

**УДК 621.396.74**

**ББК 0571.5**

**M435**

**М. А. Межетов**

**Иркутск, Россия**

**С. В. Туринцев**

**Иркутск, Россия**

## **ВЫДЕЛЕНИЕ СИГНАЛОВ ТАКТОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ В СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ РЕЖИМА VDL-2**

Системы автоматизированного обмена данными (АОД) по линии «самолёт–самолёт», «самолёт–земля» получают все более широкое распространение. Автоматизированный обмен данными в таких системах ведётся в ОБЧ диапазоне с использованием режимов VDL-2 или VDL-4 [Вдовин, 2008]. Структура построения приёмников систем АОД предполагает наличие в их составе схемы тактовой синхронизации (ТС), которая может строиться с использованием различных принципов. Выделение сигнала ТС в таких системах осуществляется цифровыми способами. Одним из факторов, от которого зависит качество принимаемой информации в системах VDL-2, является выбор способа восстановления сигнала ТС.

В статье рассмотрен способ выделения сигнала тактовой синхронизации с использованием метода восстановления фронтов, который реализован на базе разработанного авторами программно-аппаратного приёмника. Изучение принципов восстановления ТС в режиме VDL-2 позволит в дальнейшем проводить сравнительный анализ различных способов выделения и формирования сигнала ТС и применять данный программно-аппаратный приёмник для дальнейших исследований.

**Ключевые слова:** VDL-2, системы тактовой синхронизации, детектор Гарднера, скремблер, квадратурные составляющие, программно-аппаратный

приёмник.

**M. A. Mezhetov**

**Irkutsk, Russia**

**S. V. Turincev**

**Irkutsk, Russia**

## **EXTRACTION OF RUN-UP SIGNALS IN SYSTEMS OF INFORMATION COMMUNICATION IN VDL-2 MODE**

Air-to-air and air-to-ground automated data exchange systems are increasingly common. Automated data exchange (ADE) in such systems is conducted in VHF band with the use of VDL-2 или VDL-4 modes [Vdovin, 2008]. The design of ADE receivers implies a clock sync (CS) circuit in their composition which can be constructed differently. A run-up signal in such systems is extracted digitally. One of the factors influencing the quality of received information in VDL-2 systems is selection of a technique of run-up signal regeneration.

The article considers a technique of run-up signal regeneration with use of front reconstruction which is implemented in a hardware-software receiver developed by the authors. Research of CS regeneration principles will enable to conduct a comparative analysis of different techniques of extracting and forming a run-up signal and to apply the hardware-software receiver for further research.

**Key words:** VDL-2, clock sync systems, Gardner detector, scrambler, quadrature components, hardware-software receiver.

Создание комплексной сети авиационной электросвязи является одним из основных направлений технического развития ЕС ОрВД России в области авиационной связи. Сети авиационной электросвязи, имеющие различную архитектуру и использующие разнообразные протоколы и процедуры обмена информацией, являются основной информационной средой для осуществления обслуживания и организации воздушного движения при выполнении полетов гражданской авиации. Связь диспетчеров с воздушными судами (ВС) в зоне

прямой видимости в ОБЧ диапазоне осуществляется с помощью передачи речи и данных с использованием разных режимов и протоколов доступа к каналу связи. Широкое распространение получили режимы VDL-2 и VDL-4.

Режим VDL-2 использует для передачи в ОБЧ-диапазоне 8-позиционную фазовую манипуляцию с дифференциальным кодированием (D8PSK) и приподнято-косинусоидальным формирующим фильтром с  $\alpha=0,6$  [Авиационная электросвязь. Том 3 Системы связи URL: [http://airspot.ru/book/file/585/an10\\_v3\\_cons\\_ru.pdf](http://airspot.ru/book/file/585/an10_v3_cons_ru.pdf); Скляр, 2003]. Подлежащая передаче информация дифференциально кодируется 3-мя битами на символ, передаваемыми за счет изменений по фазе. Символьная скорость составляет 10500 Бод, которые при 3-х битах на символ дают информационную скорость передачи 31500 бит/с, в канале с сеткой частот 25 кГц.

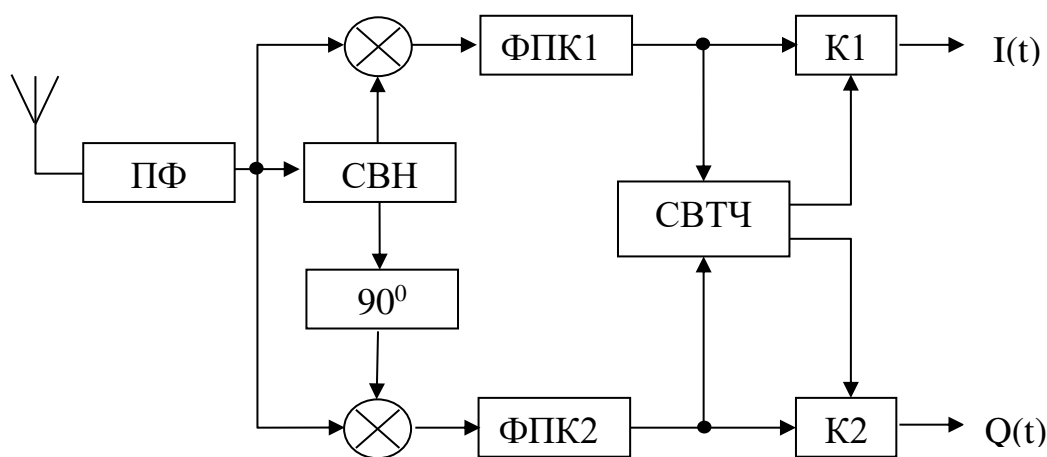
Отличительной особенностью режима VDL-2 является возможность не только контроля сообщения на уровне целостности, но и прямого исправления ошибок. Данное преимущество обеспечивается кодированием кадра данных кодом Рида-Соломона, что позволяет не все искаженные сообщения передавать повторно.

Передача цифровых данных в режиме VDL-4 осуществляется в стандартном 25 кГц ОБЧ канале связи со скоростью 19,200 кбит/с, используя Гауссову частотную манипуляцию (GFSK). В VDL-4 время для передачи информации разделено на большое количество коротких слотов фиксированной длины, каждый из которых может использоваться радиотранспондерами, устанавливаемыми на ВС или в составе стационарных наземных станций для передачи данных [Клёсова, 2012].

В цифровых системах радиосвязи используются специальные виды модуляции, отличающиеся от аналоговых. Это вызвано как особенностями цифрового сигнала, позволяющего использовать более эффективные функциональные зависимости между модулируемым и модулирующим сигналами, так и необходимостью обеспечения электромагнитной совместимости с другими существующими системами связи. К приёмникам в таких системах предъявляются по-

вышенные требования к точности восстановления несущей и точности восстановления сигналов тактовой синхронизации. Один из возможных вариантов реализации приемника режима VDL-2 представлен на *рис. 1* [Феер, 2000]. В состав приемника входит: ПФ – полосовой фильтр; СВН – схема восстановления несущей; СВТЧ – схема восстановления тактовой частоты; К1, К2 – ключи; ФПК1, ФПК2 – фильтры с характеристикой «приподнятый косинус».

Особенностью приёмников, применяемых в цифровых системах радиосвязи, является наличие в их составе системы восстановления несущей (СВН) и системы восстановления тактовой частоты (СВТЧ) (*рис. 1*).



*Рис. 1.* Структурная схема приёмника VDL-2

СВТЧ предназначена для формирования тактовых импульсов, которые синхронизируют работу цифровых схем при обработке сигналов VDL режима 2, и служит для формирования отсчетных тактовых импульсов, которые обеспечивают взятие отсчетов сигнала на выходе согласованных фильтров (ФПК1, ФПК2) в моменты максимума отношения сигнал/шум. В процессе демодуляции цифровых сигналов система ТС обеспечивает правильный выбор отсчетных моментов. Эта задача решается путем подстройки тактового генератора сигналом погрешности, формируемым специальным детектором. Существует несколько систем ТС: системы ТС с восстановлением фронтов; системы ТС с отстающим и опережающим отсчетами; система ТС с детектором погрешности Гарднера [Иващенко, 2012].

Работа системы ТС с восстановлением фронтов основана на свойствах циф-

рового сигнала изменять свой знак на выходе ФПК1, ФПК2. Этот факт используется для получения опорного гармонического колебания, частота и начальная фаза которого соответствуют тактовой частоте. Для нормальной работы такой системы необходимо, чтобы данные, передаваемые по радиоканалу, предварительно подверглись операции скремблирования, которая устраняет длительные последовательности одинаковых символов путем добавления к цифровому сигналу псевдослучайной последовательности. В системах VDL-2 применяется скремблер с образующим полиномом [Авиационная электросвязь. Том 3. Системы связи URL: [http://airspot.ru/book/file/585/an10\\_v3\\_cons\\_ru.pdf](http://airspot.ru/book/file/585/an10_v3_cons_ru.pdf)]:

$$G(x) = 1 + x + x^{15}.$$

Скремблированные данные позволяют получить в системе ТС с восстановлением фронтов отклик сигнала на символьной частоте, который с точностью до фазы привязан к входным данным, поступающим на приёмник. Это позволяет точно отслеживать моменты тактирования ключей К1 и К2. СВТЧ управляет ключами К1 и К2 так, чтобы они открывались только в моменты времени поступления трибитов.

В системах ТС с отстающими и опережающими отсчетами используется такое свойство, что два отсчета, взятые с ФПК1 или ФПК2 раньше и позже отсчета, по которому выносится решение, равны друг другу. Если же отсчет, по которому выносится решение, берётся не в истинный отсчетный момент, то отсчёты, взятые на время раньше и позже отсчета, по которому выносится решение, будут отличаться, и знак их разности однозначно укажет положение истинного отсчетного момента. Частота дискретизации в таких системах должна быть в три раза больше, чем в системах ТС с восстановлением фронтов.

Система ТС с детектором погрешности Гарднера работает по следующему принципу: на каждом такте берётся отсчёт посреди тактового интервала  $P(n-1/2)$  и если  $P(n-1/2) = 0$ , то отсчеты, по которым выносится решение, берутся в истинные отсчётные моменты, в противном случае формируется сигнал погрешности:

$$e(n) = P(n-1/2) \{ \text{sign}[P(n)] - \text{sign}[P(n-1)] \},$$

где  $P(n)$  – отсчёт, по которому выносится решение на заданном тактовом интервале;

$P(n-1)$  – отсчёт, по которому выносится решение на предыдущем тактовом интервале;

$sign[x]$  – функция определения знака.

В этих системах частота взятия отсчётов должна быть вдвое больше тактовой частоты.

В работе реализована система ТС с восстановлением фронтов. Исходные данные формировались аппаратной частью системы на базе широкополосного SDR (Software-definedradio) приёмника, в состав которого входит аналого-цифровой преобразователь RTL2832U и модуль понижения частоты R820T. На вход SDR приёмника поступал реальный сигнал, формируемый локальной контрольно-корректирующей станцией ЛККС-2000, расположенной в аэропорту Иркутск. ЛККС формирует и передаёт дифференциальные поправки потребителям, для повышения точности определения их местоположения [Скрыпник, 2014]. Обработка полученных данных велась с использованием программной среды LabView 2010 [Суранов, 2007].

Структурная схема системы ТС с восстановлением фронтов изображена на *рис. 2*. В её состав входит формирователь меандрового сигнала  $Sign(x_i)$ , дифференцирующее устройство  $d/dt$ , устройство вычисления абсолютного значения  $|\bullet|$ , полосовой фильтр ПФ и формирователь прямоугольных импульсов ФПИ. Сигнал с выхода фильтров ФПК1 или ФПК2 (*рис. 3*) поступает на формирователь меандрового сигнала, который формирует разнополярные напряжения, показанные на *рис. 4*.

В дифференцирующем устройстве меандровый сигнал преобразуется в серию коротких разнополярных импульсов, изображённых на *рис. 5*, которые, пройдя через устройство вычисления абсолютного значения, преобразуются в короткие однополярные импульсы (*рис. 6*), в спектре которых формируется составляющая на символьной скорости, привязанная по фазе к входному сигналу (*рис. 7*). Задачей полосового фильтра является выделение этой составляющей

(рис. 8), представляющей собой напряжение синусоидальной формы, поступающее на формирователь прямоугольного напряжения, с выхода которого сигнал подаётся на ключи К1, К2 (рис. 9).

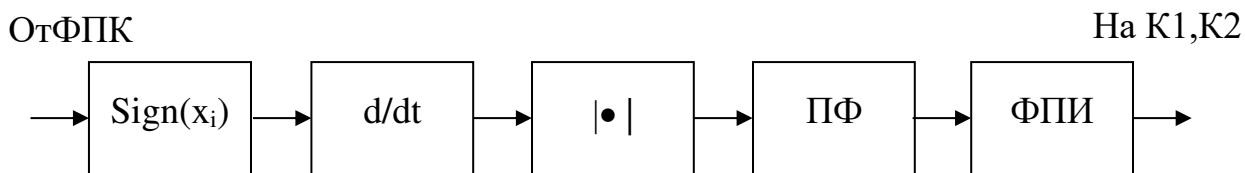


Рис. 2. Структурная схема системы ТС с восстановлением фронтов

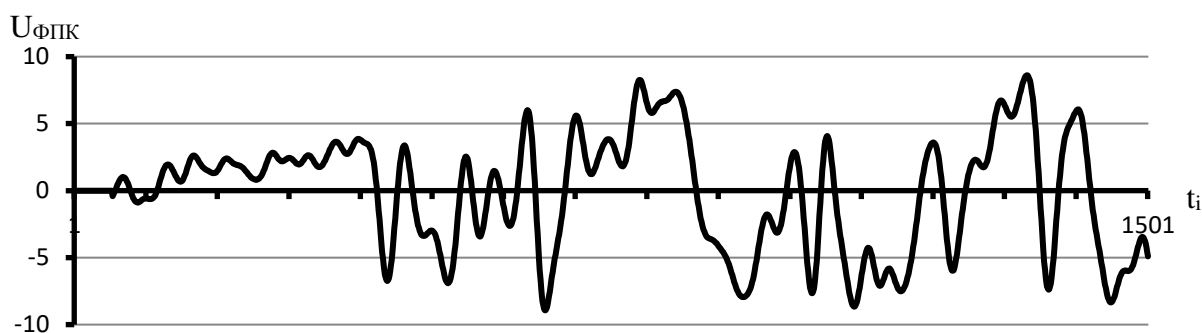


Рис. 3. Выходной сигнал с ФПК1

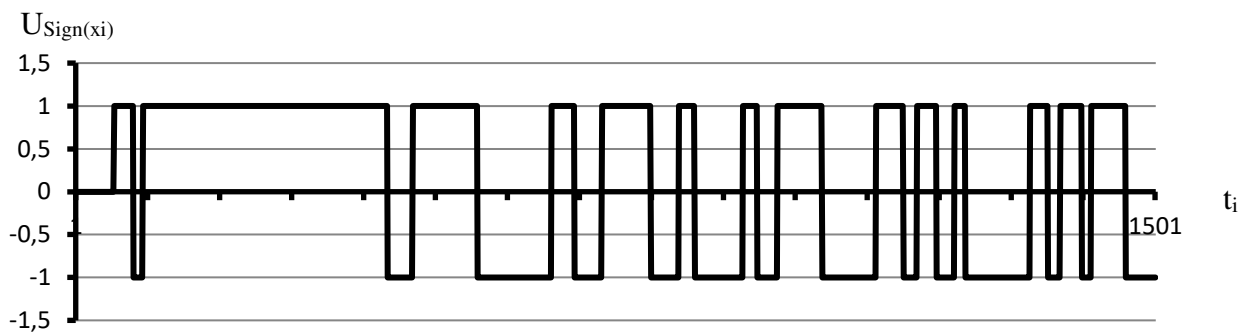


Рис. 4. Сигнал на выходе  $Sign(x_i)$

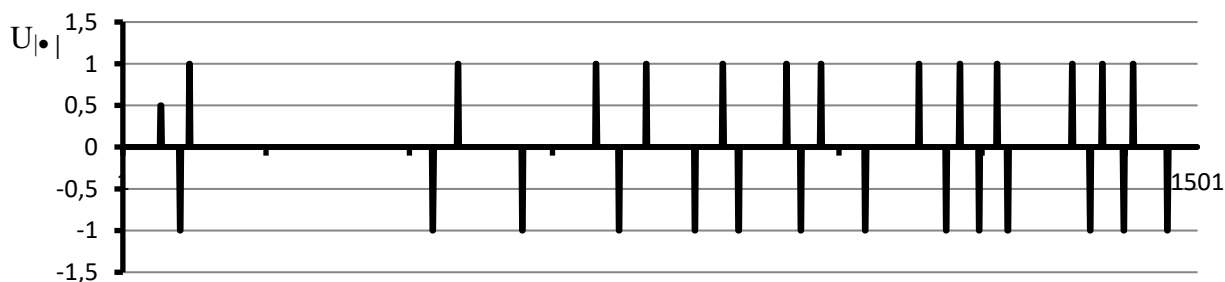


Рис. 5. Выходной сигнал дифференцирующего устройства

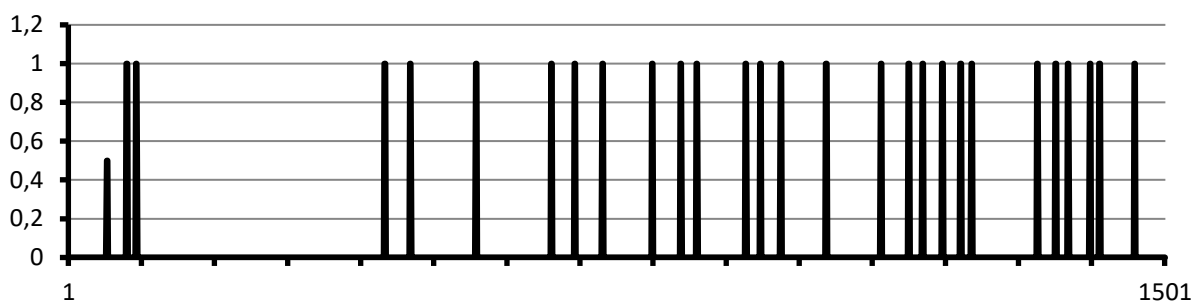


Рис. 6. Сигнал на выходе устройства вычисления абсолютного значения

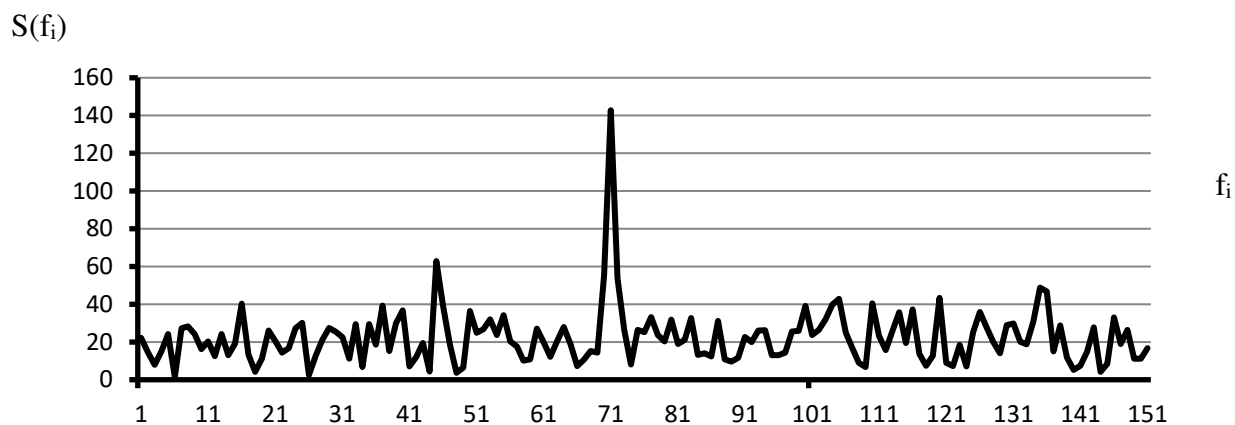


Рис. 7. Составляющая спектра на символьной скорости

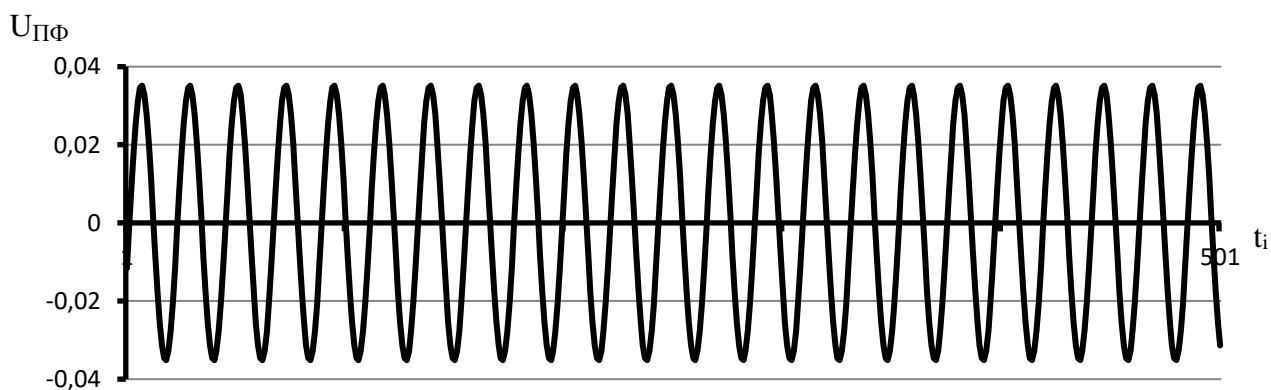
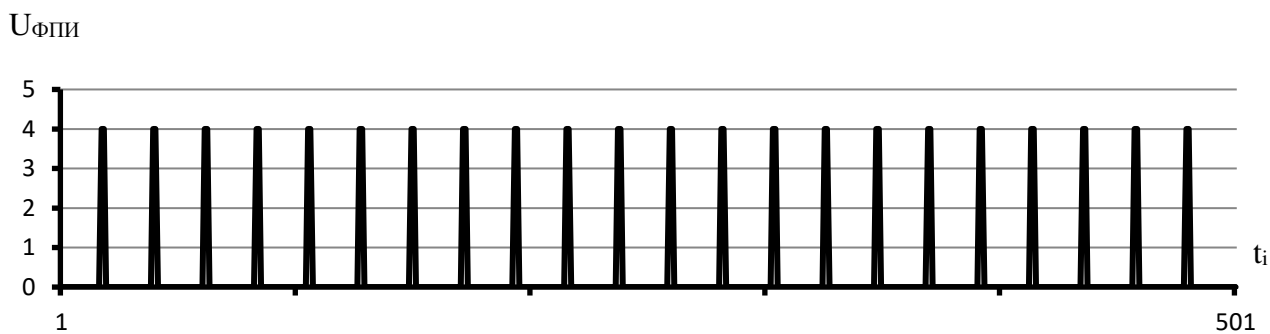


Рис. 8. Выходное напряжение полосового фильтра





### Рис. 9. Импульсы тактовой синхронизации

Таким образом, в работе был реализован алгоритм восстановления сигналов ТС, использующий способ восстановления фронтов, который позволяет выделять и формировать из принимаемого реального радиосигнала импульсы синхронизации, привязанные по фазе к входному сигналу. Неточное восстановление импульсов ТС ведёт к ухудшению отношения сигнал/шум в приёмнике, за счет того, что взятие отсчетов происходит не в точках максимума выходного сигнала ФПК.

Данная работа базируется на программно-аппаратном способе приёма и обработки сигнала, который на современном этапе развития радиоприёма считается наиболее перспективным. Разработанный программно-аппаратный модуль в дальнейшем может быть использован для исследования точности и других известных способов восстановления импульсов ТС.

#### Библиографический список

1. Авиационная электросвязь. Т. 3. Системы связи // Приложение 10 к Конвенции о международной гражданской авиации, 2-е изд. 2007. 276 с. // [Электронный ресурс]. – 2007. URL: [http://airspot.ru/book/file/585/an10\\_v3\\_cons\\_ru.pdf](http://airspot.ru/book/file/585/an10_v3_cons_ru.pdf) (дата обращения: 22.01.2017).
2. Вдовин Л. М. Новые информационные технологии для автоматизированных систем управления воздушным движением / Л. М. Вдовин, С. А. Худяков // Научный Вестник Московского государственного института радиотехники, электроники и автоматики. 2008. № 2(5). С. 11–16.
3. Иващенко П. В. Радиоавтоматика: учеб. пособ. к изучению дисциплины «Радиоавтоматика» / П. В. Иващенко, В. А. Голощапов. Одесса: ОНАС им. А. С. Попова, 2012. 72 с.
4. Клёсова Ю. В. Стенд для сертификационных испытаний транспондеров VDL mode 4 // Материалы Международной научно-технической конференции. Московский технический университет связи и информатики // [Электронный ресурс]. – 2012. URL: <http://www.conf.mirea.ru/CD2012/pdf/p7/7.pdf> (дата обращения: 2.02.2017).
5. Суранов А. Я. Labview 8.20: Справочник по функциям. М.: ДМК Пресс, 2007. 536 с.
6. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Изд. 2-е, испр. / Пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. 1104 с.
7. Скрытник О. Н. Радионавигационные системы воздушных судов. М.: Инфра-М, 2014. 348 с.
8. Феер К. Беспроводная цифровая связь. М.: Радио и связь, 2000. 514 с.

## References

1. Aeronautical telecommunication. V. 3. Communication systems // Application 10 to Convention on International Civil Aviation, 2<sup>nd</sup> ed. 2007. 276 p. // [Electronic source]. – 2007. URL: [http://airspot.ru/book/file/585/an10\\_v3\\_cons\\_ru.pdf](http://airspot.ru/book/file/585/an10_v3_cons_ru.pdf) (accessed date: 22.01.2017). (In Russian).
2. *Vdovin L. M.* (2008). New IT for automated ATC systems / L. M. Vdovin, S. A. Hudjakov // Scientific Bulletin of Moscow State University of Radio engineering, Electronics and Automatics. 2008. № 2(5). P. 11–16. (In Russian).
3. *Ivashhenko P. V.* (2012). Radio Automatics: textbook for Radio automatics study / P. V. Ivashhenko, V. A. Goloshhapov. Odessa: ONAC named after A. S. Popov, 2012. 72 p. (In Russian).
4. *Kljosova Ju. V.* (2012). Stand for certification tests of transponders VDL mode 4 // Materials of International science and technology conference. Moscow state technical university of communication and informatics // [Electronic source]. – 2012. URL: <http://www.conf.mirea.ru/CD2012/pdf/p7/7.pdf> (accessed date: 2.02.2017). (In Russian).
5. *Suranov A. Ja.* (2007). Labview 8.20: Reference book about functions. M.: DMK Press, 2007. 536 p. (In Russian).
6. *Skljjar B.* (2003). Digital communications. Theoretical basis and practical application / Ed. 2<sup>nd</sup>, cor. / Trans. from English. M.: Publishing house «Williams», 2003. 1104 p. (In Russian).
7. *Skrypnik O. N.* (2014). Radio navigational systems of aircrafts. M.: INFRA-M, 2014. 348 p. (In Russian).
8. *Feer K.* (2000). Wireless digital communications. M.: Radio and Communication, 2000. 514 p. (In Russian).