

Стенды полунатурного моделирования

Так уж получается, что история человечества это, в определённом смысле, история его войн. И не с марсианами, а его самого - с самим собой. Бились между собой и национальные государства и княжеские дружины и зондеркоманды древних собирателей корней-ев. А поскольку отношения между "партнёрами", невзирая на писанные договорённости, часто выглядели как бои без правил, то для элементарного выживания, все стороны вынуждены были уделять наипервейшее внимание вопросам вооружения, а также стратегии и тактики. Среди всего комплекса этих сложных вопросов можно выделить один приоритетный аспект. А именно: во все времена, все военачальники грезили возможностью обладать оружием, которое позволит, не вступая в ближний бой, наносить противнику существенный урон. Если в древние времена этим оружием были праща и лук, позволявшие наносить травмы несовместимые с жизнью с расстояния 300 и даже 400 метров, то далее, перешагивая через ранний огнестрел, попадаем к "богу войны" - артиллерии и далее - РСЗО, КР, ОТРК, МБР, которые венчают конец 2-го тысячелетия.

В новом, 3-м тысячелетии, основной упор при разработках чудо-оружия, как мы можем пока наблюдать, делается на скорость и скрытность, при соблюдении, конечно, требований экономической целесообразности и нанесения противнику неприемлемого ущерба.

А после первоапрельского послания Верховного Главнокомандующего ВС РФ совершенно новыми, почти фантастическими красками заиграли возможности до-, около-, гиперзвуковых КР и БПЛА. Тут - совершенно точно - есть над чем поработать. И вдвойне приятно, что Президент РФ, отметив нестигаемую волю и дух офицерского состава ВС РФ, также счёл уместным найти тёплые слова для тех научных и инженерных работников, которые своим трудом создают новые изделия, аппараты и агрегаты.

Как известно, у русских много чего хорошего получается, но в приоритете часто стоит либо установление справедливости, либо создание инструментов для установления справедливости. Если первым - занимаются ответственные политики и/или боевые офицеры, то инструментами - учёные и инженеры.

Образно выражаясь, на этих инструментах Российский симфонический оркестр (Армия и Флот) постоянно репетируют лучшие произведения ведущих композиторов из ГенШтаба ВС РФ.

В процессе проектирования систем управления (СУ) различного назначения, возникает необходимость в моделировании. Для ранних стадий проектирования характерно математическое моделирование, на завершающих этапах проводят полевые испытания на изделиях, для которых они предназначены. Полунатурное моделирование (ПМ) занимает промежуточное положение между математическим моделированием и полевыми испытаниями и проводится на специальном оборудовании - стендах ПМ (СПМ), позволяющем погрузить экспериментальный образец СУ в обстановку, максимально приближающую его к нахождению в реальном объекте при отработке задачи.

Сегодняшним лидером в области изготовления СПН и средств для космической и аэронавигации является компания Акутроник. Она себя позиционирует как просто частное семейное предприятие, основанное в 1973 г. Офисы в Швейцарии и США. Если про швейцарский филиал можно сказать, что они при обороте в 20-30 млн. евро, предлагают всю номенклатуру, но с доминированием гражданской техники, то по американскому филиалу открытых данных не наблюдается, и доступ на интересные разделы сайта, увы, заблокирован.

Существует ещё несколько зарубежных разработчиков и производителей СПМ, но по объёму и номенклатуре выпускаемой продукции им сложно конкурировать с Акутроником. В нашей стране продукция зарубежных производителей представлена, но не очень широко в силу известных причин. И конечно из этого не следует, что отечественные разработчики "инструментов установления справедливости" остались без СПМ. У нас есть свои производители с продукцией, которая не уступает лучшим зарубежным образцам (см. ниже).

Полунатурное моделирование позволяет получить более достоверные сведения о поведении исследуемой системы по сравнению с математическим моделированием так как все математические модели имеют лишь определённую степень приближения к реальным объектам, в то время как стенды ПМ осуществляют реальные действия, характерные для (например) перемещения летательного аппарата с реальными угловыми скоростями и ускорениями, соответствующими реальному полёту. При этом, управляющие воздействия, вырабатываемые СУ летательного аппарата (ЛА), выдаются не в рулевые машины ЛА, а в контуры управления перемещениями стенда ПМ.

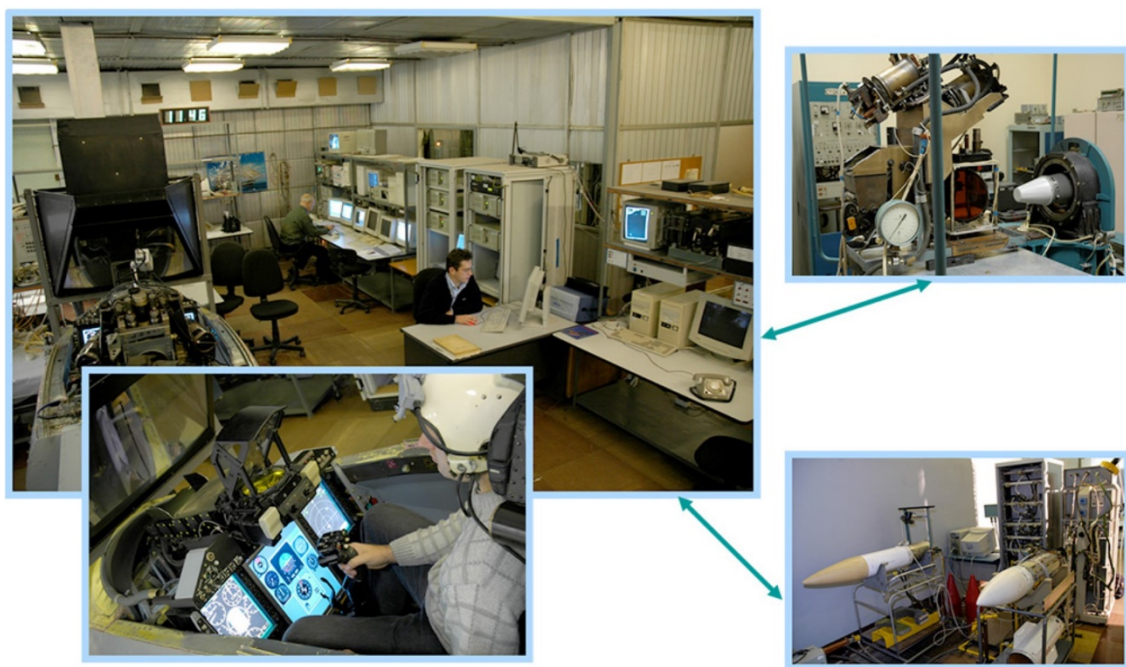


Рисунок 1. Общий вид комплекса полунатурного моделирования (ГосНИИАС, <http://www.gosniias.ru/pages/tpm.html>).

По данным отечественных и зарубежных источников, полунатурное моделирование позволяет сократить на 25-30% реальные лётные испытания при проектировании СУ пилотируемых летательных аппаратов и значительно больше для беспилотных (БПЛА).

В настоящее время используется несколько основных типов стендов для ПМ ЛА:

1. Стенды для имитации движений летательного аппарата (ИДЛА).
2. Опорно-поворотные устройства (ОПУ).
3. Узлы цели (УЦ).

ИДЛА – это многокоординатный стенд, имитирующий движения реального летательного аппарата, в его состав входит (см. рис. 1):

1. Подвижный портал (координата X).
2. На портал устанавливается тележка (координата Z).

3. Тележке крепится телескопическая штанга (координата Y).

4. На телескопической штанге установлена платформа с тремя поворотными осями: "курс" (ось A), "тангаж" (ось B) и "крен" (ось C).

На оси "крен" расположена площадка для монтажа испытуемой аппаратуры. Портал движется над макетом местности, выполненном в определенном масштабе на движущейся ленте конвейера. Такие стенды

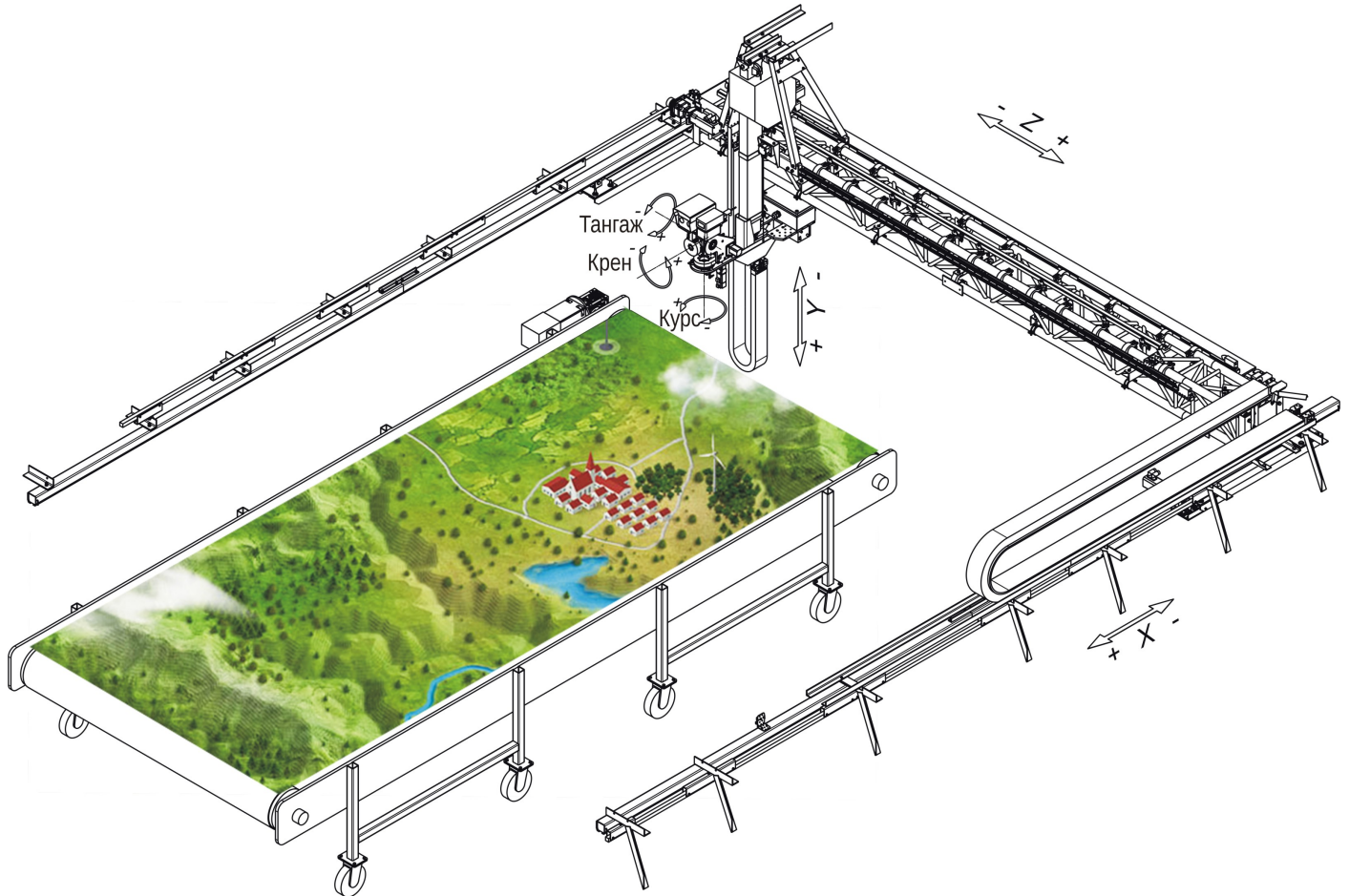


Рисунок 1. ИДЛА (ООО "Сервотехника", <http://www.servotechnica.ru>)

предназначены для исследования объектов с инерциальными и оптическими системами наведения.

Опорно-поворотные устройства (в иностранной литературе используют термин Flight Motion Simulators (FMS), - это функционально то же, что и платформа с поворотными осями от ИДЛА, но, как правило, с гораздо большей грузоподъемностью (см. рис.2).



Рисунок 2. ОПУ ЗПШК-1 с имитатором нагрузки (Модернизировано ООО "Сервотехника", <http://www.servotechnica.ru>).

Обычно опорно-поворотное устройство работает в паре с узлом цели (см. рис. 3).

Узел цели (в иностранной литературе используют термин Target Motion Simulators (TMS) – система перемещения источников излучения для воспроизведения углового движения точки, точек или линий визирования).

При этом, в ОПУ устанавливается, например, головка самонаведения (ГСН) ракеты, а УЦ имитирует цель для установленной в ОПУ ГСН. В контексте работы такой пары (УЦ и ОПУ) пользуются понятиями ближнего поля (ближней зоны) либо дальнего поля (дальней зоны). Рассмотрим подробнее эти понятия:

Если ГСН работает в оптическом (ОД) или инфракрасном (ИФК) диапазонах электромагнитных волн, то применяют терминологию "ближняя зона" и "дальняя зона". В ближней зоне возможно различить геометрические размеры цели, в дальней зоне геометрические размеры цели не различаются (точечный источник). Граница между ними условно проходит на расстоянии 2 км (для стендов ПМ все расстояния рассчитываются в масштабе моделирования).



Рисунок 3. УЦ ДКМЛП (ООО "Сервотехника", <http://www.servotechnica.ru>).

При работе ГСН с радиолокационным наведением, используют терминологию "ближнее поле" и "дальнее поле". Ближнее поле – это зона индукции на расстоянии от источника $r < \lambda$, где электромагнитная волна ещё не сформирована. Электромагнитное поле (ЭМП) считается квазистатическим. Дальнее поле – это зона сформировавшейся электромагнитной волны, начиная с расстояния $r > 3\lambda$. В дальней зоне устанавливается связь между электрической (E) и магнитной (H) составляющими электромагнитной волны в виде: $E = 377H$, где 377 – волновое сопротивление вакуума, Ом. В приведённых выше формулах: r – расстояние между целью и ГСН, λ – длина волны, E – напряженность электрического поля, H – напряженность магнитного поля.

Для ГСН ближнего поля УЦ обычно реализуется с двумя дополнительными поворотными осями, поворачивающими платформу с полезной нагрузкой параллельно линейным осям X и Y УЦ (см. рис. 4).

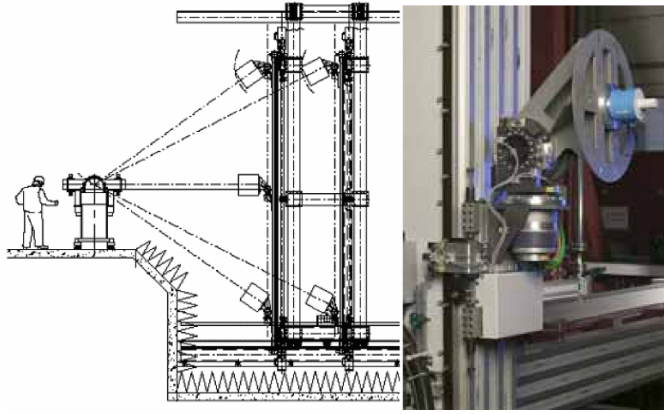


Рисунок 4. УЦ с поворотной платформой (Acutronic, <http://www.acutronic.com/ru/>).

Для ГСН дальнего поля (с радаром), УЦ реализуется с криволинейными осями X - Y. Криволинейная рама, размещенная на надлежащем расстоянии от ОПУ, имеет преимущество всегда удерживая цель на пересечении осей ОПУ. В большинстве случаев криволинейный УЦ дает хорошие результаты. Однако криволинейный УЦ не имеет возможности изменить расстояние между целью и ГСН, что необходимо при работе ГСН с радиолокационным наведением на различных частотах (см. рис.5).



Рисунок 5. УЦ с криволинейной рамой (Acutronic, <http://www.acutronic.com/ru/>).

Для того, чтобы исключить влияние внешних помех, при проведении испытаний на стендах ПМ ГСН с радиолокационным наведением, их размещают в безэховых камерах.

Далее приведём ориентировочные средневзвешенные характеристики современных УЦ и ОПУ:

Характеристики УЦ:

1. Размеры рабочих полей: до 8x8 м
2. Диапазон рабочих скоростей: от 0,5 мм/с до 10 м/с
3. Рабочие ускорения: до 30 м/с²
4. Грузоподъёмность: до 30 кг
5. Время отклика на управляющее воздействие от СУ верхнего уровня: 1-2 мс

Характеристики ОПУ:

1. Рабочие перемещения по осям: $-180, +180^\circ$
2. Диапазон рабочих скоростей: от 0,1 до 300 $^\circ/\text{с}$
3. Рабочие ускорения: до 10 000 $^\circ/\text{с}^2$
4. Среднеквадратичное отклонение статической ошибки отработки угла: $<2'$
5. Грузоподъёмность: до 100 кг
6. Время отклика на управляющее воздействие от СУ верхнего уровня: 1-2 мс

Коснёмся ещё такого важного параметра как точность динамического позиционирования стенов. Производители нередко указывают вполне приличные 5%. В реальности же расхождение может составить 10 - 15% и даже более, в зависимости от обрабатываемой траектории.

В конструкциях существующих стенов ПМ широко применяют синхронные серводвигатели переменного тока со встроенными круговыми высокоточными датчиками положения. Двигатели обычно стыкуются с высокоточными многоступенчатыми редукторами.

Перспективным является применение высокомоментных линейных и поворотных двигателей со встроенными линейными и круговыми абсолютными датчиками высокого разрешения (см. рис. 6). В этом случае отпадает необходимость в редукторах и появляется возможность существенно повысить рабочие скорости и ускорения с сохранением высоких точностных характеристик.

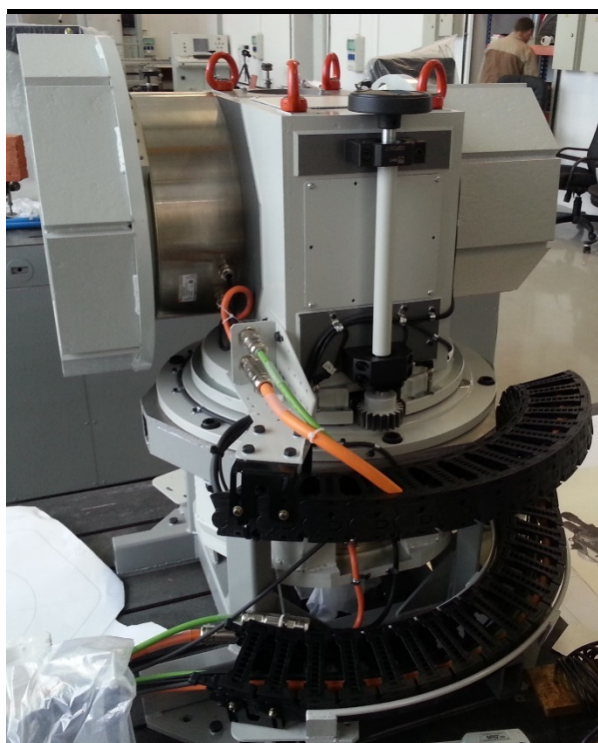
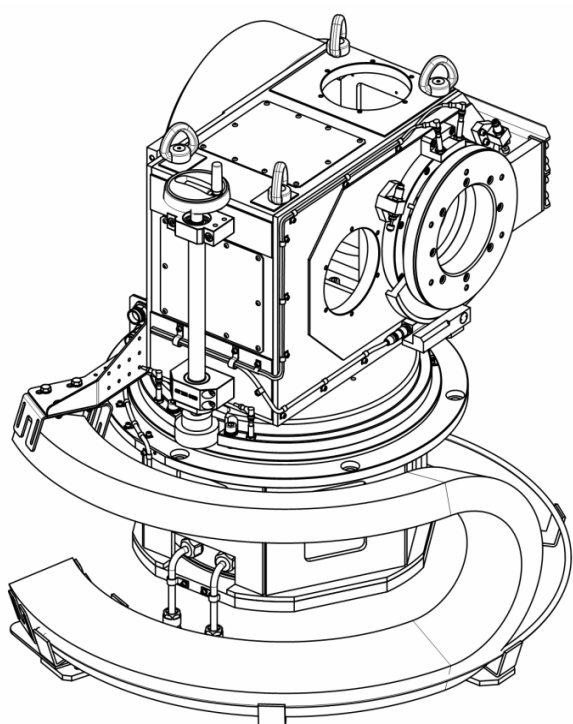


Рисунок 6. ОПУ ААП с высокомоментными поворотными двигателями (ООО "Сервотехника", <http://www.servotechnica.ru>).

Переход на проектирование корпусных деталей стенов ПМ из различных композиционных материалов позволит, снизив инерцию, существенно улучшить их эксплуатационные характеристики, а также решить проблемы, связанные с отражением радиоволн от металлических корпусных частей стенов ПМ.