

## УНИВЕРСАЛЬНЫЙ СТЕНД СБОРКИ И ИСПЫТАНИЙ АППАРАТУРЫ БОРТОВОГО ИНФОРМАЦИОННО- НАВИГАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА «ГЛОНАСС-К2»

**Н. Н. Лосев, В. В. Головков, Д. Г. Киндяков,  
Р. О. Уланов, К. А. Трунов**

*АО «Информационные спутниковые системы» им. акад. М. Ф. Решетнёва,  
г. Железногорск, Красноярский край, Российская Федерация*

*Статья посвящена описанию разработанного универсального стенда сборки для закрепления плиты технологической и проведению монтажных работ и приёмо-сдаточных испытаний аппаратуры бортового информационно-навигационного комплекса космического аппарата «Глонасс-К2» разработки АО «ИСС». Навигационный космический аппарат строится на базе негерметичной платформы «Экспресс-1000» и будет функционировать на средневысотной круговой орбите.*

*Платформа «Экспресс-1000» представляет собой конструктивно и функционально обособленные модули, объединяющие все бортовые служебные подсистемы для обеспечения работы полезной нагрузки и предоставления для неё всех необходимых ресурсов и услуг. В процессе создания и сборки космического аппарата платформа объединяется с полезной нагрузкой, которая также представляет собой конструктивно и функционально обособленный модуль.*

*На основании патентного исследования и обзора существующих конструкций стендов сборки выбран наиболее соответствующий требованиям технического задания принцип работы стенда. Проведены теоретические расчеты механизма: прочностной и на заданный ресурс. Выполнена конструктивная проработка отдельных важнейших узлов и систем оборудования.*

*Ключевой особенностью стенда является внедрение автоматизированной системы работы привода с возможностью дистанционного управления, за счёт которого повышается безопасность работы со стендом. Стенд предлагается как универсальный механизм с возможностью сборки с сопанелями разных размеров.*

*Ключевые слова: стенд сборки, технологическая плита, космический аппарат, бортовой информационно-навигационный комплекс, технологическое оборудование изготовления и испытаний космических аппаратов.*

### Введение

Одним из самых ответственных и трудоёмких этапов изготовления космических аппаратов является процесс сборки. Для обеспечения быстрого и качественного процесса сборки необходимо применение на производстве специальных рабочих мест – стендов, обеспечивающих надежное закрепление деталей, удобный доступ к составным частям и модулям, высокую точность проводимых работ и безопасность производственного персонала.

В статье описан универсальный стенд сборки, позволяющий закреплять технологическую плиту как для проведения монтажных работ, так и для приёмо-сдаточных испытаний аппаратуры бортового информационно-навигационного комплекса космических аппаратов (КА).

### Назначение стенда сборки

Стенд сборки – производственный механизм, производящий перекладку или передачу различных объектов с одного поста или обрабатывающего устройства на другое, с обязательным изменением пространственной ориентации объекта (переворотом, простым или двухосным поворотом) [1; 2]. Он представляет собой технологиче-

ское оборудование, необходимое для поддержания на определенных этапах наземной эксплуатации определенного положения в пространстве соопанели относительно земной поверхности, а также изменения этого положения (причем без какого-либо вреда для самой панели):

- установки продольной оси X панели в горизонтальном положении;
- вращения установленной панели вокруг оси X в горизонтальном положении;
- изменение высоты положения благодаря механической передаче (производится только в горизонтальном положении).

Возможность установки панели на специально приспособленном для этого оборудовании (стенде), а также возможность изменения положения изделия в пространстве без переоборудования с этого стенда, позволяет облегчить и обезопасить выполнение сборки [3].

### Основные требования, предъявляемые к стенду

Стенд сборки должен обеспечивать:

- крепление установленной на нем плиты технологической для обеспечения проведения сборочных и испытательных операций;
- возможность вращения плиты технологической вокруг оси X;
- возможность процесса подъема/опускания плиты технологической для обеспечения удобного монтажа приборов;
- проведение юстировочных работ с изделием;
- проведение монтажных и регулировочных работ с изделием, а также прокрутка вокруг оси X.

Конструкция стенда должна обеспечивать:

- надежное закрепление конструкции;
- установку на колесную тележку или на собственные колеса и перемещение на них с помощью электрического и ручного привода;
- вращение плиты электромеханическим или ручным приводом на 360° вдоль оси X (время вращения на угол 360° составляет 6–8 минут);
- перемещение плиты в вертикальном направлении (время подъема/опускания составляет 4–6 минут);
- проведение юстировочных работ с плитой.

Грузоподъемность стенда 500 кг; максимальные габариты в миллиметрах: 6740×2500×2500 [4].

### Описание схемы работы стенда

Поскольку предпочтительно обеспечить свободный доступ со всех сторон ко всем наружным

элементам и узлам КА, установленного на кантователь, а также их полную визуальную видимость, то предлагается использовать схему, в которой стенд-кантователь, состоящий из стоек с поворотными устройствами, для повышения удобства сборки рамы универсального энергосредства позволяет её вращать на угол 360°.

### Дополнительные особенности стенда

В стенде предусмотрены:

- возможность остановки в промежуточных произвольных положениях, а также автоматический останов в конечных положениях платформы поворотной;
- самоторможение привода;
- дополнительные тормозные устройства для обеспечения блокировки движения при выключенном электродвигателе;
- устройства защиты электродвигателя от перегрузок;
- ручной привод с автоматической блокировкой одновременного включения электродвигателя и передачи крутящего момента на шарико-винтовую пару (ШВП) с вала рукоятки. Точность позиционирования не требуется.

Кроме того, обеспечивается защита от попадания масляного тумана и металлической пыли, образующихся при работе привода, в окружающее пространство и на открытые элементы КА [5].

### Состав стенда

Для привода стенда наиболее подходит ШВП, т. к. она обладает следующими важными преимуществами перед передачей скольжения винт-гайка (ПВГ):

1. С учетом условий работы винтовой передачи в данном приводе (сведение к минимуму радиальной, а также наклонно-радиальной нагрузки на ходовой винт), ШВП менее склонна к заеданию и заклиниванию по сравнению с парой скольжения, в которой значительно больше трение в резьбе. Это повышает надежность привода и, следовательно, такого достаточно ответственного оборудования, как универсального стенда сборки.

2. ШВП обладает более чем в 2 раза высоким КПД и более чем в 2 раза низким требуемым вращающим моментом на винте, по сравнению с ПВГ. Это обуславливает применение в составе привода электродвигателя меньшей мощности, а также прочих механических передач (редукторов), рассчитанных на передачу столь же меньших мощностей. В итоге привод становится более компактным, снижается его энергопотребление и масса (в целом) [6].

Стенд состоит из следующих основных узлов:

1. Средство вращения стенда – червячный мотор-редуктор IG-90GM, состоит из реверсивного коллекторного двигателя постоянного тока и планетарного редуктора.
2. Средство подъема плиты технологической – мотор-редуктор серии SF8156, состоит из реверсивного коллекторного двигателя постоянного тока и цилиндрического редуктора. Передаточное отношение редуктора 1/50. Максимальный крутящий момент (ограничение прочности редуктора) – 300 Н·м. [7].
3. Для управления скоростью, направлением, а также для задания плавного пуска и торможения – контроллер коллекторного двигателя BMSD [8].
4. Источник питания для мотор-редуктора – H300S24.
5. Интерфейс RS-485, обеспечивающий управление скоростью, продолжительностью работы или количеством оборотов, направлением и ускорением.
6. Защитные устройства: ультразвуковой дальномер URM37, инфракрасный дальномер Sharp и устройство защитного отключения (УЗО).

### Устройство и функции общего блока управления стендом

В процессе работы производится контроль положения при управлении двигателем с датчиком угла поворота.

Предусмотрено одновременное управление несколькими контроллерами. Подключение внешнего оборудования к блоку BMSD представлено на рис. 1.

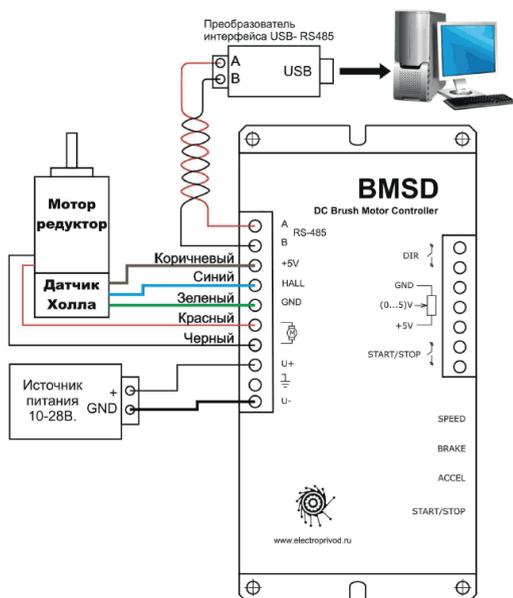


Рис. 1. Подключение внешнего оборудования к блоку BMSD

При необходимости для управления скоростью, направлением, а также для задания плавного пуска и торможения можно использовать блок управления двигателями постоянного тока BMD.

Во избежание нарушения техники безопасности и непредвиденных опасных ситуаций стенд сборки оснащён датчиками движения, следящими за обнаружением посторонних предметов в зоне действия датчика. Такими датчиками являются ультразвуковой дальномер URM37 и инфракрасный дальномер Sharp. Данные датчики подключаются к общему блоку управления и включаются при подаче на них соответствующей команды [9].

Дополнительно стенд оборудован УЗО, предназначенным для отключения цепи в случае появления токов утечки, возникающих при электрическом пробое изоляции проводки, а также в результате прикосновения человека к фазному проводу или корпусу оборудования, оказавшемуся под напряжением из-за электрического пробоя.

### Структурная электрическая схема стенда и система дистанционного управления

В состав структурной электрической схемы входят: электрический шкаф, силовые разъемы, проводка, аппарат защиты, мотор-редуктор, электронный блок управления, ЭВМ, пульт управления, датчики положения каретки, датчики движения и светосигнальные индикаторы.

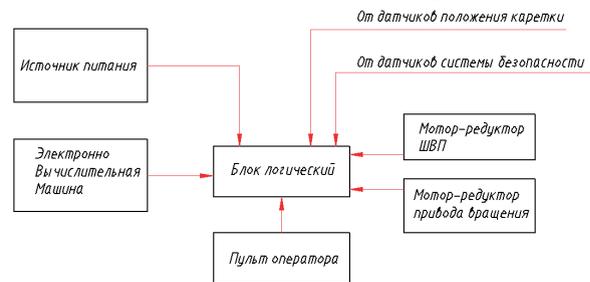


Рис. 2. Структурная электрическая схема стенда сборки

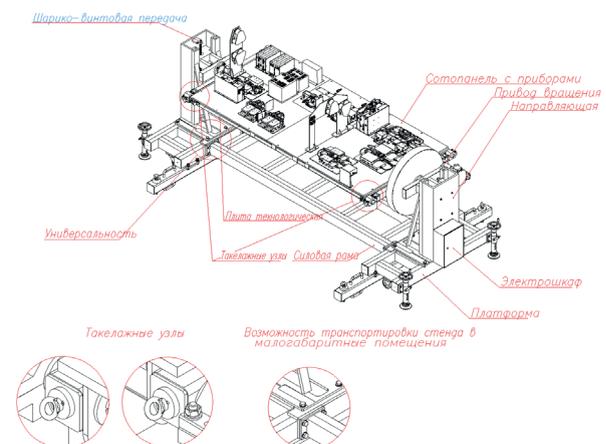


Рис. 3. Стенд сборки

Отдельно следует отметить устройство дистанционного пульта управления стенда. Современная мировая радиотехническая промышленность выпускает специальные комплекты дистанционного управления (ДУ), предназначенные для интеграции в системы управления грузоподъемным оборудованием, строительной, сельскохозяйственной и другой техникой, где зачастую бывает невозможно, нецелесообразно или опасно устанавливать специальные посты и кабины управления.

Внедрение ДУ является прогрессивным техническим решением. ДУ позволяет освободить оператора стенда от кручения рукояти привода в течение длительного времени, что соответствует требованиям эргономики и в значительно большей степени концентрировать внимание на установленной плите, лучше отслеживать текущее положение и состояние объекта (плиты), в меньшей степени отвлекаясь на приемы, непосредственно связанные с управлением стенда. Это делает эксплуатацию оборудования более безопасной.

Одной из самых доступных и уже хорошо зарекомендовавших себя на рынке систем

ДУ представляется отечественная разработка – комплект дистанционного управления «SAGA1 Crystal Серия – SAGA1-L8B», спроектированный и серийно выпускаемый радиотехнической компанией ООО «ПКФ «УРАЛКРАНДЕТАЛЬ» [10].

## Заключение

Спроектированный стенд сборки характеризуется следующими качественными и количественными показателями, представляющими интерес для заказчика и обеспечивающими изделию конкурентоспособность:

- универсальность и достаточная функциональность;
- удобство в управлении;
- хорошая транспортабельность;
- относительно небольшая потребляемая электрическая мощность.

Стенд предлагается как универсальный механизм с возможностью сборки сотопанелей разных размеров.

## Список литературы

1. «Экспресс-1000» – перспективная платформа среднего класса [Электронный ресурс]. URL: <https://www.iss-reshetnev.ru/media/journal/journal-07-2009.pdf> (дата обращения: 13.08.2018).
2. Чеботарев В. Е., Косенко В. Е. Основы проектирования космических аппаратов информационного обеспечения : учеб. пособие ; Сиб. гос. аэрокосм. ун-т. Красноярск, 2011. 488 с.
3. Гуцин В. Н. Основы устройства космических аппаратов : учеб. / В. Н. Гуцин. М. : Машиностроение, 2003. 272 с.
4. Основные технологические процессы общей сборки в производстве летательных аппаратов : учеб. пособие / В. А. Барвинок, А. Н. Кирилин, П. А. Докукина. Самара : Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2007. 80 с.
5. Проектирование испытательных стендов для экспериментальной отработки объектов ракетно-космической техники / А. Г. Галеев, Ю. В. Захаров, В. П. Макаров, В. В. Родченко. М. : Издательство МАИ, 2014. 283 с.
6. Проектирование механических передач : учеб. пособ. / С. А. Чернавский, Г. А. Снесарев, Б. С. Козинцов и др. – 7-е изд., перераб. и доп. М. : ИНФРА-М, 2013. 536 с.
7. Мотор-редуктор SF8156 [Электронный ресурс]. URL: <http://redmeh.ru/catalog/malogabaritnye-motor-reduktory-12-24v/motor-reduktory-king-right-motor/motor-reduktor-sf8156/> (дата обращения: 13.08.2018).
8. Контроллер коллекторного двигателя BMSD с интерфейсом RS-485 [Электронный ресурс]. URL: <http://brushmotor.ru/BMSD.html> (дата обращения: 13.08.2018).
9. Горчаковский А. А., Евстратько В. В., Мишуров А. В., Панько С. П., Сухотин В. В. Принципы построения автоматизированной контрольно-проверочной аппаратуры космических аппаратов // Исследования наукограда. 2015. № 4. С. 30–32.
10. SAGA1 Crystal Серия – SAGA1-L4&L6&L8 Handheld Type [Электронный ресурс]. URL: <http://uralkrandetal.com/scat/14225.htm> (дата обращения: 13.08.2018).

## UNIVERSAL STAND FOR ONBOARD INFORMATION AND NAVIGATION COMPLEX ASSEMBLING AND TESTING EQUIPMENT OF THE SPACECRAFT «GLONASS-K2»

**N. N. Losev, V. V. Golovkov, D. G. Kindyakov,  
R. O. Ulanov, K. A. Trunov**

*JSC Academician M. F. Reshetnev Information Satellite Systems,  
Zheleznogorsk, Krasnoyarsk region, Russian Federation*

*The article is description of the developed universal assembly stand for fixing the technological plate and carrying out installation works and acceptance testing of the equipment on-board information and navigation complex of the «Glonass-K2» spacecraft developed by JSC ISS. The spacecraft is built on the basis of an unpressurized platform «Express-1000», operating on a medium-altitude circular orbit.*

*The «Express-1000» platform is a constructively and functionally detached module that unites all onboard service subsystems that provide payload operation and provide all necessary resources and services for it. In the process of creating and assembling a spacecraft, the platform is combined with a payload, which is also a constructively and functionally detached module.*

*On the basis of patent research and review of existing structures of the assembly stands, the most suitable working principle of the stand is selected. Theoretical calculations of the mechanism – strength, for a given resource are carried out. A constructive study of some of the most important units and equipment systems was carried out.*

*A key feature of the stand is the introduction of an automated drive system with the possibility of remote control, which increases the safety of work with the stand. The stand is offered as a universal mechanism with the ability to assemble with different sizes of honeycomb panels.*

*Keywords: assembly stand, technological plate, space vehicle, on-board information and navigation complex, technological equipment for manufacturing and testing spacecrafts.*

### References

1. «Express-1000» is a promising middle class platform. Available at: <https://www.iss-reshetnev.ru/media/journal/journal-07-2009.pdf> (accessed 13.08.2018).
2. Chebotarev V. E., Kosenko V. E. *Osnovy proektirovaniya kosmicheskikh apparatov informatsionnogo obespecheniya* [Fundamentals of spacecraft design information support]. Krasnoyarsk, SibGAU Publ., 2011. 488 p. (In Russian)
3. Gyschin V. N. *Osnovy ustroystva kosmicheskikh apparatov* [Fundamentals of spacecraft devices]. Moscow, Mashinostroenie, 2003. 272 p. (In Russian)
4. Barvinok V. A., Kirillin A. H., Dokudina P. A. *Osnovnyye tekhnologicheskiye protsessy obshchey sborki v proizvodstve letatel'nykh apparatov* [The main technological processes of general assembly in the production of aircraft]. Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov, 2007. 80 p. (In Russian)
5. Galeev A. G., Zaharov U. V., Makarov V. P., Rodchenko V. V. *Proyektirovaniye ispytatel'nykh stendov dlya eksperimental'noy otrabotki ob'yektov raketno-kosmicheskoy tekhniki* [Design of test benches for experimental testing of rocket and space equipment]. Moscow, Moscow Aviation Institute, 2014. 283 p. (In Russian)
6. Chernavskiy S. A., Snesarev G. A., Kozincov B. S. *Proyektirovaniye Mehanicheskikh Peredach* [Design of mechanical transmissions]. Moscow, INFRA-M, 2013. 536 p. (In Russian)
7. Gear Motor SF8156. Available at: <http://redmeh.ru/catalog/malogabaritnye-motor-reduktory-12-24v/motor-reduktory-king-right-motor/motor-reduktor-sf8156/> (accessed 13.08.2018).
8. The collector motor controller BMSD with RS-485 interface. Available at: <http://brushmotor.ru/BMSD.html> (accessed 13.08.2018).
9. Gorchakovskiy A. A., Evstratko V. V., Mishurov A. V., Panko S. P., Sukhotin V. V. The principles of automation control and test equipment for spacecraft // The Research of the Science City, 2015, no. 4, pp. 30–32. (In Russian)
10. SAGA1 Crystal Серия – SAGA1-L4&L6&L8 Handheld Type. Available at: <http://uralkrandetal.com/scat/14225.htm> (accessed 13.08.2018).