки и производства новых МЭМС устройств является, безусловно, актуальной для российского прецизионного микроэлектронного приборостроения и может быть решена с помощью применения новых технологий, технических решений и методик проектирования на основе новых математических моделей функционирования и программных продуктов. Достижение высоких точностей МЭМС изделий ставит перед разработчиками комплекс новых актуальных задач: учет физических свойств новых конструкционных материалов, влияние инструментальных погрешностей изготовления чувствительных элементов и условий функционирования на погрешности измерений датчиков, развитие и улучшение отечественной технологии МЭМС, сокращение сроков проектирования и изготовления прототипов новых МЭМС, комплексная проверка проектов до начала фактического производства при помощи современных электронных средств.

### **Современные перспективы развития МЭМС**

За последние несколько лет в мировой прессе опубликовано немало статей о возможностях и перспективах развития рынка микроэлектромеханических систем (сокращенно МЭМС). К ним, как правило, относят небольшие устройства, объединенные с полупроводниковыми приборами и одновременно сочетающие характеристики электронных схем и механических компонентов. Благодаря уникальному сочетанию малых габаритов и энергопотребления, универсальности применения и относительно небольшой цене – МЭМС сегодня стремительно завоевывают все новые и новые сферы применения. Поэтому наряду с уже ставшими традиционными МЭМС-изделиями, такими как акселерометры, гироскопы, датчики давления, микрофоны и др., сегодня уже говорят о микро- и нанопомпах которые могут вживляться в тело человека и в зависимости от сигнала полученного через сеть Wi-Fi подавать пациенту необходимую дозу инсулина.

Таким образом, развитие МЭМС не стоит на месте, однако наиболее развитым на сегодня сегментом данного рынка по-прежнему остаются инерциальные датчики (датчики угловой скорости, гироскопы, инклинометры и акселерометры). Это связано с тем, что высокая эффективность обнаружения движения вызывает интерес во многих отраслях промышленности. В оборонной и аэрокосмической областях, использование инерциальных измерительных устройств (ИИУ) и других систем, основанных на высокопроизводительных гироскопах, было распространено для навигации, управления полетом или стабилизации функции в течение десятилетий. Сегодня мы видим много новых сфер применения инерциальных систем как в гражданской промышленности, так и в медицине, обусловленных возможностью интеграции новых функций изделий по относительно низкой цене.

В этой связи необходимо упомянуть рынок различных мобильных устройств (сотовые телефоны, планшетные компьютеры и др.) как один из наиболее динамично развивающихся в отношении потребления МЭМС-акселерометров, гироскопов, микрофонов и других микросистемных компонентов. При этом основной функцией данных устройств в мобильных «девайсах» является определение ориентации смартфона и «планшетника» в гравитационном поле Земли. Это дает возможность миллионам пользователей по всему миру видеть как на экране их «мобильников» поворачиваются изображения, перемещаются карты, игровые элементы, крутятся стрелки компаса и т.д. Благодаря применению современных МЭМС-сенсоров жизнь человека в целом стала более разнообразной и большая часть человечества с восхищением принимает возможности, которые были недоступны раньше (iPhone, iPad, умные дома, машины и другие блага цивилизации).

Не таким массовым, но при этом не менее важным является растущий рынок МЭМС-систем в сфере безопасности (см. Рис.1-2). Многие европейские компании уделяют разви-

тию данного сектора рынка микросистем все больше внимания, т.к. по данным статистики:

- каждые 15 секунд где-то в мире погибает один рабочий (в результате несчастного случая на работе или профессиональной болезни);
- по истечении каждого рабочего дня по всему миру в результате производственных травм гибнет около 1 млн. человек;
- каждый год регистрируется около 160 млн. новых случаев профессиональных заболеваний.

С учетом вышесказанного, основной целью многих мировых производителей МЭМС в настоящее время является найти ответ на вопросы: «Что мы можем сделать для этих людей? Как мы можем использовать технологию микросистем для того, чтобы улучшить ситуацию в данной сфере?».

Ответом на поставленные выше вопросы может стать применение специальных МЭМС – сенсоров, которые в режиме

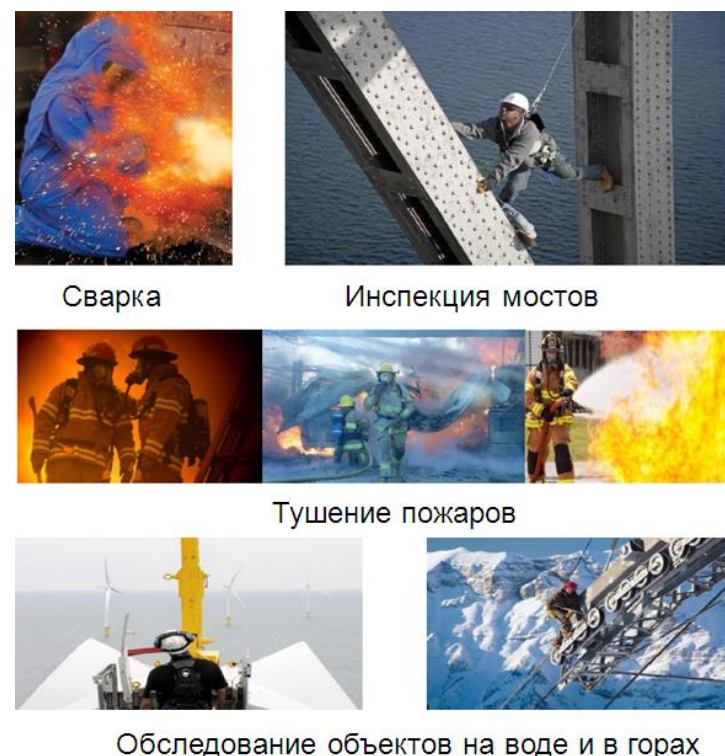


Рис.1 Виды деятельности, связанные с профессиональным риском

реального времени будут способны:

- определять индивидуальное состояние здоровья работника (слишком устал, высокое



Работа с опасными вакцинами



Аварии на атомных станциях



Ремонт узлов на высотных объектах



Рис.2 Производственные условия с повышенным уровнем опасности

возможных травм на производстве и как следствие предотвращать последующую инвалидность или смерть человека (см. Рис.3).

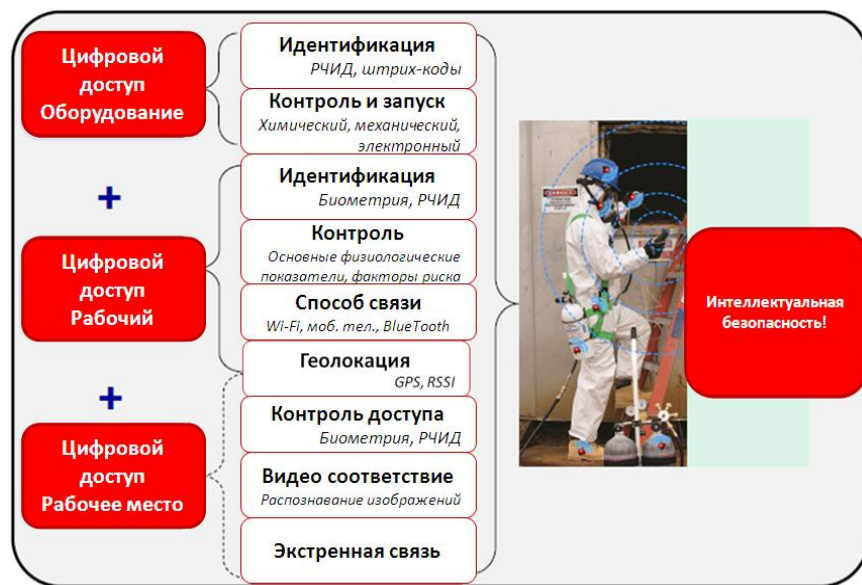


Рис.3 Интеллектуальные системы безопасности человека

кровяное давление, нехватка кислорода, обезвоживание организма и т.д.);

- мониторить состояние оборудования и рабочей амуниции работника (повреждена защитная одежда, ремень безопасности порван и т.д.);

- оценивать потенциальную опасность образования экстремальной ситуации на производстве (опасная близость высоковольтной линии передач, резкое снижение температуры окружающей среды и т.д.).

Подобные интеллектуальные системы смогут обнаруживать возникновение опасных ситуаций на самых ранних стадиях и будут очень ценны для работников, т.к. будут защищать их от

Другим важным трендом ближайших годов для развития рынка МЭМС станет энергосбережение. Это связано с высокими темпами роста населения Земли (по прогнозу к 2030 г. составит 8,4 млрд.чел.) и соответствующим бурным увеличением потребления электроэнергии промышленностью, транспортом, жилыми и офисными зданиями и др. (по прогнозу к 2030 г. составит 30 тыс.ТВт\*ч, что в 4 раза больше уровня потребления энергии в 1980 году).

Оптимизация потребления энергии в Европе в настоящее время ведется по трем направлениям:

- 1) Повышение эффективности использования природных энергетических ресурсов, таких как газ, нефть, лесные массивы и т.д.;
- 2) Разработка и изготовление электробытовых устройств с минимальным уровнем энергопотребления;
- 3) Разработка и изготовление интегрированных систем с минимальным уровнем энергопотребления за счет объединения



Решать поставленные задачи планируется за счет активного использования различных микросистем (в том числе МЭМС), используя при этом последние достижения в таких областях как микро- и наноэлектроника, новые материалы, нанотехнология, биотехнология и фотоника.

## Ситуация в России по МЭМС

Выше мы рассмотрели текущие тенденции развития микросистемных технологий в мире и теперь коснемся ситуации по МЭМС на российском рынке.

Согласно данным проведенных нами маркетинговых исследований в настоящее время наибольший интерес у российских заказчиков вызывают различные инерциальные датчики и системы. Причем наши предприятия интересуют как сами указанные продукты (в готовом виде), так и технологии по их проектированию, моделированию, производству и испытанию. Спецификой подобного интереса у заказчиков является его нишевой характер. Вызвано это тем, что в России не производятся миллионные партии упомянутых ранее мобильных устройств и поэтому в каждом случае речь идет о разработке и производстве относительно небольших объемов МЭМС-сенсоров, отвечающих требованиям указанным в проектом техническом задании.

Популярность инерциальных сенсоров в нашей стране объясняется тем, что их можно использовать для различных приложений в виде отдельных компонентов или в составе инерциальных систем. Так, например автономные МЭМС – акселерометры, гироскопы и инклинометры могут применяться в следующих сферах:

- Спутниковая антенна и другие приборы стабилизации: для измерения вращения различных инструментов (спутниковая антенна, камера ...) в целях их стабилизации и удаления колебаний или движения платформы. Обычно для этого используются 2 или 3 гироскопа;

- Беспроводной технической мониторинг зданий, сооружений и других подвижных и неподвижных объектов: - для контроля уровня виброускорений и углов крена объектов (мосты, здания, дорожное полотно и т.д.) используются беспроводные измерительные модули с радиусом действия до 1 км, содержащие в себе акселерометры и инклинометры;

- Стабилизация датчика ориентатора: для стабилизации датчика ориентатора ракет во время полета используются акселерометры и гироскопы;

- Управление полетом: автоматическое управление средством с учетом данных поступающих от инерциальных сенсоров. Эти данные обычно предоставляются несколькими гироскопами интегрированными в крылья и элероны самолета;

- Стабилизация транспортного средства: для измерения вращения транспортных средств (корабль, вертолет, автобус и т.д.) в целях обеспечения устойчивости и комфорта. Обычно используются 2 или 3 гироскопа, иногда вместе с акселерометром.

- Контроль обслуживания: для измерения ускорения и вибрации различных частей транспортного средства или машины для того, чтобы выполнить соответствующее техническое обслуживание и предотвратить сбой в дальнейшем. Для этих целей используется один акселерометр, главным образом для летательных аппаратов (вертолетов, самолетов ...) или в индустриальной зоне;

- Навигация судов: чтобы иметь возможность очень быстро получить информацию о курсе используются точные гирокомпасы.

Малогабаритные инерциальные системы (МИС) состоящие из нескольких МЭМС-гироскопов, акселерометров (иногда в сочетании с датчиком температуры или давления) могут применяться для решения задач в следующих областях:

- Навигация: определение относительного положения транспортного средства и его траектории. Соответствующие МИС часто интегрируются в штатные инерциальные навигационные системы (ИНС) для корректировки смещения и определения точного расположения



транспортного средства с учетом использования сигнала GPS приемника и данных от других приборов;

- Железнодорожный и автомобильный транспорт (контроль устойчивости): для измерения наклона движения поезда или стабильности движения поездов и автомобилей для того, чтобы компенсировать это в режиме реального времени;

- Измерительные приборы в кабинах: обеспечение отображения инерциальной информации на панели кабины ЖК-дисплея;

- Тестирование летательной аппаратуры: для проверки правильности работы внутренних инерциальных систем новых моделей самолетов, вертолетов и т.д.

- Измерение движения и контроль за движением: для контроля движения человека в здравоохранении, или для проверки правильности движения робота в индустриальной сфере и др.;

- Бурильные головки для нефте- и газодобычи: - определение ориентации головки относительно заданной траектории скважины в процессе бурения.

В составе вышеуказанных и других приложений МЭМС-компоненты и инерциальные системы на их основе могут применяться в индустриальной, гражданской, военно-морской, шельфовой, аэрокосмической и оборонной сферах.

Так, например, на гражданском рынке подобные системы могут быть полезны для: сельского хозяйства, автономных подводных аппаратов, грузовых транспортных судов, здравоохранения, высокоскоростных поездов, строительных инклинометрических систем, дистанционно управляемых аппаратов, спутникового управления связью, стабилизации оптических систем, инструментов обзора, контроля вибрации, автоматических наземных аппаратов, служебных самолетов, гражданских самолетов и вертолетов, беспилотных летательных аппаратов (МЧС и др.), спутников, космических кораблей и ракет.

Таким образом, видно, что российский рынок нишевых МЭМС-сенсоров и инерциальных систем обладает хорошим потенциалом и поэтому вполне понятно, постоянно растущее, стремление различных отечественных предприятий как минимум - использовать в своих изделиях МЭМС-сенсоры и как максимум - организовать производство современных МЭМС на своей базе. Однако опыт показывает, что МЭМС-датчики нового поколения от известных мировых брендов (для гражданского и специального применения) в Россию, как правило, не поступают ввиду наличия разного рода ограничений. При этом зарубежная МЭМС – продукция, доступная на отечественном рынке, в большинстве случаев не отвечает техническим требованиям заказчиков (по причине меньшей, чем требуется точности, диапазона, стабильности измерений и т.д.). А имеющиеся образцы МЭМС-изделий российского производства уже не устраивают многих заказчиков ввиду устаревших и не отвечающих современным требованиям массогабаритных и точностных показателей, уровней энергопотребления, надежности, диапазона измерений, соотношения цены/качества и т.д.

Указанное выше отсутствие доступа к современным МЭМС порой заставляет российских проектировщиков опираться при разработке новых изделий на то, что как говорится «под рукой». Это в свою очередь приводит к проектированию и выпуску отдельных изделий заведомо уступающих по своим характеристикам зарубежным аналогам, использующим достижения современной МЭМС-индустрии в полном объеме. Подобная ситуация в дальнейшем негативно сказывается на сбыте отечественной продукции не только на зарубежном, но и на внутреннем рынке, т.к. наши заказчики вполне закономерно хотят покупать ту продукцию, которая в полной мере отвечает всем современным требованиям (в том числе и по микросистемам).



## Концепция по развитию производства современных МЭМС-изделий в России

После обобщения всего сказанного выше, вполне логично возникает вопрос, а что же собственно можно сделать для того, чтобы как то исправить сложившуюся ситуацию и придать положительный импульс развитию российского МЭМС-рынка?

Одним из ответов на данный вопрос является «Концепция по развитию производства современных МЭМС-изделий в России», предлагаемая «Русской Ассоциацией МЭМС». Сразу оговорюсь, что концепция разрабатывалась путем практических проб и ошибок в течение нескольких лет и является плодом кропотливой работы, основанной на анализе современных рыночных реалий и перспектив развития российского и зарубежного МЭМС-рынка в ближайшем будущем.

Суть концепции состоит в том, что становление системы разработки и производства МЭМС в нашей стране предлагается осуществлять поэтапно. Ниже представлено примерное содержание каждого из этапов.

### ЭТАП №1: Разработка и моделирование МЭМС

Данный этап является основополагающим в производстве МЭМС, т.к. в современной микросистемной индустрии львиная доля работ по моделированию конфигурации чувствительного элемента, структуры ASIC (микросхемы) и других технических характеристик будущего МЭМС осуществляется при помощи специализированных программных продуктов. Подобное программное обеспечение для проектирования и моделирования микроэлектромеханических устройств на базе различных технологических процессов позволяет:

- использовать обширные технические библиотеки моделей электромеханических, оптических, микрожидкостных, СВЧ и магнитомеханических компонентов, точность которых проверена лабораторными исследованиями;
- сократить до минимума время изготовления прототипов МЭМС-изделий (от исходного ТЗ до готового устройства);
- существенно снизить стоимость разработки и время выхода изделия на рынок;
- получить предварительное представление о типовой технологической схеме производства того или иного МЭМС- изделия в зависимости от исходного ТЗ;
- осуществлять работу в сквозной системе проектирования МЭМС-устройств (с функциями моделирования), что обеспечивает широкий доступ к МЭМС технологиям оптимальным по стоимости и времени способом.

Для того, чтобы описанные выше возможности по моделированию МЭМС стали доступны российским заказчикам, мы планируем уже до конца 2012г. создать на базе нашей Ассоциации первый российский «Дизайн-центр по разработке и моделированию МЭМС». В нашем Дизайн-центре будет использоваться лучшее в своем классе программное обеспечение для моделирования микросистем, которое в руках опытных специалистов позволит решать задачи различного уровня сложности исходя из требований изложенных в техническом задании (ТЗ) заказчика.

В некоторых случаях (на первых порах) мы будем прибегать к услугам ведущих европейских Дизайн-центров по разработке МЭМС на базе известных институтов, для того чтобы оперативно получить опыт по моделированию современных МЭМС и затем на его основе осуществлять дальнейшее проектирование и моделирование российских МЭМС уже собственными силами (без участия зарубежных организаций).

Подобная стратегия позволит нам:

- в короткие сроки получить бесценный опыт по проектированию МЭМС;
- обучить российских специалистов основам современного проектирования МЭМС;



- за счет знаменитого российского интеллектуального потенциала (а он у отечественных специалистов просто колоссальный, благодаря традициям нашей микроэлектронной школы, заложенным еще в советское время) в дальнейшем разрабатывать МЭМС-изделия от самых простых и до более сложных, удовлетворяющих самым современным рыночным требованиям.

## **ЭТАП №2: Изготовление прототипов МЭМС-изделий**

По итогам реализации этапа моделирования МЭМС мы получаем информацию о типовой технологической схеме его производства. Это позволяет нам выработать требования к оборудованию, необходимому для производства конкретного изделия и представить их заказчику в том случае, если он заинтересован в создании у себя производства МЭМС.

В случае, когда речь о создании производства не идет, достаточно решать вопрос по изготовлению прототипа МЭМС-изделия. Для этого заказчики при поддержке Ассоциации смогут выбрать подходящую для них производственную базу оптимальную по соотношению цена/сроки/качество и передать свои файлы (маски) российскому или зарубежному производителю.

Результатом выполнения данного этапа станет прототип МЭМС-изделия, изготовленный по ТЗ заказчика. Изначально подобные прототипы, скорее всего, будут изготавливаться за рубежом, но по мере оснащения российских предприятий соответствующим оборудованием, их производство можно будет перенести в Россию.

## **ЭТАП №3: Подтверждение характеристик прототипов МЭМС-изделий**

Получив готовый прототип своего МЭМС-изделия, заказчик сможет провести его тестирование и испытание для того, чтобы проверить отвечает ли он требованиям, указанным в исходном ТЗ. Поскольку в настоящее время в России нет какого-либо документа (например, стандарта) где бы подробно описывалась методика испытания МЭМС, то для этой цели временно можно использовать положения международных стандартов (например, IEEE 1293-1998 и т.д.). Перевод существующих международных стандартов по испытанию МЭМС был осуществлен силами нашей Ассоциации и многие наши партнеры уже используют их в своей работе.

Так же в настоящее время мы ведем совместно с рядом партнеров работу по разработке первых российских программ и методик по подтверждению технических характеристик, а так же тестированию и испытанию МЭМС-изделий. Результатами нашей работы мы будем готовы поделиться с заинтересованными организациями и, кто знает, может быть какая-то часть нашего труда поможет ускорить процесс создания национального стандарта по тестированию и испытанию МЭМС.

## **ЭТАП №4: Организация мелкосерийного производства МЭМС**

В случае успешного подтверждения характеристик прототипа МЭМС-изделия можно переходить к следующему этапу - организации мелкосерийного производства. Для этого на первых порах можно будет осуществлять трансфер технологий производства МЭМС от зарубежных институтов-разработчиков. Причем вполне приемлемым вариантом здесь является организация в России только конечного этапа сборки изделий – корпусирования, с последующим испытанием на выходе. По мере накопления опыта в моделировании МЭМС российскими специалистами необходимость в трансфере технологий из-за рубежа будет постепенно отпадать.



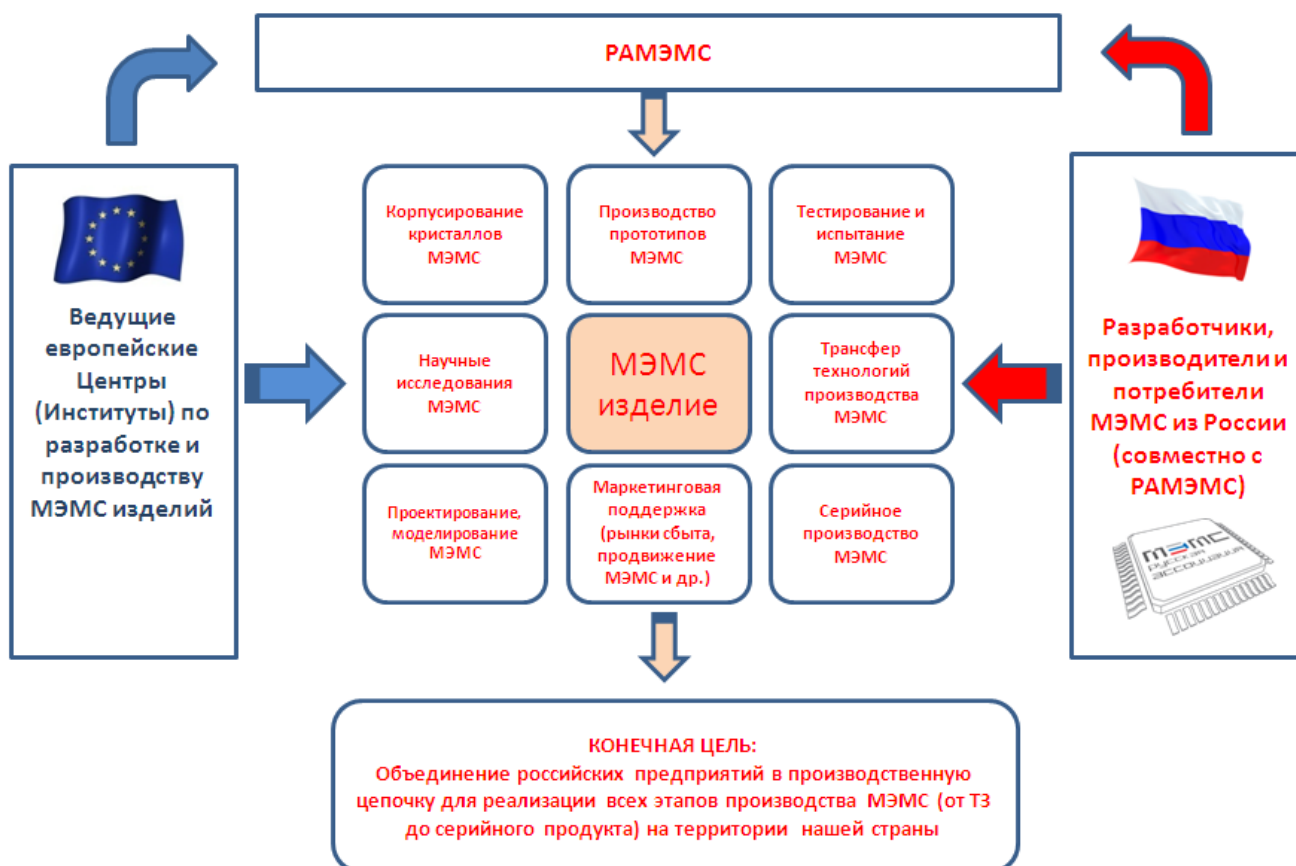
## ЭТАП №5: Тестирование и испытание МЭМС

В настоящее время в России нет какого-либо документа (например стандарта) где бы подробно описывалась методика испытания МЭМС. Поэтому для этой цели временно можно использовать положения международных стандартов (например IEEE 1293-1998 и т.д.). Перевод существующих международных стандартов по испытанию МЭМС был осуществлен силами нашей Ассоциации и многие наши партнеры уже используют их в своей работе.

На ближайший период партнеры Ассоциации смогут воспользоваться для испытания МЭМС услугами нескольких испытательных центров, расположенных в России и оснащенных необходимыми испытательным оборудованием. Совместно с ними в настоящее время мы ведем работу по подготовке первых российских программ и методик по подтверждению технических характеристик, а так же тестированию и испытанию МЭМС-изделий. Результатами нашей работы мы будем готовы поделиться с заинтересованными организациями и, кто знает, может быть какая-то часть нашего труда поможет ускорить процесс создания национального стандарта по тестированию и испытанию МЭМС.

**ЭТАП №6: Организация серийного производства МЭМС** Вопрос по организации серийного производства тех или иных МЭМС будет решаться по мере развития у нас массового рынка изделий микросистемной техники. Более подробно данный этап будет рассмотрен в следующих редакциях концепции в случае необходимости.

## Концепция развития в России рынка МЭМС







С нашей точки зрения, реализация указанных выше этапов позволит создать в нашей стране хорошую основу для дальнейшего развития отечественной микросистемной индустрии и постепенного перехода к полноценному циклу серийного производства МЭМС, начиная от моделирования прототипов и заканчивая испытанием готовых изделий.

Предлагаем всем заинтересованным лицам ознакомиться с нашей концепцией и высказать свои предложения и дополнения к ней. Результаты обсуждения концепции будут представлены на международном **«МЭМС-Форуме-2012»**, который мы планируем провести 3-4 октября 2012г. в г.Москве (подробности см. на сайте [www.mems-russia.ru](http://www.mems-russia.ru)).

По итогам Форума, концепция будет доработана и после принятия ее большинством заинтересованных предприятий будет решаться вопрос по ее воплощению в реальность и разработке плана совместных действий.

Ваши отклики по содержанию концепции, а также пожелания по участию в Концепции (в виде прилагаемой к Концепции заполненной анкеты) Вы можете направлять по указанным ниже контактными данным:

Тел: +7 (4712) 73-11-13, Факс: +7 (4712) 56-35-50

E-mail: [olesya.boldova@mems-russia.ru](mailto:olesya.boldova@mems-russia.ru)

Надеюсь на наше дальнейшее плодотворное сотрудничество.

С уважением,

Исполнительный директор, к.т.н.  
«Русская Ассоциация МЭМС»

Д.М.Урманов