

doi: <https://doi.org/10.15407/knit2019.01.003>

УДК 629.784

В. В. Васильев<sup>1</sup>, Л. А. Годунок<sup>2</sup>, С. В. Деркач<sup>2</sup>, С. А. Матвиенко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Приватное акционерное общество «ЕЛМІЗ», Киев, Украина

<sup>2</sup> Приватное акционерное общество «Научно-производственный комплекс «Курс», Киев, Украина

## СТЕНД ДЛЯ ОТРАБОТКИ И ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМ ВЗАИМНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПОЛОЖЕНИЯ ДВУХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

*Сближение КА становится одной из наиболее применяемых и одновременно наиболее сложных и ответственных операций в космосе. Разрабатываемые сегодня системы нацелены на выполнение задач сближения некооперируемых вращающихся объектов, должны обеспечить уход от столкновений и возможное дальнейшее безаварийное причаливание (захват, стыковка). Система управления сближением становится одной из наиболее ответственных, сложных и дорогостоящих систем КА. Увеличение сложности и ответственности систем сближения предъявляет новые требования к их наземной экспериментальной отработке и испытаниям. Проведен обзор замкнутых моделирующих стендов, созданных мировыми космическими компаниями, имитирующих полный цикл операций от сближения активного КА до стыковки или захвата пассивного объекта. Приведены характеристики действующего стенда Приватного акционерного общества «Научно-производственный комплекс «Курс» и Приватного акционерного общества «ЕЛМІЗ» в части проведения электрических и механических испытаний аппаратуры системы взаимных измерений. Комплексный стенд отработки систем взаимных измерений представляет собой не только инструмент исследований и разработки новых систем взаимных измерений, но и обслуживает серийное производство этих высокосложных систем. Аппаратное укомплектование стенда позволяет проводить отработку сенсоров радиотехнического и оптического диапазонов системы взаимных измерений для сближения двух кооперируемых объектов и для сближения двух некооперируемых объектов. Рассмотрены состав, конфигурация и алгоритмы работы имитационного стенда отработки систем, использующих различные сенсоры для реализации задачи взаимных измерений положения и параметров движения активного КА, реализующего маневры сближения, и пассивного объекта. Приведена схема стенда для обеспечения испытаний оптической системы измерений.*

**Ключевые слова:** безэховая камера, захват, испытательный стенд, космический аппарат, крен, позиционирование, симулятор, система взаимных измерений, стыковка, тангаж.

### ВВЕДЕНИЕ

За последние два десятилетия мировыми космическими компаниями накоплен богатый опыт проведения операций сближения и стыковки космических кораблей с МКС («Союз», «Прогресс», «Dragon», ATV, «Cignus»), космических аппаратов (КА) между собой, КА и различных космических объектов («Rosetta», «Astro-Next»).

Новый всплеск интереса к сложным орбитальным робототехническим операциям вызван

активным развитием новых видов деятельности человека в космосе [1], таких как уборка космического мусора, космический туризм, орбитальное сервисное обслуживание, строительство крупных орбитальных объектов (станций), разработка полезных ископаемых на астероидах и Луне и доставка их потребителю.

Сближение космических аппаратов становится одной из наиболее применяемых и одновременно наиболее сложных и ответственных операций в космосе. Разрабатываемые сегодня системы нацелены на выполнение задач сближе-

© В. В. ВАСИЛЬЕВ, Л. А. ГОДУНОК,  
С. В. ДЕРКАЧ, С. А. МАТВИЕНКО, 2019

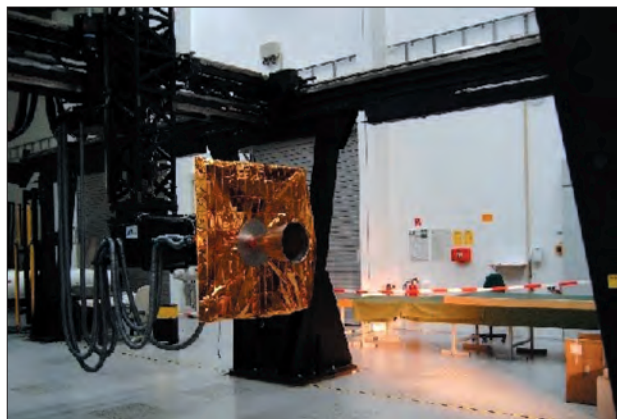


Рис. 1. Стенд EPOS 1 для моделирования относительной ориентации между двумя космическими аппаратами

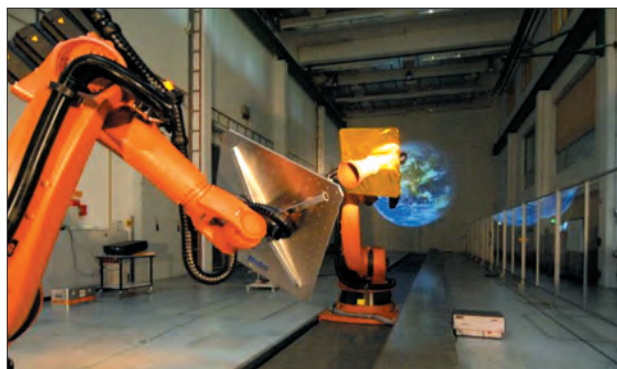


Рис. 2. Стенд EPOS 2 для моделирования относительной ориентации между двумя космическими аппаратами

ния некооперируемых вращающихся объектов, должны обеспечить уход от столкновений и возможное дальнейшее безаварийное причаливание (захват, стыковку). Система управления сближением становится одной из наиболее ответственных, сложных и дорогостоящих систем КА.

Увеличение сложности и ответственности систем сближения предъявляет новые требования к их наземной экспериментальной отработке и испытаниям.

В работе [10] прямо говорится о том, что в ближайшее время в США системы управления сближением будут стандартизированы, а также будут введены стандарты отработки таких систем, без чего запуск КА, оборудованных ими, будет невозможен.

В настоящей статье рассмотрены состав, конфигурация и алгоритмы работы имитационного

стенда отработки систем, использующих различные сенсоры для реализации задачи взаимных измерений положения и параметров движения активного КА, реализующего маневры сближения, и пассивного космического объекта. Стенд разработан специалистами компании Приватное акционерное общество «Научно-производственный комплекс «Курс» (Киев) и реализован в компании Приватное акционерное общество «ЕЛМІЗ» (Киев).

Разработка стендового оборудования отработки систем сближения берет свое начало с конца 1960-х гг., когда в США и Советском Союзе осуществлялись миссии «Джемини-Аджена», «Союз-Аполлон» и продолжились строительством орбитальных станций, организацией доставки экипажей и грузов на МКС кораблями «Союз», «Прогресс», ATV, НТВ и кораблями многоцелевого использования «Шаттл». Первоначально проводилась отработка в основном стыковочного узла аппаратов.

Возникшие новые задачи потребовали разработки современного имитационного испытательного оборудования систем сближения и стыковки. К такому оборудованию следует отнести так называемые замкнутые моделирующие стенды НІЛ (Hardware In the Loop), имитирующие полный цикл операций от сближения до стыковки или захвата.

Так, стенд EPOS 1 (European Proximity Operations Simulator) [5–7], позволил моделировать относительную ориентацию между двумя космическими аппаратами. EPOS использует в качестве программного обеспечения комбинацию программных продуктов VxWorks и Matlab / Simulink Real-Time Workshop для создания системы управления в реальном времени (рис. 1) и обеспечивает такие значения параметров относительного движения и ориентации: расстояние — до 20 м, боковое смещение — до 1 м; крен — до 60°, тангаж — до 60°, рыскание — до 15°. Он также обеспечивает максимальную линейную скорость 2 м/с, максимальную круговую скорость 180°/с. Параметры командного интерфейса стенда: командная скорость 250 Гц, собственная частота 8...10 Гц.

Стенд EPOS-2 [5, 8] (рис. 2), существенно улучшил характеристики предшественника и обеспечил:

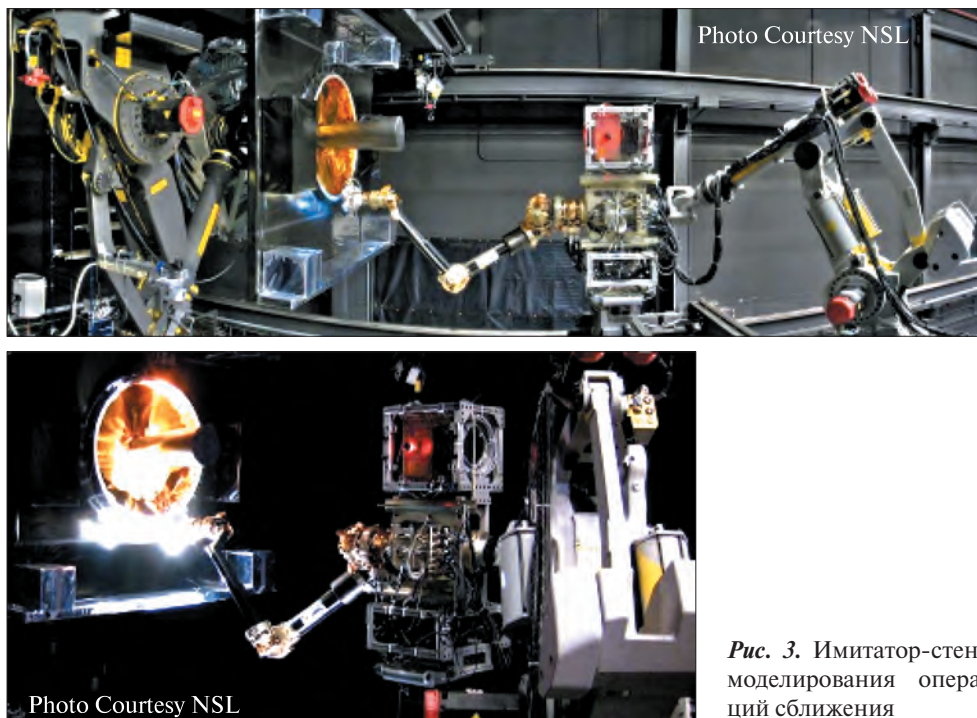


Рис. 3. Имитатор-стенд моделирования операций сближения

- повышенную точность позиционирования (коэффициент 10 по сравнению с EPOS 1,0);
- возможность имитировать в 6D относительное движение макетов двух космических аппаратов в течение фазы сближения в диапазоне от 25 до 0 м;
- динамические возможности, такие как высокую скорость управляющих команд, необходимую для имитации в 6D динамического поведения контактного оборудования во время процесса стыковки;
- близкие к реальным космическим условиям освещения;
- возможность монтировать и перемещать крупные макеты клиентских КА, датчиков и оборудование стыковки;
- возможность интеграции бортовых компьютеров КА;
- возможность подключения объекта с диспетчерской (модуль ТМ / ТС обмена с консолями сенсоров сближения и стыковки) и возможность управлять всем объектом в режиме реального времени.

Имитатор, который по своей природе аналогичен EPOS (рис. 3), также был разработан и в

настоящее время эксплуатируется в Агентстве перспективных исследований США (DARPA) и Лаборатории морских исследований (NRL). Этот симулятор известен как Стенд моделирования операций сближения (Proximity Operations Test bad (POT)). POT представляет собой двухплатформенный симулятор движения, которое выполняют космические аппараты в процессе сближения и стыковки с реалистичными динамическими условиями в трех измерениях [9].

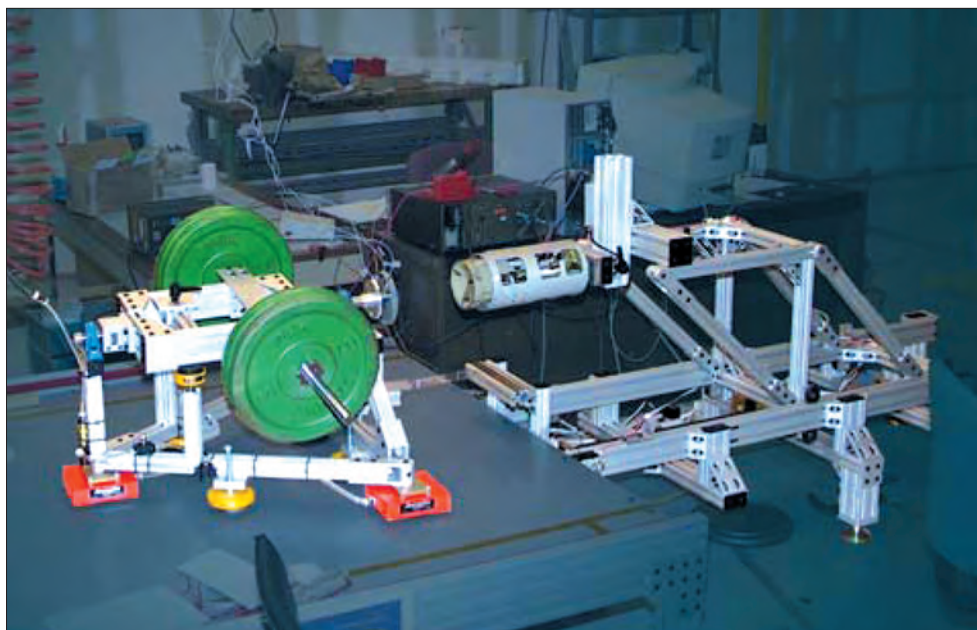
Кроме того, DARPA имеет испытательный стенд Gravity Offset Test (GOT), который построен на платформах на воздушных подушках с тремя степенями свободы. Этот симулятор специализирован для имитации динамического контакта с высокой точностью, для отработки операции захвата в условиях моделирования нулевой гравитации [9]. В дополнение к упомянутым здесь симуляторам компании такие как «Боинг» и «Локхид Мартин», также работали над собственными средствами тестирования систем сближения космических аппаратов, которые включают в себя НПЛ-симуляторы.

На рис. 4 показан стенд, созданный Китайской технологической Академией CAST для





**Рис. 4.** Стенд для обработки систем технического зрения: 1 — промышленный робот, 2 — камера робота манипулятора, 3 — визуальный маркер, 4 — компьютер кинематического эквивалента, 5 — центральный контроллер космического робота, 6 — совместный электронный симулятор, 7 — компьютер для моделирования динамики



**Рис. 5.** Стенд MDA



Рис. 6. Стенд отработки операций сближения и стыковки

отработки систем технического зрения, применяемых для выполнения операций сближения с орбитальной станцией и отработки операций сервисного обслуживания.

Стенд MDA [7] был разработан для космического агентства Канады (рис. 5).

Стенд отработки операций сближения и стыковки RDOTS Японского космического Агентства JAXA [8] показан на рис. 6.

#### КОМПЛЕКСНЫЙ СТЕНД ОТРАБОТКИ СИСТЕМ ВЗАИМНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Комплексный стенд отработки систем взаимных измерений (КСОСВИ) [4] компании ПрАО «ЕЛМІЗ» представляет собой не только инструмент исследований и разработки новых систем взаимных измерений (СВИ), но и обслуживает серийное производство этих высокосложных систем.

Структурная схема КСОСВИ приведена на рис. 7, где обозначены такие узлы:

БИП — блок имитации параметров дальности между объектами и радиальной скорости сближения;

БФОС — блок формирования ответных сигналов, предназначенный для формирования сигналов, излучаемых кооперируемым ответчиком, из сигналов, принятых от СВИ;

БЭК — безэховая камера;

ВК1 — вычислительный комплекс, состоящий из имитатора бортовой вычислительной машины (БЦВМ) и телеметрической станции (ТС);

ВК2 — вычислительный комплекс управления ПУ, УПО и ИПС;

контейнер СВИ — вычислительная часть радиотехнической СВИ двух кооперируемых объектов;

ПУ — поворотное устройство;

СВЧ-коммутаторы — комплекс элементов СВИ для создания фидерных трактов СВИ, предназначен для коммутации антенных устройств СВИ в зависимости от заданных режимов работы, а также для регулирования уровней СВЧ-сигналов на входе и выходе СВИ;

УПО — устройство перемещения объектов.

Аппаратное укомплектование стенда позволяет проводить отработку следующих сенсоров систем взаимных измерений:

- радиотехнического (РТ) диапазона для сближения двух кооперируемых объектов;

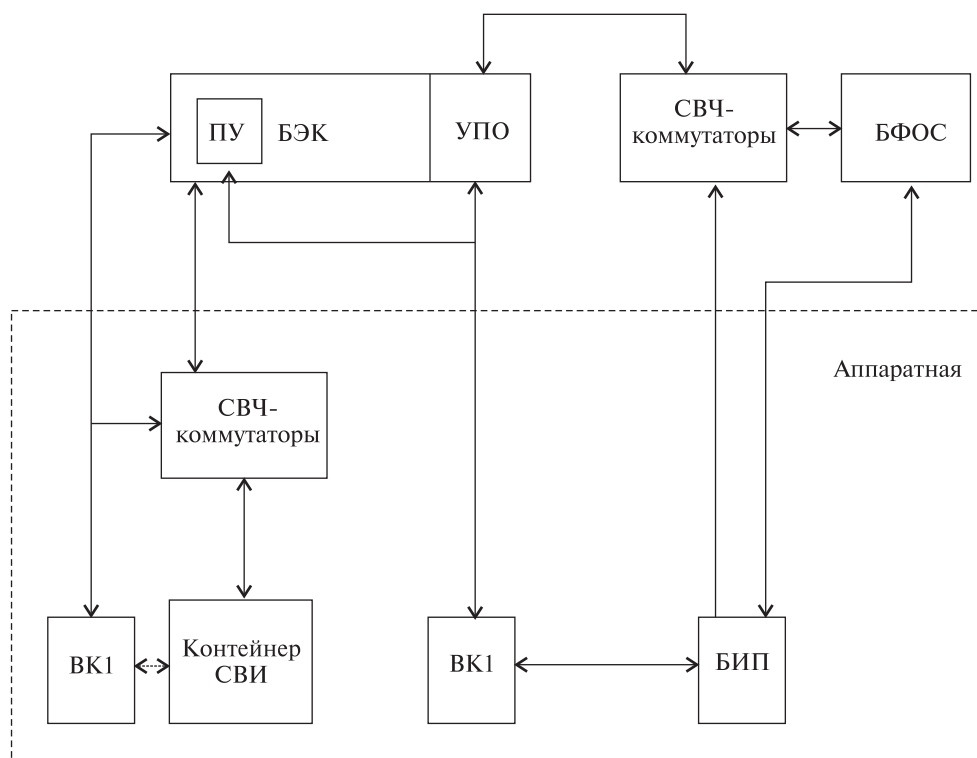


Рис. 7. Структурная схема комплексного стенда обработки систем взаимных измерений

- РТ-диапазона для сближения двух некооперируемых объектов;
- оптического диапазона для сближения двух кооперируемых объектов;
- оптического диапазона для сближения двух некооперируемых объектов.

Имитация работы СВИ в условиях распространения радиоволн в космическом пространстве обеспечивается размещением СВИ, антенных устройств и макетов цели в БЭК. Взаимное расположение антенн в БЭК для испытаний СВИ радиотехнического диапазона для сближения двух кооперируемых объектов показано на рис. 8.

Для имитации угловых рассогласований между сближающимися объектами в рабочей зоне БЭК размещены ПУ с тремя степенями свободы (рис. 9) и кронштейн УПО, которое находится за стеной БЭК (рис. 10).

Фундаменты расположения устройств развязаны.

Размещение устройств СВИ на ПУ и УПО для проведения испытаний описано в таблице.

Управление устройствами ПУ и УПО для задания углов рассогласования между КА и исследуемым объектом осуществляется автоматически с аппаратной (рис. 11).

В состав КСОСВИ также входит комплекс устройств для проведения механических испытаний. Устройства для проведения механических испытаний включают в себя:

- вибростенд, обеспечивающий испытания аппаратуры массой до 100 кг в диапазоне частот от 5 до 2000 Гц и амплитудой виброускорений 1...12 g;
- ударный стенд, обеспечивающий пиковые ударные ускорения до 100 g при длительности импульса 1...20 мс.

Размещение камеры тепла/холода, обеспечивающей проведение испытаний СВИ в диапазоне рабочих температур от -5 °С до +40 °С, в экранированной зоне (рис. 12) позволяет проводить климатические испытания аппаратуры, имеющей значительные габариты.

**Инженерные сооружения стенда.** К инженерным сооружениям относятся капитальные соо-



ружения с планировками под соответствующие помещения стенда:

- аппаратные площадью не менее 20 м<sup>2</sup>;
- радиоэкранированные помещения для устранения влияния посторонних излучений в диапазоне рабочих частот контрольно-испытательной аппаратуры и радиотехнической системы;
- безэховые камеры (БЭК).

Ослабление уровня мощности экранированных помещений обеспечивается на уровне не менее 70 дБ.

Цепи питания для КСОСВИ и вспомогательного оборудования подводятся извне в рабочее помещение через развязывающие фильтры, обеспечивающие ослабление уровня паразитного просачивания сверхвысокочастотных (СВЧ) сигналов на 70...60 дБ. Рабочие помещения оборудованы приточно-вытяжной вентиляцией, обеспечивающей температуру в пределах 20...30 °С.

**Имитация параметров сближения.** Алгоритм имитации параметров сближения задается программно с ВК2. В зависимости от характера изменения параметров сближения на стенде проводится исследования динамических и точностных характеристик измерительных каналов СВИ.

Имитация дальности между объектами осуществляется путем изменения задержки модуляционного сигнала дальности по следующему алгоритму:

- в устройстве БФОС выделяется модуляционная частота дальности принятого от бортовой аппаратуры сигнала;

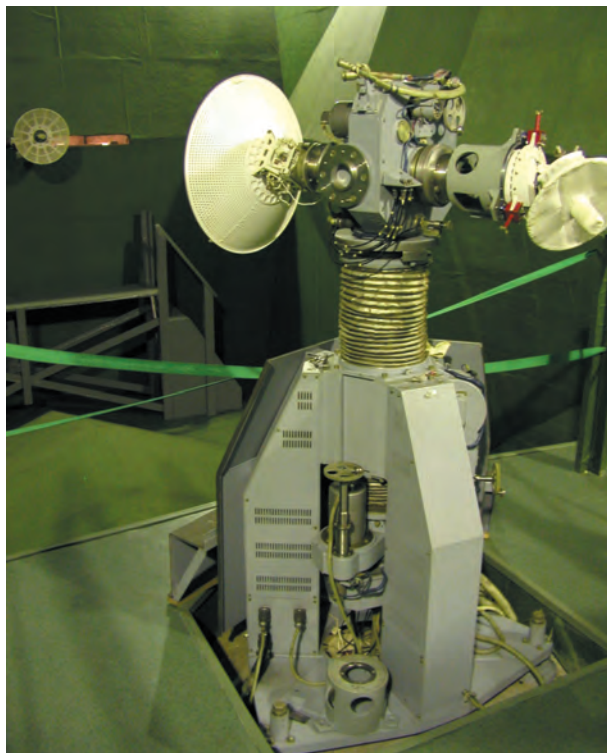


Рис. 8. Взаимное расположение антенн в безэховой камере

- в устройстве БИП устанавливается значение задержки, необходимое для имитации нужной дальности, и в виде кода выдается в устройство БФОС;
- в устройстве БФОС производится задержка по фазе модуляционной частоты на значение, пропорциональное полученному коду от устройства БИП;

**Размещение устройств систем взаимных измерений на поворотном устройстве и устройств перемещения объектов для проведения испытаний**

| Вид систем взаимных измерений                                   | Устанавливается на поворотном устройстве | Устанавливается на устройстве перемещения объектов |
|---|--|--|
| РТ-диапазон для сближения двух кооперируемых объектов           | Антенные устройства СВИ                  | Антенны излучения ответных сигналов                |
| РТ-диапазон для сближения двух некооперируемых объектов         | Макет цели                               | СВИ *  |
| Оптический диапазон для сближения двух кооперируемых объектов   | Оптические мишени                        | СВИ  |
| Оптический диапазон для сближения двух некооперируемых объектов | Макет цели                               | СВИ  |

\* — антенны СВИ, если антенный и вычислительный модули СВИ разнесены.

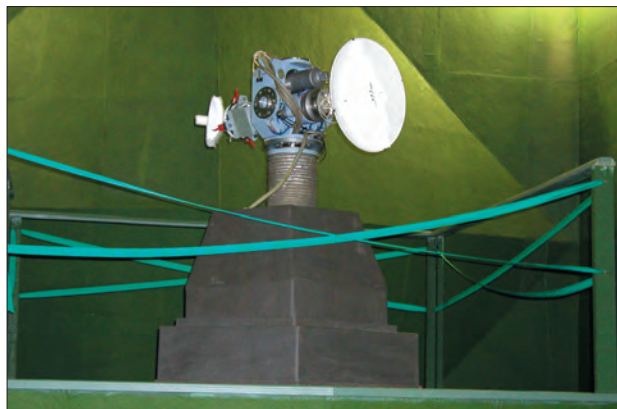


Рис. 9. Поворотное устройство с тремя степенями свободы



Рис. 10. Кронштейн устройства перемещения объектов



Рис. 11. Аппаратная

- в устройстве БФОЗ производится модуляция задержанным по фазе сигналом излучаемого ответного сигнала.



Рис. 12. Камера тепла/холода в экранированной зоне

По аналогичному алгоритму производится имитация радиальной скорости между объектами. В зависимости от кода, полученного от устройства УДС, в устройстве ФКС в сигнал добавляется значение доплеровского сдвига частоты, пропорциональное принятому коду.

Имитация углов осуществляется путем поворота антенн СВЧ относительно линии визирования (ЛВ) на заданный угол. Задание углов поворота и скорости от изменения углов устройствам ПУ производится с ВК2. Индикация заданных углов поворота и измеренных бортовой аппаратурой углов пеленга осуществляется на ВК2.

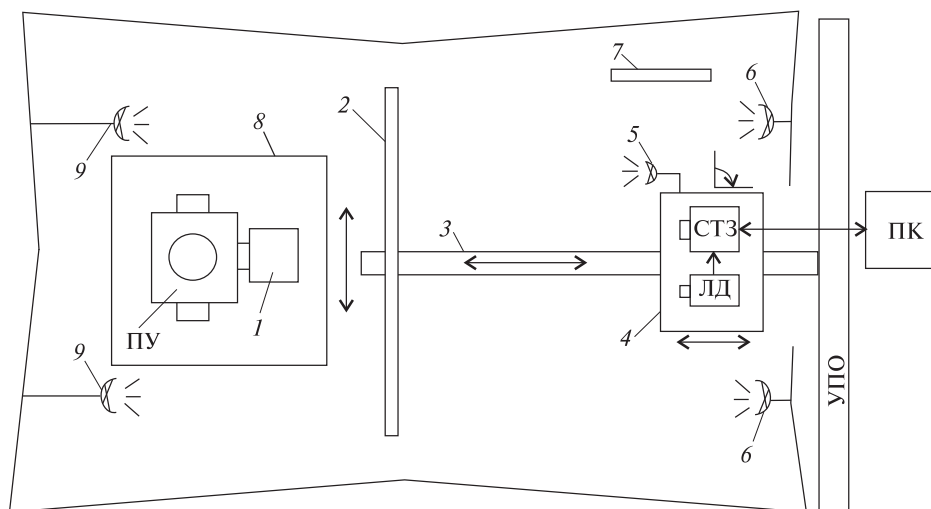
С помощью устройств ПУ и УПО обеспечивается имитация угловых рассогласований в БЭК по курсу, тангажу и крену и угловых скоростей по курсу и тангажу между КА и целью. Имитация угловых скоростей производится горизонтальным линейным перемещением УПО относительно объекта, установленного на ПУ. Скорость перемещения задается с ВК2.

**Характеристики устройств стенда.** С помощью устройств ПУ и УПО обеспечивается имитация угловых рассогласований в БЭК по курсу, тангажу и крену и угловых скоростей по курсу и тангажу между КА и целью.

Поворотное устройство обеспечивает разворот антенн по курсу и тангажу в пределах  $0... \pm 183^\circ$  с погрешностью не более  $6'$  и скоростью обработки углов от  $0.01$  до  $2.80$   $^\circ/\text{с}$ , перемещение по высоте относительно среднего положения  $\pm 150$  мм.



**Рис. 13.** Схема стенда для отработки модуля «Азимут-О»: 1 — 3D-модель КА, 2 — направляющая, 3 — направляющая для продольного перемещения (дальность), 4 — платформа (поворотная на 90°) для размещения СТЗ и ЛД, 5 — фара, 6 — осветители, 7 — мишень для проверки измерений скорости, 8 — постамент, 9 — осветители (фоновое освещение, помеха)



Скорость перемещения устройства УПО в пределах от 0.86 до 1.45 мм/с. Перемещение от среднего положения составляет  $\pm 975$  мм, количество дискретных скоростей — 18, погрешность отработки — 1.5 %.

В рабочей зоне БЭК сигнал переотражения в полосе рабочих частот должен ослабляться не менее чем на 28 дБ.

**Конфигурация стенда для испытаний оптических сенсоров СВИ.** Для реализации процесса сближения с некооперируемыми объектами кроме радиотехнических сенсоров широко используются оптические и лазерные. В аппаратуре СВИ «Азимут» [3], разрабатываемой АО «НПК «Курс», для сближения с некооперируемым КА использована комбинированная схема, обеспечивающая на дальнем участке поиск и сближение радиотехническими средствами, а на ближнем участке — оптическими средствами. Использование современных аппаратных средств и методов обработки сигналов в аппаратуре «Азимут» потребовало модернизации существующего стенда как в части обеспечения испытаний РТС, так и в доукомплектовании стенда необходимыми устройствами для обеспечения испытаний оптической системы измерений.

На данном этапе создан стенд для проверки оптического модуля «Азимут-О» СВИ «Азимут». Модуль «Азимут-О» состоит из системы технического зрения (СТЗ) [2] и лазерного

дальномера-скоростемера (ЛД). Схема стенда для отработки модуля «Азимут-О» приведена на рис. 13.

Для проведения испытаний изготовлен макет предполагаемого некооперируемого КА в масштабе 1:10 (примерно  $30 \times 30 \times 50$  см). Точность изготовления макета 0.5 мм. Макет жестко закреплен на ПУ, которое позволяет осуществлять высокоточные повороты макета вокруг трех перпендикулярных осей.

Предусмотрена возможность жесткой фиксации СТЗ и фары, освещающей объект стыковки (макет), на различных расстояниях от макета. По направляющей 3 перемещается платформа 4, обеспечивая изменение расстояния до модели КА от 5 м до 15 см. Расстояние от макета до СТЗ измеряются с помощью лазерного дальномера. На поворотной платформе 4 размещается СТЗ, ЛД и фара 5. С помощью устройства перемещения УПО обеспечивается горизонтальное перемещение СТЗ и ЛД. Платформа 4 — поворотная от 0 до 90°. При повороте платформы на 90° проводятся испытания СТЗ и ЛД при различных величинах линейных скоростей, задаваемых устройством перемещения УПО относительно мишени 7. Осветители 9 предназначены для имитации фоновое освещение Земли, засветки, создания световых помех. Осветители 6 предназначены для имитации прямого освещения от Солнца и других объектов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современный рынок космических услуг требует создания широкого спектра аппаратуры, ее отработки в кратчайшие сроки при минимальных затратах, что обязывает промышленные предприятия космической отрасли наряду с поддержкой в надлежащем техническом состоянии имеющейся производственно-технологической базы, создавать перспективную, соответствующую современным тенденциям развития техники соответствующего направления.

Комплексный стенд отработки систем взаимных измерений построен на базе стенда, используемого для проверки и испытаний аппаратуры СВИ, которая в настоящее время эксплуатируется при сближении космических кораблей серии «Союз» и «Прогресс» с МКС.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев В. В. Введение в орбитальное сервисное обслуживание. — К.: «Элмис», 2013.
2. Губарев В. Ф., Боюн В. П., Мельничук С. В., Сальников Н. Н., Симаков В. А., Годунок Л. А. и др. Использование систем технического зрения для определения параметров относительного движения космических аппаратов // Проблемы управления и информатики. — 2016. — № 6. — С. 103—118.
3. Концепция построения комплекса средств сближения и захвата «Азимут»: (Отчет) / КБ АО НПК «Курс». — Киев, 2016. — С. 30.
4. Обоснование необходимости модернизации экспериментального испытательного стенда АО НПК «Курс» и ПрАО «Елміз»: (Отчет) / КБ АО НПК «Курс». — Киев, 2017. — С. 11—20.
5. Benninghoff H., Rems F., Boge T. Development and hardware-in-the-loop test of a guidance, navigation and control system for on-orbit servicing // Acta Astronautica. — 2014. — 102. — P. 67—80. — URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.actaastro.2014.05.023>.
6. Boge T., Rupp T., Landzettel K., Wimmer T., Mietner C., Bosse J., Thaler B. Hardware in the Loop Simulator for Rendezvous and Docking Maneuvers // Proc. German Aerospace Congress of DGLR. — Aachen, Germany, 2009.
7. Boge T., Schreutelkamp E. A New Commanding and Control Environment for Rendezvous and Docking Simulations at the EPOS-Facility // Proc. 7th Int. Workshop on Simulation for European Space Programmes (SESP). — Noordwijk, The Netherlands. 2002.
8. Boge T., Wimmer T., Ma O., Tzschichholz T. EPOS — Using Robotics for RvD Simulation of On-Orbit Servicing

Missions // Proc. AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference. — Toronto, 2010.

9. Debus T. J., Dougherty S. P. Overview and Performance of the Front-End Robotics Enabling Near-Term Demonstration (FRIEND) Robotic Arm // Proc. AIAA Infotech@ Aerospace Conf. and Exhibit and AIAA Unmanned... Unlimited. — 2009. — Vol. 2. — P. 750—761.
10. Reesman R., Rogers A. Getting in your space: Learning from past rendezvous and proximity operations. The Aerospace Corporation. — 2018. — 13 p. — URI: <https://aerospace.org/sites/default/.../GettingInYourSpace.pdf>.

Стаття надійшла до редакції 03.10.2018

## REFERENCES

1. Vasylyev V. V. (2013). Introduction to orbital service. K.: Elmiz [in Russian].
2. Gubarev V. F., Boyun V. P., Melnichuk S. V., Salnikov N. N., Simakov V. A., Godunok L. A., et al. (2016). Use of technical vision systems for determining parameters of the relative motion of spacecrafts. Problemy upravleniya i informatiki. - Problems of control and informatics, № 6. 103—118 [in Russian].
3. DO JSC RPC «KURS» (2016). Kontseptsiya postroyeniya kompleksa sredstv sblizeniya i zakhvata «Azimut»: (Otchet) [The building concept of «Azimuth» approaching and capturing means set: (Report)] - Kiev - p. 30 [in Russian].
4. DO JSC RPC «KURS» (2017). Substantiation of necessity to upgrade the experimental test stand of JSC RPC «KURS» and PrJSC «ELMIZ»: (Report). Kiev. 11—20 [in Russian].
5. Benninghoff H., Rems F., Boge T. (2014). Development and hardware-in-the-loop test of a guidance, navigation and control system for on-orbit servicing. Acta Astronautica, 102. 67—80. <http://dx.doi.org/10.1016/j.actaastro.2014.05.023>.
6. Boge T., Rupp T., Landzettel K., Wimmer T., Mietner C., Bosse J., Thaler B. (2009). Hardware in the Loop Simulator for Rendezvous and Docking Maneuvers. Proc. German Aerospace Congress of DGLR. Aachen, Germany.
7. Boge T., Schreutelkamp E. (2002). A New Commanding and Control Environment for Rendezvous and Docking Simulations at the EPOS-Facility. Proc. 7th Int. Workshop on Simulation for European Space Programmes (SESP). Noordwijk, The Netherlands.
8. Boge T., Wimmer T., Ma O., Tzschichholz T. (2010). EPOS — Using Robotics for RvD Simulation of On-Orbit Servicing Missions. Proc. AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference. Toronto.
9. Debus T. J., Dougherty S. P. (2009). Overview and Performance of the Front-End Robotics Enabling Near-

Term Demonstration (FREND) Robotic Arm. Proc. AIAA Infotech@Aerospace Conf. and Exhibit and AIAA Unmanned...Unlimited. Vol. 2. 750–761.

10. Reesman R., Rogers A. (2018). Getting in your space: Learning from past rendezvous and proximity operations. The Aerospace Corporation. 13 p. URI: <https://aerospace.org/sites/default/.../GettingInYourSpace.pdf>.

Received 03.10.2018

V. V. Vasyliev<sup>1</sup>, L. Ya. Godunok<sup>2</sup>,  
S. V. Derkach<sup>2</sup>, S. A. Matviienko<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Приватне акціонерне товариство «ЕЛМІЗ»,  
Київ, Україна

<sup>2</sup> Приватне акціонерне товариство  
«Науково-виробничий комплекс «Курс»,  
Київ, Україна

#### СТЕНД ДЛЯ ВІДПРАЦЮВАННЯ ТА ВИПРОБУВАНЬ СИСТЕМ ВЗАЄМНИХ ВИМІРЮВАНЬ ПОЛОЖЕННЯ ДВОХ КОСМІЧНИХ АПАРАТІВ

Зближення КА стає однією з найбільш застосовуваних і одночасно найбільш складних і відповідальних операцій у космосі. Системи, які розробляються сьогодні і націлені на виконання завдань зближення некооперованих об'єктів, що обертаються, повинні забезпечити уникнення зіткнень і можливе подальше безаварійне причалювання (захват, стикування). Система управління зближенням стає однією з найбільш відповідальних, складних і дороговартісних систем КА. Збільшення складності і відповідальності систем зближення висуває нові вимоги до їхнього наземного експериментального відпрацювання та випробувань. Проведено огляд замкнених моделювальних стендів, створених світовими космічними компаніями, що імітують повний цикл операцій від зближення активного КА до стикування або захвату пасивного об'єкта. Наведено характеристики діючого стенда АТ «НВК«Курс» і ПрАТ «ЕЛМІЗ» в частині проведення електричних і механічних випробувань апаратури системи взаємних вимірювань. Комплексний стенд відпрацювання систем взаємних вимірювань являє собою не тільки інструмент досліджень і розробки нових систем взаємних вимірювань, але й обслуговує серійне виробництво цих систем високої складності. Апаратне укомплектування стенда дозволяє проводити відпрацювання сенсорів радіотехнічного та оптичного діапазонів системи взаємних вимірювань для зближення двох кооперованих об'єктів і для зближення двох некооперованих об'єктів. Розглянуто склад, конфігурацію та алгоритми роботи імітаційного стенда відпрацювання систем, що використовують різні сенсори для реаліза-

ції задачі взаємних вимірювань положення і параметрів руху активного КА, який виконує маневри зближення, і пасивного об'єкта. Наведено схему стенда для забезпечення випробувань оптичної системи вимірювань.

**Ключові слова:** безлунна камера, захват, випробувальний стенд, космічний апарат, крен, позиціонування, симулятор, система взаємних вимірювань, стикування, тангаж.

V. V. Vasylyev<sup>1</sup>, L. A. Godunok<sup>2</sup>,  
S. V. Derkach<sup>2</sup>, S. A. Matviienko<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Private Joint Stock Company ELMIZ, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup> Private Joint Stock Company “Research and Production Complex “Kurs”, Kyiv, Ukraine

#### A STAND FOR WORKING OUT AND TESTING OF MUTUAL MEASUREMENT SYSTEMS FOR THE POSITION OF TWO SPACECRAFTS

We present the full cycle review carried out for closed and simulating operations of active spacecraft from rendez-vous to docking or capturing of a passive object, including simulating stands created by world space companies. The rendez-vous of spacecraft becomes one of the most used and at the same time the most complex and responsible operations in space. The systems being developed today are aimed at accomplishing the rendez-vous tasks of non-cooperative rotating objects. They should provide collision avoidance and possible further trouble-free mooring (capture, docking). The rendez-vous control system is becoming one of the most responsible, complex, and expensive spacecraft systems. The increasing complexity and responsibility of rendez-vous systems make new demands on their ground-based experimental development and testing. The characteristics of the JSC RPC “Kurs” and PrJSC ELMIZ operating stand obtained in electrical and mechanical tests of the mutual measurement system equipment are given. A comprehensive stand for testing mutual measurement systems is not only a tool for research and development of new ones but also serves the mass production of these highly complex systems. The hardware staffing of the stand allows the development of radio and optical sensors of the mutual measurement system for the rendez-vous of two cooperative objects and for the rendez-vous of two non-cooperative objects. Composition, configuration and operating algorithms of the simulation stand for testing systems which use different sensors for mutual measurements of position and parameters of active spacecraft motion performing rendez-vous maneuvers and passive object have been considered. The scheme of the stand for tests of the optical measurement system is given.

**Keywords:** anechoic chamber, capture, test stand, spacecraft, roll, positioning, simulator, mutual measurement system, docking, pitch.