

ЭЛЕКТРОННЫЙ ЭКРАН КАК СРЕДСТВО АВТОМАТИЗАЦИИ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ОТНОСИТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ПРИ СБЛИЖЕНИИ ТРАНСПОРТНОГО ПИЛОТИРУЕМОГО КОРАБЛЯ «СОЮЗ МС» С МКС

Д.А. Темарцев

Канд. техн. наук Д.А. Темарцев (ФГБУ «ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

В статье рассматривается возможность автоматизации измерений параметров относительного движения с помощью визира специального комплекса ВСК4. Для автоматизации измерений предлагается использовать электронный экран, который устанавливается на место матового экрана¹.

Ключевые слова: блок, визир специального комплекса, изображение, космонавт, параметры относительного движения, расчет, система управления движением, экран.

Electronic Display as a Means of Automatic Measurements of Relative Motion Parameters During Rendezvous of the “Soyuz MS” and the ISS. D.A. Temartsev

The article discusses the possibility of automating measurements of relative motion parameters using VSK4 optical sight. In order to automate measurements, it is proposed to use an electronic display installed in place of the matte screen.

Keywords: unit, optical sight, display image, cosmonaut, relative motion parameters, calculation, motion control system, screen.

С 1967 года в качестве транспортного пилотируемого космического корабля в нашей стране используется космический корабль «Союз». При проведении его модернизации некоторые устройства не претерпели значительных изменений. К их числу относится визир специального комплекса ВСК4. Он зарекомендовал себя как надежное устройство.

Структурно ВСК4 входит в систему управления движением, которая представляет собой весьма сложный комплекс взаимодействующих между собой устройств, принципы действия и конструкции которых очень разнообразны. Одним из активных участков полета космического аппарата является этап сближения и причаливания, на котором с помощью ВСК4 контролируется его выполнение в автоматическом режиме, а при переходе в ручной режим осуществляется управление движением транспортного пилотируемого корабля.

¹ Электронный экран представляет собой светочувствительную матрицу для оцифровки изображения с ВСК4, электронный блок для обработки оцифрованного изображения, сенсорный экран для управления и отображения информации, специализированное программное обеспечение для обработки оцифрованного изображения.

Стоит несколько остановиться на принципе работы автоматического контура управления при выполнении этапа сближения и причаливания (рис. 1).

Основу автоматического контура управления составляет цифровая вычислительная машина (ЦВМ), которая рассчитывает прогноз траектории сближения, время и величину выдачи корректирующих импульсов и т.п. Исходными данными для расчета прогноза траектории сближения являются векторы состояния транспортного корабля и орбитальной станции, которые закладываются в ЦВМ на момент начала сближения. На основании заложенных векторов состояния и показаний датчиковой аппаратуры идет процесс интегрирования уравнений движения и расчет прогноза траектории сближения. По прогнозным данным происходит расчет момента и величины выдачи корректирующих импульсов исполнительных органов для коррекции траектории движения. Недостатком такого подхода является возрастание ошибок с течением времени и необходимость коррекции вычислений. Для коррекции прогноза используется аппаратура «Курс», которая производит измерения параметров относительного движения. В блоке коррекции прогноза вычисляется разница (ошибка) между рассчитанными и измеренными параметрами. На основании этой разницы происходит корректирование прогноза траектории сближения.

Одним из источников информации для космонавта во время выполнения сближения и причаливания является ВСК4 (рис. 2), с помощью которого оценка параметров относительного движения происходит визуально – «на глаз». И если угловые параметры оцениваются относительно сетки и шкалы экрана ВСК4, то для оценки дальности космонавту необходимо знать и помнить соответствие размеров элементов конструкции станции сетке экрана (рис. 3) [1, 2], а радиальная скорость сближения оценивается по наплыву элементов конструкции орбитальной станции.



Рис. 1. Упрощенная схема автоматического контура управления в режиме сближения

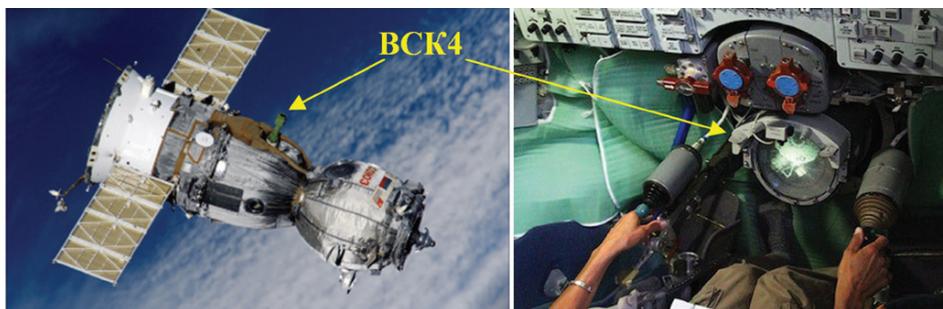


Рис. 2. Вид ВСК4 снаружи и внутри транспортного пилотируемого корабля

Угловой размер клеток	Дальность, м				
	Диаметр СМ (4,2 м)	Диаметр СУ (1,3 м)	Мишень СМ 0,4 м	Мишень МИМ1 0,4 м	Мишень СО1, МИМ2, УМ 0,4 м
0,5	476,9	144,6	41,2	41,0	40,7
1	236,3	70,1	18,3	18,0	17,8
1,5	156,0	45,3	10,6	10,4	10,1
2	115,9	32,9	6,8	6,6	6,3
2,5	91,9	25,4	4,5	4,3	4,0
3	75,8	20,4	3,0	2,8	2,5
3,5	64,4	16,9	1,9	1,7	1,4
4	55,8	14,2	1,1	0,9	0,6
4,5	49,1	12,2	0,5	0,2	
5	43,7	10,5			

Рис. 3. Фрагмент бортовой документации, используемый для оценки дальности с помощью ВСК4

ВСК4 представляет собой устройство, состоящее из двух частей, монтируемых на иллюминатор ТПК с внешней и внутренней стороны [3, 4]. В комплектацию прибора входят два экрана: линзовый экран и рассеивающий (матовый) (рис. 4). При плохой освещенности орбитальной станции используется несъемный линзовый экран, а матовый устанавливается поверх линзового в условиях хорошего освещения. Также необходимо отметить, что ранее в состав входил голографический экран, который позволял наблюдать изображение в ВСК4 не только командиру корабля, но и бортинженеру.

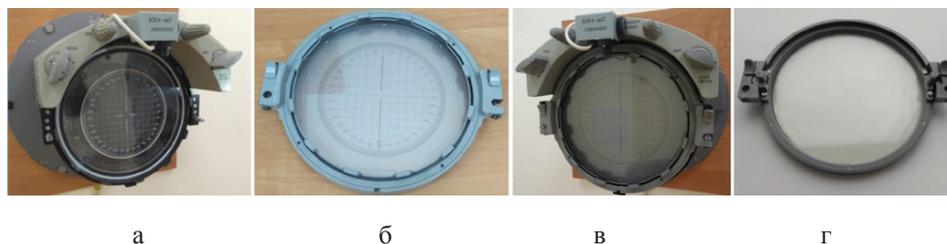


Рис. 4. Экраны ВСК4: а – линзовый, б – рассеивающий, в – установленный рассеивающий экран, г – голографический экран

Предпосылками для возникновения предложения по автоматизации измерений на основе ВСК4 стали:

– разработанный метод измерений параметров относительного движения по изображению в ВСК4, который позволяет с помощью видеокамеры, персонального компьютера и разработанного программного обеспечения определять параметры относительного движения в динамике [1–4]. Однако основная трудность для реализации метода заключалась в съеме изображения с ВСК4: при использовании линзового экрана расположить видеокамеру, не закрывая поля зрения ВСК4 космонавту, не представлялось возможным, а при использовании матового экрана необходимо разрабатывать дополнительное крепление видеокамеры, не мешающее операторской деятельности космонавта;

– бурное развитие компьютерной техники, заключающееся в уменьшении массово-габаритных характеристик, снижении энергопотребления, увеличении производительности, наращивания как оперативной, так и долговременной памяти, развитие сенсорного и голосового управления, совершенствования программного обеспечения, расширение областей применения [5–7]. Например, возможности современного смартфона сейчас намного превосходят возможности персональных компьютеров 2000–2005 годов как по характеристикам, так и по производительности. В настоящее время смартфон сочетает в себе и микрофон, и видеокамеру, и устройство отображения и обработки информации, и различного рода датчики, – практически заменяет собой персональный компьютер;

– достижения в области распознавания изображения, позволяющие в реальном масштабе времени находить на изображении требуемые области. Например, видеокамеры контроля скоростного режима на автострадах позволяют кроме определения нарушителя определять номерной знак автомобиля и автоматически отправлять фото нарушения с необходимыми данными в ситуационный центр [8], или видеокамеры смартфонов и фотоаппараты, позволяющие автоматически на изображении распознавать лицо (лица) и выполнять фиксацию изображения по улыбке или жесту;

– модернизация транспортного пилотируемого корабля, использование в полете планшетных компьютеров, планируемая организация беспроводной сети внутри транспортного пилотируемого корабля [9, 10].

Для улучшения условий контроля автоматического и выполнения ручного сближения и причаливания, т.е. условий работы космонавтов, предлагается автоматизировать измерения параметров относительного движения с помощью ВСК4. Для этого необходимо обеспечить оцифровку изображения, формируемого в ВСК4, его обработку и определение параметров относительного движения, отображение космонавту и оцифрованного изображения и полученных параметров относительного движения, взаимодействие с ЦВМ, запись отображаемой информации, управление устройством. Это позволит космонавту наблюдать и контролировать процесс сближения по оцифрованному изображению, а также вести его запись, получать цифровые значения параметров относительного движения. Кроме этого появляется возможность передачи параметров относительного движения в ЦВМ.

При автоматизации измерений параметров относительного движения выполняется требование – неизменность конструкции ВСК4 и сохранение его существующего функционала.

Поскольку матовый экран – это отдельный элемент ВСК4, который при необходимости устанавливается поверх линзового экрана кабинной части, то в процессе космического полета его можно заменить другим экраном, например, электронным.

В качестве аналога данного устройства можно рассмотреть систему контроля скорости космических аппаратов при сближении [11], использование которой требует внесение конструктивных изменений в телевизионную систему активного космического аппарата и размещение на стыковочном узле пассивного космического аппарата оптических маяков. В отличие от нее электронный экран располагается только на активном космическом аппарате и вычисляет все параметры относительного движения, а не только радиальную скорость сближения.

Прототипами электронного экрана можно считать планшетный компьютер или смартфон. Данные устройства позволяют решить все поставленные задачи. Однако серийные образцы данных устройств по своим габаритным характеристикам и компоновке входящих в состав устройств (расположение видеокамеры) использовать не представляется возможным.

Учитывая предъявленное требование, электронный экран устанавливается на штатные места крепления матового экрана. Его габаритные размеры соответствуют габаритным размерам ВСК4. Он может работать как автономно, так и от бортовой электросети.

Электронный экран решает следующие задачи:

- оцифровка изображения, формируемого в ВСК4;
- запись (для хранения и слепополетного анализа) и обработка оцифрованного изображения;

- первичная верификация достоверности вычисленных параметров относительного движения;
- отображение космонавту оцифрованного изображения и вычисленных параметров относительного движения;
- передача вычисленных параметров относительного движения в ЦВМ.

При использовании электронного экрана в структурную схему системы управления движением добавляется взаимодействие ЦВМ с электронным экраном для получения рассчитанных параметров относительного движения и, при необходимости, передачи исходных данных для расчета местоположения на изображении информативной области (рис. 5). Таким образом, создается дополнительный канал измерения параметров относительного движения, который в автоматическом контуре, после соответствующей верификации на достоверность, может использоваться при выходе из строя аппаратуры «Курс», а при ручном управлении обеспечит космонавта более качественной информационной поддержкой.

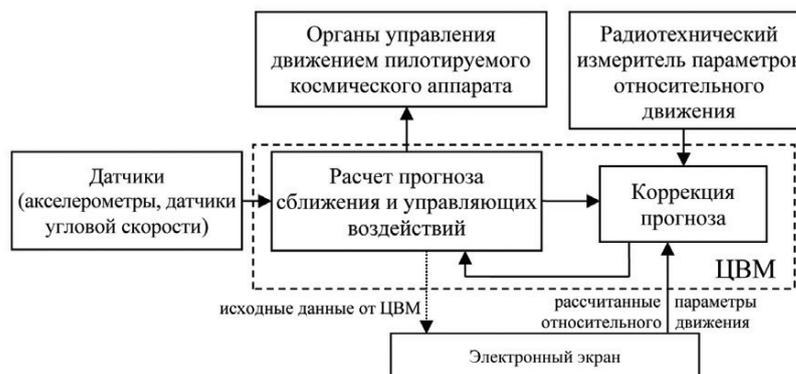


Рис. 5. Упрощенная схема автоматического контура управления в режиме сближения с электронным экраном

Работа электронного экрана (рис. 6) происходит следующим образом: изображение, формируемое в ВСК4, оцифровывается в блоке оцифровки изображения и поступает в блоки отображения информации (для контроля космонавту), обработки изображения и записи информации. В блоке обработки изображения происходит анализ оцифрованного изображения, определение на нем информационной области (например, мишени орбитальной станции), уточнение местоположения информативных признаков (опорных точек) на изображении и определение параметров относительного движения по изображению с ВСК4, которые передаются в ЦВМ и отображаются космонавту блоком отображения информации. В случае, если произошло неверное определение информационных признаков на изображении, выявленное в результате первичной верификации в электронном экране или вторичной в ЦВМ, то начальные условия (текущие параметры относительного

движения) для определения информативных признаков изображения могут быть получены из ЦВМ или введены космонавтом с помощью блока управления, в состав которого входит сенсорный экран, путем непосредственного указания на изображении их местоположения. Вся информация с блоков отображения информации и обработки изображения поступает в блок записи для регистрации. Управление электронным экраном происходит с блока управления, который, кроме возможности ввода информативных признаков изображения, позволяет производить настройки электронного экрана, управлять оцифровкой, отображением и записью информации.

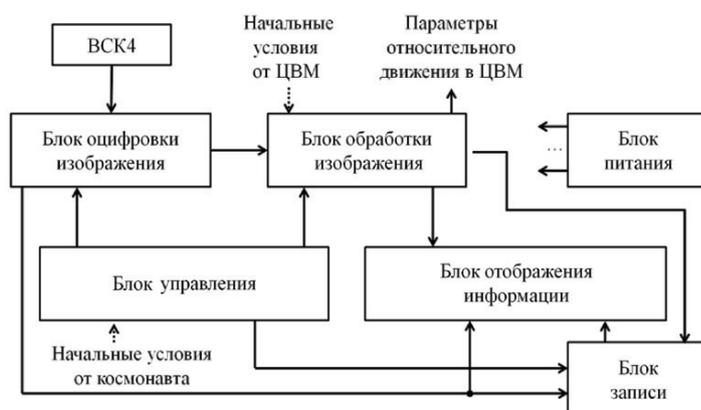


Рис. 6. Структурная схема электронного экрана

Неотъемлемой и важной частью электронного экрана является программное обеспечение, позволяющее осуществить обработку изображения и получить параметры относительного движения и их первично верифицировать. Для определения параметров относительного движения на оцифрованном изображении необходимо определить соответствующие расстояния (рис. 7). По расположению мишени в поле зрения ВСК4 определяются следующие параметры относительного движения:

- угловое положение орбитальной станции в системе координат транспортного корабля (углы ориентации) по курсу и тангажу;
- угловое положение транспортного корабля в системе координат стыковочного узла орбитальной станции (углы пеленга) по курсу и тангажу;
- угол взаимного крена;
- дальность между космическими аппаратами;
- радиальная скорость сближения.

Обработка изображения сводится к определению информационных элементов – опорных точек (ОТ) и расчету их взаимного местоположения (рис. 8). Программное обеспечение в процессе работы определяет и отслеживает на изображении местоположение опорных точек и после анализа их местоположения выдает параметры относительного движения. На кадре

изображения необходимо распознать сетку ВСК4 (для повышения точности измерений) и элементы мишени орбитальной станции. Для распознавания и определения местоположения информационных элементов считаются яркости пикселей анализируемой области изображения, выполняется сопоставление полученных яркостей с шаблонами возможных изображений и определяется позиция на изображении.

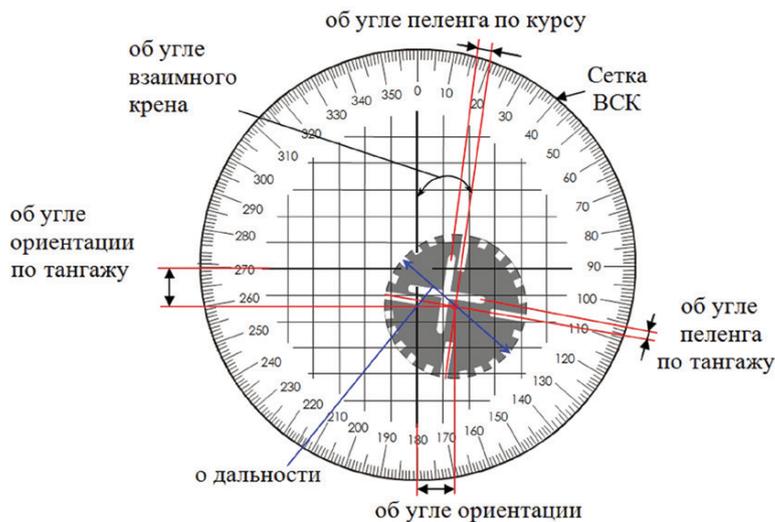


Рис. 7. Поле зрения ВСК4 с наблюдаемой в нем мишенью орбитальной станции и расстояния на изображении, характеризующие параметры относительного движения

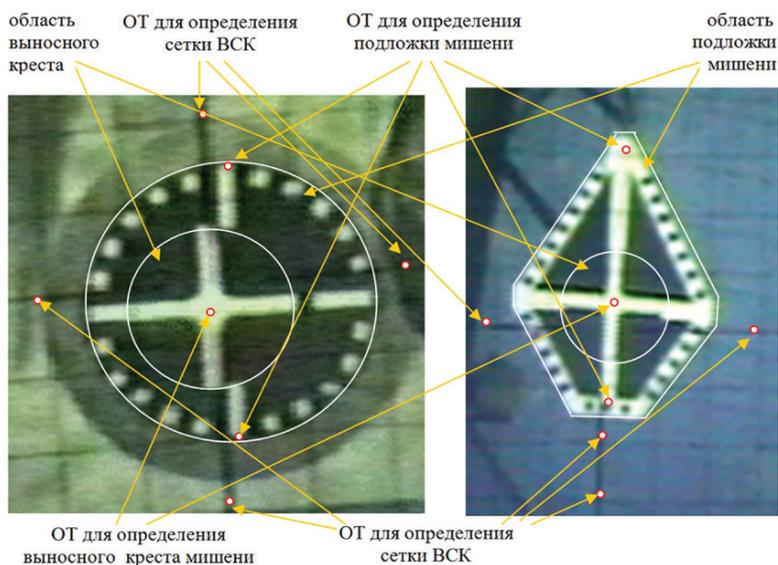


Рис. 8. Фрагмент изображения в ВСК4 и опорные точки на нем

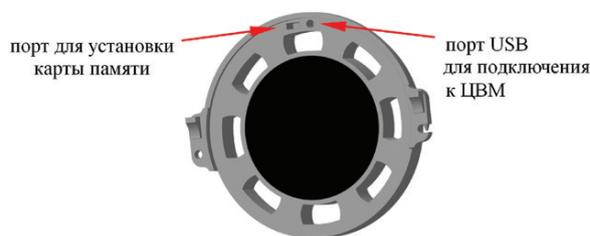


Рис. 9. Предлагаемый внешний вид электронного экрана

Проект внешнего вида электронного экрана представлен на рисунке 9. Его основу составляет металлический каркас, на котором размещаются составные части устройства. Для работы с центральной оптической системой ВСК4 и в соответствии с ее габаритами расположены электронные компоненты экрана. Для работы с периферийной оптической системой ВСК4 в электронном экране предусмотрены соответствующие окна. Для подключения периферийных устройств по краям экрана расположены соответствующие интерфейсы: порт USB для сопряжения с ЦВМ и разъем для подключения карт памяти для записи и хранения оцифрованного изображения. В перспективе электронный экран можно дополнить Wi-Fi-модулем и организовать беспроводную связь с ЦВМ.

Выводы

Использование электронного экрана позволит:

1. Получить дополнительный автономный канал измерения параметров относительного движения при выполнении сближения и причаливания, который можно использовать не только космонавтом, но и системой управления движением.
2. Улучшить космонавту условия контроля автоматического режима и обеспечить его поддержку при выполнении ручного режима сближения и причаливания.
3. Вести запись изображения с ВСК4 для последующего анализа.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Повышение эффективности пилотирования космического аппарата вблизи орбитальной станции / Бурдаев М.Н., Воронец И.В., Темарцев Д.А. // *Авиакосмическая техника и технология*. – № 4. – 2000. – С. 53.
- [2] Темарцев Д.А. Совершенствование информационного обеспечения режима причаливания к МКС // XXVIII научные чтения, посвященные памяти Ю.А. Гагарина. Материалы докладов. – г. Гагарин, 2002. – С. 187.
- [3] Метод и демонстрация работы системы автоматического измерения параметров относительного движения по изображению мишени в ВСК для причаливания к МКС / Воронец И.В., Забавников Д.А., Маликов А.Е., Темарцев Д.А. // XXVII академические чтения по космонавтике. Материалы докладов. – М., 2003. – С. 292.

- [4] Воронец И.В., Темарцев Д.А. Демонстрация работы опытного образца ОТС, разработанной для обеспечения причаливания к МКС // V Международная научно-практическая конференция «Пилотируемые полеты в космос». Материалы докладов. – Звездный городок, 2003 – С. 154.
- [5] История отечественной электронной вычислительной техники. Изд. 2-е, испр., доп. / Под редакцией С.В. Хохлова. – М.: Издательский дом «Столичная энциклопедия», 2017. – С. 680.
- [6] 3DNews: <https://3dnews.ru/963510/> Ты помнишь, как все начиналось?
- [7] 3DNews: <https://3dnews.ru/963337/> Бабулин А. Итоги 2017 года: смартфоны.
- [8] Cartechnic.ru: http://cartechnic.ru/articles/top-10_samyh_opasnyh_kamer_i_radarov_gibdd_dlja_voditelej/ ТОП-10 самых «опасных» камер и радаров ГИБДД для водителей.
- [9] 3DNews: <https://3dnews.ru/935609/> Афанасьев И., Воронцов Д. Первый полет «Союз МС»: полвека эволюции.
- [10] РИА НОВОСТИ: <https://ria.ru/space/20150330/1055389335.html/> Космонавты впервые использовали планшет в ходе полета «Союза ТМА-16М».
- [11] Патентный поиск: <http://www.findpatent.ru/patent/254/2547286.html/> Старовойтов Е.И., Савчук Д.В., Старовойтов И.В. Система контроля скорости космических аппаратов при сближении.

REFERENCES

- [1] Improving the efficiency of piloting a spacecraft nearby an orbital station / Burdaev M.V., Voronets I.V., Temartsev D.A. // *Aerospace Engineering and Technology*. – No 4. – 2000. – p. 53.
- [2] Temartsev D.A. Improving the information support of the approach to the ISS // *Proceedings of the XXVIII Scientific Conference dedicated to the memory of Yu.A. Gagarin*. – Gagarin city, 2002. – p. 187.
- [3] Method of operation and demonstration of a system for automatic measuring the relative motion parameters and displaying the docking target in the VSK / Voronets I.V., Zabavnikov D.A., Malikov A.E., Temartsev D.A. // *Proceedings of the XXVII Academic Conference on Space Exploration*. – Moscow, 2003. – p. 292.
- [4] Voronets I.V., Temartsev D.A. OTS demonstration model designed to provide the approach to the ISS // *Proceedings of the V International Scientific and Practical Conference “Manned Space Missions”*. – Star City, 2003. – p. 154.
- [5] *History of domestic electronic computing*. Issue 2, revised. Edited by Khokhlova S.V. – Moscow: “Stolichnaya Enciclopedia” Publishing House, 2017. – p. 680.
- [6] 3DNews: <https://3dnews.ru/963510/> Do you remember how it all started?
- [7] 3DNews: <https://3dnews.ru/963337/> Babulin A. Results of 2017: smart phones.
- [8] Cartechnic.ru: http://cartechnic.ru/articles/top-10_samyh_opasnyh_kamer_i_radarov_gibdd_dlja_voditelej/ TOP-10 of the most “dangerous” traffic police cameras and radars for drivers.
- [9] 3DNews: <https://3dnews.ru/935609/> Afanasiev I., Vorontsov D. The first flight of the “Soyuz MS”: half a century of evolution.
- [10] RIA NEWS: <https://ria.ru/space/20150330/1055389335.html/> Cosmonauts used an i-pad for the first time during the flight of the “Soyuz TMA-16M”
- [11] Patent search: <http://www.findpatent.ru/patent/254/2547286.html/> Starovoitov E.I., Savchuk D.V., Starovoitov I.V. Spacecraft approach speed control system.