

## Проблемы создания и интеграции на борту РС МКС научной аппаратуры для проведения астрофизических экспериментов

О.Ю. Криволапова,  
нач. лаб., к.т.н., [olga.krivolapova@mail.ru](mailto:olga.krivolapova@mail.ru),  
Е.А. Лалетина,  
вед. инж, соиск., [ealaletina@yandex.ru](mailto:ealaletina@yandex.ru),  
ОАО РКК «Энергия», г. Королев

В докладе представлены проблемы, возникающие при подготовке космических экспериментов по мониторингу состояния солнечной короны на борту РС МКС такие, как:

- дефицит рабочих мест на внешней поверхности РС МКС;
- сложность компоновки внешних блоков научной аппаратуры из-за ограничений габаритов при доставке ТК «Прогресс»;
- точность получения баллистической информации;
- точность метки времени;
- точность наведения поворотной платформы.

This presentation covers issues arising during preparations of the Sun's corona's condition monitoring space experiments aboard RS ISS such as:

- shortage of work places on RS ISS's outer surface suitable for the Sun's observations;
- accuracy of the ballistic information acquiring;
- precision of the time stamp;
- precision of the rotary platform homing.

Проведение на борту РС МКС космических экспериментов по мониторингу состояния солнечной короны является актуальным, из-за невозможности проведения подобных экспериментов в наземных условиях и необходимости отработки всех режимов работы научной аппаратуры, применяемой в условиях дальнего космоса. [1]

В 2016-2020 г.г. на Российском сегменте (РС) Международной космической станции (МКС) планируется проведение космического эксперимента (КЭ) «Кортес» задачами которого является мониторинг солнечной активности с высоким временным и пространственным разрешением и исследования механизмов предвспышечного и вспышечного нагрева плазмы в верхней атмосфере Солнца для которого в настоящее время разрабатывается научная аппаратура (НА) «Кортес» для телескопических и спектроскопических наблюдений Солнца в мягком рентгене (МР) и вакуумный ультрафиолет областях спектра, включающая в себя: блоки телескопов, спектрогелиографов, рентгеновского спектрометра-фотометра размещенные на одной несущей конструкции и образующие общий блок датчиков – Кортес-БД, размещаемый на внешней поверхности РС МКС и блок электроники, размещаемый внутри гермоотсека РС МКС.

В таблицах 1-2 представлены некоторые технические характеристики НА «Кортес».

Таблица 1

Поля зрения НА «Кортес»

Прибор	Полное поле зрения
Телескопы Т1, Т2, Т3	1°
Спектрогелиографы С1, С2, С3	2°
Рентгеновский спектрометр	2°

Таблица 2

Угловое и пространственное разрешение НА «Кортес»

Прибор	Угловое разрешение, [угл. сек/пиксель]	Пространственное разрешение [км/пиксель]
Телескопы Т1, Т2, Т3	1.7	1120
Спектрогелиографы С1, С2, С3	3.9/58.5	2740/41100
Рентгеновский спектрометр	20	14000

В результате проектной проработки вопросов интеграции научной аппаратуры «Кортес» в состав комплекса целевых нагрузок РС МКС возникли проблемы, которые требуют решения при интеграции всей научной аппаратуры по изучению Солнца.

Существенной проблемой является дефицит рабочих мест, пригодных для наблюдения Солнца, исходя из требований обеспечения максимально возможного времени нахождения Солнца в поле зрения блока датчиков, и при условии, что в поле зрения блока не должны попадать массивные элементы конструкции. Несмотря на то, что МКС имеет сложную конфигурацию, рабочих мест на поверхности РС МКС, пригодных для проведения космических экспериментов по наблюдению за Солнцем, совсем немного – это рабочие места на поверхности служебного модуля по плоскостям 2, 4 или на научном экспериментальном модуле (НЭМ). Но по возможностям рабочих мест на модуле НЭМ в настоящее время нет полной ясности, в связи с тем, что НЭМ находится на стадии эскизного проектирования. В результате проектной проработки было принято решение разместить блок датчиков Кортес-БД на одном из двух универсальных рабочих мест наружных (УРМ-Н3 или УРМ-Н4), расположенных по II и IV плоскостям служебного

модуля (СМ), оснащенных универсальным рабочим местом доставляемым (УРМ-Д) и дооснащенных выносным рабочим местом (ВРМ) и двухосной платформой наведения (ДПН) (рисунок 1).

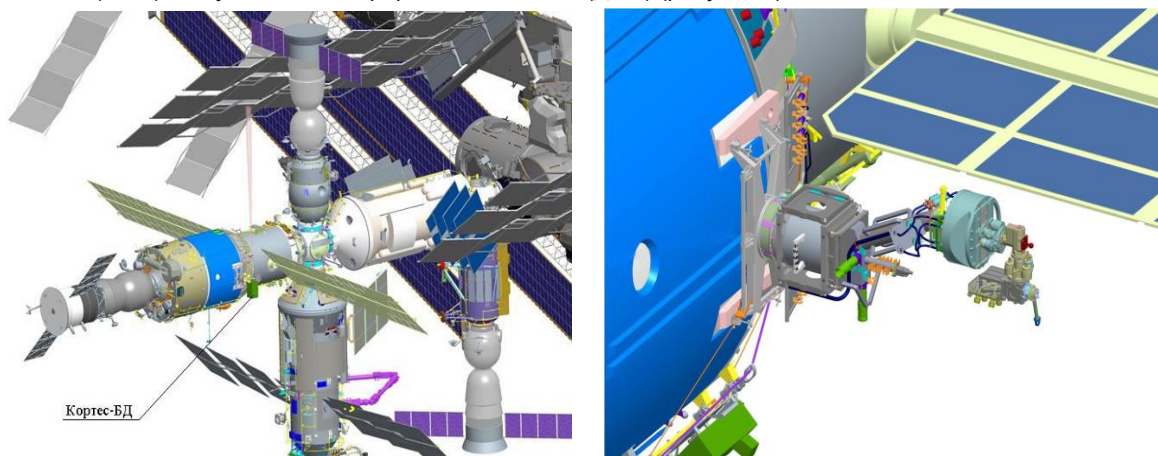


рис. 1 Расположение сборки ВРМ, ДПН и блока датчиков Кортес-БД на РС МКС

Технические характеристики ДПН представлены в таблице 4, а в таблице 5 приведено сравнение требуемых для проведения КЭ «Кортес» параметров наведения и ориентации НА с обеспечиваемыми ДПН. Из сравнения параметров видно, что ДПН не обеспечивает заданные постановщиком КЭ точности наведения и стабилизации (порядка нескольких угловых секунд.), что вынуждает разработчиков НА вводить в ее состав собственные средства наведения и стабилизации.

Таблица 4

#### Технические характеристики ДПН

Наименование	Значение
Диапазон угловых скоростей поворота по осям $\alpha$ и $\beta$ , °/с	от 1,0 до 3,0
Максимальные углы поворота ДПН по каждой из осей $\alpha$ и $\beta$ , не менее	$\pm 175^\circ$
Значение погрешности позиционирования по осям $\alpha$ и $\beta$ , не более	10'
Примечания	
1 Угол $\alpha$ – ось вращения, нормальная к площадке рабочего места для 2 Угол $\beta$ – ось, перпендикулярная оси $\alpha$	

Таблица 5

#### Исходные параметры наведения и ориентации

Наименование	Желаемое	Обеспечиваемое ДПН
Точность наведения	1 угл. мин.	не хуже 7 угл. мин.
Стабилизационные отклонения	не хуже 0,5 угл. сек. в течение 10 минут	не более 10 угл. сек. в течение 10 минут
Нестабильность ориентации за время экспозиции (10сек.) фотоприёмных устройств (CCD-камер)	не выше 0,2 угл. сек. за время экспозиции	не выше 0,2 угл. сек.
Угловая скорость стабилизации		не более 1 угл. сек/с.

Единственная из имеющихся на сегодняшний день на борту РС МКС поворотных платформ занята научной аппаратурой для проведения КЭ "Напор-миниРСА", кроме того, в ходе КЭ "Напор-миниРСА", который использует телескоп HRC (Канада) (рисунок 2) установленный на сборку ДПН-ВРМ, возникли проблемы со стабилизацией: были зарегистрированы низкочастотные колебания на конструкции телескопа в диапазоне от 5 до 20 Гц. Вероятными причинами возникновения колебаний являются фоновые вибрации, возникающие на конструкции корпуса СМ в результате работы аппаратуры и агрегатов системы обеспечения температурного режима (СОТР) и системы обеспечения газового состава (СОГС) и вибрации, возникающие вследствие работы приводов ДПН. К тому же на станции периодически включаются двигатели причаливания и ориентации (ДПО) и сближающие коррекционные двигатели (СКД), происходят сбросы воды и газа, работают и занимаются физкультурой космонавты, что также усугубляет проблему стабилизации и наведения НА.



рис. 2 Расположение блока Канадских телескопов на ДПН РС МКС

Для решения проблемы, связанной с колебаниями научной аппаратуры необходимо проведение динамических расчетов всей связки НА-ВРМ-ДПН-РС МКС. Очевидно, улучшит ситуацию отказ от ВРМ с применением адаптера крепления (рисунок 7), как это было предложено при интеграции НА «Тахомаг».

Значительной проблемой при проведении КЭ по мониторингу состояния солнечной короны на борту РС МКС является затенение поля зрения прибора элементами конструкции станции, солнечными батареями американского сегмента (АС) МКС и пристыкованным транспортным грузовым кораблем (ТГК) «Прогресс». На рисунках 3-4 представлены поля зрения блока датчиков «Кортес» по осям СМ РС МКС X, – X, Z.

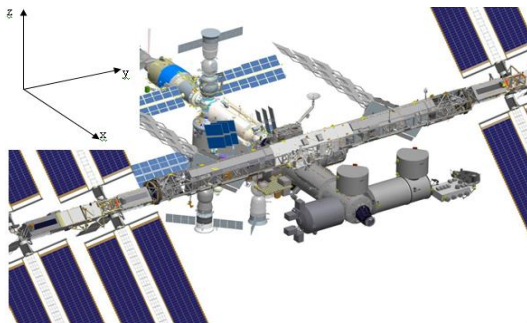


рис. 3 Оси РС МКС

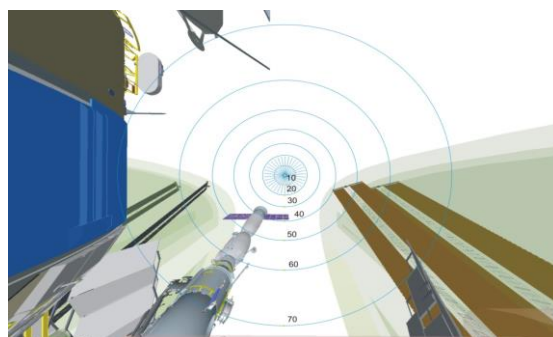
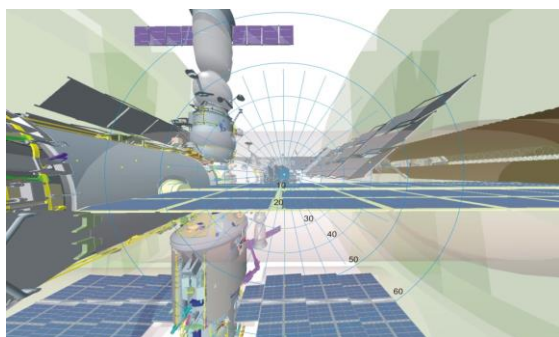


рис. 4 Поля зрения прибора по оси X и Z (рассчитаны по введенным выше осям)

В каждом представленном случае имеется значительное затенение, что ухудшает условия наблюдения и требует увеличения длительности сеансов наблюдения с целью получения необходимого количества статистических данных для обработки результатов КЭ. На рисунке 5 представлено время возможного наблюдения Солнца в ходе КЭ «Кортес» в течение года.

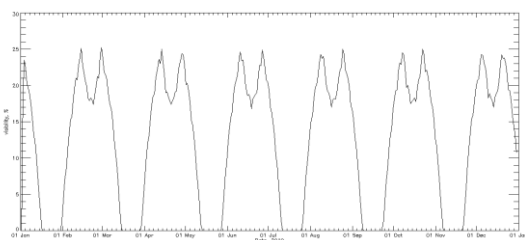


рис. 5 Полное время возможного наблюдения

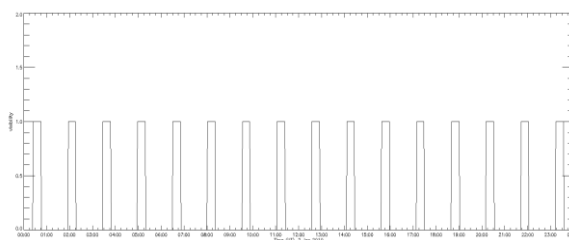


рис. 6 Возможность наблюдения в течение суток

В периоды, когда полное время наблюдений достигает 25%, реализуется возможность наблюдения Солнца на каждом витке. На рисунке 6 представлено время возможного наблюдения Солнца в течение суток.

Схожие проблемы возникают и при разработке научной аппаратуры «Тахомаг» для проведения КЭ «Тахомаг», задачами которого являются детальные и точные исследования динамики магнитных полей в солнечной фотосфере и хромосфере с разрешением недоступным для наземных наблюдений. Для проведения КЭ «Тахомаг» разрабатывается научная аппаратура, которая включает в свой состав: солнечный спектромагнитограф, состоящий из оптического телескопа и спектрополяриметра, размещенных в оптико-механическом блоке (ОМБ), устанавливаемом на внешней поверхности РС МКС на двуслойной поворотной платформе и электронный блок в ГО СМ МКС, обеспечивающий связь с информационно-управляющей системы (ИУС) МКС и хранение служебной и научной информации..

Некоторые технические характеристики НА «Тахомаг» представлены в таблице 6.

Таблица 6

**Технические характеристики НА «Тахомаг»**

Наименование	Значение
Угловое разрешение	0,25"
Угловое поле	5'
Поле обзора	± 1,5°

Точность наведения (осуществляется двигателями НА)	$\pm 1''$
Диапазон наведения (осуществляется шаговыми двигателями НА)	$\pm 5'$
Точность сканирования (осуществляется пьезодвигателями НА)	$\pm 0,1''$
Диапазон сканирования (осуществляется пьезодвигателями НА)	$\pm 5'$
Спектральное разрешение	не хуже 25 мÅ
Измеряемый диапазон магнитного поля	10000 Гс
Чувствительность	2 ÷ 3 Гс
Рабочая длина волны	630 нм

На рисунке 7 представлена схема размещения НА «Тахомаг» на ДПН на СМ РС МКС. Внешний моноблок, имеющий габариты 1200x780x580 мм, имеет дополнительные проблемы со стабилизацией из-за своей значительной длины, в рамках разрешения которых разработчик НА предлагает использовать адаптер крепления, разработанный специально для размещения НА «Тахомаг» на двухосной платформе наведения.

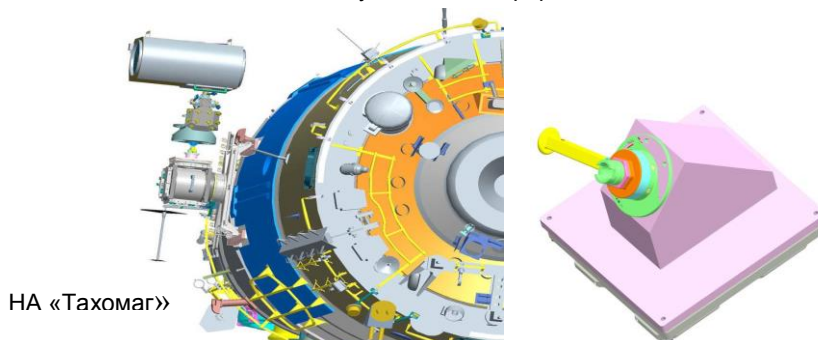


рис.7 Схема размещения НА «Тахомаг» на ДПНна СМ РС МКС и адаптер крепления

Задачи КЭ «Тахомаг», перечисленные выше, требуют наведения научной аппаратуры на Солнце с высокой точностью, которое во время сеансов наблюдений должно обеспечиваться размещением ОМБ НА «Тахомаг» на двухосной платформе наведения (ДПН), собственной системой гидирования НА «Тахомаг» и системой оптической стабилизации с обратной связью.

Также при разработке аппаратуры, работающей по Солнцу значимой является проблема термостабилизации. Одним из основных элементов стратегии тепловой защиты НА от потока падающей от Солнца лучевой энергии является отражение балластной части излучения еще до того, как она будет поглощена и превратится в тепловую энергию. При оценке возможности использования этого элемента стратегии следует иметь в виду, что в конечном итоге получаемая информация содержится в  $1/10^6$  части падающего первичного потока Солнечного излучения. В соответствии с этим крайне важным является выбор прозрачных материалов для изготовления оптики и отражающих покрытий с минимальными коэффициентами поглощения в области спектра солнечного излучения, где сосредоточена основная доля энергии [3].

Еще одним элементом стратегии тепловой защиты является создание такой конфигурации оптической схемы, при которой элементы, выделяющие значительный поток тепловой энергии, максимально открыты для непосредственного охлаждения ИК-излучением в космос.

Для сброса тепловой энергии в оптической схеме НА «Тахомаг» в фокусе первичного зеркала устанавливается диафрагма FS выполненная в виде зеркала эллиптической формы, нормаль которого будет повернута относительно оптической оси телескопа на  $45^\circ$  с овальным отверстием в середине. Излучение от изображения за пределами этого отверстия должно отражаться под углом  $\sim 90^\circ$  к оптической оси телескопа и направляться в специально предусмотренное боковое отверстие (окно). Это же окно предполагается использовать для выхода газов из внутреннего объема телескопа в режиме дегазации (рисунки 8).

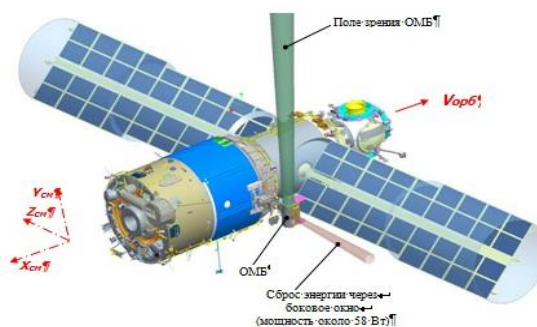


рис. 8 ОМБ НА «Тахомаг» на СМ в рабочем положении

Основным критерием обоснованности выбора конструкции, состава и технических параметров элементов и узлов научной аппаратуры для проведения КЭ является возможность получения требуемых для решения научных задач КЭ технических характеристик НА при условии ограничений по габаритам, связанными с условиями транспортировки научной аппаратуры на грузовом корабле «Прогресс» (рисунок 15).

Рассмотрим проблемы, возникающие при компоновке внешних блоков научной аппаратуры на примере НА «Тахомаг», в составе которой должны быть солнечный оптический телескоп и спектрополяриметр. При этом для получения требуемого разрешения апертура телескопа не должна быть меньше 450 мм. Конструкции оптического телескопа и спектрополяриметра должны были обеспечивать их жесткое взаимное соединение при ВКД с точностью 0,01 рад.

Однако, на стадии эскизного проектирования было установлено, что предложенный вариант конструкции не обеспечивал заданной жёсткости и экипаж в условиях ВКД не мог обеспечить совмещение направляющих двух блоков, была предложена компоновка (рисунок 10), которая позволяет решать целевые задачи КЭ, обеспечивая размеры ОМБ не превышающие предельно допустимые для доставки на ТГК и пронос через люк станции. Конструкция моноблока собирается на Земле и не требует сборки экипажем при ВКД. Форма неправильного цилиндра определялась размерами ТГК (рисунок 9).

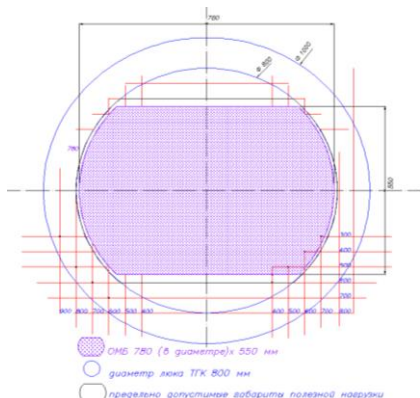


рис. 9 Сопоставление габаритов ОМБ и люка ТГК

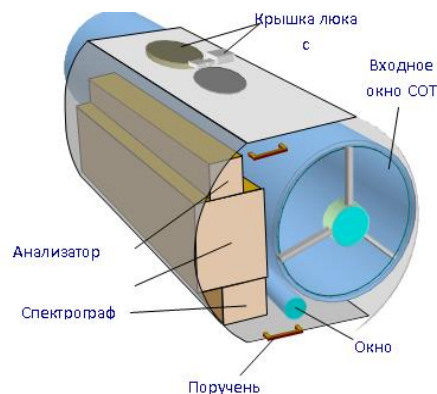


рис. 10 Компоновка ОМБ

Для решения научных задач КЭ «Кортес», «Тахомаг» и формирования их программ наблюдений необходимо непрерывное поступление от бортовой аппаратуры МКС в НА следующей информации:

- направления платформы по отношению к направлению на центр солнечного диска с точностью 1 угл. мин., а также величина угла поворота платформы относительно этой оси с точностью до 3 угл. град.
- текущие координаты МКС (точность знания координат станции в геоцентрической системе координат 1 км данных по ориентации 10 ').
- бортовое время (точность привязки измерений времени 1 мс).

Точность привязки к бортовому времени зависит от модуля, на который устанавливается аппаратура и интерфейса, по которому аппаратура связывается с ИУС, но гарантированно на СМ обеспечивается точность бортового времени не хуже 0,1 сек.

Кроме того, создание НА для проведения КЭ по мониторингу состояния солнечной короны требует привлечения к работе двенадцати и более профильных организаций. Проблемы по созданию кооперации оказались непреодолимыми при разработке НА Солнечный лимбограф «СЛ-200» (КЭ «Астрометрия») целью которого являлось измерение временных вариаций формы и диаметра Солнца с борта РС МКС. [5]

Те же проблемы актуальны и для подготовки КЭ «Ионозонд-ТГК», целью которого является отработка новых конструкторских решений бортового антенно-фидерного устройства и блоков электроники, создаваемых на отечественной базе, и экспериментальная отработка методов глобального контроля состояния ионосферы. Эксперимент будет проводиться с использованием бортового ионозонда «ЛАЭРТ-М-МКС» для работы на модуле НЭМ РС МКС и бортового ионозонда «ЛАЭРТ-М-ТГК» для работы на транспортном беспилотном грузовом космическом корабле (ТГК) серии «Прогресс МС».

## Выводы

Проведение на борту РС МКС космических экспериментов по мониторингу состояния солнечной короны является актуальным, из-за невозможности проведения подобных экспериментов в наземных условиях и необходимости отработки всех режимов работы научной аппаратуры, применяемой в условиях дальнего космоса. Для наведения научной аппаратуры на центр Солнца требуется устанавливать внешние блоки на поворотную платформу наведения, но для обеспечения точного наведения аппаратуры требуется система стабилизации, входящая в состав внешнего блока научной аппаратуры. При проведении интеграции научной аппаратуры на борт РС МКС требуется обращать особое внимание на решение задач динамических колебаний платформы наведения и установленного на ней внешнего блока научной аппаратуры, а также задач термостабилизации внешнего блока научной аппаратуры. Точность получения баллистических данных и метки времени, которую обеспечивает ИУС РС МКС, удовлетворяет требованиям, заложенным в технических заданиях на космические эксперименты по мониторингу солнечной короны.

## Литературы

1. Кузин С.В., Богачев С.А., Житник И.А., Шестов С.В. и др. / Эксперимент ТЕСИС по рентгеновской изображающей спектроскопии Солнца на спутнике КОРОНАС-ФОТОН // Известия РАН. Серия физическая, 2010, Т. 74, № 1, С. 39-43Р.
2. Гершберг Е., Могилевский Э.И., Обридко В.Н. Энергетика активности вспыхивающих звезд и Солнца: синергетический подход. Кинематика и физика небесных тел, 1987, т.3, N 5, С.3 – 17
3. Кожеватов И.Е., Руденчик Е.А., Черагин Н.П., Иошпа Б.А., Куликова Е.Х., Солнечный спектромагнитограф, Приборы и техника эксперимента, 2002, N 1, С.107-112
4. Кожеватов И.Е., Обридко В.Н., Руденчик Е.А., Черагин Н.П., Куликова Е.Х., Калибровка спектромагнитографа ИЗМИРАН, Приборы и техника эксперимента, 2004, № 5, С.1-10
5. Абдусаматов Х.И., Алексеев Ю.В., Антошков А.А. и др. / Эксперимент «Астрометрия» по измерению временных вариаций формы и диаметра Солнца на Служебном модуле// Известия РАН. Серия физическая, 2007, Т. 71, № 4, С. 611-616