

20. Балыко А.К., Голант Е.И., Мелешкевич П.М. Теоретическое и экспериментальное исследование усилителя мощности на ЛПД // Электронная техника. Сер. Электроника СВЧ. – 1987. – Вып. 1 (395). – С. 28-30.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор С.В. Соколов.

**Демьяненко Александр Викторович** – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: demalex@inbox.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634371733; кафедра антенн и радиопередающих устройств; к.т.н.; доцент.

**Demjanenko Alexander Viktorovich** – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: demalex@inbox.ru; 44, Nekrasovsky, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371733; the department of antennas and radio transmitters; cand. of eng. sc.; associate professor.

УДК 621.391.26

**Д.П. Волик, С.С. Шibaев, А.В. Помазанов**

### **ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И РЕАЛИЗАЦИЯ АКУСТООПТИЧЕСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ ПАРАМЕТРОВ РАДИОСИГНАЛОВ**

*Приведено описание измерительных средств радиотехнического назначения работающих на основе акустооптического эффекта. Основными типами акустооптических радиотехнических измерителей являются устройства, разработанные на основе классической схемы акустооптического спектроанализатора, с последовательным выводом информации о пространственно-временном распределении оптического аналога анализируемого радиосигнала, использующие в качестве регистрирующего устройства ПЗС-линейки, а также с параллельным выводом информации, у которых в качестве регистрирующих устройств используются линейки параллельных быстродействующих фотодиодов. Помимо измерителей на основе классической схемы, рассматривается возможность использования конструкции с двумя установленными последовательно по свету акустооптическими ячейками, в качестве регистрирующего устройства в котором используется одиночный сверхбыстродействующий фотоприемник. Данные устройства находят применение в системах пассивного радиоконтроля и в разностно-дальномерных системах, данные применения диктуют требования относительно совокупности технико-эксплуатационных параметров таких измерительных приборов, к которым относятся не только диапазон рабочих частот, частотное разрешение, точность измерения частоты и фазы анализируемых радиосигналов, а также энергопотребление, масса и габариты, которые становятся существенными при использовании радиотехнических измерителей в мобильных измерительных комплексах.*

*Акустооптический измеритель; радиосигнал; последовательный вывод информации; параллельный вывод информации; акустооптический модулятор; Фурье-объектив; лазер.*

**D.P. Volik, S.S. Shibaev, A.V. Pomazanov**

### **RADIOSIGNALS PARAMETERS ACOUSTOOPTIC MEASURERS IMPLEMENTATION PRINCIPLES**

*This article contains the description of radio assigned instruments operating on the basis of acoustooptical effect. These facilities are used in the passive radiomonitoring systems and range-difference systems. The main types of acoustooptical radiotechnical meters are devices developed on the basis of classical scheme of acoustooptical spectrum analyzer with serial information output concerning space-time allocation of analysed radiosignal optical analog using CCD bars as a recorder and with parallel information output as well which use parallel high-speed photodiode bars as a recorder. Besides the meters developed on the basis of classical scheme there is an opportunity to use construction with two consistent light-located acoustooptical cells which use sin-*

gle ultraspeed photodetector as a recorder. This usage takes some requirements concerning the operating characteristics of measuring apparatus that cover not just working frequency range, frequency resolution, measurement accuracy of frequency and analysed signal phase, but power consumption, mass and dimensions as well, which are significant while using the radio engineering measuring instruments in mobile measuring complexes.

*Acoustooptic measurer; radio-frequency signal; serial output of information; parallel output of information; acoustooptic modulator; Fourier lens; laser.*

В данной статье рассматриваются принципы построения и практическая реализация акустооптических измерительных приборов радиотехнического назначения, которые были разработаны в лаборатории «Оптоэлектроники» Южного федерального университета.

Классифицировать разработанные устройства можно, прежде всего, по способу вывода информации на акустооптические измерители параметров радиосигналов (АОИПС) с последовательным и с параллельным съемом информации.

АОИПС с последовательным съемом информации реализован по схеме, изображенной на рис. 1, и представляет собой прибор, предназначенный для работы в составе систем радиотехнического контроля и измерения несущей частоты, ширины спектра и амплитуды непрерывных и импульсных радиосигналов. Основными узлами данного измерителя являются: приемно-усилительный тракт, осуществляющий предварительную селекцию входных СВЧ-радиосигналов и усиление их до уровней, приемлемых для работы акустооптического дефлектора (АОД); лазер; оптика, формирующая из исходной световой апертуры пучка, требует Фурье-объектив и ПЗС-линейку. Основной задачей АО блока является преобразование радиочастотного спектра на входе измерителя в пространственный оптический спектр, регистрируемый ПЗС линейкой, последняя, в свою очередь, является начальным элементом системы, включающей видеоусилитель, АЦП и модуль цифровой обработки (МЦО) информации, в соответствии с заложенным в него алгоритмом [1]; результат обработки выдается в виде кодовой последовательности на соответствующий выход измерителя. Кроме указанных блоков в схеме рассматриваемого АОИПС предусмотрены элементы контроля и калибровки, необходимые для работы измерителя в автоматическом режиме. Для внешнего управления и контроля АОИПС может использоваться либо специальное оборудование, либо персональный компьютер (ПК), связанный с измерителем посредством стандартных интерфейсов (USB, ETHERNET). В последнем случае к ПК применяется специализированное программное обеспечение, предоставляющее удобный интерфейс контроля и управления функциями АОИПС, а также визуализацию измеряемых параметров. Более подробно описание данного измерителя приведено в [1]. Внешний вид данного измерителя приведен на рис. 2.

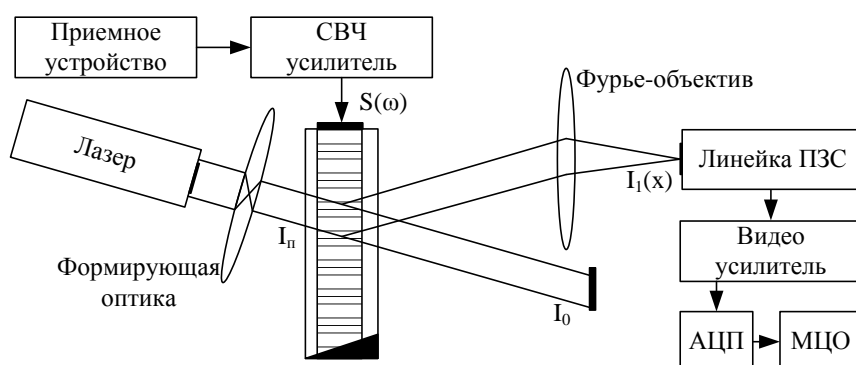


Рис. 1. Схема АОИПС последовательного типа



Рис. 2. Макет разработанного АОИПС последовательного типа

Основные технические параметры, полученные в результате исследования макета измерителя, приведены ниже.

Диапазон рабочих частот	(1,5 – 2,0) ГГц
Полоса рабочих частот	500 МГц
Чувствительность	минус 80дБВт
Неравномерность чувствительности	≤3 дБ
Динамический диапазон:	
◆ односигнальный	> 60 дБ
◆ многосигнальный	35 дБ
Точность измерения частоты	0,25 МГц
Шаг частотной шкалы	0,5 МГц
Точность измерения частоты одного сигнала в присутствии второго	~ 1,2 МГц
Дискретность измерения амплитуды	1 дБ
Длительности измеряемых сигналов	(0,1 – ∞) мкс
Разрешение по частоте (релеевское)	0,4 МГц
Разрешающая способность по частоте (пороговая)	~ 4 МГц
Время обзора	25 мкс
Время готовности блока	~10 мин
Диапазон рабочих температур	(0 ÷ + 40) °С
Габаритные размеры	538x213x100 мм <sup>3</sup>
Масса	14 кг
Интерфейс	(USB или Ethernet)

Описанный прибор может использоваться не только в составе систем радиотехнического контроля, но и как самостоятельный автоматизированный панорамный измеритель как в стационарных, так и в передвижных постах радионаблюдения, не предъявляющих особых требований к массе и габаритам устройства. Ре-

зультаты проведенных испытаний макета в условиях механических и климатических воздействий [2], подтверждают возможность использования данной аппаратуры в мобильных станциях радиоконтроля.

Коллективом лаборатории был разработан и изготовлен АОИПС, по функциональным возможностям не отличающийся от описанного выше, но позволяющий применять АО технику анализа радиоэфира в условиях жесткой экономии свободного места, массы и энергопотребления [3]. Состав малогабаритного измерителя (МАОИПС) практически не отличается от предыдущего, а вот массогабаритные параметры и энергопотребление в результате оптимизации были снижены в разы. Достигнуть этого удалось за счет совершенствования оптической схемы, миниатюризации оптико-механических узлов, переработки блока обработки информации и снижения уровня потребляемой мощности.

На рис. 3. приведена фотография МАОИПС, на верхней части металлического основания (1) располагаются составляющие акустооптического тракта (2–6) и платы обработки информации (7), на которой также расположена и линейка ПЗС. На нижней части основания расположены элементы СВЧ-тракта, плата сопряжения измерителя с ПК и источник вторичного питания.

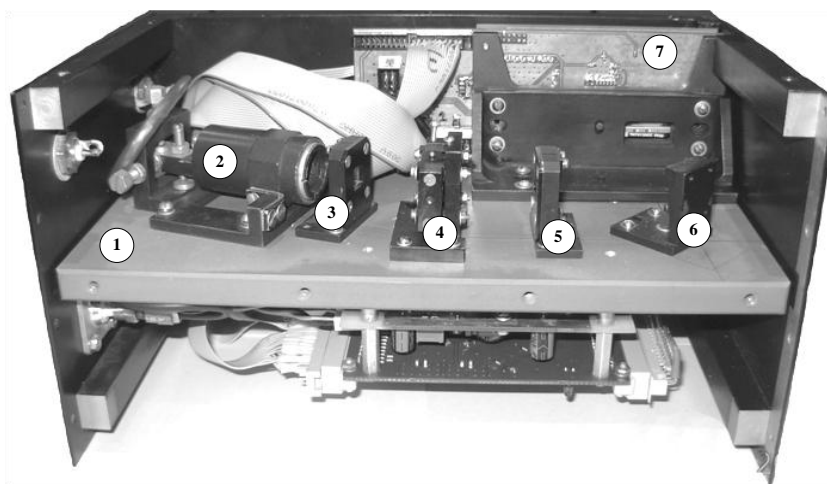


Рис. 3. Акустооптический блок и плата обработки информации МАОИПС

Технические возможности малогабаритного АОИПС не уступают аналогичным для ранее описанного измерителя при ощутимом уменьшении массогабаритных показателей. Масса разработанного макета составила около 4 кг, при его размерах  $140 \times 240 \times 130 \text{ мм}^3$ , а потребляемая мощность измерителя не превысила 20 Вт.

Следующий из рассматриваемых измерителей также выполнен по классической схеме, но, в отличие от описанных ранее АОИПС, для регистрации пространственного распределения оптического сигнала используется линейка параллельных фотодиодов, позволяющая получать информацию о пространственном спектре в плоскости фотоприемника практически мгновенно, что дает возможность измерять не только частотные, но и временные параметры радиосигналов [4]. На рис. 4 приведена фотография модуля цифровой обработки АОИПС параллельного типа.

Предлагаемые ведущими производителями фотоприемники пока не позволяют обеспечить в АОИПС точностных характеристик, частотных параметров измеряемых сигналов, но, как было упомянуто, эти же фотоприемники дают возможность измерять временные параметры импульсных радиосигналов в широком диа-

пазоне их длительностей. Данный измерительный блок может использоваться как в составе радиоизмерительных комплексов, так и в составе разностно-дальномерных систем, обеспечивая измерение амплитуды, частоты, времени прихода и длительности радиосигналов. Технические возможности разработанного макета АОИПС с параллельным съемом информации приведены ниже.

Диапазон рабочих частот	(1,5 – 2,0) ГГц
Время готовности выдачи информации (в виде формуляра)	1 мкс
Число одновременно обрабатываемых сигналов	19
Число одновременно обрабатываемых синхронных сигналов	≤ 3
Длительности измеряемых сигналов	(0,1 – 2000) мкс
Точность измерения частоты	2 МГц
Точность измерения длительности сигналов (для $\tau_{и} > 1$ мкс)	≤ 40 нс
Точность измерения времени прихода сигналов	≤ 40 нс
Частотное разрешение	(6 – 10) МГц
Чувствительность	– 100 дБВт
Неравномерность чувствительности	≤ 3 дБ
Динамический диапазон:	
◆ односигнальный	60 дБ
◆ многосигнальный	40 дБ
Диапазон рабочих температур	(0 ÷ 40) °С
Интерфейс управления	SPI
Технологический интерфейс	USB
Напряжение питания	(+27±3) В
Потребляемая мощность	$P_{пот} = 100$ Вт
Габариты	140×250×400 мм <sup>3</sup>
Масса	20 кг

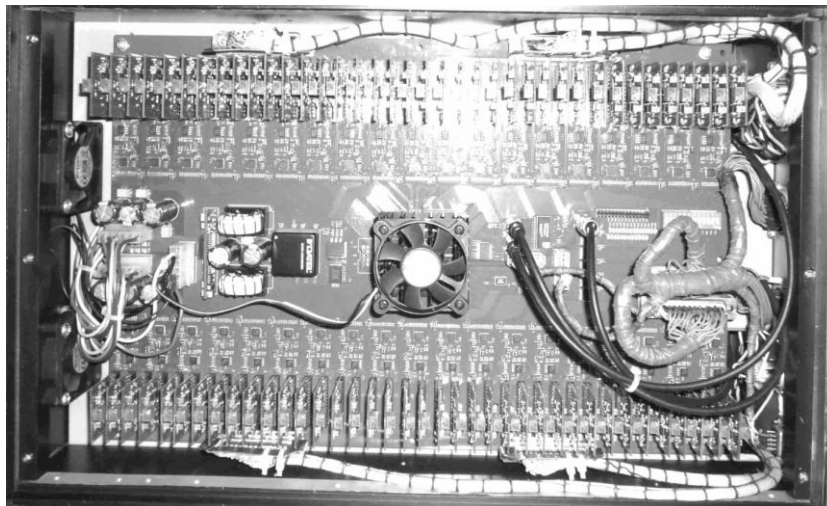


Рис. 4. Модуль цифровой обработки АОИПС с параллельным съемом информации

Объединить достоинства АОИПС с последовательным и параллельным выводом информации позволяет сверхбыстродействующий АОИПС последовательного типа, схема которого приведена на рис. 5.

Первые три элемента данной схемы лазер, сигнальный акустооптический модулятор (АОМ1) и Фурье-объектив 1 представляют собой классический состав акустооптического измерителя дисперсионного типа. Отличительной особенностью данной схемы является то, что амплитудное распределение дифрагировавшего на модуляторе 1 света, получаемое в фокальной плоскости Фурье-объектива 1, считывается не фотоприемником, а вторым акустооптическим модулятором (АОМ2), который управляется формирователем коротких радиопульсов (ФКИ). Продифрагировавшая на считывающем модуляторе оптическая волна фокусируется вторым Фурье-объективом 2 на фоточувствительной площадке одноканального безинерционного фотоприемника (ФПУ), выход которого соединен с аналогово-цифровым преобразователем (АЦП), синхронизированного с ФКИ. Окончательная обработка оцифрованного сигнала осуществляется в вычислителе. Таким образом, главным преимуществом данного измерительного средства является его быстрдействие, которое ограничивается лишь временной апертурой сигнального модулятора и может составлять  $\sim(0,1 \div 1)$  мкс. Подробнее принципы его функционирования описаны в [5].

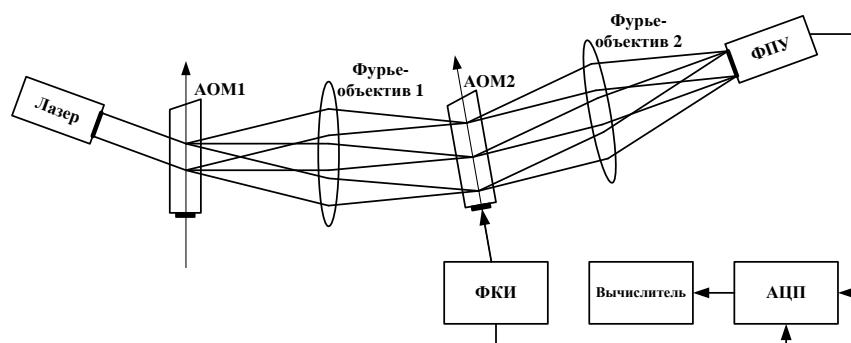


Рис. 5. Структурная схема АОИПС последовательного типа

В соответствии с описанной схемой был разработан, изготовлен и испытан опытный образец АОИПС, внешний вид которого приведен на рис. 6, где основные элементы обозначены следующим образом: 1 – лазер; 2 – первая согласующая линза в плоскости, перпендикулярной плоскости дифракции; 3 – формирующая линза первого Фурье-объектива; 4 – сигнальная акустооптическая ячейка; 5 – вторая согласующая линза в той же плоскости, что и линза 2; 6 – масштабирующая линза первого Фурье-объектива; 7 – считывающая акустооптическая ячейка; 8 – третья согласующая линза в той же плоскости, что и линза 2; 9 – второй Фурье-объектив; 10 – фотоэлектронный умножитель; 11 – СВЧ-усилитель мощности сигнальной ячейки; 12 – СВЧ-усилитель считывающей ячейки.

Функциональные возможности данного измерителя аналогичны возможностям описанного выше АОИПС с параллельным выводом информации при более простой и «прозрачной» системе цифровой обработки сигналов. Далее по тексту приведены технические параметры макета АОИПС.

Мгновенная полоса рабочих частот	400 (1460-1860) МГц
Неравномерность в полосе частот	<6 дБ
Панорамное время обзора всей полосы	1 мкс
Разрешающая способность по Релею	15 МГц
Точность измерения частоты (СКО)	1,36 МГц
Динамический диапазон по одиночному сигналу	20 дБ
Габаритные размеры	300×200×80 мм
Занимаемый объем	5 дм <sup>3</sup>
Вес	5 кг

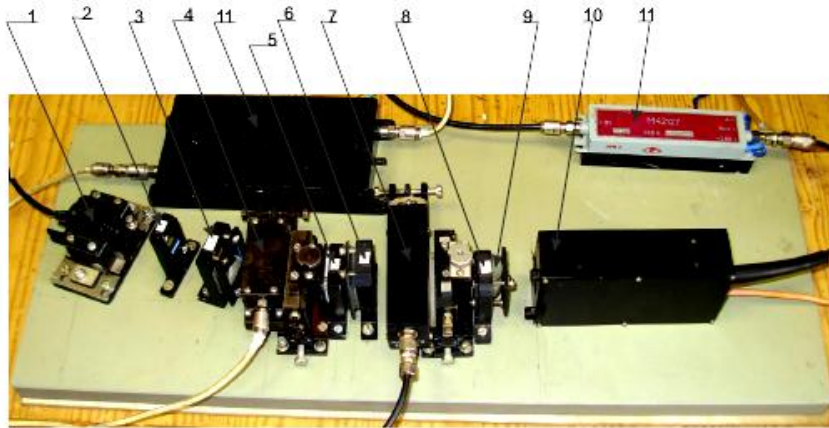


Рис. 6. Фотография макета АОИПС последовательного типа

Значения метрологических параметров, приведенные выше, соответствуют параметрам измерителей с параллельными съемом информации, поэтому данный измеритель может использоваться аналогичным образом, кроме того, наличие одноканального фотоприемника позволяет получить устройство меньших размеров, массы и энергопотребления, что упрощает его изготовление, настройку и повышает надежность. Недостатки, связанные с усложнением оптической схемы, не имеют принципиального значения.

Данный измеритель, аналогично АОИПС параллельного типа, позволяет измерять как частотные и энергетические параметры анализируемых сигналов, так и временные, что позволяет использовать его в составе радиоизмерительных комплексов и разностно-дальномерных систем.

Приведенные в обзоре параметры измерительных средств могут быть существенно улучшены, при использовании для их построения современной элементной базы, недоступной на момент разработки обсуждаемых устройств.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Роздобудько В.В., Пелипенко М.И. Быстродействующий измеритель параметров СВЧ-радиосигналов // Специальная техника. – 2006. – № 1. – С. 28-36.
2. Роздобудько В.В., Бакарюк Т.В., Волик Д.П. Исследование акустооптического измерителя параметров радиосигналов в условиях механических и климатических воздействий // Специальная техника. – 2011. – № 1. – С. 10-16.
3. Шибаетов С.С., Новиков В.М., Волик Д.П., Роздобудько В.В. Малогабаритный акустооптический измеритель параметров радиосигналов // Вопросы специальной радиоэлектроники. Общие вопросы радиоэлектроники. – 2009. – Вып. 1. – С. 83-90.
4. Роздобудько В.В., Помазанов А.В., Крикотин С.В., Шибаетов С.С. и др. Акустооптический измеритель частотно-временных параметров СВЧ-радиосигналов // Специальная техника. – 2011. – № 3. – С. 8-24.
5. Голосовский О.А., Роздобудько В.В. Акустооптический спектроанализатор с микросекундным периодом обзора 500 МГц полосы рабочих частот // Вопросы специальной радиоэлектроники. Общие вопросы радиоэлектроники. – 2011. – Вып. 1. – С. 120-136.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.И. Марчук.

**Волик Денис Петрович** – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: DVLbest@mail.ru; 347922, г. Таганрог, ул. Шевченко, 2; тел.: 88634312482; кафедра радиотехнической электроники.

**Шибяев Станислав Сергеевич** – e-mail: sshib75@mail.ru; лаборатория оптоэлектроники; с.н.с.; к.т.н.

**Помазанов Александр Васильевич** – e-mail: pav\_tsure@mail.ru; кафедра информационной безопасности телекоммуникационных систем; профессор; к.т.н.

**Volik Denis Petrovich** – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: DVLbest@mail.ru; 2, Shevchenko street, Taganrog, 347922, Russia; phone: +78634312482; the department of radioengineering electronics.

**Shibaev Stanislav Sergeyeovich** – e-mail: sshib75@mail.ru; laboratory of optoelectronics; senior scientist; cand. of eng. sc.

**Pomazanov Alexandr Vasilievich** – e-mail: pav\_tsure@mail.ru; the department of telecommunication systems information security; professor; cand. of eng. sc.

УДК 681.3.016

**В.Т. Корниенко**

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВИРТУАЛЬНЫХ ПРИБОРОВ LABVIEW В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ ДЛЯ СКРЕМБЛИРОВАНИЯ ЦИФРОВОГО ПОТОКА ДАННЫХ**

*Целью работы является представление лабораторного практикума на основе технологии виртуальных приборов LabVIEW для выполнения скремблирования цифрового потока данных. Проанализированы разновидности систем скремблер-дескремблер с неизолированными и изолированными от канала связи генераторами псевдослучайных последовательностей бит. Рассмотрены приложения скремблирования цифрового потока данных в системах условного доступа цифрового телевидения и в системах видеонаблюдения при передаче видео высокой четкости с использованием цифрового последовательного интерфейса HD-SDI. Приведена структура скремблер-дескремблер интерфейса SDI и для нее в качестве примера рассмотрены лицевая и диаграммная панели виртуального прибора LabVIEW. В результате проделанной работы были созданы виртуальные приборы, осуществляющие цифровое скремблирование текстовых сообщений, речевых сигналов, jpeg-изображений, а также библиотечные модули (вложенные виртуальные приборы) для осуществления скремблирования разными способами. В итоге использование новых информационных технологий в инженерном образовании позволило реализовать лабораторный практикум для исследования принципов построения цифровых скремблеров.*

*Скремблер; дескремблер; регистр сдвига с линейной обратной связью; система условного доступа; цифровой последовательный интерфейс; виртуальный прибор LabVIEW; лабораторный практикум.*

**V.T. Kornienko**

### **APPLICATION OF LABVIEW VIRTUAL DEVICES IN EDUCATIONAL PROCESS FOR SCRAMBLING OF DIGITAL DATA FLOW**

*The design of LabVIEW's virtual devices of digital scrambler is considered. The purpose of this abstract is the representation of a laboratory practical work on the basis of technology of virtual devices LabVIEW for performance of a digital data flow scrambling. The versions of scrambler systems with generators of pseudo-casual bit sequences which are not isolated and isolated from the communication channel are analyzed. The applications of a digital flow scrambling given in systems of conditional access of a digital video broadcasting and in systems of video registration are considered by transfer of a video of high clearness with use of the digital consecutive interface HD-SDI. The structure scrambler-descrambler of the interface SDI is given and for*