

УДК: 621.397

**УЧЕТ ОПЫТА СОЗДАНИЯ И СОВРЕМЕННЫХ  
ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИСТЕМ  
ПРИ РАЗРАБОТКЕ КОМПЛЕКСНОГО ТРЕНАЖЕРА  
ПИЛОТИРУЕМОГО ТРАНСПОРТНОГО КОРАБЛЯ**

В.И. Брагин, А.В. Пекарский, В.В. Пятков

В.И. Брагин; А.В. Пекарский (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)  
Докт. техн. наук, проф. В.В. Пятков (АО «НИИ телевидения»)

Показаны тенденции развития телевизионных систем при разработке новой телевизионной системы для использования в тренажных комплексах для подготовки космонавтов. Рассмотрены варианты построения телевизионной системы, разрабатываемой для тренажеров подготовки космонавтов. Выбран наиболее рациональный вариант построения телевизионной системы по отношению к задержкам телевизионного сигнала.

**Ключевые слова:** тренажеры, телевизионная аппаратура, телевизионная система, сигналы цифрового телевидения повышенной и высокой четкости, маршрутизатор, телевизионная камера

**Consideration of the Experience in Developing Television Systems  
and Current Trends of Their Development When Designing the  
Manned Transport Vehicle Integrated Simulator. V.I. Bragin,  
A.V. Pekarsky, V.V. Pyatkov**

The paper gives the development trends of TV systems when developing a new TV system for cosmonaut training complexes. Options for constructing a TV system for cosmonaut training simulators are considered. The most rational option of a television system configuration considering television signal delays is given.

**Keywords:** simulators, television equipment, TV system, digital TV signals of enhanced definition and high definition, router, TV camera

Необходимость создания специальных тренажеров, позволяющих вырабатывать навыки управления бортовыми системами космических кораблей, была обусловлена усложнением задач, выполняемых на космических кораблях серии «Союз» в сравнении с космическими кораблями серий «Восток» и «Восход», где телевизионная техника использовалась только для наблюдения за действиями и состоянием космонавта в полете. Позднее телевизионная аппаратура стала применяться при контроле сближения и стыковки космических кораблей, при организации репортажей с борта корабля, контроле работы в открытом космосе и т. п.

В процессе создания технических средств подготовки космонавтов (ТСПК), в частности тренажеров, были созданы и первые телевизионные системы, обеспечивающие функционирование этих тренажеров [1].

Исторически сложилось, что при создании ТСПК также использовалось понятие «телевизионная аппаратура» (ТВА), которое в данной статье равнозначно с понятием «телевизионная система» (ТВС).

Главные задачи, решаемые телевизионными системами на тренажерах пилотируемых космических аппаратов, на протяжении всех лет остаются неизменными:

- моделирование совместно с системами компьютерной генерации изображений (СКГИ) и вычислительным комплексом (ВК) тренажера логики работы бортовой телевизионной системы пилотируемого космического аппарата;

- моделирование совместно с СКГИ и другими системами тренажера пилотируемого космического аппарата (ПКА) визуальной обстановки в приборах и средствах наблюдения макета отсеков космического аппарата;

- наблюдение за деятельностью экипажа в макете отсеков космического аппарата с использованием тренажерных аналогов штатных бортовых телевизионных камер внутреннего обзора (ВО) и нештатных камер наблюдения, а также трансляция сигналов изображений от них на мониторы пульта контроля и управления (ПКУ) тренажера, на мониторы ПКУ системы жизнеобеспечения (СЖО) и на мониторы пульта врача;

- трансляция на мониторы, размещенные на ПКУ тренажера, и на мониторы ПКУ СЖО сигналов изображений визуальной обстановки.

В последние годы, в связи созданием новой системы обработки и регистрации аудио- и видеoinформации (СОРАВИ) в тренажерах, у ТВА появились дополнительные задачи по обеспечению взаимодействия с этой системой:

- трансляция аудиосигнала от системы имитации бортовой связи и имеющихся в ТВА сигналов видеоизображений в СОРАВИ;

- прием от СОРАВИ совмещенного сигнала изображения и аудиосигнала и распределение его по потребителям.

По мере развития технических средств ТВА менялись и параметры формируемых телевизионных сигналов и, соответственно, качество формируемых и отображаемых сюжетов внешней визуальной обстановки и качество визуального контроля за действиями операторов в макетах отсеков космических аппаратов. Основные этапы развития телевизионных систем для тренажеров, параметры формируемых сигналов и соответствующие ТВА, которые формировали эти сигналы, представлены в табл. 1

Таблица 1

## Основные этапы развития ТВС для тренажеров

Этапы и годы создания образцов ТВА	Образцы ТВА	Основные параметры формируемых ТВА сигналов видеоизображений	Назначение формируемых сигналов видеоизображений
1. Вторая половина 60-х гг. – конец 70-х гг. XX в.	ТВА «Сайгак», «Сайгак-2А», «Сайгак-М», ТВА «Хризолит», ТВА «Кварц», ТВА «Флюорит»	Вещательный стандарт ГОСТ 7845-55	Сигналы черно-белого телевидения – для моделирования работы бортовой телевизионной системы, наблюдения за действиями экипажа и контроля сюжетов в оптико-механических имитаторах визуальной обстановки
2. Начало и конец 80-х гг. XX в.	Телевизионный комплекс «Циклон», ТВА «Шпинель»	Вещательный стандарт ГОСТ 7845-79	Сигналы черно-белого телевидения – для моделирования работы бортовой телевизионной системы и наблюдения за действиями экипажа Сигналы цветного телевидения – для имитации визуальной обстановки в оптических средствах наблюдения
3. С 1998 г.	ТВА «Рубин», ТВА «Сапфир», ТВА «Фианит», ТВА «Гранит»	Вещательный стандарт ГОСТ 7845-92 [3]	Сигналы черно-белого телевидения – для моделирования работы бортовой телевизионной системы
		Вещательный стандарт ГОСТ 7845-92 [3]	Сигналы цветного телевидения – для камер наблюдения за действиями экипажа
		Компьютерные сигналы 1024x768 пикселей	Сигналы цветного изображения – для имитации визуальной обстановки в оптических средствах наблюдения
4. С 2016 г.	ТВА «Фианит-2», ТВА «Яшма», ТВА «Оникс»	Вещательный стандарт ГОСТ 7845-92 [3]	Сигналы черно-белого телевидения и цветного телевидения – для моделирования работы бортовой телевизионной системы
		Цифровое телевидение высокой четкости 3G-SDI: 1920x1080 пикселей (SMPTE 424M) [4]	Цветные сигналы цифрового телевидения высокой четкости – для камер наблюдения за действиями экипажа и для имитации визуальной обстановки в оптических средствах наблюдения
5. После 2023 г.	ТВА «Реголит»	Цифровое телевидение высокой четкости HD-SDI: 1280x720 пикселей (SMPTE 292M) [5]	Сигналы телевидения высокой четкости HD-SDI – для моделирования работы бортовых телевизионных блоков
		Цифровое телевидение высокой четкости 3G-SDI: 1920x1080 пикселей (SMPTE 424M) [4]	Цветные сигналы цифрового телевидения высокой четкости 3G-SDI – для камер наблюдения за действиями экипажа и имитации визуальной обстановки в оптических средствах наблюдения
		Цифровое телевидение сверхвысокой четкости в формате 12G-SDI: 3840x2160 пикселей (SMPTE ST 2082) [5]	Сигналы цифрового телевидения сверхвысокой четкости для формирования единого изображения из сюжетов, формируемых БОИП для отображения на экранах БОИД

## Построение телевизионных систем

ТВС тренажеров строятся на основе коммутационных устройств, позволяющих осуществлять коммутацию телевизионных сигналов от источников к потребителям для их отображения или последующей обработки, имеют в своем составе средства контроля и связываются в единое целое системой управления.

Коммутационные устройства могут быть различного типа, в зависимости от типов сигналов, с которыми работает данная ТВС (коммутаторы композитных сигналов, коммутаторы компьютерных аналоговых сигналов, коммутаторы цифровых телевизионных сигналов и т. п.). Возможно сочетание нескольких разнотипных коммутаторов в одной аппаратуре (коммутаторы композитных сигналов и коммутаторы компьютерных аналоговых сигналов – в аппаратуре на этапе 3 в табл. 1).

В качестве источников телевизионных сигналов могут выступать телевизионные камеры, формирователи изображений СКГИ, телевизионные сигналы иных систем тренажера или внешних систем. При необходимости могут быть использованы разного рода преобразователи сигналов для приведения всех входных сигналов к единообразному виду (в новых ТВА с 2016 года – это форматы сигналов SDI), а также преобразователи для трансляции сигналов на устройства отображения макета отсеков космического аппарата и ПКУ тренажера в необходимом для этих устройств формате (PAL, HDMI) [3].

В качестве потребителей телевизионных сигналов могут выступать мониторы различных пультов управления, специальные устройства обработки сигналов, а также сетевые устройства, обеспечивающие трансляцию сигналов для неопределенного числа потребителей.

В зависимости от конкретных условий эксплуатации ТВА для трансляции видеосигналов используются телевизионные кабели, оптические кабели, либо (если требования к задержкам сигналов не очень строгие) компьютерные сети для трансляции IP-сигналов.

В существующих ПКА, транспортных грузовых кораблях и, соответственно, на тренажерах этих ПКА, оператор в ручном режиме управления кораблем использует преимущественно оптические средства визуального контроля окружающей обстановки с определенным дублированием этой обстановки на телевизионных индикаторах. На тренажерах ПКА представление оператору визуальной информации в имитируемых оптических средствах осуществляется преимущественно при помощи проекторов, установленных в специальных оптико-механических имитаторах. Сигналы моделируемой визуальной обстановки транслируются на проекторы от каналов имитации СКГИ по телевизионным трактам [2]. В дальнейшем в перспективных ПКА предполагается, что основную роль будут играть телевизионные средства (телевизионные камеры и устройства отображения), при помощи которых

оператор и будет осуществлять ручное управление. При этом важно понимать, что трансляция сигналов изображений в телевизионных трактах всегда связана с задержкой этих сигналов.

В соответствии с практикой специалисты ЦПК ориентируются на задержки сигналов изображений визуальной обстановки в телевизионных трактах примерно в 40 мс. То есть от момента поступления сигнала от источника сигнала (неважно в каком формате он поступает) до его подачи на устройство отображения в необходимом для отображения виде задержка составляет не более 40 мс.

Поэтому, при разработке телевизионной системы для комплексного тренажера пилотируемого транспортного корабля (ПТК) вопрос соблюдения этой величины задержки сигналов становится важным требованием при определении облика всей системы.

Во вновь создаваемой ТВА «Реголит» для комплексного тренажера ПТК, при всей ее схожести с имеющимися в ЦПК современными телевизионными системами, построенными на основе цифровых сигналов высокой четкости («Фианит 2», «Яшма», «Оникс») имеются существенные отличия, обусловленные особенностями бортовой ТВС и новыми задачами, поставленными перед ТВА «Реголит».

Прежде всего в бортовой ТВС ПТК предполагается работа всех телевизионных устройств с телевизионными сигналами в цифровом формате HD-SDI (720p/25) [4]. Поэтому в ТВА «Реголит» первоначально предполагалось моделирование работы трех бортовых блоков: телевизионной камеры внутреннего обзора, маршрутизатора-преобразователя видеоинтерфейсов и кодера.

Бортовая телевизионная камера ВО, которую визуально наблюдает оператор, и сигнал от которой он может контролировать, требует создания ее тренажерного варианта, более дешевого, чем сама бортовая камера, но соответствующего бортовой телевизионной камере ВО по внешнему виду, цвету корпуса, способу и месту нанесения маркировки, разрешающей способности, углам обзора, работе в заданном диапазоне освещенности, параметрам формируемого и передаваемого изображения, времени непрерывной работы.

Бортовой маршрутизатор-преобразователь видеоинтерфейсов помимо выполнения функции видеокоммутатора (ВКМ) 11 x 4 еще осуществляет формирование полиэкрана из 4 произвольных сигналов, а также имеет функцию маскирования дефектов матриц передающих камер. Функции достаточно специфические, причем алгоритмы реализации этих функций окончательно не утверждены и будут изменяться по мере апробирования этих функций в реальном полете, поэтому было решено использовать в ТВА «Реголит» тренажерный вариант маршрутизатора.

Бортовой кодер осуществляет сжатие видеoinформации, поступающей от маршрутизатора в формате HD-SDI (720p/25) для передачи через систему бортовой радиотехнической связи (БРТС) на наземные измерительные пункты

или на борт МКС. Ввиду сложности задач, решаемых кодером, вопрос необходимости и глубины моделирования его работы решался в процессе разработки эскизного проекта ТВА «Реголит».

Учитывая большое количество каналов формирователей изображения (ФИ) СКГИ (не менее восьми), с точки зрения удобства эксплуатации, целесообразно иметь единые по формату сигналы СКГИ от ФИ, формирующих сигналы визуальной обстановки, с максимальным разрешением 1920x1080 пикселей при частоте кадров 50 Гц (сигналы 3G-SDI). Однако необходимость обеспечения величины задержки в 40 мс в трактах ТВА привела к необходимости провести отдельный анализ вариантов построения аппаратуры.

При рассмотрении вариантов построения ТВА на этапе эскизного проектирования учитывалась разработка:

- тренажерного варианта маршрутизатора для работы с сигналами 3G-SDI [5] по расчетам разработчиков в январе 2021 года обошлась бы более, чем в 10 млн рублей со сроком разработки не менее 2 лет. При этом ряд ограничений все равно остался бы. Поэтому решено было использовать принятые в бортовом маршрутизаторе схемно-технические решения. Это, в свою очередь, ограничило возможности работы маршрутизатора только с сигналами в формате HD-SDI (720p/50);

- тренажерного варианта камеры ВО с формированием сигналов 3G-SDI по расчетам разработчиков в январе 2021 года обошлась бы более, чем в 14 млн рублей со сроком разработки до одного года. Поэтому было решено использовать принятые в бортовой камере ВО схемно-технические решения с формированием на выходе сигналов в формате HD-SDI (720p/25).

С учетом вышесказанного было рассмотрено три варианта построения ТВА «Реголит» в части имитации работы бортовой ТВС ПТК (рис. 1).

Каналы ФИ СКГИ, формирующие изображения от стыковочных камер ВТК-10 и -50 (ВТК-10 и ВТК-50 соответственно), изображения от двух телевизионных камер внешнего обзора (ТВвн<sub>1</sub>О и ТВвн<sub>2</sub>О) формируют сигналы в интерфейсе HDMI 1280x720p/25. Данные сигналы после преобразования в формате HD-SDI транслируются на входы ВКМ сигналов SDI. Телевизионная камера ВО командного отсека возвращаемого аппарата (ТВ-камера КО ВА) формирует сигнал в формате HD-SDI (1280x720p/25). С выходов ВКМ сигналы поступают на тренажерный маршрутизатор для последующей трансляции в ВК тренажера для отображения на устройствах наблюдения блок обработки информации дисплейный (БОИД) (входят в состав ВК тренажера ПТК, на схеме не показаны), а также после преобразования в сигналы интерфейса HDMI, подаются на мониторы (телевизоры) ПКУ тренажера, ПКУ СЖО и пульта врача. Учитывая, что сигналы на входе/выходе тренажерного маршрутизатора имеют формат 1280x720p/25, в этом варианте возможно использование бортового кодера.



Нештатные телевизионные камеры наблюдения (ТКН 1 КО ВА–ТКН 4 КО ВА) формируют сигналы в формате 3G-SDI (1920x1080p/50). Каналы СКГИ, формирующие изображения визуальной обстановки для иллюминаторов макета КО ВА ПТК и сюжет «стороннего наблюдателя», формируют сигналы в интерфейсе HDMI 1920x1080p/50. Эти сигналы после преобразования в сигналы формата 3G-SDI также подаются на входы ВКМ и после коммутации и обратного преобразования в сигналы интерфейса HDMI подаются для отображения на мониторы ПКУ тренажера, ПКУ СЖО, пульта врача и мониторы иллюминаторов рабочего места оператора комплексного тренажера (РМО КТ) ПТК.

Величины задержек видеосигналов имитируемых стыковочных камер (ВТК-10 и -50) при трансляции в ТВА (от входа преобразователя сигналов HDMI-SDI) до трансляции на вход ВК тренажера ПТК при данном варианте построения ТВА приведены в табл. 2.

Таблица 2

Задержки видеосигналов при варианте 1 исполнения ТВА

Имитируемое средство	Источник видеосигнала	Величина задержки в устройстве			Суммарная задержка на входе ВК КТ ПТК
		Преобразователь HDMI-SDI	Коммутатор	Маршрутизатор	
ТВ-камера ВТК-10, -50	ФИ СКГИ	2,5 мкс	2,5 мкс	В режиме коммутации – 5,0 мкс.	В режиме коммутации входных сигналов – 10,0 мкс.
ТВ-камеры внешнего обзора-1, -2	ФИ СКГИ	2,5 мкс	2,5 мкс	В режиме «маскирования» – от 40,005 до 80,005 мс.	В режиме «маскирования» – от 40,01 до 80,01 мс. В режиме «полиэкрана» – от 40,01 до 80,01 мс
ТВ-камера ВО	ТВ-камера	0	2,5 мкс	В режиме «полиэкрана» – от 40,005 до 80,005 мс	В режиме коммутации входных сигналов – 7,5 мкс. В режиме «маскирования» – от 40,008 до 80,008 мс. В режиме «полиэкрана» – от 40,008 до 80,008 мс

Существенным недостатком данного варианта построения ТВА является то, что высокопроизводительные видеокарты, применяющиеся в ФИ СКГИ, не поддерживают режим формирования видеосигналов в формате 1280x720p/25. Кроме того, мониторы, планируемые к применению для отображения видеосигналов на ПКУ тренажера, ПКУ СЖО и пульта врача, также не поддерживают видеосигналы в формате 1280x720p/25.

На укрупненной блок-схеме варианта 2 исполнения ТВА «Реголит» (рис. 2) каналы СКГИ, формирующие изображения от стыковочных камер ВТК-10 и -50, изображения от двух телевизионных камер ВО (ТВвн<sub>1</sub>О и ТВвн<sub>2</sub>О) формируют сигналы в интерфейсе HDMI 1280x720p/50. ТВ-камера КО ВА формирует сигнал формата HD-SDI (1280x720p/25), однако для повышения частоты кадров используется преобразователь частоты кадров из 25 в 50 Гц.

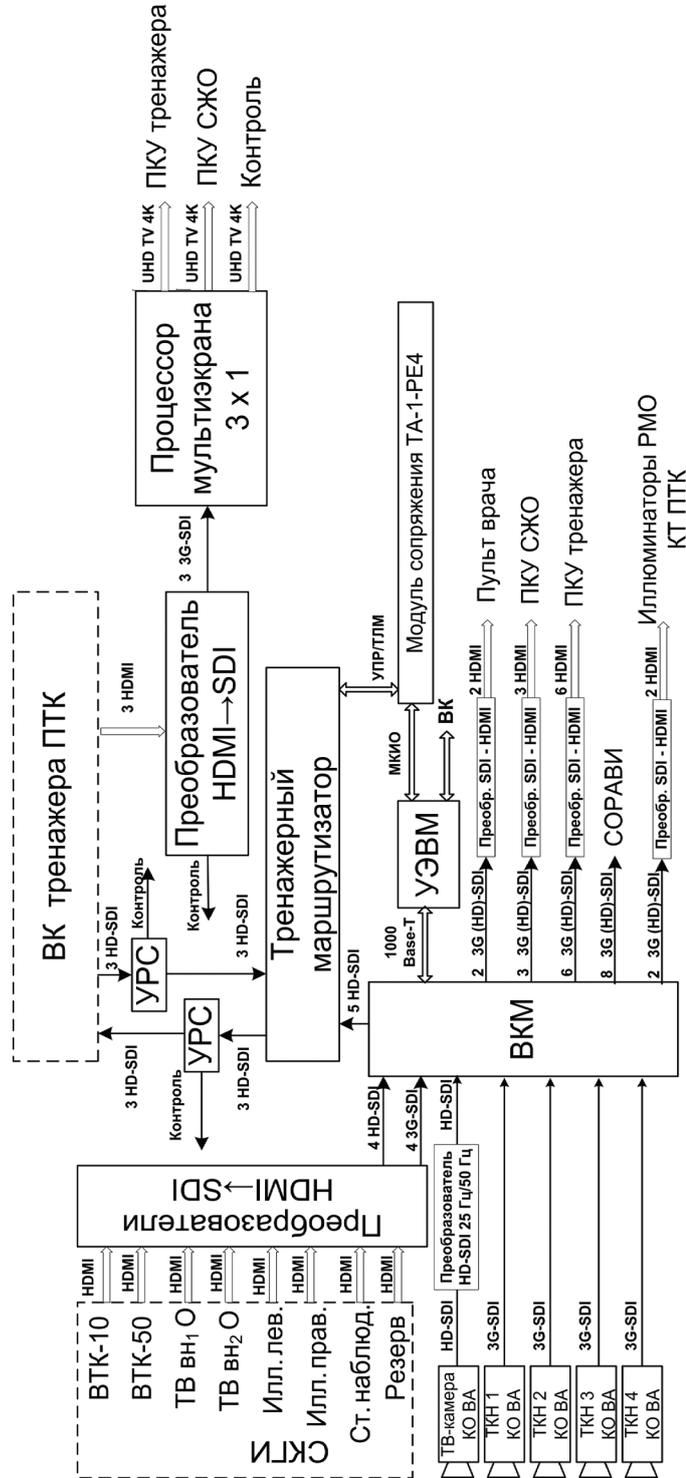


Рис. 2. Укрупненная блок-схема варианта 2 построения ТВА «Реголит»

В этом варианте применение бортового кодера невозможно. Тренажерный маршрутизатор допускает работу со входными сигналами формата 1280x720p/50.

Прочие устройства ТВА работают без изменений.

Величины задержек видеосигналов изображений имитируемых камер стыковки (ВТК-10 и ВТК-50) при трансляции в ТВА (от входа преобразователя сигналов HDMI-SDI) до трансляции на вход ВК КТ ПТК при данном варианте построения ТВА приведены в табл. 3.

Таблица 3

Задержки видеосигналов при варианте 2 исполнения ТВА

Имитируемое средство	Источник видеосигнала	Величина задержки в устройстве			Суммарная задержка на входе ВК КТ ПТК
		Преобразователь HDMI-SDI	Коммутатор	Маршрутизатор	
ТВ-камера ВТК-10, -50	ФИ СКГИ	2,5 мкс	2,5 мкс	В режиме коммутации – 5,0 мкс.	В режиме коммутации входных сигналов – 10,0 мкс.
ТВ-камеры внешнего обзора-1, -2	ФИ СКГИ	2,5 мкс	2,5 мкс	В режиме «маскирования» – от 40,005 до 80,005 мс. В режиме «полиэкрана» – от 40,005 до 80,005 мс	В режиме «маскирования» – от 40,01 до 80,01 мс. В режиме «полиэкрана» – от 40,01 до 80,01 мс
ТВ-камера ВО	ТВ-камера	41 мс (преобразователь сигнала HD-SDI 25/50)	2,5 мкс	В режиме коммутации – 5,0 мкс. В режиме «маскирования» – от 40,005 до 80,005 мс. В режиме «полиэкрана» – от 40,005 до 80,005 мс	В режиме коммутации входных сигналов – 41,008 мс. В режиме «маскирования» – от 81,008 до 121,008 мс. В режиме «полиэкрана» – от 81,008 до 121,008 мс

На укрупненной блок-схеме варианта 3 построения ТВА «Реголит» (рис. 3) каналы СКГИ, формирующие изображения от стыковочных камер (ВТК-10 и ВТК-50), изображения от двух телевизионных камер ВО (ТВвн<sub>1</sub>О и ТВвн<sub>2</sub>О), сюжеты визуальной обстановки для иллюминаторов РМО КТ ПТК и сюжет «стороннего наблюдателя», формируют сигналы в интерфейсе HDMI 1920x1080p/50.

Тренажерная камера внутреннего обзора формирует сигнал в формате HD-SDI (1280x720p/25), однако для повышения частоты кадров используется преобразователь частоты кадров из 25 в 50 Гц.

Нештатные ТВ-камеры наблюдения также формируют сигналы в формате 3G-SDI (1920x1080p/50).

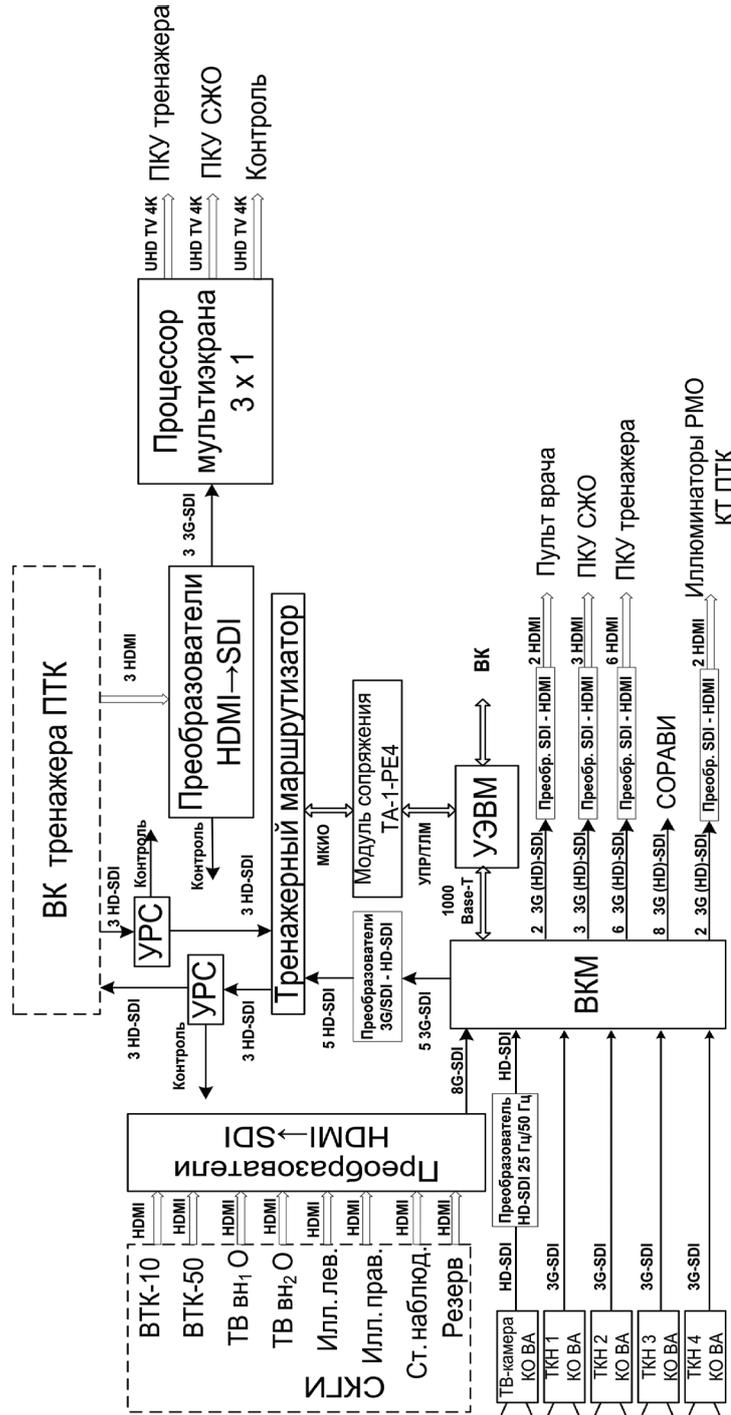


Рис. 3. Укрупненная блок-схема варианта 3 построения ТВА

Для обеспечения работы тренажерного маршрутизатора сигналы, транслируемые на его входы, подвергаются преобразованию из формата 3G-SDI (1920x1080p/50) в формат HD-SDI (1280x720p/50). В этом варианте применение бортового кодера также невозможно.

Величины задержек видеосигналов изображений имитируемых камер стыковки ВТК-10 и -50 при трансляции в ТВА (от входа преобразователя сигналов HDMI-SDI) до трансляции на вход ВК КТ ПТК при данном варианте построения ТВА приведены в табл. 4

Таблица 4

Задержки видеосигналов при варианте 3 построения ТВА

Имитируемое средство	Источник видеосигнала	Величина задержки в устройстве				Суммарная задержка на входе ВК КТ ПТК
		Преобразователь HDMI-SDI	Коммутатор	Понижающий преобразователь 3G-SDI – HD-SDI	Маршрутизатор	
ТВ-камера ВТК-10, -50	ФИ СКГИ	2,5 мкс	2,5 мкс	41 мс	В режиме коммутации – 5,0 мкс.	В режиме коммутации входных сигналов – 41,01 мс. В режиме «маскирования» – от 81,01 до 121,01 мс. В режиме «полиэкрана» – от 81,01 до 121,01 мс.
ТВ-камеры внешнего обзора-1, -2	ФИ СКГИ	2,5 мкс	2,5 мкс	41 мс	В режиме «маскирования» – от 40,005 до 80,005 мс.	
ТВ-камера ВО	ТВ-камера	41 мс (преобразователь сигнала HD-SDI 25 Гц/50 Гц)	2,5 мкс	2,5 мкс	В режиме «полиэкрана» – от 40,005 до 80,005 мс	

## Анализ вариантов построения ТВА

*Выбор варианта по величине задержек сигналов.* Вариант 1 в части задержек видеосигналов в телевизионных трактах соответствует штатному бортовому режиму функционирования телевизионной системы, поэтому целесообразно варианты 2 и 3 рассматривать относительно варианта 1 и с учетом обеспечения задержек в 40 мс.

Учитывая, что оператор в процессе работы не осуществляет непосредственного управления бортовым кодером и визуально не контролирует результат его работы, было принято решение на этапе разработки РКД отказаться от тренажерного варианта кодера и при необходимости ограничиться моделированием его телеметрической информации в системе ВК тренажера.

В вариантах 1 и 2 передача сигналов от ФИ СКГИ до ВК в полной мере удовлетворяет требованиям к задержкам сигнала в режиме коммутации сигналов в маршрутизаторе. В режиме «маскирование» и «полиэкранный» задержки превышают предел в два раза.

При этом нужно учитывать, что режимы «маскирования» и «полиэкрана» являются штатными режимами функционирования бортовой телевизионной системы ПТК и реализуются именно с такими задержками сигналов, как это было показано выше. Режим маскирования дефектов изображения матриц внешних ТВ-камер является служебным режимом, выполняется при включенной ТВ-камере с закрытой диафрагмой. При моделировании работы внешних телекамер или телекамер ВТК-10 и -50 допустимо задержки в этом режиме не учитывать.

В варианте 3 в режиме коммутации сигналов изображений стыковочных камер (ВТК-10 и ВТК-50), ТВ-камер ВО (ТВвн<sub>1</sub>О и ТВвн<sub>2</sub>О) суммарная задержка также удовлетворяет требованиям технического задания; в режиме маскирования и полиэкрана задержки возрастают и превышают предел в три раза.

По этому критерию подходят все варианты.

*Выбор варианта по критерию стоимости.* При реализации ТВА в соответствии с вариантом 1 затруднение представляет приобретение мониторов, обеспечивающих работу с сигналами формата 1280x720p/25, как мало распространенного и практически неиспользуемого в мониторах и в ФИ СКГИ.

При реализации ТВА в соответствии с вариантом 2 требуется поставка кроссконвертера стоимостью около 265,0 тыс. рублей (цены 2021 г.).

При реализации ТВА в соответствии с вариантом 3 потребуются понести расходы на приобретение кроссконвертеров (не менее 5 шт. по цене около 265,0 тыс. рублей каждый в ценах 2021 года).

По этому критерию предпочтение следует отдать варианту 2.

*Выбор по критерию надежности функционирования.* Как уже было показано выше, вариант 1 построения ТВА является проблематичным из-за особенностей функционирования каналов СКГИ в этом режиме.

Вариант 3 предполагает увеличение задержек сигналов в трактах трансляции сигналов изображений визуальной обстановки до предельной величины. Кроме того, в трактах трансляции сигналов изображений визуальной обстановки появляются дополнительные (по отношению к 1 и 2 вариантам построения) преобразователи, что, естественно, усложняет аппаратуру и снижает надежность функционирования таких трактов.

Основываясь на этих критериях, с учетом того, что не предполагается использование кодера в ТВА, оптимальным вариантом построения ТВА является вариант 2.

Преимуществом данного решения является такое качество, как унификация составных элементов аппаратуры, схемные решения которых опираются на ранее разработанные ТВА для ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина».

Наличие унификации оборудования позволяет уменьшить время обучения обслуживающего персонала ТВА, уменьшить время ремонта и восстановления. В процессе эксплуатации аналогичных блоков производятся их доработки в соответствии с опытом эксплуатации. Поэтому с учетом вышесказанного, надежность работы аппаратуры при ее эксплуатации будет выше.

Еще одним новшеством во вновь создаваемой ТВА «Реголит» является требование иметь в одном изображении (на одном экране монитора) изображения, наблюдаемые операторами на трех БОИД. При этом сигнал, транслируемый на один БОИД, по информации от разработчиков этих устройств, может иметь разрешение до 1600x1200 пикселей (рис. 4).

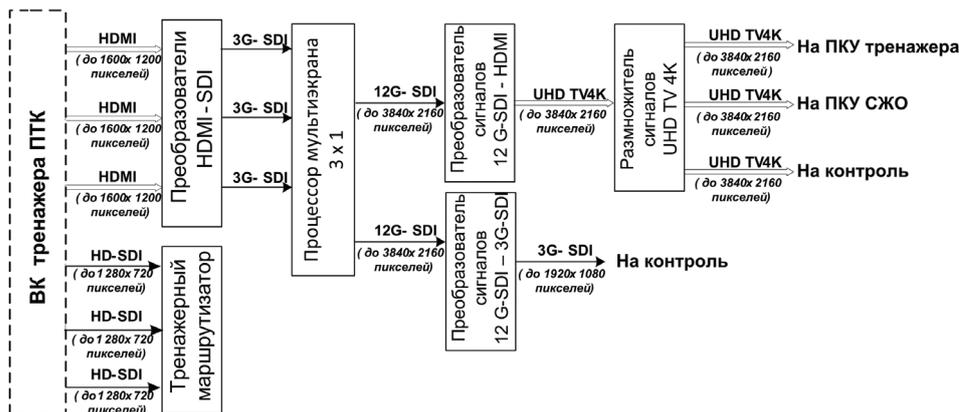


Рис. 4. Блок-схема формирования единого сигнала из трех сигналов

Это требование заставляет переходить от сигналов цифрового телевидения высокой четкости (сигналы 3G-SDI: разрешение 1920x1080 пикселей) к сигналам изображения формата UHD TV 4K с разрешением 3840x2160 пикселей в интерфейсе HDMI и в формате сигнала 12G-SDI по SMPTE ST 2082 с параметрами 2160р [7].

Остальная часть построения ТВА «Реголит» (применение цифровых камер высокой четкости стандарта 3G-SDI, обеспечение трансляции сигналов на мониторы ПКУ КТ ПТК, мониторы ПКУ СЖО, мониторы пульта врача, на СОРАВИ, средства внутреннего контроля ТВА) реализуется и в ТВА «Фианит 2», «Яшма», «Оникс». Единственным отличием в этой части является то, что в ТВА «Реголит» отсутствуют композитные сигналы (сигналы системы ПАЛ) и используются только цифровые сигналы форматов HD-SDI, 3G-SDI, 12G-SDI.

Работа с телевизионными сигналами UHD TV 4K в перспективе приведет к необходимости внедрения стандарта SMPTE ST 2110 [6], позволяя объединять источники и потребителей видео на базе IP-сетей, заменив необходимость в SDI-кабелях. Стандарт SMPTE ST 2110 имеет ряд аспектов, включая рекомендации по обработке несжатых видео- и аудиопотоков, синхронизации и метаданных. Одним из уникальных аспектов SMPTE ST 2110 по сравнению с SDI является то, что он разделяет мультимедийную информацию на отдельные потоки «сущности» в поддержку распределенных рабочих процессов, обеспечивая большую гибкость. Естественно, что сетевая инфраструктура при этом должна быть высокопроизводительной.

## Выводы

1. Развитие телевизионных систем тренажеров пилотируемых космических аппаратов существенным образом зависит от того, каким образом будет реализована бортовая телевизионная система и какие бортовые средства будут задействованы для реализации режимов ручного управления, какие требования по задержкам в телевизионных трактах будут предъявлены. На данный момент общей тенденцией создания бортовых телевизионных систем является постепенный уход от использования аналоговых телевизионных сигналов и переход к использованию сигналов цифрового телевидения повышенной четкости (HD-SDI).

2. С точки зрения построения телевизионной системы тренажера, целесообразно строить ее на использовании несжатых сигналов цифрового телевидения высокой четкости (3G-SDI) для источников и потребителей видеосигналов, обеспечивающих очень высокое качество отображаемых телевизионных сюжетов.

3. В качестве трактов трансляции сигналов (особенно для удаленных потребителей) для сохранения высокого качества исходных сигналов помимо традиционных электрических и оптических кабелей перспективным является применение сетевых технологий по стандарту SMPTE 2110 -20, позволяющих транслировать несжатые сигналы цифрового телевидения высокой и сверхвысокой четкости с минимальными временными задержками.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Теория и практика космического телевидения / Под ред. А.А. Умбиталиева, А.К. Цицулина. – СПб.: НИИ телевидения, 2017. – 368 с.
- [2] Пекарский, А.В. Телевизионная аппаратура для комплексного тренажера пилотируемого транспортного космического корабля «Союз МС» на базе цифровой системы телевидения высокой четкости / А.В. Пекарский, В.И. Брагин // Материалы 15-й Международной конференции «Телевидение: передача и обработка изображений», 26–27 июня 2018, г. Санкт-Петербург. – С. 92.
- [3] ГОСТ 7845-92. Система вещательного телевидения. Основные параметры. Методы измерений.
- [4] SMPTE 424M-2012. 3Gb/s Signal/Data Serial Interface. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7290519>.
- [5] SMPTE 292M-1996. Bit-Serial Digital Interface for High-Definition Television System. – URL: <https://last.hit.bme.hu/download/firtha/video/SMPTE/SMPTE-292M%20HD%20SDI.pdf>.
- [6] SMPTE ST 2110. Professional Media over Managed IP Networks. – URL: <https://www.smpte.org/standards/st2110>.
- [7] SMPTE ST-2082. 12G-SDI Bit-Serial Interfaces. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/stampPDF/getPDF.jsp?tp=&arnumber=7565450&ref=aHR0cHM6Ly93d3cuZ29vZ2xlLmNvbS8=>.

## REFERENCES

- [1] Theory and Practice of Space Television / Ed. by A.A. Umbitaliev, A.K. Tsitsulin. – St. Petersburg. Research Institute of Television, 2017. – 368 p.
- [2] Pekarsky, A.V. Television Equipment for the “Soyuz MS” Manned Transport Vehicle Integrated Simulator Based on a Digital TV System of High Definition / A.V. Pekarsky, V.I. Bragin // Proceedings of the 15th International Conference “Television: Transmission and Processing of Images”, 26–27 June 2018. – P. 92.
- [3] GOST 7845-92. Broadcast Television. Main Parameters. Measurement Methods.
- [4] SMPTE 424M-2012. 3Gb/s Signal/Data Serial Interface. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7290519>.
- [5] SMPTE 292M-1996. Bit-Serial Digital Interface for High-Definition Television System. – URL: <https://last.hit.bme.hu/download/firtha/video/SMPTE/SMPTE-292M%20HD%20SDI.pdf>.
- [6] SMPTE ST 2110. Professional Media over Managed IP Networks. – URL: <https://www.smpte.org/standards/st2110>.
- [7] SMPTE ST-2082. 12G-SDI Bit-Serial Interfaces. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/stampPDF/getPDF.jsp?tp=&arnumber=7565450&ref=aHR0cHM6Ly93d3cuZ29vZ2xlLmNvbS8=>.