

УДК 629.78

DOI: 10.18698/2542-1468-2019-4-32-38

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОДДЕРЖКИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЭКИПАЖА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ПРИ ФОТОСЪЕМКЕ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

С.В. Бронников

ПАО РКК «Энергия» им. С.П. Королева, 141070, Московская обл., г. Королев, ул. Ленина, д. 4а

post@rsce.ru

Проанализированы технология фотосъемок земной поверхности с борта космического аппарата и привязка полученных изображений к конкретной местности. Показано преимущество фотосъемок космонавтами с помощью автономных фотокамер, механически не связанных с корпусом космического аппарата. Предложены разработки интеграции с фотокамерой портативной угломерной системы. Рассмотрены различные варианты угломерных систем, созданных на различных основах: двух жестко связанных синхронизированных фотокамер; волоконно-оптического гироскопа компании «Оптолинк»; датчика угловых скоростей Mti фирмы Xsens Technologies; ультразвуковых датчиков. Обоснован выбор наилучшей угломерной системы. Изложено описание новых технологий, разработанных с использованием выбранной угломерной системы, в частности, технологий опознавания и последующей привязки фотоизображений, полученных с помощью автономных камер, включая определение углового положения оси объектива камеры, расчет текущего положения космического аппарата и расчет координат пересечения его оси с земной поверхностью, преобразование изображения в ортофотоплан и занесение его в базу данных. Кроме того, охарактеризованы технологии поддержки наведения камеры на внешний заданный объект, отображения текущего положения центра поля зрения камеры на дисплее, выдачи голосовых указаний по наведению. Сделан вывод о том, что применение указанных технологий позволяет повысить эффективность эксплуатации пилотируемых космических комплексов в целях изучения земной поверхности.

Ключевые слова: экипаж космического аппарата, привязка фотоизображений системе координат земной поверхности, поддержка наведения фотокамеры, угломерная система

Ссылка для цитирования: Бронников С.В. Новые технологии поддержки деятельности экипажа космического аппарата при фотосъемке земной поверхности // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 4. С. 32–38. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-4-32-38

Как указано в работе [1], фотоизображения земной поверхности, полученные экипажами пилотируемого космического аппарата (ПКА) через иллюминаторы с помощью высококачественной цифровой видео- и фотоаппаратуры профессионального уровня, широко используются различными организациями при выполнении научно-исследовательских и хозяйственных работ. Получаемые таким образом фотоизображения содержат важную оперативную информацию о состоянии природных или промышленных объектов, о катастрофических явлениях. Эту информацию можно использовать для решения различных задач, например, для оценки состояния лесов [2], прогнозирования землетрясений [3, 4], определения поглощаемого из атмосферы углерода древесной растительностью [5] и т. п. При этом должны быть известны географические координаты и геометрические характеристики изучаемых объектов, по которым выполняется так называемая «привязка» фотоизображения, т. е. происходит определение географических координат каждого пикселя изображения.

Цель работы

Целью работы является разработка устройства для автоматического определения углового положения оси объектива камеры, т. е. ее линии

визирования в момент съемки (устройство не должно образовывать механическую связь между камерой и корпусом космического аппарата), разработка технологии применения угломерной системы, которая обеспечивала бы минимизацию затрат времени экипажа и наземного персонала для привязки фотоизображений к участкам земной поверхности.

Материалы и методы

У космических фотоизображений земной поверхности, получаемых с автоматических космических аппаратов (КА), всегда известно пространственное положение линии визирования камеры, так как она жестко связана с их конструкцией. Привязка изображений к земной поверхности выполняется, исходя из положения КА на орбите и его пространственной ориентации в момент фотосъемки, по которым для каждого полученного кадра можно рассчитать географические координаты центра снимка. Далее опознается фотоизображение, путем его визуального сопоставления с ортофотопланом предполагаемого района фотосъемки, а затем рассчитываются координаты каждого пикселя изображения. Для фотосъемок с высоты 300–400 км над Землей ошибка определения центра изображения составляет около 10 км, поэтому опознавание является

относительно несложной задачей. После того как изображение опознано, т. е. снятый район найден на ортофотоплане, устанавливается соответствие не менее четырех характерных точек (объектов) на фотоизображении и на ортофотоплане [6]. Поскольку географические координаты любой точки ортофотоплана заранее известны, каждый снимок можно обработать и перевести в проекцию ортофотоплана, таким образом получая географические координаты всех пикселей фотоизображения.

Можно организовать фотосъемку на ПКА таким же способом как на автоматическом КА. Для того, чтобы получить данные о пространственном положении фотокамеры относительно ПКА установить механическую связь фотокамеры с корпусом ПКА с помощью двухступенного кронштейна, в состав которого включена угломерная система, которая измеряет угловое положение линии визирования фотокамеры относительно связанной системы координат ПКА. Однако, при этом проявляются следующие недостатки: ограничение свободы перемещения камеры, перекрытие иллюминатора кронштейном, передача вибраций от конструкции ПКА через кронштейн на фотокамеру, что затрудняет ее наведение. Кроме того, требуются затраты рабочего времени экипажа на монтажные операции фотокамеры на кронштейн, а также трудовые затраты наземного персонала на сбор и обработку информации о траектории КА и данных об угловом положении линии визирования фотокамеры.

С точки зрения эргономичности для космонавтов наиболее удобна фотосъемка с помощью автономных камер, не имеющих механической связи с корпусом станции. Такая съемка имеет следующие преимущества: оперативность, обзорность, гибкость и др. [1]. Невесомость создает для незакрепленной камеры условия идеального трехступенного подвеса, на который не передаются вибрации от конструкции ПКА и который позволяет космонавту с высокой точностью наводить камеру на объекты, отслеживать их прохождение, быстро переводить их на новую цель с учетом оперативно складывающейся обстановки, фиксировать неожиданно возникшие явления и новые объекты.

В случае фотосъемки, выполняемой космонавтами с использованием свободно перемещаемой камеры, положение оси объектива камеры относительно связанной системы координат КА в момент фотосъемки неизвестно. При наличии данных об угловом положении линии визирования фотокамеры в момент съемки предполагаемый район для опознавания фотоснимка составляет круг с радиусом около 30 км, а при отсутствии

этих данных — круг с радиусом около 400 км вокруг подспутниковой точки в момент съемки. При опознавании снимка в круге с радиусом 400 км существенно увеличиваются трудовые затраты на опознавание изображения. Особенно затруднено распознавание фотоизображений, полученных объективом с фокусным расстоянием 800 мм и более, так как они обычно включают в себя относительно небольшие районы земной поверхности. Некоторые однородные фотоизображения (лес, море) нет возможности опознать в связи с отсутствием каких-либо уникальных ориентиров.

В настоящее время российские космонавты, работающие на Международной космической станции (МКС), с помощью автономных камер ежегодно получают примерно 200 тыс. фотоснимков, для привязки которых требуются очень большие трудовые затраты, достигающие десятков тысяч человеко-часов в год.

Результаты и обсуждение

Перечислим основные требования к угломерной системе:

- минимизация ограничений для работы космонавтов при проведении фотосъемки;
- минимизация усложнения деятельности экипажа по проведению фотосъемки по сравнению с фотосъемками, в которых не требуется использование угломерной системы;
- достижение погрешности определения угла не более 1° .

В 2014 г. на МКС началось проведение космического эксперимента «Визир» (постановщик — ПАО РКК «Энергия» им. С.П. Королева). В рамках эксперимента были разработаны и исследованы несколько угломерных систем, позволяющих определить угловое положение линии визирования фотокамеры относительно связанной системы координат ПКА при отсутствии механической связи фотокамеры с корпусом ПКА.

Вариант 1. Синхронное использование двух жестко связанных фотокамер, т. е. механическая сборка из двух камер.

Основная камера, с узкоугольным объективом, предназначена для фотосъемки Земли, вторая камера, с широкоугольным объективом, направлена на внутренний интерьер ПКА. По фотоизображениям элементов конструкции, интерьера или специальных маркеров возможно определение пространственного положения второй камеры относительно связанной системы координат ПКА. Затем, по данным о текущем положении ПКА в инерциальной системе координат, положении матриц ориентации ПКА и пространственного положения второй камеры относительно первой, можно определить положение основной камеры в инерциальной системе координат.

Вариант 2. Угломерная система на основе волоконно-оптического гироскопа компании «Оп-толинк» [7].

Задача заключалась в исследовании и демонстрации принципиальной возможности определения направления системы координат фотокамеры с помощью прибора ТИУС-500 (трехстепенной измеритель угловых скоростей). Прибор был прикреплен к объективу фотоаппарата. Данные с прибора ТИУС-500 и момент спуска затвора передавались по кабелю в бортовой компьютер экипажа, где проводился расчет ориентации фотоаппарата в момент срабатывания затвора [8, 12].

Вариант 3. Угломерная система на основе датчика угловых скоростей Mti фирмы Xsens Technologies.

Малогабаритный (55×58×22 мм) прибор MTi-28A53G25 фирмы Xsens Technologies B.V. (Нидерланды) [9] имеет жесткую механическую связь с фотокамерой и измеряет угловые скорости фотокамеры по значению силы Кориолиса от системы колеблющихся микробалок, связанных с пьезокристаллом. Прибор является, по сравнению с прибором ТИУС-500 менее чувствительным к резким поворотам и соударениям. Однако проверка его работы в условиях невесомости показала, что уход этого прибора, т.е. линейная составляющая систематической погрешности значений углов разворота относительно связанной системы координат ПКА, составляет до 0,6 град/с, а это для длительного процесса фотосъемки недопустимо. В земных условиях уход составлял всего 20 град/ч благодаря постоянной осуществляемой в приборе корректировке измерений путем использования направления гравитационного поля измеряемого с помощью встроенных акселерометров, что невозможно в условиях невесомости. Таким образом, измерение углового положения фотокамеры относительно связанной системы координат ПКА в невесомости с помощью приборов такого типа возможно лишь на очень коротких интервалах. Построение угломерной системы основанной на этих приборах было отклонено, тем не менее датчик нашел применение в качестве вспомогательной системы, сохраняющая данные о направлении при кратковременных потерях сигналов.

Вариант 4. Угломерная система положения фотокамеры относительно связанной системы координат ПКА на основе ультразвуковых датчиков.

Угломерная система, по техническому заданию РКК «Энергия», была разработана компанией «ruCar» [10] (г. Зеленоград), которая имела опыт построения ультразвуковых систем позиционирования, к достоинствам которых относятся следующие:

- портативность;
- низкий уровень электропотребления;

- высокая точность измерения углов линии визирования фотокамеры относительно связанной системы координат ПКА;

- простота расчета результатов;
- безопасность для человека.

К недостаткам ультразвуковых систем позиционирования можно отнести необходимость прямой видимости между излучателями и приемниками и снижение точности измерений при резких изменениях температуры и движении воздуха.

Принцип работы такой системы заключается в постоянном излучении ультразвуковых импульсов, получении их приемниками и измерении времени прохода импульсов от передатчиков до приемников. По времени прохода и скорости ультразвука рассчитываются все расстояния между излучателями, расположенными на камере, и приемниками, расположенными вокруг иллюминатора. По полученной совокупности всех расстояний в реальном времени вычисляются положение и ориентация камеры относительно системы координат ПКА, при этом для вычисления ориентации требуется не менее трех передатчиков.

Для синхронизации приемников и передатчиков, а также для передачи на компьютер момента спуска затвора используется радиопередатчик на платформе излучателей и радиоприемник в блоке управления [11, 12]. Внешний вид угломерной системы на Российском сегменте МКС приведен на рис. 1.

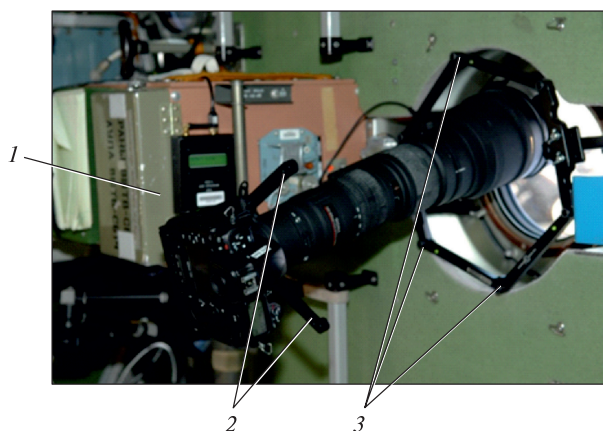


Рис. 1. Угломерная система на базе ультразвуковых датчиков: 1 — фотокамера; 2 — передатчики; 3 — приемники

Fig. 1. Goniometer system based on ultrasonic sensors: 1 — camera; 2 — transmitters; 3 — receivers

Несмотря на сложный алгоритм работы, угломерная система компактна и проста в эксплуатации, ее можно отнести к категории «подключи и работай», у нее нет органов управления и выключателей питания. Для использования аппаратуры необходимо только один раз выполнить монтаж ее модулей и соединить их входящими в комплект кабелями, установить сервисную программу

на компьютер, затем включить фотоаппарат и начать съемку. Работа аппаратуры происходит автоматически и незаметно для оператора, не мешает ему проводить фотографирование. При каждом срабатывании затвора фотоаппарата вычисляются абсолютные значения углов разворота оси объектива относительно системы координат ПКА, затем эти значения углов записываются в файл на бортовом компьютере вместе со временем производства снимка, что позволяет легко привязать снимок к географическим координатам на земной поверхности.

Угломерная система, созданная на базе ультразвуковых датчиков, обладает повышенными эргономическими качествами:

- дополнительные тренировки космонавта сведены к минимуму: требуется только короткое ознакомительное занятие;
- не изменена методика съемки: экипаж работает с камерой, оснащенной угломерной системой, так же как и без нее;
- не требуется технического обслуживания;
- имеются встроенные средства контроля работоспособности.

Погрешность определения направления составляет единицы градусов. Отклонение расчетных координат от истинных при тестировании в большинстве случаев не превышает 10 км.

Анализ экспериментальной отработки различных вариантов угломерных систем показал преимущество варианта 4 (таблица), который был принят для внедрения в эксплуатацию.

Результаты экспериментальной отработки различных вариантов угломерных систем

The results of experimental testing of various options of goniometric systems

Критерии	Варианты			
	1	2	3	4
Возможность автоматического расчета углового положения камеры в связанной системе координат КА	Нет	Есть	Нет	Есть
Соответствие точности определения углового положения камеры в связанной системе координат КА требованиям	Есть	Есть	Нет	Есть
Усложнение процедуры съемки (ограничения на перемещения, необходимость выполнения дополнительных действий)	Есть	Есть	Нет	Нет
Возможность наведения камеры по целеуказаниям	Нет	Есть	Есть	Есть
Необходимость использовать отдельный источник питания	Нет	Есть	Нет	Нет

Технология привязки фотоизображений с использованием разработанной угломерной системы

Новая технология привязки изображений с использованием разработанной угломерной системы приведена на рис. 2.

Новая технология привязки изображений с использованием угломерной системы отличается от технологии привязки изображений при отсутствии угломерной системы тем, что существенно упрощается работа наземного персонала. Отличительной особенностью новой технологии является то, что в момент срабатывания затвора фотокамеры, т. е. в момент формирования изображения, данные о текущем положении камеры и географические координаты центра изображения автоматически формируются и записываются в состав файла изображения. При этом текущее положение камеры получается путем расчета по данным прогноза орбитального движения КС или в готовом виде из бортовой системы навигации ПКА. Впоследствии при проведении привязки изображения на земле нет необходимости наземному персоналу проводить поиск соответствующих данных о движении ПКА, определять на ортофотоплане или на карте возможный район для привязки изображения, т.к. вся необходимая информация включена в файл изображения (фотоснимка). При этом площадь возможного района для привязки изображения уменьшается на два порядка. Это существенно повышает эффективность работы наземного персонала.

Технология поддержки наведения космонавтом фотокамеры на внешний заданный объект

Задача наведения длиннофокусной фотокамеры на заданный объект в большинстве случаев представляет собой непростую задачу. Скорость пролета МКС над земной поверхностью составляет 7 км/с. Время пролета над заданным объектом земной поверхности — 40...60 с. Во многих случаях, кроме съемок больших объектов или объектов, рядом с которыми имеются крупные ориентиры, заданный объект трудно идентифицировать, выделить из окружающего фона. Это может осложняться либо плохой освещенностью, либо наличием облачности.

Для поддержки наведения космонавту необходимо дать указание, куда отклонить линию визирования фотокамеры, чтобы центр поля зрения совместился с заданным внешним объектом.

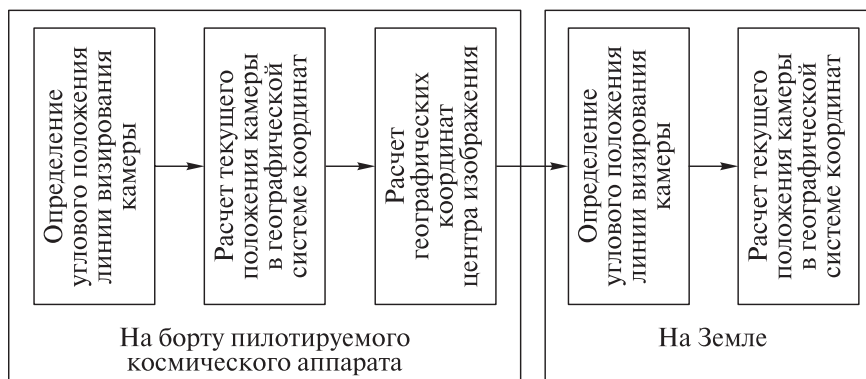


Рис. 2. Технология привязки изображений, полученных экипажем с помощью автономной фотокамеры с угломерной системой

Fig. 2. Linking image technology for received by the crew using a standalone camera with a goniometer system



Рис. 3. Технология поддержки наведения камеры на заданный объект

Fig. 3. Camera pointing support technology at a given object

Разработанная технология поддержки наведения ручной фотокамеры на заданный объект заключается в том, что при приближении к цели угломерная система постоянно вычисляет направление линии визирования фотокамеры. На основании этих данных, а также местоположения станции на орбите и ее ориентации, получаемых от бортовых систем, вычисляются координаты пересечения линии визирования с земной поверхностью и отклонение этой точки от заданного объекта. Экипажу выдаются рекомендации для наведения камеры в голосовом виде и на экране дисплея [13]. Технологии поддержки наведения приведена на рис. 3.

Выводы

Представленные технологии позволяют повысить эффективность съемок заданных объектов. Космонавт может навести камеру и получить изображение если даже не успеет увидеть заданный объект.

Получаемые расчетные координаты снимков значительно облегчают процесс их опознавания, в большинстве случаев делая его тривиальным. Также возможно определение координат объектов, снятых в акватории Мирового океана или астрономических объектов на небесной сфере.

Список литературы

- [1] Васильев В.И., Сохин И.Г., Бронников С.В., Васильева Н.В., Гордиенко О.С. Визуально-инструментальные наблюдения с борта Международной космической станции экипажами российского сегмента и основные принципы подготовки к их выполнению // Пилотируемые полеты в космос, 2013 №2 (7). С. 23–29.
- [2] Давыдов В.Ф., Бронников С.В., Шалаев В.С., Щербakov А.С. Способ оценки состояния лесов. Патент на изобретение RUS2038001, 02.04.1992. URL: <https://findpatent.ru/patent/203/2038001.html> (дата обращения 19.02.2019).
- [3] Давыдов В.Ф., Никитин А.Н., Бронников С.В., Новоселов О.Н., Корольков А.В. Способ прогнозирования землетрясений. Патент на изобретение RUS 2262125, 08.06.2004. URL: <https://findpatent.ru/patent/226/2262125.html> (дата обращения 19.02.2019).
- [4] Давыдов В.Ф., Бронников С.В., Корольков А.В. Способ прогнозирования параметров землетрясения. Патент на изобретение RUS 2254599, 20.06.2005. URL: <https://findpatent.ru/patent/225/2254599.html> (дата обращения 19.02.2019).
- [5] Давыдов В.Ф., Никитин А.Н., Бронников С.В., Давыдова С.В. Способ определения стока поглощаемого из атмосферы углерода древесной растительностью. Патент на изобретение RUS 2342636, 27.12.2008. URL: <https://findpatent.ru/patent/234/2342636.html> (дата обращения 19.02.2019).
- [6] Бронников С.В., Караваев Д.Ю., Рожков А.С. Исследование технологии и средств привязки изображений

- Земли, полученных на пилотируемом космическом аппарате с помощью свободно перемещаемых камер // Космическая техника и технологии, 2016. № 2 (13). С. 105–115.
- [7] Компания Оптилинк. URL: <http://www.optolink.ru/ru/> (дата обращения 05.03.19).
- [8] Бронников С.В., Малименков Е.И., Рожков А.С., Караваев Д.Ю., Калери А.Ю., Крикалев С.К., Виноградов П.В. Способ определения географических координат изображений объектов на поверхности планеты при съемке с пилотируемого космического аппарата. Патент на изобретение RUS 2353902. 11.05.2007. URL: <https://findpatent.ru/patent/235/2353902.html> (дата обращения 19.02.2019).
- [9] Xsens Technologies. URL: <https://www.xsens.com/> (дата обращения 05.03.19).
- [10] Компания РУКЭП. URL: <http://rucap.ru/> (дата обращения 05.03.19).
- [11] Бронников С.В., Рожков А.С., Караваев Д.Ю., Рулев Д.Н., Руин О.С., Калифатиди А.К., Городецкий И.Г. Способ определения географических координат обла- сти наблюдения перемещаемой относительно космического аппарата аппаратуры наблюдения, система для его осуществления и устройство размещения излучателей на аппаратуре наблюдения. Патент на изобретение RUS 2524045. 27.02.2014. URL: <https://findpatent.ru/patent/252/2524045.html> (дата обращения 19.02.2019).
- [12] Бронников С.В., Городецкий И.Г., Калифатиди А.К., Караваев Д.Ю., Рожков А.С., Руин О.С. Привязка изображений земной поверхности, полученных с помощью ручных камер на пилотируемых КА // Тр. XLVII науч. чтений, посвященных разработке и развитию идей К.Э. Циолковского, Калуга, Государственный музей истории космонавтики им. К.Э. Циолковского, 18–20 сентября 2012. Казань: Казанский (Приволжский) федеральный университет, 2012. С. 24–32.
- [13] Бронников С.В., Рожков А.С., Караваев Д.Ю. Способ ориентирования перемещаемого в пилотируемом аппарате прибора и система для его осуществления. Патент на изобретение RUS 2531781. 27.02.2014. URL: <https://findpatent.ru/patent/253/2531781.html> (дата обращения 19.02.2019).

Сведения об авторе

Бронников Сергей Васильевич — канд. техн. наук, начальник отделения ПАО РКК «Энергия» им. С.П. Королева, post@rsce.ru

Поступила в редакцию 19.04.2019.

Принята к публикации 15.07.2019.

NEW TECHNOLOGIES TO SUPPORT SPACE VEHICLE CREW IN PHOTOGRAPHING EARTH SURFACE

S.V. Bronnikov

RSC «Energia» by S.P. Korolev, 4a, Lenina st., 141070, Korolev, Moscow reg., Russia

post@rsce.ru

The technology of photographing the earth surface from the spacecraft and the binding of the obtained images to a specific area are analyzed. The advantage of photographing by astronauts using onboard cameras not mechanically connected to the spacecraft body is shown. The development of a portable goniometer integration system with a camera is proposed. Various options of goniometric systems created on various bases are considered, two rigidly connected synchronized cameras; Optolink Fiber Optic Gyro; Mti angular velocity sensor from Xsens Technologies; ultrasonic sensors. The choice of the best goniometer system is justified. A description is given of new technologies developed using the selected goniometric system, in particular, technologies for identifying and subsequently referencing photographs obtained using autonomous cameras, including determining the angular position of the axis of the camera lens, calculating the current position of the spacecraft, and calculating the coordinates of the intersection of its axis with the earth's surface, converting the image into an orthophotomap and entering it into the database. In addition, support for pointing the camera at an external target object, displaying the current position of the center of the field of view of the camera on the display, and issuing voice guidance on hovering have been characterized. It is concluded that the use of these technologies can improve the efficiency of operation of manned space systems in order to study the earth surface.

Keywords: spacecraft crew, image binding process, photo camera pointing support, goniometer system

Suggested citation: Bronnikov S.V. *Novye tekhnologii podderzhki deyatel'nosti ekipazha kosmicheskogo apparata pri fotos'emke zemnoy poverkhnosti* [New technologies to support space vehicle crew in photographing Earth surface]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2019, vol. 23, no. 4, pp. 32–38. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-4-32-38

References

- [1] Vasil'ev V.I., Sokhin I.G., Bronnikov S.V., Vasil'eva N.V., Gordienko O.S. *Vizual'no-instrumental'nye nablyudeniya s borta mezhdunarodnoy kosmicheskoy stantsii ekipazhami rossiyskogo segmenta i osnovnye printsipy podgotovki k ikh vypolneniyu* [Visual and instrumental observations from the board of the international space station by the crews of the Russian segment and the basic principles of preparation for their implementation]. *Pilotiruemye polety v kosmos [Piloted Space Flight]*, 2013, no. 2 (7), pp. 23–29.

- [2] Davydov V.F., Bronnikov S.V., Shalaev V.S., Shcherbakov A.S. *Sposob otsenki sostoyaniya lesov* [The method of assessing the state of forests]. Patent RUS2038001, 04.02.1992. URL: <https://findpatent.ru/patent/203/2038001.html> (accessed 19.02.2019).
- [3] Davydov V.F., Nikitin A.N., Bronnikov S.V., Novoselov O.N., Korol'kov A.V. *Sposob prognozirovaniya zemletryaseniy* [A method for predicting earthquakes]. Patent RUS 2262125, 08.06.2004. URL: <https://findpatent.ru/patent/226/2262125.html> (accessed 19.02.2019).
- [4] Davydov V.F., Bronnikov S.V., Korol'kov A.V. *Sposob prognozirovaniya parametrov zemletryaseniya* [A method for predicting earthquake parameters]. Patent RUS 2254599, 20.06.2005. URL: <https://findpatent.ru/patent/225/2254599.html> (accessed 19.02.2019).
- [5] Davydov V.F., Nikitin A.N., Bronnikov S.V., Davydova S.V. *Sposob opredeleniya stoka pogloshchaemogo iz atmosfery ugleroda drevesnoy rastitel'nost'yu* [The method for determining the flow of carbon absorbed from the atmosphere by tree vegetation]. Patent RUS 2342636, 12.27.2008. URL: <https://findpatent.ru/patent/234/2342636.html> (accessed 19.02.2019).
- [6] Bronnikov S.V., Karavaev D.Yu., Rozhkov A.S. *Issledovanie tekhnologii i sredstv privyazki izobrazheniy zemli, poluchennykh na pilotiruемом kosmicheskom apparate s pomoshch'yu svobodno peremeshchaemykh kamer* [Study of technology and means of binding images of the earth obtained on a manned spacecraft using freely movable cameras] *Kosmicheskaya tekhnika i tekhnologii* [Space equipment and technology], 2016, no. 2 (13), pp. 105–115.
- [7] *Kompaniya Optolink* [Optolink company]. URL: <http://www.optolink.ru/ru/> (accessed 05.03.19).
- [8] Bronnikov S.V., Malimenkov E.I., Rozhkov A.S., Karavaev D.Yu., Kaleri A.Yu., Krikalev S.K., Vinogradov P.V. *Sposob opredeleniya geograficheskikh koordinat izobrazheniy ob'ektov na poverkhnosti planety pri s'emke s pilotiruемого kosmicheskogo apparata* [The method of determining the geographical coordinates of images of objects on the surface of the planet when shooting from a manned spacecraft]. Patent RUS 2353902, 11.05.2007. URL: <https://findpatent.ru/patent/235/2353902.html> (accessed 19.02.2019).
- [9] Xsens Technologies. URL: <https://www.xsens.com/> (accessed 05.03.19).
- [10] Company RUCAP. URL: <http://rucap.ru/> (accessed 05.03.19).
- [11] Bronnikov S.V., Rozhkov A.S., Karavaev D.Yu., Rulev D.N., Rurin O.S., Kalifatidi A.K., Gorodetskiy I.G. *Sposob opredeleniya geograficheskikh koordinat oblasti nablyudeniya peremeshchaemoy otnositel'no kosmicheskogo apparata apparatury nablyudeniya, sistema dlya ego osushchestvleniya i ustroystvo razmeshcheniya izluchateley na apparature nablyudeniya* [The method of determining the geographic coordinates of the observation area of the surveillance equipment being moved relative to the spacecraft, the system for its implementation and the arrangement of the emitters on the observation equipment]. Patent RUS 2524045, 02.27.2014. URL: <https://findpatent.ru/patent/252/2524045.html> (accessed 19.02.2019).
- [12] Bronnikov S.V., Gorodetskiy I.G., Kalifatidi A.K., Karavaev D.Yu., Rozhkov A.S., Rurin O.S. *Privyazka izobrazheniy zemnoy poverkhnosti, poluchennykh s pomoshch'yu ruchnykh kamer na pilotiruemykh K* [Binding of images of the earth's surface, obtained using hand-held cameras on manned spacecraft] *Trudy XLVII nauchnykh chteniy, posvyashchennykh razrabotke i razvitiyu idey K.E. Tsiolkovskogo* [Proceedings XLVII scientific readings on the development and development of the ideas of K.E. Tsiolkovsky], Kaluga, State Museum of the History of Cosmonautics. K.E. Tsiolkovsky, September 18–20, 2012. Kazan: Kazan (Volga Region) Federal University, 2012. p. 24–32.
- [13] Bronnikov S.V., Rozhkov A.S., Karavaev D.Yu. *Sposob orientirovaniya peremeshchaemogo v pilotiruемом apparate pribora i sistema dlya ego osushchestvleniya* [The method of orientation of the device being moved in a manned device and the system for its implementation] Patent RUS 2531781, 02.27.2014. URL: <https://findpatent.ru/patent/253/2531781.html> (accessed 19.02.2019).

Author's information

Bronnikov Sergey Vasil'evich — Cand. Sci. (Tech.), Head of department, of Rocket and Space Corporation «Energia» by S.P.Korolev, post@rsce.ru

Received 19.04.2019.

Accepted for publication 15.07.2019.