

А. В. Затылкин¹, Д. А. Голушко¹, А. С. Горбунов¹

¹ Научно-производственное предприятие «Рубин»

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПАССИВНЫХ СИСТЕМ ВИБРОИЗОЛЯЦИИ ДЛЯ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ СУХОПУТНОГО БАЗИРОВАНИЯ

Проведен анализ виброизоляторов типа АПН и ВТС с целью оценки эффективности их работы в составе пассивной системы виброизоляции наземных подвижных объектов сухопутного базирования. На основе рассматриваемых виброизоляторов проработаны два варианта систем пассивной виброизоляции изделия «Урал-12» производства НПП «Рубин». Проведены теоретические (статический и динамический) расчеты систем пассивной виброизоляции на различных типах виброизоляторов (АПН и ВТС), показавшие одинаковую эффективность виброизоляторов. Для обоснования выбора наиболее эффективной системы пассивной виброизоляции проведены экспериментальные исследования, по результатам которых установлено, что пассивная система виброизоляции на основе виброизоляторов типа ВТС обладает большей эффективностью в нижней части рабочего диапазона частот. Даны рекомендации к использованию пассивной системы виброизоляции на основе виброизоляторов типа ВТС.

Ключевые слова: пассивная система виброизоляции, электронные средства, эксперимент, внешнее вибрационное воздействие, амплитудно-частотные характеристики.

Введение

Радиоэлектронная аппаратура (РЭА), устанавливаемая на подвижные объекты, подвержена негативному влиянию внешних воздействующих факторов, в том числе вибрации, источниками которой являются работающий двигатель, трансмиссия, дизель-генераторная установка и др. Воздействие вибрации опасно тем, что при совпадении частоты внешнего вибрационного воздействия и собственной частоты РЭА возникает явление механического резонанса, приводящего к отказу РЭА [1, 2].

Для обеспечения отсутствия собственных частот РЭА в области диапазона рабочих частот и исключения появления резонанса используют различные методы конструирования и проектирования РЭА [2–4]. Однако практика разработки РЭА показывает, что обеспечить отсутствие собственных частот конструкции РЭА и ее компонентов в диапазоне рабочих частот и обойтись без использования системы виброизоляции оказывается не всегда возможным.

При проектировании системы виброизоляции возникает вопрос выбора конкретного типа виброизолятора (ВИ), обеспечивающего эффективную защиту РЭА. При этом необходимо учесть не только массогабаритные показатели РЭА, но и параметры внешнего вибрационного воздействия, параметры окружающей среды и конструктивные особенности

самих виброизоляторов. Существующие методики расчета систем виброизоляции [5–7] позволяют рассчитать нагрузку на каждый ВИ, но не дают прямых рекомендаций по выбору конкретного типа, поэтому вопрос выбора эффективных ВИ, соответствующих условиям эксплуатации подвижных объектов сухопутного базирования, является актуальным.

Анализ существующих виброизоляторов пассивных систем виброизоляции подвижных объектов

Для защиты бортовой РЭА от внешних вибрационных воздействий широкое распространение получили активные и пассивные системы виброзащиты (ПСВ). ПСВ, в отличие от активных систем виброзащиты, являются энергонезависимыми и обладают более низкой стоимостью.

Конструктивно ПСВ представляют собой набор ВИ, установленных согласно классическим схемам размещения [5–7], и компенсирующих прокладок, используемых в случае смещения центра масс объекта виброзащиты в плоскости OZ от его геометрического центра. В отдельных случаях, несмотря на удорожание ПСВ, оправдано применение установочной платформы, предназначенной для повышения жесткости конструкции объекта виброзащиты и/или обеспечения возможности его установки на ПСВ при отсутствии штатных креплений.

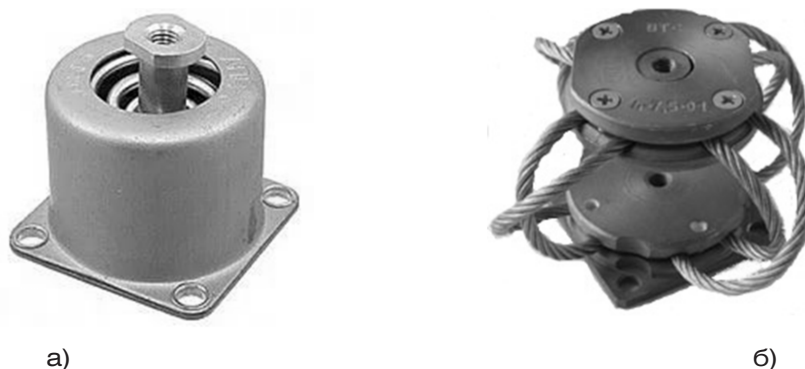


Рисунок 1. Внешний вид равночастотных ВИ типа АПН (а) и неравночастотных ВИ типа ВТС (б)

Таблица. Основные технические характеристики ВИ

Тип ВИ	Синусоидальная вибрация		Резонансная частота, Гц	Коэффициент динамичности (на резонансной частоте)
	Диапазон частот, Гц	Амплитуда ускорения, м/с ²		
АПН	30–2000	39,2	17–24 (в зависимости от номинала ВИ)	1,9–2,1
ВТС	5–2000	58,8	Зависит от массы нагрузки и номинала ВИ	1,5–3,0

В настоящее время в ПСВ подвижных объектов наиболее распространены равночастотные ВИ типа АПН и неравночастотные ВИ типа ВТС, внешний вид которых показан на рис. 1а и 1б соответственно. Основные технические характеристики представлены в таблице.

Виброизоляторы пространственного нагружения типа АПН (рис. 1а) предназначены для работы при нагрузках, действующих как вдоль оси виброизолятора, так и в поперечном направлении или под углом. Упругий элемент виброизолятора состоит из двух конических пружин одинаковой жесткости и, следовательно, имеет симметричную характеристику. Профиль пружин обеспечивает равночастотность виброизолятора. Под нижней пружиной установлена сетчатая подушка – ограничитель ударных нагрузок.

Демпфирование колебаний осуществляется с помощью фрикционного демпфера. Продольные колебания демпфируются за счет трения сухарей демпфера о стенки корпуса виброизолятора, поперечные – за счет их трения об опорные шайбы.

Применение равночастотных ВИ типа АПН, поддерживающих постоянную собственную частоту при разных массах виброизолируемого оборудования, резко сокращает их номенклатуру и упрощает монтаж оборудования [6].

В виброизоляторах типа ВТС (рис. 1б) в качестве упругого элемента используется трос, состоящий из нескольких металлических жил,

обеспечивающий за счет специального метода свивки эффективное снижение вибрационных и ударных нагрузок во всех направлениях. Недостатком ВИ типа ВТС является нестабильность их эксплуатационных свойств в условиях длительных статических и динамических нагрузок.

Проведенный анализ показал, что в основе рассматриваемых ВИ лежат различные принципы действия, при этом они имеют подобные характеристики, работают в схожих условиях и пригодны для применения в ПСВ подвижных объектов. Для обоснования правильности выбора ВИ проведен теоретический расчет ПСВ на ВИ типа АПН и типа ВТС, а также экспериментальные исследования эффективности работы ПСВ на обоих типах ВИ.

Расчеты эффективности виброизоляции ПСВ

Вопрос выбора виброизоляторов рассмотрен на примере проектирования ПСВ для изделия «Урал-12» (модель 5012), предназначенного для эксплуатации в условиях группы 1.10 (Аппаратура, предназначенная для работы во временных сооружениях или на открытом воздухе) по ГОСТ РВ 20.39.304–98.

Целью работ по созданию новой ПСВ было обеспечение эксплуатации изделия в более жестких условиях – группы исполнения 1.4.1 (Аппаратура, устанавливаемая в любом месте объекта, кроме моторно-трансмиссионного отделения) группы 1.4 (Аппаратура объектов на колесных и гусеничных

шасси с противопульным бронированием, не имеющих артиллерийско-минометного вооружения).

В ходе выполнения работ была спроектирована специализированная ПСВ, в качестве ВИ для которой были использованы ВИ типа АПН и ВТС. Выбор схемы виброизоляции, определение типа ВИ (статический расчет) и оценка эффективности ПСВ (динамический расчет) проводились согласно известной методике [5, 7].

Исходные данные, принятые для расчета, следующие:

- Масса изделия «Урал-12» с промышленными разъемами (без адаптеров питания, с аккумуляторной батареей) – 7 кг.
- Габаритные размеры (с закрытой крышкой дисплея) – 410×334×75 мм.
- Масса переходной платформы – 5 кг.
- Частота внешнего воздействия (синусоидальная вибрация) – 5–500 Гц.
- Амплитуда внешнего воздействия (синусоидальная вибрация) – 50 м/с² (5 g).

При проектировании выбрана схема с минимальным количеством ВИ – четыре равнонагруженных виброизолятора, находящихся в горизонтальной плоскости, симметрично геометрическому центру ПСВ.

В качестве ВИ для ПСВ во время расчетов были выбраны АПН-4 и ВТС-4. Внешний вид ПСВ на ВИ типа ВТС-4 с изделием «Урал-12» показан на рис. 2.

Известно, что ПСВ с установленной РЭА образует колебательную систему, обладающую собственной резонансной частотой, находящейся, как правило, в нижней части рабочего диапазона



Рисунок 2. Внешний вид изделия «Урал-12» на ПСВ с ВИ типа ВТС-4

частот [8, 9]. Оценку эффективности полученной колебательной системы с различными типами ВИ проводили согласно формуле

$$\Xi = (1 - \eta) \cdot 100\%,$$

где η – коэффициент динамичности системы, равный

$$\eta = \sqrt{1 + 4\beta^2 v^2} / \sqrt{(1 - v^2)^2 + 4\beta^2 v^2},$$

где $\beta = 0,05\text{--}0,5$ – коэффициент демпфирования; v – относительная частота или частотное отношение, равное

$$v = f_{\text{ВВ}} / f_{0_П\text{СВ}},$$

где $f_{\text{ВВ}}$ – частота внешнего воздействия; $f_{0_П\text{СВ}}$ – основная собственная частота ПСВ.

Статический и динамический расчеты дали схожие результаты эффективности виброизоляции ПСВ, построенной как на основе ВИ типа АПН, так и на основе ВИ типа ВТС. Эффективность ПСВ на виброизоляторах типа АПН-4 (на 10 Гц) составила 78%, а на виброизоляторах типа ВТС-4 (на 10 Гц) – 82%.

Однако практика применения рассматриваемых ВИ показывает, что в области нижних частот эффективность их работы различна [10, 11]. Для проверки расчетов, выполненных при проектировании, и выявления наиболее эффективной ПСВ были проведены экспериментальные исследования ПСВ на обоих типах ВИ.

Экспериментальные исследования ПСВ

Экспериментальные исследования ПСВ с различными типами ВИ заключались в определении динамических характеристик колебательной системы, состоящей из ПСВ и объекта виброзащиты. Объект виброзащиты – изделие «Урал-12» (в закрытом виде). Исследования проводились согласно методике испытаний, изложенной в ГОСТ РВ 20.57.305–98, в испытательном центре НПП «Рубин». Полученные результаты в виде амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) ПСВ на основе ВИ типа АПН и ВТС показаны на рис. 3 и 4 соответственно.

Из приведенной акселерограммы (рис. 3) видно, что частота системы РЭА с ПСВ на ВИ типа АПН (рис. 4) находится в районе 17–24 Гц, что при коэффициенте динамичности $\eta \approx 3$ приводит к передаче на РЭА вибрационного воздействия с высоким уровнем амплитуд – до 140 м/с² (14 g).

Поэтому применение ВИ типа АПН в составе ПСВ наземных подвижных объектов, соответствующих группе 1.4 по ГОСТ РВ 20.39.304–98, возможно при условии отсутствия собственных частот РЭА ($f_{0_РЭА}$) в области собственных частот полученной

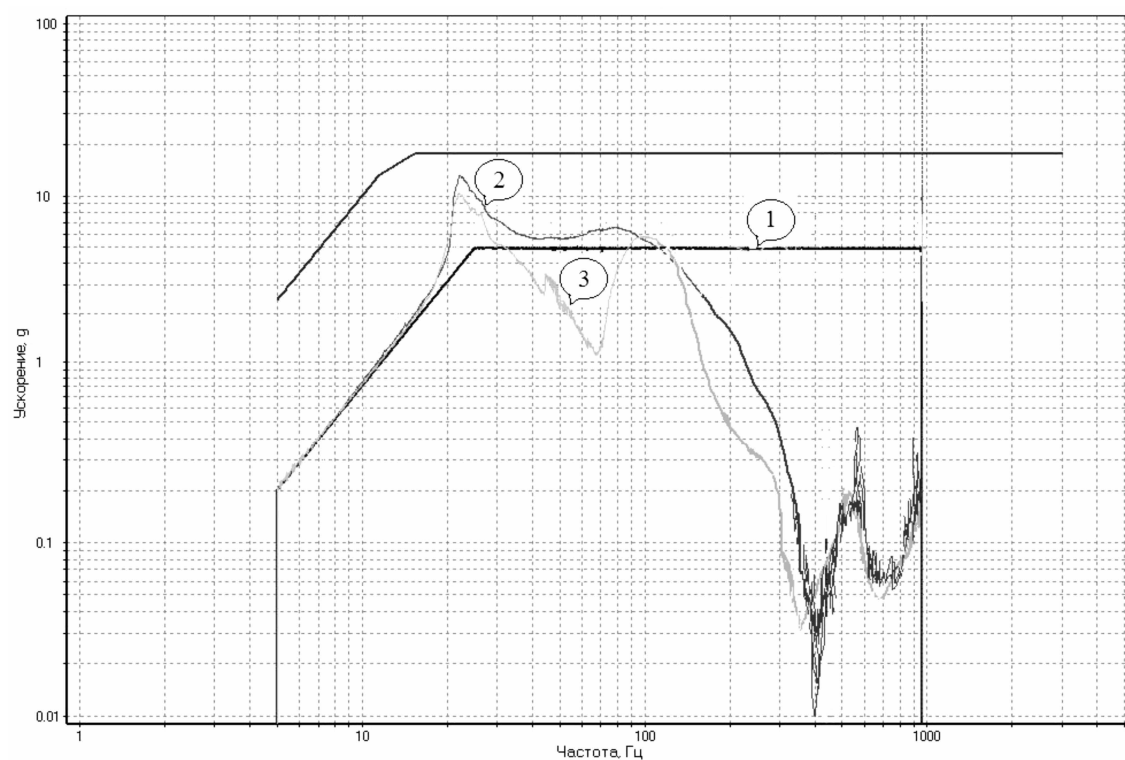


Рисунок 3. АЧХ ПСВ на основе ВИ типа АПН: 1 – внешнее вибрационное воздействие; 2 – вибрации в основной контрольной точке, расположенной в геометрическом центре верхней части объекта виброзащиты; 3 – вибрации в дополнительных контрольных точках, расположенных на противоположных углах верхней части объекта виброзащиты

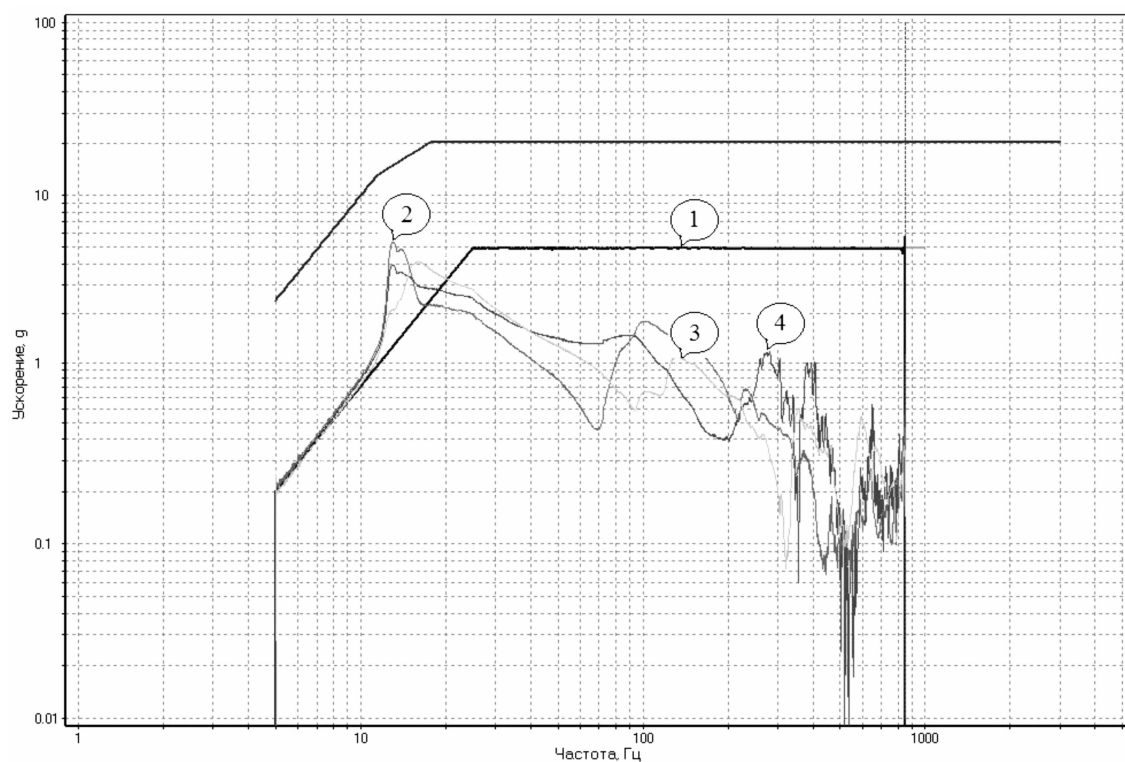


Рисунок 4. АЧХ ПСВ на основе ВИ типа ВТС: 1 – внешнее вибрационное воздействие; 2 – вибрации в основной контрольной точке, расположенной в геометрическом центре верхней части объекта виброзащиты; 3, 4 – вибрации в дополнительных контрольных точках, расположенных на противоположных углах верхней части объекта виброзащиты

колебательной системы ($f_{0_{\text{ВИ}}}$), т.е. при выполнении условия

$$f_{0_{\text{РЭА}}} \geq \sqrt{2} f_{0_{\text{ВИ}}}.$$

Учитывая, что собственные частоты ВИ типа АПН лежат в пределах 17–24 Гц, собственные частоты РЭА и ее элементов должны быть выше 34 Гц, т.е. при использовании ВИ типа АПН необходимо, чтобы РЭА и ее конструктивные элементы обладали требуемой прочностью и жесткостью при воздействии вибрации в диапазоне частот 17–24 Гц.

Экспериментальные исследования системы РЭА с ПСВ на ВИ типа ВТС-4 (см. рис. 4) показали, что резонансная частота системы находится в районе 12–14 Гц и имеет коэффициент динамичности $\eta \approx 4$. Это обеспечивает передачу на РЭА вибрационного воздействия с амплитудой не более 50 м/с² (5g) во всем диапазоне частот и позволяет существенно снизить требования к прочности и жесткости РЭА и ее конструктивных элементов на резонансных частотах.

Таким образом, система РЭА с ПСВ на ВИ типа ВТС-4, несмотря на большой коэффициент динамичности, обеспечивает передачу на РЭА меньшей (в 2,8 раза) амплитуды вибрационного воздействия,

что делает применение ВИ типа ВТС предпочтительным.

Выводы

В статье рассмотрен вопрос выбора ВИ для ПСВ подвижных объектов сухопутного базирования на примере разработки ПСВ, предназначенной для защиты изделия «Урал-12» производства НПП «Рубин» от внешних вибрационных воздействий, соответствующих группе исполнения 1.4.1 ГОСТ РВ 20.39.304–98. Разработанные ПСВ основаны на ВИ типа АПН и ВТС. Сравнительный анализ результатов экспериментальных исследований АЧХ двух колебательных систем на основе ПСВ с различными типами ВИ позволил сделать следующие выводы:

- Применение ВИ типа ВТС целесообразно для виброизоляции РЭА в составе наземных подвижных объектов.
- Применение ВИ типа АПН в ПСВ подвижных объектов сухопутного базирования целесообразно лишь при наличии высокой жесткости и прочности конструкции виброизолируемой РЭА и отсутствии собственных частот (РЭА и ее конструктивных элементов) в низкочастотной области рабочего диапазона частот.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Талицкий Е. Н. Защита электронных средств от механических воздействий. Владимир: Владимирский государственный университет, 2001. 256 с.
2. Юрков Н. К., Затылкин А. В., Кочегаров И. И. Методы и средства проектирования высоконадежных электронных средств / под ред. проф. Н. К. Юркова. Пенза: Изд-во ПГУ, 2014. 266 с.
3. Данилов М. М. Метод оптимального проектирования конструкций радиотехнических устройств на виброизоляторах: дис. ... канд. техн. наук. Ковров, 2002. 168 с.
4. Федоров В., Сергеев Н., Кондрашин А. Контроль и испытания в проектировании и производстве радиоэлектронных средств. М.: Техносфера, 2005. 504 с.
5. Белоусов О. А., Кольтюков Н. А., Грибков А. Н. Основные конструкторские расчеты в РЭС. Тамбов: Изд-во Тамбовского государственного технического университета, 2007. 84 с.
6. Ильинский В. С. Защита РЭА и прецизионного оборудования от динамических воздействий. М.: Радио и связь, 1982. 296 с.
7. Гареев В. М., Петрова О. Н. Анализ систем амортизации с одной степенью свободы при воздействии вибрации [Электронный ресурс]. URL: <http://www.docplayer.ru/35851484-Analiz-sistem-amortizacii-s-odnoy-stepenyu-svobody-pri-vozdeystvii-vibracii.html> (дата обращения: 00.00.0000)
8. Затылкин А. В., Голушко Н. В., Ольхов Д. В. Устройство для исследования влияния инерционной и деформационной составляющих внешнего вибрационного воздействия // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. 2015. № 18. С. 380–383.
9. Голушко Д. А., Затылкин А. В., Калашников В. С. Методика прогнозирования ресурса электрорадиоэлементов печатного узла в условиях внешних вибрационных воздействий // Вопросы радиоэлектроники. 2015. № 6 (6). С. 105–112.
10. Першин Е. О., Шалумов А. С. Анализ механических процессов в электрорадиоизделиях с произвольными вариантами установки на печатных платах // Системные проблемы надежности, качества, информационно-телекоммуникационных и электронных технологий в управлении инновационными проектами (Инноватика-2010) // Материалы Международной конференции и Российской научной школы. М.: Энергоатомиздат, 2010. Ч. 1. С. 63–65.
11. Кутровский П. В. Исследование и разработка виброзащиты радиотехнических устройств методом частотной отстройки: дис. ... канд. техн. наук. Владимир, 2009. 136 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Затылкин Александр Валентинович, к.т.н., ведущий инженер, АО «Научно-производственное предприятие «Рубин», 440000, Пенза, ул. Байдукова, д. 2, тел.: 8 (8412) 20-47-57, e-mail: al.zatylikin@yandex.ru.

Голушко Дмитрий Александрович, к.т.н., начальник сектора, АО «Научно-производственное предприятие «Рубин»», 440000, Пенза, ул. Байдукова, д. 2, тел.: 8 (8412) 20-47-57, e-mail: dmitgoluschko@yandex.ru.

Горбунев Алексей Сергеевич, начальник сектора, АО «Научно-производственное предприятие «Рубин»», 440000, Пенза, ул. Байдукова, д. 2, тел.: 8 (8412) 20-89-75, e-mail: a.s.gorbunov@gmail.com.

For citation: Zatytkin A. V., Goluschko D. A., Gorbunov A. S. Experimental investigations of the efficiency of passive vibroisolation systems for mobile objects of land-based baseing. Voprosy radioelektroniki, 2017, no. 12, pp.

A. V. Zatytkin, D. A. Goluschko, A. S. Gorbunov

EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF THE EFFICIENCY OF PASSIVE VIBROISOLATION SYSTEMS FOR MOBILE OBJECTS OF LAND-BASED BASEING

The analysis of vibration isolators such as APN and VTS with the purpose of assessing the effectiveness of their work in the passive system of vibration isolation of land mobile objects of land based. On the basis of the vibration isolators under consideration, two versions of passive vibration isolation systems for the Ural-12 product manufactured by JSC SPE Rubin have been developed. Theoretical (static and dynamic) calculations of passive vibration isolation systems on various types of vibration isolators (APN and VTS) have been carried out, showing the same efficiency of vibration isolators. To substantiate the choice of the most effective system of passive vibration isolation, experimental studies have been conducted, according to which it was established that a passive vibration isolation system based on VTS-type vibration isolators has greater efficiency in the lower part of the operating frequency range. Recommendations are given for the use of a passive vibration isolation system based on vibration isolators of the VTS type.

Keywords: passive system of vibration isolation, electronic means, experiment, external vibration influence, amplitude-frequency characteristics.

REFERENCES

1. Talitskiy E. N. *Zashhita jelektronnyh sredstv ot mehanicheskikh vozdeystvij* [Protection of electronic means from mechanical effects]. Vladimir, Vladimirskiy gosudarstvenny universitet, 2001, 256 p. (In Russian).
2. Юрков Н. К., Затылкин А. В., Кочегаров И. И. Methods and means of designing highly reliable electronic means / под ред. проф. Н. К. Юркова. Пенза: Издательство ПГУ, 2014, 266 с. (In Russian).
3. Danilov M. M. Method of optimal design of structures of radio engineering devices on vibration isolators. Dis. ... kand. tehn. nauk. Kovrov, 2002, 168 p. (In Russian).
4. Fedorov V., Sergeev N., Kondrashin A. *Kontrol i ispytaniya v proektirovanii i proizvodstve radioelektronnyh sredstv* [Control and testing in design and manufacture of radio electronic means]. Moscow, Tekhnosfera Publ., 2005, 504 p. (In Russian).
5. Belousov O. A., Kolyukov N. A., Gribkov A. N. *Osnovnye konstruktorskie raschety v RJeS* [Basic design estimates in RES]. Tambov, Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta Publ., 2007, 84 p. (In Russian).
6. Ilinskiy V. S. *Zashhita RJeA i precizionnogo oborudovaniya ot dinamicheskikh vozdeystvij* [Protection of REE and precision equipment from dynamic effects]. Moscow, Radio i svyaz Publ., 1982, 296 p. (In Russian).
7. Gareev V. M., Petrova O. N. [Analysis of amortization systems with one degree of freedom affected by vibration] (In Russ.) Available at: <http://www.docplayer.ru/35851484-Analiz-sistem-amortizacii-s-odnoy-stepenyu-svobody-pri-vozdeystvii-vibracii.html> (accessed 00.00.0000)
8. Zatytkin A. V., Golushko N. V., Olhov D. V. A device for investigating the influence of the inertial and deformation component of an external vibration action. *Novye informacionnye tehnologii v avtomatizirovannyh sistemah*, 2015, no. 18, pp. 380–383 (In Russian).
9. Golushko D. A., Zatytkin A. V., Kalashnikov V. S. Methods for predicting the life of electrical radio elements of a printing unit in conditions of external vibrational. *Voprosy radioelektroniki*, 2015, no. 6 (6), pp. 105–112 (In Russian).
10. Pershin E. O., Shalunov A. S. System problems of reliability, quality, information & telecommunication and electronic technologies in the management of innovative projects (Innovation – 2010). *Materialy Mezhdunarodnoj konferencii i Rossijskoj nauchnoj shkoly*. Moscow, Energoatomizdat Publ., 2010, ch. 1, pp. 63–65 (In Russian).
11. Kutrovskiy P. V. Research and development of vibration protection of radio engineering devices by frequency detuning method: dis. ... kand. tehn. nauk. Vladimir, 2009, 136 p. (In Russian).

AUTHORS

Zatytkin Aleksandr, PhD, leading engineer, AO «Nauchno-proizvodstvennoe predpriyatie «Rubin»», 2, Baydukova ulitsa, Penza, 440000, Russian Federation, 2, ulitsa Baydukova, Penza, 440000, Russian Federation, tel.: +7 (412) 20-47-57, e-mail: al.zzatytkin@yandex.ru.

Goluschko Dmitriy, PhD, head of sector, AO «Nauchno-proizvodstvennoe predpriyatie «Rubin»», 2, Baydukova ulitsa, Penza, 440000, Russian Federation, 2, ulitsa Baydukova, Penza, 440000, Russian Federation, tel.: +7 (412) 20-47-57, e-mail: dmitgoluschko@yandex.ru.

Gorbunov Aleksey, head of sector, AO «Nauchno-proizvodstvennoe predpriyatie «Rubin»», 2, Baydukova ulitsa, Penza, 440000, Russian Federation, 2, ulitsa Baydukova, Penza, 440000, Russian Federation, tel.: +7 (412) 20-89-75, e-mail: a.s.gorbunov@gmail.com.

М. О. Беляков¹, В. Ю. Зиновьева¹

¹ Научно-производственное предприятие «Рубин»

АВТОНОМНАЯ И КОМПЛЕКСНАЯ ТРЕНИРОВКА ЭКИПАЖА БОЕВОЙ МАШИНЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОЙСКОВОЙ ПРОТИВОВОЗДУШНОЙ ОБОРОНЫ

В данной статье рассматриваются существующие подходы и методы тренировки экипажей боевых машин, и обоснована необходимость реализации штатных тренажных средств в составе каждой боевой машины. Основным недостатком существующих подходов является отсутствие возможности слаженной комплексной тренировки всей группировки под управлением КП. Для решения той проблемы предложен вариант организации тренажной системы, отличающийся возможностями комплексной тренировки, а также расширенными возможностями автономной тренировки. В автономном режиме предложенная система отличается возможностью полной автоматической имитации вышестоящего командного пункта, а также наличием возможности тренировки работы с аппаратурой связи. Такая тренажная система может быть источником подробных сведений для системы автоматизированной оценки результатов тренировки, более четко разграничивая полученные результаты, что повысит точность оценки навыков обучаемого подразделения, позволит заострять внимание на персональных трудностях каждого ученика.

Ключевые слова: тренаж, тренировка экипажа, противовоздушная оборона, боевая машина, многопользовательские системы.

В связи с приоритетностью бессознательной регуляции психики в условиях высоких стрессовых нагрузок когнитивные способности экипажей боевых машин (БМ) во время боевых действий могут снижаться, и на передний план выходят моторно-двигательные навыки обращения с имеющимися на БМ органами управления [1]. Успешное формирование моторно-двигательных навыков возможно только при тренировке в условиях, максимально приближенных к боевым [2]. Еще совсем недавно в качестве учебно-тренировочных средств использовались раздельно установленные в помещении фрагменты реальных вычислительных средств и средств обеспечения жизнедеятельности БМ. Использование дублирующего комплекта дорогостоящего оборудования приводило к существенным затратам. В настоящее время эта проблема решена использованием комплексных тренажеров, разработанных для тактического звена [1].

Однако такие способы тренировки лишены возможности учесть огромное количество раздражающих факторов, присущих реальной боевой работе: шум дизельных установок, резкие запахи горюче-смазочных материалов, специфический температурный режим внутри изделий и т.п. Получение такого комплексного опыта происходит во время тренировки на полигонах и проведения зенитных

учебных стрельб. Поскольку организация учебных стрельб требует существенных затрат, БМ должны обладать возможностями обучения личного состава посредством встроенного тренажа, максимально приближенного к реальности, но не требующего расхода реальных боеприпасов и воздушных мишеней.

Сейчас многие современные БМ обладают встроенными тренажными возможностями. В автономном режиме они самостоятельно обеспечивают имитацию сопровождения воздушного объекта и работы по нему, но не имеют возможности имитировать действия командного пункта (КП).

Возможности комплексной тренировки в составе подразделения ограничены боевыми протоколами взаимодействия с КП (рис. 1). Данный вариант взаимодействия позволяет отработать только одну из возможных ситуаций, а именно работу по целям, обнаруженным непосредственно БМ, что исключает получение командиром батареи опыта по самостоятельному распределению целей.

Современные системы устроены довольно просто (рис. 2): есть несколько заранее подготовленных сценариев, которые зашиты в модуль имитации воздушной обстановки. Зачастую этот модуль является составной частью станции сопровождения, но может быть выполнен и в виде отдельного блока.

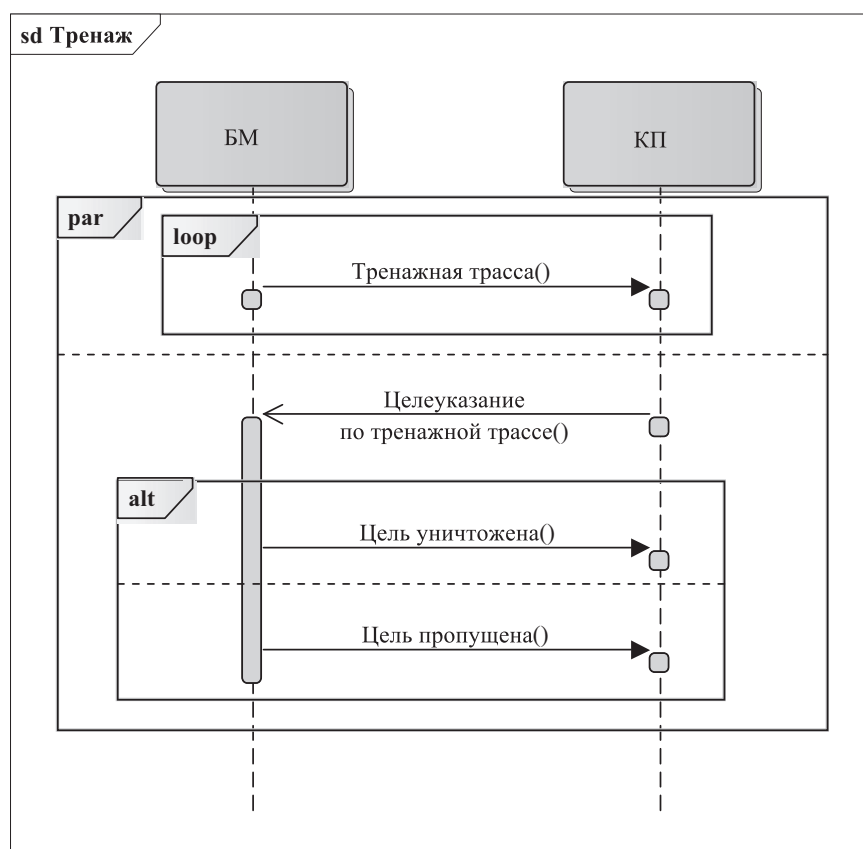


Рисунок 1. Диаграмма последовательности действий при комплексной тренировке в составе подразделения

Во время имитации координатные данные передаются станции сопровождения целей, которая формирует изображение имитируемого объекта для отображения на рабочем месте оператора.

Для решения изложенных выше задач предлагается реализовать в БМ тренажную систему (рис. 3).

На данной диаграмме представлена расширенная система тренировки, позволяющая отрабатывать множество аспектов боевой работы: поиск и сопровождение трасс, настройку аппаратуры связи и установку соединения с КП, отработку команд КП и выдачу донесений.

Для расширения возможностей комплексной тренировки предлагается передавать единый список тренажных трасс всем БМ в составе

подразделения, что позволяет отрабатывать целе-распределение, сосредоточение и т.д. (рис. 4).

Ядром предлагаемой системы является диспетчер тренажа, который отвечает за активацию режима тренажа, загрузку тренажных сценариев и синхронизирует работу всех тренажных модулей.

Модуль имитации воздушной обстановки предназначен для имитации воздушных объектов согласно сценарию либо полученных от КП. Он предоставляет координаты имитируемой воздушной обстановки непосредственно штатной станции сопровождения целей, что позволяет наиболее точно имитировать сопровождение цели.

Модуль имитации действий КП активируется только в автономном режиме и предназначен для

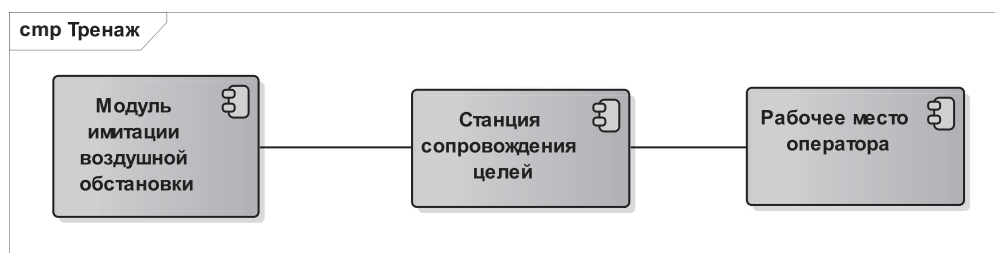


Рисунок 2. Диаграмма компонентов тренажных систем современных БМ

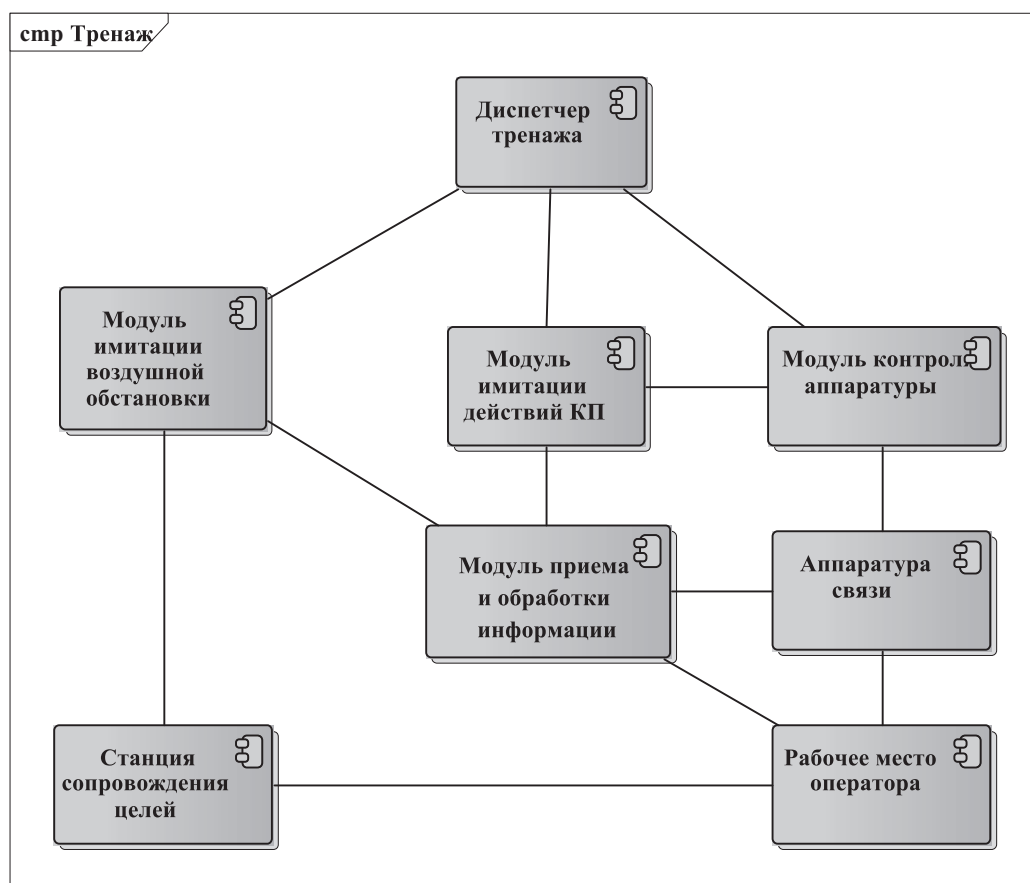


Рисунок 3. Диаграмма компонентов предлагаемой тренажной системы БМ

имитации действий КП согласно сценарию. Запросы и команды передаются напрямую на модуль приема и обработки информации, минуя канал связи.

Модуль контроля аппаратуры (только в режиме автономного тренажа) получает данные о текущих настройках реальной аппаратуры связи и сравнивает их с указанными в сценарии. В случае неправильной настройки аппаратуры связи этот модуль выдает на модуль имитации действий КП указания имитировать потерю связи с КП или иные симптомы некорректной работы.

Под рабочим местом оператора на рис. 3 подразумевается внешний интерфейс взаимодействия БМ с оператором. Данный интерфейс работает полностью в штатном режиме: управляет аппаратурой связи, получает данные из канала связи и от станции сопровождения абсолютно идентично боевой работе.

Для правильного функционирования системы к штатным узлам БМ выставляются следующие требования:

- Аппаратура связи должна иметь программный интерфейс, позволяющий получать подробные сведения о текущей конфигурации средств связи.
- Штатная станция сопровождения должна поддерживать режим внешнего тренажа – обладать возможностью формировать изображение цели

на основе переданных ей координат и характеристик.

- Модуль приема и обработки информации должен иметь возможность получать данные напрямую от тренажных модулей, минуя канал связи.

В настоящее время становится актуальным использование систем автоматизированной оценки при комплексной тренировке [3]. Реализация предлагаемого механизма тренажа позволит оценивать отдельные этапы тренировки, такие как настройка аппаратуры, отработка целеуказаний, а не только конечные результаты, что позволит выявлять и дополнительно прорабатывать проблемные места.

Следует понимать, что подобная система устанавливает высокие требования к качеству обучающих материалов и программ тренажа, чтобы исключить причины, способствующие выработке ошибочных моторно-двигательных рефлексов: все имитируемые сущности должны быть основаны на данных, полученных от реальных объектов, и быть идентичны им. Не должно быть существенной разницы между опытом оператора БМ на тренировке и при реальной работе. В процессе тренировки ошибочные действия оператора должны приводить к соответствующему отклику аппаратуры, чтобы обучаемый мог осознавать и запоминать симптоматику

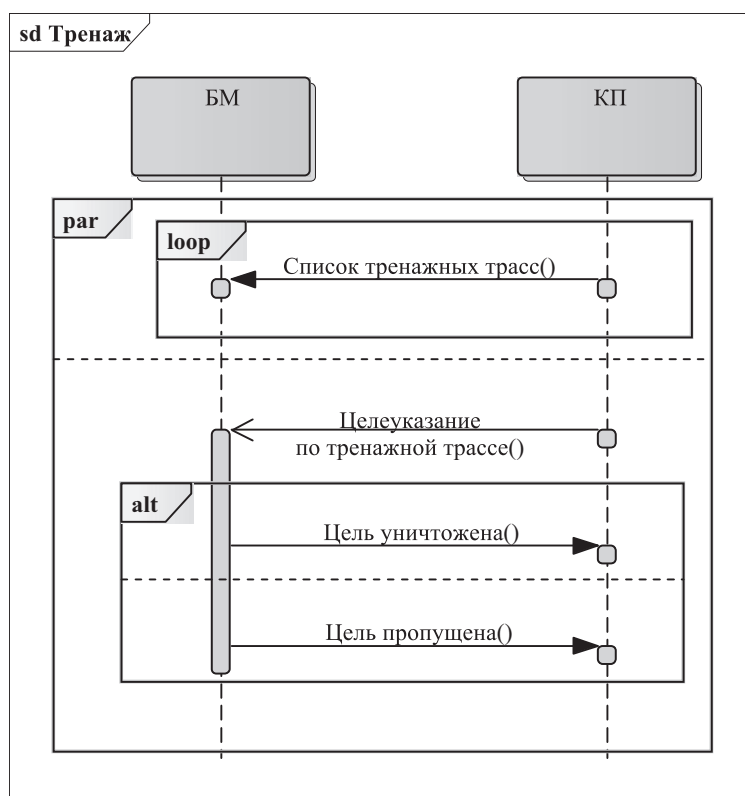


Рисунок 4. Диаграмма последовательности действий при комплексной тренировке в составе подразделения (новый вариант)

определенных проблем и опознавать их во время ведения боевой работы. Более того, сценарии могут включать ситуации с заранее подготовленными системными сбоями, чтобы обучить оператора действиям при возникновении нештатных ситуаций по обнаружению и устранению проблем настройки или функционирования того или иного блока.

Заключение

Таким образом, для качественной тренировки личного состава боевая машина имеет более

полные возможности имитации действий вышестоящего командного пункта. Помимо этого, тренировка происходит в составе подразделений, а не только автономно, в рамках одной боевой машины. Актуальными являются тренировка и протоколирование большого числа аспектов боевой работы, для того чтобы сделать их доступными для систем автоматического анализа подготовки войск. Совокупность этих нововведений позволяет лучше обучать экипажи и избегать ошибок при реальной работе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савель А. И., Бокарев А. А., Терентьев М. Ю. Перспективы развития комплексных тренажеров противовоздушной обороны тактического звена // Интегрированные системы управления. 2016. С. 177–181.
2. Савель А. И. Имитационная модель боевых действий в учебно-тренировочных средствах пунктов управления ПВО // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2015. Т. 13. № 4. С. 59–64.
3. Семенко И. Б. Модель автоматизированной оценки уровня подготовленности операторов боевых машин ЗРК БД с использованием базы данных результатов: дис. ... канд. техн. наук. Смоленск: ВА ВПВО ВС РФ, 2012. 219 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Беляков Максим Олегович, инженер-программист, АО «Научно-производственное предприятие «Рубин»», 440000, Пенза, ул. Байдукова, д. 2, тел.: 8 (8412) 20-48-90, e-mail: sort@protonmail.ch.

Зиновьева Вера Юрьевна, инженер-электроник, АО «Научно-производственное предприятие «Рубин»», 440000, Пенза, ул. Байдукова, д. 2, тел.: 8 (8412) 20-48-00, e-mail: zinovievav@gmail.com.

For citation: Belyakov M.O., Zinovyeva V. Yu. Autonomous and integrated training of the crew of the combat vehicle, 2017, no. 12, pp.

M. O. Belyakov, V. Yu. Zinovyeva

AUTONOMOUS AND INTEGRATED TRAINING OF THE CREW OF THE COMBAT VEHICLE

This article examines the existing approaches and methods of training the crews of combat vehicles, and the need for the implementation of regular training aids in each combat vehicle is substantiated. The main drawback of existing approaches is the lack of coherent integrated training of the whole grouping under the control of the command post. To solve this problem, a variant of the organization of the training system, differing in the possibilities of complex training, as well as with the expanded capabilities of autonomous training, was proposed. In the autonomous mode, the proposed system is characterized by the possibility of full automatic imitation of a higher command post, as well as the availability of training in working with communications equipment. Such a training system can be a source of detailed information for the system of automated evaluation of training results, more clearly delineating the results obtained, which will improve the accuracy of the assessment of the skills of the trainee, will allow to focus on the personal difficulties of each student.

Keywords: training, crew training, air defense, combat vehicle, multi-user systems.

REFERENCES

1. Savel A.I., Bokarev A.A., Terentyev M. Yu. Prospects for the development complex educational training system of tactical air-defense groups. Integrated management systems collection of scientific papers of the scientific and technical conference. *Integrirovannyye sistemy upravleniya*, 2016, pp. 177–181 (In Russian).
2. Savel A.I. Simulation model of military operations in training facilities of air defense control points. Information-measuring and control systems. *Informatsionno-izmeritelnye i upravlyayushhie sistemy*, 2015, vol. 13, no. 4, pp. 59–64 (In Russian).
3. Semenko I.B. The model of automated assessment of the level of preparedness of operators of combat vehicles of the ZRK DB using the results database. Dis. ... kand. tekhn. nauk. Smolensk, VA VPVO VS RF, 2012, 219 p. (In Russian).

AUTHORS

Belyakov Maksim, software engineer, AO «Nauchno-proizvodstvennoe predpriyatie «Rubin»», 2, ulitsa Baydukova, Penza, 440000, Russian Federation, tel.: +7 (8412) 20-48-90, e-mail: sort@protonmail.ch.

Zinovyeva Vera, electronics engineer, AO «Nauchno-proizvodstvennoe predpriyatie «Rubin»», 2, ulitsa Baydukova, Penza, 440000, Russian Federation, tel.: +7 (8412) 20-48-00, e-mail: zinovievay@gmail.com.

Для цитирования: Бойков И. В., Зелина Я. В. Приближенное решение амплитудной и фазовой проблем для одномерных дискретных отображений // Вопросы радиоэлектроники. 2017. № 12. С. УДК 5619.5622

И. В. Бойков¹, Я. В. Зелина²

¹ ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», ² Научно-производственное предприятие «Рубин»

ПРИБЛИЖЕННОЕ РЕШЕНИЕ АМПЛИТУДНОЙ И ФАЗОВОЙ ПРОБЛЕМ ДЛЯ ОДНОМЕРНЫХ ДИСКРЕТНЫХ ОТОБРАЖЕНИЙ

В работе построен нестандартный метод решения амплитудно-фазовой проблемы. Рассмотрены основные свойства преобразования Гильберта в дискретном случае для одномерных отображений. Эти преобразования широко используются для решения амплитудно-фазовой проблемы. Предложен численный метод решения амплитудно-фазовой проблемы в случае одномерных дискретных отображений. Основная особенность метода заключается в отсутствии необходимости использования предварительной информации о нулях преобразования Фурье дискретной последовательности. При решении прикладных задач, как правило, неизвестно расположение нулей функции. Метод решения задачи основан на использовании аппарата нелинейных сингулярных интегральных уравнений. Построены вычислительные схемы решения соответствующих нелинейных сингулярных интегральных уравнений. Предложен алгоритм нахождения начальных значений для организации итерационного процесса решения нелинейного сингулярного интегрального уравнения. Разработаны квадратурные формулы вычисления сингулярных интегралов.

Ключевые слова: амплитудно-фазовая проблема, одномерные дискретные последовательности, преобразование Гильберта, нелинейные сингулярные интегральные уравнения, численные методы.

Введение

При решении многих задач физики и техники (в частности, задач оптики, локации, астрофизики, геофизики и др.) возникает ситуация, когда доступными измерениями являются только амплитуда спектра сигнала или только его фаза.

Задача определения фазы спектра сигнала по амплитуде спектра называется фазовой проблемой и, наоборот, задача определения амплитуды спектра сигнала по фазе спектра называется амплитудной проблемой. В этом случае говорят об амплитудно-фазовой проблеме. Напомним, что спектром сигнала (как в непрерывном, так и в дискретном случае) называют соответствующее Фурье-преобразование сигнала.

Решению амплитудно-фазовой проблемы посвящена обширная литература, подробная библиография которой приведена в [1]. Несмотря на это, амплитудно-фазовая проблема далека от разрешения даже в одномерном случае, причем остались открытыми как прикладные, так и теоретические вопросы. В частности, в случае одномерных непрерывных сигналов $f(x), -\infty \leq x \leq \infty$ амплитудно-фазовая проблема решена, если известно, что в верхней

(или нижней) полуплоскости плоскости комплексной переменной z нет нулей функции $F(z)$, являющейся Фурье-преобразованием функции $f(x)$. Аналогично, в случае дискретных сигналов $f(u), u = 0, 1, 2, \dots, n$, амплитудно-фазовая проблема решена, если известно, что в круге $|z| \leq 1$ (или в области $|z| \geq 1$) нет нулей функции $F(z)$, являющейся z -преобразованием последовательности $f(u), u = 0, 1, 2, \dots, n$. Однако эта дополнительная информация, как правило, неизвестна, что может привести к значительным погрешностям. Отметим, что эффективный практический алгоритм Гершберга-Сэкстона [1], предложенный в 1972 году и широко используемый при решении прикладных задач во многих разделах физики, требует дополнительной информации об исследуемом объекте – регистрации в плоскости изображения и в Фурье-плоскости. И, кроме того, до сих пор для него не получено полного теоретического обоснования.

Постановка задачи

Пусть $f(u), u = 0, 1, 2, \dots, n$ – исходное изображение, заданное набором положительных значений в точках $u = 0, 1, 2, \dots, n$. К последовательности

*Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (РФФИ), грант 16-01-00594.

$f(u), u=0,1,2,\dots,n$ применяем обобщенное -преобразование [1]:

$$F(z) = \sum_{k=0}^n f_k z^k.$$

Функция $F(z)$ является целой функцией.

Обозначим через $F(x) = F(e^{ix})$, $x \in [0, 2\pi)$, сужение функции $F(z)$ на единичную окружность $|z| = 1$. Из теории функции комплексной переменной следует, что функция $F(x)$ имеет вид

$$F(e^{ix}) = U(x) + iV(x) = A(x)e^{i\varphi(x)}, \quad x \in [0, 2\pi],$$

где $U(x)$ и $iV(x)$ – вещественная и мнимая части функции; $A(x)$ и $\varphi(x)$ – ее амплитуда и фаза соответственно.

Амплитудная проблема. Пусть известна фаза $\varphi(x)$, требуется найти модуль $A(x)$.

Фазовая проблема. Пусть известен модуль $A(x)$, требуется найти фазу $\varphi(x)$.

Приведем ряд известных утверждений.

Пусть $F(e^{ix}) = F(x) = U(x) + iV(x)$, $x \in [0, 2\pi]$. Преобразование Гильберта на единичной окружности имеет вид

$$U(x_0) = -\frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} V(x) \operatorname{ctg} \frac{x-x_0}{2} dx + J_0, \quad x_0 \in [-\pi, \pi], \quad (1)$$

$$V(x_0) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} U(x) \operatorname{ctg} \frac{x-x_0}{2} dx, \quad x_0 \in [-\pi, \pi], \quad (2)$$

где $J_0 = 2\pi f_0$.

В формулах (1)–(2) интегралы понимаются как сингулярные [2].

Разделяя действительную и мнимую части функции $\ln F(x)$, можно получить решение амплитудно-фазовой проблемы для дискретного изображения:

$$\ln A(x_0) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \varphi(x) \left\{ \operatorname{ctg} \frac{x-x_0}{2} - \operatorname{ctg} \frac{x}{2} \right\} dx, \quad x_0 \in [-\pi, \pi], \quad (3)$$

$$\varphi(x_0) = -\frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \ln A(x) \operatorname{ctg} \frac{x-x_0}{2} dx, \quad x_0 \in [-\pi, \pi], \quad (4)$$

в предположении, что в области $|z| \leq 1$ нет нулей функции $F(z)$;

$$\ln A(x_0) = -\frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \varphi(x) \left\{ \operatorname{ctg} \frac{x-x_0}{2} - \operatorname{ctg} \frac{x}{2} \right\} dx, \quad x_0 \in [-\pi, \pi], \quad (5)$$

$$\varphi(x_0) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \ln A(x) \operatorname{ctg} \frac{x-x_0}{2} dx, \quad x_0 \in [-\pi, \pi], \quad (6)$$

в предположении, что в области $|z| \geq 1$ нет нулей функции $F(z)$.

В [1] отмечается, что в случае наличия корней функции $F(z)$ в областях $|z| \geq 1$ и $|z| \leq 1$ в выражениях (3)–(6) появляются дополнительные слагаемые, подобные дополнительным фигурирующим в случае непрерывных изображений, но более сложные.

Таким образом, из формул (3)–(6) следует, что для создания эффективных численных методов решения амплитудно-фазовой проблемы нужно решить следующие задачи:

1. Разработать точные и устойчивые методы вычисления интегралов:

$$\int_0^{2\pi} u(\sigma) \operatorname{ctg} \frac{\sigma-s}{2} d\sigma, \quad \int_0^{2\pi} u(\sigma) \operatorname{ctg} \frac{\sigma}{2} d\sigma, \quad s \in [0, 2\pi]. \quad (7)$$

2. В случае, если функция $F(z)$ имеет нули внутри или вне единичной окружности с центром в начале координат, необходимо разработать численный алгоритм решения амплитудно-фазовой проблемы, не требующий предварительной информации о корнях функции $F(z)$.

Замечание. В случае, если функция $F(z)$ не имеет нулей в верхней полуплоскости, решение амплитудно-фазовой проблемы может быть получено применением оператора Шварца к функции $\ln A(x)$. Напомним [3], что оператор Шварца осуществляет решение краевой задачи Гильберта в одном частном случае краевого условия.

Приближенное решение амплитудно-фазовой проблемы в дискретном случае

В случае, если известно, что все нули функции $\ln F(x)$ расположены в круге $|z| \leq 1$ (или в области $|z| \geq 1$), то решение амплитудно-фазовой проблемы сводится, согласно формулам (3)–(4) или (5)–(6), к вычислению сингулярных интегралов.

Рассмотрим для определенности случай, когда в области $|z| \leq 1$ нет нулей функции $F(z)$. Тогда амплитуда и фаза функции $F(x)$ связаны формулами (3)–(4).

Пусть известна фаза $\varphi(x)$ в $2N+1$ равноотстоящей точке $s_k = 2k\pi / (2N+1)$, $k=0,1,\dots,2N$. Тогда для вычисления $\ln A(x_0)$ в произвольной точке $x_0 \in [0, 2\pi]$ нужно вычислить два интеграла:

$$\frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \varphi(x) \operatorname{ctg} \frac{x-x_0}{2} dx = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \varphi(x) \operatorname{ctg} \frac{x-x_0}{2} dx, \quad (8)$$

$$\frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \varphi(x) \operatorname{ctg} \frac{x}{2} dx = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \varphi(x) \operatorname{ctg} \frac{x}{2} dx. \quad (9)$$

Приближенным методам вычисления сингулярных интегралов посвящена обширная литература, достаточно подробная библиография которой приведена в книге [4]. Для широкого класса функций (по крайней мере, для случая, когда $F(z)$ не обращается в нуль на окружности $|z|=1$) $\varphi(x)$ является гладкой функцией, принадлежащей классу $\tilde{W}^{(r)}(M, [0, 2\pi])$.

Замечание. Напомним, что через $\tilde{W}^{(r)}(M, [0, 2\pi])$ обозначено множество периодических с периодом

2 π функций $f(x)$, имеющих непрерывные производные до $(r-1)$ -го порядка и кусочно-непрерывную производную $f^{(r)}(x)$, удовлетворяющую неравенству $|f^{(r)}(x)| \leq M$.

На классе функций $\tilde{W}^{(r)}(M, [0, 2\pi])$ оптимальной по точности является формула [5]

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \varphi(x) \operatorname{ctg} \frac{x-x_0}{2} dx = \\ & = -\frac{2}{2N+1} \sum_{k=0}^{2N} \varphi(s_k) \frac{\sin(N+1) \frac{x_0-s_k}{2} \sin N \frac{x_0-s_k}{2}}{\sin \frac{x_0-s_k}{2}} + R_N(\varphi). \end{aligned} \quad (10)$$

Ее погрешность оценивается неравенством $|R_N(\varphi)| \leq CN^{-r} \ln N$, где $C = \text{const}$.

В случае, если функция $\varphi(x)$ принадлежит классу функций Гельдера $H\alpha(M)$ естественно воспользоваться следующей формулой. Для ее построения разделим сегмент $[0, 2\pi]$ на N равных частей точками $t_k = 2k\pi/N$, $k = 0, 1, \dots, N$. Пусть точка x_0 попадает в интервал $[t_j, t_{j+1})$. Интеграл (8) будем вычислять по формуле

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \varphi(x) \operatorname{ctg} \frac{x-x_0}{2} dx = \\ & = \frac{1}{\pi} \sum_{k=1}^N \varphi(t'_k) \frac{\sin \frac{\pi}{2N} (2k-2j-1)}{\sin \frac{\pi}{2N} (2k-2j-3)} + R_N(x_0, \varphi), \end{aligned} \quad (11)$$

где $t'_k = (2k+1)\pi/N$.

Погрешность этой формулы оценивается неравенством

$$|R_N(x_0, \varphi)| \leq CN^{-\alpha} \ln N.$$

Вычисление интегралов вида (9) можно проводить либо по формулам (10), (11), полагая в них $x_0 = 0$, либо по специальным формулам вычисления сингулярных интегралов с фиксированной особенностью [5].

Таким образом, решение амплитудно-фазовой проблемы в случае, если нули функции $F(z)$ сосредоточены в области $|z| \leq 1$ или в области $|z| \geq 1$, сводится к применению квадратурных формул (10)–(11).

Более сложным является случай, когда заранее неизвестно расположение нулей функции $F(z)$. Отметим, что при решении прикладных задач, как правило, неизвестно расположение нулей функции $F(z)$.

Пусть известен модуль $A(x)$ функции $F(x)$, $x \in [0, 2\pi]$. Представим функцию $F(x)$ в виде $F(x) = U(x) + iV(x)$, где $U(x)$ и $V(x)$ связаны формулами (1) и (2). Тогда

$$A^2(x) = (U^2(x) + V^2(x)). \quad (12)$$

Выразив $V(x)$ через $U(x)$ по формуле (2), приходим к нелинейному сингулярному интегральному уравнению

$$U^2(x_0) + \frac{1}{4\pi} \left(\int_{-\pi}^{\pi} U(x) \operatorname{ctg} \frac{x-x_0}{2} dx \right)^2 = A^2(x_0). \quad (13)$$

Приближенные методы решения нелинейных сингулярных интегральных уравнений разработаны в [5].

Воспользуемся одной из вычислительных схем, предложенных в [5], трансформировав ее для сингулярных интегральных уравнений с ядром Гильберта.

Пусть $s_k = 2k\pi/(2n+1)$, $k = 0, 1, \dots, 2n$, $s'_k = (2k+1)\pi/(2n+1)$, $k = 0, 1, \dots, 2n$.

Приближенное решение уравнения (13) будем искать в виде полинома

$$U_n(x) = \sum_{k=0}^{2n} \alpha_k \psi_k(x),$$

где

$$\psi_k(x) = \frac{1}{2n+1} \frac{\sin \frac{2n+1}{2}(s-s_k)}{\sin \frac{s-s_k}{2}}, k = 0, 1, \dots, 2n.$$

Коэффициенты $\{\alpha_k\}$ определяются из системы нелинейных алгебраических уравнений, которая в операторной форме имеет вид

$$\begin{aligned} & \bar{P}_n \left[(U_n(x_0))^2 + \frac{1}{4\pi} \left(\int_0^{2\pi} P_n \left[U_n(x) \operatorname{ctg} \frac{x-x_0}{2} \right] dx \right)^2 \right] = \\ & = \bar{P}_n [A^2(x_0)]. \end{aligned} \quad (14)$$

Здесь $P_n(\bar{P}_n)$ – оператор проектирования на множество интерполяционных тригонометрических полиномов n -го порядка по узлам $s_k(\bar{s}_k)$, $k = 0, 1, \dots, 2n$.

Условия разрешимости (14) приведены в [5].

Для решения системы уравнений (14) естественно воспользоваться методом Ньютона-Канторовича. Важным вопросом при организации вычислений является выбор начального значения. В качестве начального значения аргумента можно взять функцию $\tilde{\varphi}(x)$, вычисленную по формулам (3)–(4) или (5)–(6). Тогда функцию $\tilde{U}(x) = \operatorname{Re}[A(x)e^{i\tilde{\varphi}(x)}]$ можно взять в качестве начального значения для организации итерационного процесса решения нелинейного сингулярного интегрального уравнения (13).

В случае, когда $A(x)$ определяется по данной функции $\varphi(x)$, амплитудная проблема сводится к решению нелинейного сингулярного интегрального уравнения:

$$\operatorname{arctg} \frac{-\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} U(x) \operatorname{ctg} \frac{x-x_0}{2} dx}{U(x_0)} = \varphi(x_0), x_0 \in [0, 2\pi).$$

Для его решения строится вычислительная схема, аналогичная построенной для решения фазовой проблемы.

В представленной работе предложен численный метод решения амплитудно-фазовой проблемы в случае одномерных дискретных отображений. Особенностью представленного метода является то, что при реализации не требуется предварительная информация о нулях преобразования Фурье дискретной последовательности. Что имеет большое значение при решении прикладных задач, так

как на практике эта дополнительная информация, как правило, отсутствует. Метод основан на использовании аппарата нелинейных сингулярных интегральных уравнений. Построены вычислительные схемы решения соответствующих нелинейных сингулярных интегральных уравнений. Решен вопрос выбора начальных значений для реализации итерационных методов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новейшие методы обработки изображений / А. А. Потапов, Ю. В. Гуляев, С. А. Никитов, А. А. Пахомов, В. А. Герман / под ред. А. А. Потапова. М.: Физматгиз, 2008. 496 с.
2. Кузнецова Т. И. О фазовой проблеме в оптике. Успехи физических наук. М.; Наука, 1988, т. 154, № 4. С. 677–689.
3. Гахов Ф. Д. Краевые задачи. М.: Наука, 1977. 640 с.
4. Иванов В. В. Теория приближенных методов и ее применение к численному решению сингулярных интегральных уравнений. Киев: Наукова Думка, 1968. 288 с.
5. Бойков И. В. Приближенное решение сингулярных интегральных уравнений. Пенза: Изд-во ПГУ, 2004. 316 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Бойков Илья Владимирович, д.ф.-м.н., профессор, зав. кафедрой «Высшая и прикладная математика», ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», 440026, Пенза, ул. Красная, д. 40, тел.: 8 (8412) 36-82-59, e-mail: math@pnzgu.ru.

Зелина Яна Валерьевна, инженер-программист, АО «Научно-производственное предприятие «Рубин», 440000, Пенза, ул. Байдукова, д. 2, тел.: 8 (960) 315-18-39, e-mail: zeywa@yandex.ru.

For citation: Boykov I. V., Zelina Y. V. Approximate method for solving of one-dimensional amplitude-phase problem. Voprosy radioelektroniki, 2017, no. 12, pp.

I. V. Boykov, Y. V. Zelina

APPROXIMATE METHOD FOR SOLVING OF ONE-DIMENSIONAL AMPLITUDE-PHASE PROBLEM

An unconventional method of solving the amplitude-phase problem is proposed in this article. The main properties of the Hilbert transform in the discrete case for one-dimensional mappings are described. These transformations are widely used to solve amplitude-phase problem. A numerical method for solving of one-dimensional amplitude-phase problem is proposed. Considered the case of discrete mappings. Preliminary information about the zeros of the Fourier transform of the discrete sequence is not required for this method. Usually when solving applied tasks the location of the zeros of the function is unknown. The method is based on the apparatus of nonlinear singular integral equations. Computational schemes for solving the corresponding nonlinear singular integral equations are constructed. An algorithm for finding initial values for realization of iterative methods is proposed. Quadrature formulas of the calculation of singular integrals are developed.

Keywords: amplitude-phase problem, one-dimensional discrete sequences, Hilbert transform, nonlinear singular integral equations, numerical methods.

REFERENCES

1. Potapov A. A. Gulyaev Yu. V., Nikitov S. A., Pakhomov A. A., German V. A. *Novejshie metody obrabotki izobrazhenij* [The Modern Methods of Image Processing]. In: A. A. Potapov ed. Moscow, Fizmatgiz Publ., 2008, 496 p. (In Russian).
2. Kuznetsova T. I. *O fazovoj probleme v optike* [The phase problem in optics] Moscow, Nauka Publ., 1988, t. 154, № 4, 640 p. (In Russian).
3. Gakhov F. D. *Kraevye zadachi* [Boundary value problems]. Moscow, Nauka Publ., 1977, 677–689 p. (In Russian).
4. Ivanov V. V. *Teoriya priblizhennykh metodov i ee primenenie k chislennomu resheniju singuljarnyh integral'nyh uravnenij* [Theory of approximate methods and numerical methods for solving of singular integral equations]. Kiev, Naukova Dumka Publ., 1968, 288 p.
5. Boykov I. V. *Priblizhennoe reshenie singuljarnyh integral'nyh uravnenij* [Approximate solution of singular integral equations]. Penza, PGU Publ., 2004, 316 p. (In Russian).

AUTHORS

Boykov Ilya, Dr., professor, head of the department «Higher and applied mathematics», Penza State University, 40, ulitsa Krasnaya, Penza, 440026, Russian Federation, tel: +7 (8412) 36-82-59, e-mail: math@pnzgu.ru.

Zelina Yana, software engineer, AO «Nauchno-proizvodstvennoe predpriyatie «Rubin», 2, ulitsa Baydukova, Penza, 440000, Russian Federation, tel.: +7 (960) 315-18-39, e-mail: zeywa@yandex.ru.

Для цитирования: Соболева Е. Г., Судовчихина Л. А. О переводе словосочетаний типа n+n (на материале английской терминологии по радиоэлектронике и радиотехнике) // Вопросы радиоэлектроники. 2017. № 12. С. УДК 81'23

Е. Г. Соболева¹, Л. А. Судовчихина²

¹ Научно-производственное предприятие «Рубин», ² ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет»

О ПЕРЕВОДЕ СЛОВСОЧЕТАНИЙ ТИПА N+N (НА МАТЕРИАЛЕ АНГЛИЙСКОЙ ТЕРМИНОЛОГИИ ПО РАДИОЭЛЕКТРОНИКЕ И РАДИОТЕХНИКЕ)

Представлены результаты исследования особенностей перевода английской научно-технической терминологии на русский язык. Актуальность данного исследования определяется необходимостью лингвистического осмысления влияния научно-технического прогресса на функционирование единиц специальной коммуникации в текстах научного стиля и обусловлена значимостью их перевода как способа обмена и распространения информации в мировом научно-техническом сообществе.

Ключевые слова: термин, терминосистема, специальная лексика, прием перевода.

В настоящее время отмечается интерес к проблемам, связанным с изучением терминов. Это объясняется особенностью места и ролью терминологической лексики в системе современного языка, а также в практической жизни и деятельности человека. Благодаря научно-технической революции, которая привела к интенсификации потока информации, смысловым ядром которой являются термины, язык науки становится международным. Следовательно, с лингвистической точки зрения все большую актуальность приобретает изучение английской научно-технической терминологии и способов ее перевода на русский язык.

Исследование проводилось на материале аутентичных английских текстов по радиоэлектронике, взятых из книги M. Richards, J. Scheer, W. Holm «Principles of Modern Radar» [1], откуда методом сплошной выборки были выделены термины. За единицу перевода принималось терминологическое (многокомпонентное) словосочетание.

Теоретической базой исследования также послужили труды по теории и практике перевода Л. С. Бархударова, Е. В. Бреуса, С. В. Гринева, В. П. Даниленко, Т. А. Казаковой, В. Н. Комиссарова, Р. Ф. Прониной, Я. И. Рецкера.

Мы исследовали термины не столько как обособленные слова (т.е. в области фиксации – словарь по современной радиоэлектронике и радиотехнике), сколько как смысловые единицы, актуализирующие свое терминологическое значение в рамках

определенной терминосистемы (т.е. в области функционирования – специальные тексты). Именно в окружении других слов спецлексики проявляет свое содержание.

Контекст, несомненно, помогает выяснить:

- 1) употреблена ли лексическая единица в своем обычном или специальном значении: например, *valve* – клапан или электролампа, *short* – короткий или короткое замыкание.
- 2) в каком из специальных значений употреблен многозначный термин: например, *switch* – выключатель, стрелка или коммутационный аппарат.

Кроме того, контекст дает возможность опустить некоторые компоненты термина-словосочетания, которые подразумеваются сами собой [2].

Под термином понимают как слово (непроизводное, производное, сложное, аббревиатура), так и словосочетание. На их долю, по данным разных исследователей (С. В. Гринев, Л. Б. Эздекова, О. А. Ягзунович), приходится до 90–95% состава терминосистем.

Так, выделяют термины-слова (*emitter* «эмиттер», *jamming* «создание помех»), или однословные термины, и композиты (*acceptortype* «с дырочной проводимостью», *feedback* «проходная проводимость»). Вопрос о трактовке сложных лексико-семантических единиц, объединенных дефисом (*signal-to-noise* «отношение «сигнал-шум»), как

единого слова или словосочетания все еще остается открытым. Мы же в данной работе придерживаемся точки зрения С.В. Гринева, что композиты по своей структуре, если имеют две и более основы, могут быть отнесены к группе терминов-словосочетаний, или составных, многокомпонентных терминов.

В работе Е.Б. Черкасской «Лексическая сочетаемость английских существительных в атрибутивной функции» отмечается, что многие существительные английского языка имеют тенденцию к употреблению в функции препозитивного атрибута. Атрибутивные конструкции представляют собой один из наиболее распространенных типов словосочетаний в английском языке [3].

Среди них, по мнению В.П. Даниленко [4], одной из самых продуктивных моделей образования именных терминологических словосочетаний атрибутивного типа является модель «существительное + существительное» (N + N), на анализе которых мы и сосредоточились в нашем исследовании. При этом определяющий компонент может быть выражен группой слов (N + N + N + ...), которая выступает как единый семантический комплекс (*pulse repetition frequency* «частота повторения импульсов», *Doppler frequency shift* «доплеровское смещение частоты», *Doppler drift* «снос самолета, определяемый по доплеровскому радиолокатору»).

О семантическом слиянии двух и более существительных в единое терминологическое целое свидетельствует тот факт, что некоторые из них соответствуют русскому однокомпонентному термину (*phone cartridge* «звукосниматель», *input chopper* «модулятор», *output chopper* «демодулятор»).

Однако английские двухкомпонентные термины, как правило, соответствуют русским двухкомпонентным терминам: *current sensitivity* «чувствительность по току», *health sensor* «указатель [датчик] работоспособности», *beam shape* «форма пучка».

В ходе исследования нами произведена выборка терминологических словосочетаний из книги M. Richards, J. Scheer, W. Holm «Principles of Modern Radar» в количестве 100 единиц типа N + N, из которых насчитывается 75 двухкомпонентных терминологических словосочетаний, 18 – трехкомпонентных терминологических словосочетаний, 6 – четырехкомпонентных терминологических словосочетаний и 1 – шестикомпонентное терминологическое словосочетание. Проведенный количественный анализ даже такого незначительного массива специальных единиц подтверждает установившееся в лингвистике мнение о преобладании двухкомпонентных терминологических словосочетаний в различных терминосистемах.

При сопоставлении структуры английских терминов, состоящих из двух имен существительных

и их русских эквивалентов в сфере их функционирования, наблюдалось следующее:

1. Определяющее существительное переводилось постпозитивным существительным в родительном падеже: *radar receiver* «приемник антенны», *amplitude threshold* «порог амплитуды». Например: *Target position must be specified in three-dimensional space*. – Координаты цели определяются в трех плоскостях. При переводе выделенного терминологического словосочетания, помимо изменения падежа существительного-определения, наблюдается его перестановка.

2. Постпозитивному определяющему существительному в других косвенных падежах предшествуют разнообразные предлоги: *target range* «дальность до цели», *frequency shift* «сдвиг по частоте», *target observation* «наблюдение за целью». Например: *The radar receiver generates its own internal thermal noise that competes with the target signal*. – Приемник РЛС вырабатывает свои внутренние тепловые помехи, которые конкурируют с сигналом от цели. Как видно из примера, в переводе наблюдается еще и перестановка элементов терминологического словосочетания.

3. Существительное в функции определения переводилось русским прилагательным: *high-frequency mode* «высокочастотные колебания», *angle modulation* «угловая модуляция». Например: *It is a pulse radar accommodated on four trucks and one 2-PN-4M trailer*. – РЛС представляет собой импульсную радиолокационную станцию, размещенную на четырех транспортных единицах и прицепе типа 2-ПН-4М.

4. Английскому препозитивному определяющему существительному в единственном числе соответствует русское постпозитивное существительное во множественном числе в родительном падеже: *noise detection* «обнаружение помех (шумов)», *frequency band/range* «диапазон частот», *mode selector* «селектор типов колебаний». Например: *As distinct from earlier target acquisition radar models, instead of target marks the new radar provides target tracks to the command post*. – В отличие от ранее разработанной станции обнаружения целей, на командный пункт выдаются не отметки от цели, а траассы целей.

5. Определяющее существительное было переведено действительным причастием: *isolation junction* «изолирующий переход», *guarantee longevity* «гарантированный срок службы», *transmission medium* «передающая среда». Например, *A transmission medium is a material substance (solid, liquid, gas, or plasma) that can propagate energy waves*. – Передающей средой называется физическая субстанция (твердое тело, жидкость, газ или плазма), по которой происходит передача энергетических волн.

6. Два существительных переводились одним сложным существительным, части которого соотносимы с самостоятельными словами сложного английского термина, что удобно в плане компактности: *phone cartridge* «звукосниматель», *gas chromatograph* «газохроматограф», *energy content* «энергосодержание», *image converter* «оптопреобразователь».

Препозитивные атрибутивные термины-словосочетания, образованные с помощью соположения более двух существительных ($N + N + N + \dots$), представляют особые трудности при переводе.

Проблемы перевода терминологических словосочетаний этого типа обусловлены тремя факторами: 1) линейным расположением компонентов словосочетания; 2) большой степенью обобщения, присущей определению, образованному путем соположения; 3) многообразием семантических связей между элементами словосочетания.

Необходимо отметить, что перевод составных терминов состоит из двух основных процедур – аналитической и синтетической. На первом этапе важно правильно определить компоненты сложного термина, их частеречную и функционально-стилевую принадлежность. В состав сложного термина могут входить не только слова, но и словосочетания. Затем необходимо установить, в каких семантических отношениях находятся компоненты между собой и с главным компонентом термина-словосочетания – последним словом атрибутивной цепочки (анализ проводится слева направо), и разбить элементы словосочетания на смысловые группы. Второй этап предусматривает построение компонентов в зависимости от указанных семантических отношений и получение окончательного варианта перевода многокомпонентной единицы (перевод смысловых групп проводится справа налево).

Так, в словосочетании *pulse train generator* все три компонента являются терминами-сущест-

тельными, где *generator* – определяемое слово, *pulse* и *train* – определяющие слова, связанные в две смысловые группы по типу примыкания: *pulse train* (серия импульсов – перевод с помощью родительного падежа и изменения порядка слов), *pulse train generator* (генератор серии импульсов – перевод с помощью родительного падежа).

Многокомпонентный термин может начинаться с имени собственного, обозначающего географическое название, которое может переводиться на русский язык прилагательным, существительным с предлогом или существительным в родительном падеже: *Lincoln experiment satellite* «экспериментальный спутник Линкольновской лаборатории», *Doppler effect* «эффект Доплера», *Alaska Meteor Burst Communication System* «система связи через метеорные следы в Аляске».

Заключение

Таким образом, перевод технических текстов с английского языка на русский требует особого внимания к многокомпонентным терминам, которые не всегда имеют регулярные соответствия. Нами рассмотрены наиболее типичные случаи расхождения морфосинтаксических структур эквивалентных терминов исходного языка и языка перевода. Опираясь на изложенные выше факты, можно констатировать, что построение перевода терминологического словосочетания – сложный и многосторонний процесс. Чаще всего он сводится к описательному переводу, который должен осуществляться в соответствии с определенными правилами, способствующими систематизации знаний и умений переводчика. Предполагается использование и других переводческих трансформаций, что обуславливает необходимость их более подробного изучения в рамках отдельной статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Richards M. A., James A., Scheer William A. Holm Principles of modern radar. SciTech Publishing, Edison, NJ, 2010, 962 p.
2. Пронина Р. Ф. Перевод английской научно-технической литературы. М.: Лицей, 1986. 175 с.
3. Черкасская Е. Б. Лексическая сочетаемость английских существительных в атрибутивной функции // Исследование по лексической сочетаемости: сборник научных трудов. М.: Издательство МГПИ, 1980. С. 12–15.
4. Даниленко В. П. Русская терминология. Опыт лингвистического исследования. М.: Наука, 1977. 246 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Соболева Екатерина Григорьевна, к.п.н., доцент, переводчик, АО «Научно-производственное предприятие «Рубин», 440000, Пенза, ул. Байдукова, д. 2, тел.: 8 (927) 381-85-36, e-mail: soboleva.ek2012@yandex.ru.

Судовчихина Людмила Александровна, к.п.н., доцент, ФБГОУ ВО «Пензенский государственный университет», 440026, Пенза, ул. Красная, д. 54, тел.: 8 (902) 354-76-06, e-mail: millapz@mail.ru.

For citation: Soboleva E. G., Sudovchikhina L. A. On translating the word-combinations of a n + n type (based on english radioelectronic and radioengineering terms). Voprosy radioelektroniki, 2017, no. 12, pp.

E. G. Soboleva, L. A. Sudovchikhina

ON TRANSLATING THE WORD-COMBINATIONS OF A N + N TYPE (BASED ON ENGLISH RADIOELECTRONIC AND RADIOENGINEERING TERMS)

The article covers the research data on the translation of English scientific and technical terms into Russian. The research has become topical as it is necessary to analyze the influence of scientific and technological progress on the way the terms function in scientific texts and are translated into Russian.

Keywords: term, terminological system, special vocabulary.

REFERENCES

1. Richards M. A., James A., Scheer William A. Holm Principles of modern radar. SciTech Publishing, Edison, NJ, 2010, 962 p.
2. Pronina R. F. Translation of English scientific and technical literature. Moscow, Licey Publ., 1986, 175 p. (In Russian).
3. Cherkasskaja E. B. Lexical compatibility of English nouns in the attributive function. *Issledovanie po leksicheskoj sochetaemosti: sbornik nauchnyh trudov*. Moscow, Izdatelstvo MGPI, 1980, pp. 12–15 (In Russian).
4. Danilenko V. P. *Russkaja terminologija. Opyt lingvisticheskogo issledovanija* [Russian terminology. Experience of linguistic research]. Moscow, Nauka Publ., 1977, 246 p. (In Russian).

AUTHORS

Soboleva Ekaterina, PhD, associate professor, translator, AO «Nauchno-proizvodstvennoe predpriatie “Rubin”», 2, ulitsa Baydukova, Penza, 440000, Russian Federation, tel.: +7 (927) 381-85-36, e-mail: soboleva.ek2012@yandex.ru.

Sudovchikhina Liudmila, PhD, senior lecturer, Penza State University, 54, ulitsa Krasnaya, Penza, 440026, Russian Federation, tel.: +7 (902) 354-76-06, e-mail: millapz@mail.ru.

Для цитирования: Аладьев Ю. Ю., Романихин Р. Ю., Зиновьев Д. М., Востоков Н. Г. Анализ пропускной способности и реализация интерфейса удаленного управления параметрами Ethernet-коммутатора на базе микросхем 5600BB3T // Вопросы радиоэлектроники. 2017. № 12. С. УДК 004.713

Ю. Ю. Аладьев¹, Р. Ю. Романихин¹, Д. М. Зиновьев¹, Н. Г. Востоков¹

¹ Научно-производственное предприятие «Рубин»

АНАЛИЗ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ И РЕАЛИЗАЦИЯ ИНТЕРФЕЙСА УДАЛЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ ETHERNET-КОММУТАТОРА НА БАЗЕ МИКРОСХЕМ 5600BB3T

На сегодняшний день в России активно продолжает развиваться программа импортозамещения в сфере телекоммуникационного оборудования, что обусловлено необходимостью обеспечения безопасности обрабатываемых данных, за счет применения отечественных комплектующих изделий и программного обеспечения. В связи с высокой актуальностью этих работ в АО «НПП «Рубин» был создан отечественный многопортовый Ethernet-коммутатор. В статье проведен анализ характеристик Ethernet-коммутатора, реализованного на отечественной микросхеме 5600BB3T и сравнение с импортным аналогом. Подробно исследован вопрос пропускной способности данного коммутатора в составе стенда, собранного из нескольких компьютеров. Описан процесс разработки программного обеспечения для удаленного управления параметрами коммутатора по интерфейсу RS-232. Результаты испытаний показали, что разработанный отечественный Ethernet-коммутатор по скорости передачи данных не уступает импортным аналогам, а разработанное программное обеспечение позволяет управлять параметрами Ethernet-коммутатора и адаптировать его к различным условиям эксплуатации.

Ключевые слова: коммутатор локальной вычислительной сети (ЛВС), Ethernet, телекоммуникационные системы, отечественная электронная компонентная база, SPI, RS-232, Wireshark.

Введение

Вопрос обеспечения конфиденциальности обрабатываемой информации, используемой в автоматизированных системах специального назначения, является чрезвычайно важным. Применение в телекоммуникационном оборудовании импортной электронной компонентной базы (ЭКБ) создает предпосылки для возникновения угрозы информационной безопасности. Одним из вариантов решения данной проблемы является полная или частичная замена импортной ЭКБ на отечественную.

В АО «НПП «Рубин» в рамках программы импортозамещения был разработан отечественный восьмипортовый Ethernet-коммутатор на базе микросхем 5600BB3T (АО «ПКК «Миландр») [1]. Эта микросхема имеет четыре порта Ethernet и предназначена для использования в устройствах локальной вычислительной сети на основе протоколов IEEE802.3/Ethernet с обеспечением коммутации оконечных устройств внутри сети на основе MAC (Media Access Control) адресов

с пропускной способностью 10/100 Мбит/с. В связи с тем, что коммутатор обрабатывает информацию на нижних уровнях семиуровневой модели OSI, определение реальной скорости обработки информации в нем затруднительно. Для определения поведения разработанного изделия с учетом факторов, накладываемых сетевыми средствами операционной системы, была поставлена задача определения скорости передачи информации в реальных условиях эксплуатации. Также при функционировании изделия может возникнуть необходимость регулирования параметров работы коммутатора для адаптации его к условиям эксплуатации. Это требует анализа имеющихся параметров в микросхеме, выбора набора параметров, представляющих интерес при эксплуатации и реализации средств управления.

В данной статье рассмотрены вопросы тестирования пропускной способности и особенности реализации программного обеспечения для записи управляющих параметров и чтения состояния микросхем коммутатора.

Сравнение пропускной способности коммутатора с импортными аналогами

Для анализа пропускной способности были разработаны соответствующая программа и методики, по которым проведены испытания изделия. В ходе этих проверок определялась фактическая скорость передачи информации в режимах работы 10 и 100 Мбит/с (полный дуплекс) при разной длине передаваемых пакетов и разном подключении каналов изделия.

В качестве источника и приемника *Ethernet*-трафика использовались программы, работающие на указанных компьютерах. Для проведения тестирования изделия была разработана специальная программа «Тест *Ethernet*», работающая по принципу «клиент-сервер», под управлением операционной системы *Windows 7*. Это приложение позволяет имитировать поток данных *Ethernet*, настраивать размер передаваемого пакета, а также отображать текущую скорость передачи данных. Программное обеспечение написано в среде для разработки кроссплатформенных приложений *Qt SDK* [3] с использованием библиотеки *Qt 4.7.4*.

Размер передаваемого пакета (*DataSize*) в Мбит в приложении определяется по формуле

$$DataSize = \frac{Count \cdot SizeMsgForSend}{1024 \cdot 1024} \cdot 8,$$

где *Count* – количество отправленных сообщений (шт.), *SizeMsgForSend* – размер одного сообщения (байт) с учетом наличия 8 бит в байте и (1024·1024) бит в 1 Мбит.

Скорость передачи данных (*Speed*) в Мбит/с рассчитывается по формуле

$$Speed = \frac{DataSize}{SendTime},$$

где *SendTime* – время, потраченное на отправку данных, с.

Пример работы программы показан ниже (рис. 1).

Для осуществления проверок был создан стенд из нескольких компьютеров (рис. 2).

В качестве образца для сравнения был выбран импортный четырехпортовый коммутатор D-LINK DES-1005A [2], имеющий схожую архитектуру и технические характеристики. Для проверки совместной работы с ним использовалась аналогичная схема (рис. 3).

Восьмипортовый *Ethernet* коммутатор построен на базе двух микросхем 5600BB3T, объединенных через внутренние порты с интерфейсом *MII*. Для проверки работы всех внешних портов использовались различные варианты подключения ПЭВМ к коммутатору согласно табл. 1.

Настройка скорости передачи данных осуществлялась путем перестановки перемычек в изделии на плате каждого модуля с микросхемой 5600BB3T (выводы *MODE0-MODE3*). Результаты измерений для режимов 10 и 100 Мбит/с сведены в табл. 2 и 3.

В процессе испытаний изделия было выявлено, что объединение микросхем 5600BB3T через внутренние порты с интерфейсом *MII* заметно снижает пропускную способность коммутатора. Предположительно это связано с увеличением времени задержки ретрансляции пакетов через внутренний интерфейс. Ограничение скорости передачи данных при увеличении размера пакета и двух параллельных передачах данных связано с малым размером буфера пакетов в микросхеме 5600BB3T (32 Кбайт, согласно спецификации ТСКЯ.431291.001СП).

Анализ результатов показал снижение производительности разработанного коммутатора по сравнению с DES-1005A в случае наличия двух и более уровней (по варианту подключения 4), как показано в табл. 4.

Выявленное поведение относится к особенностям микросхемы 5600BB3T, так как согласно

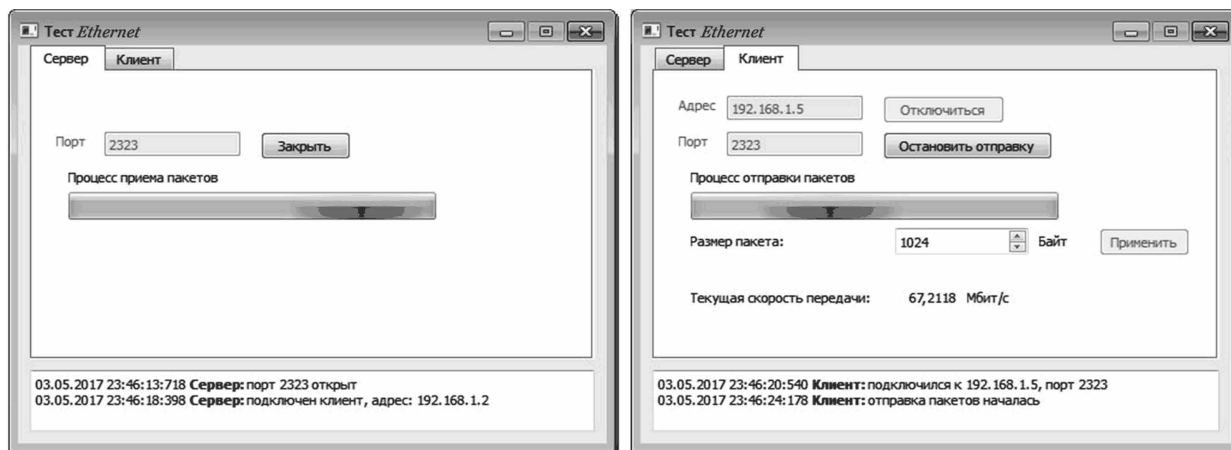


Рисунок 1. Пример передачи данных между двумя персональными электронно-вычислительными машинами (ПЭВМ), подключенными через коммутатор

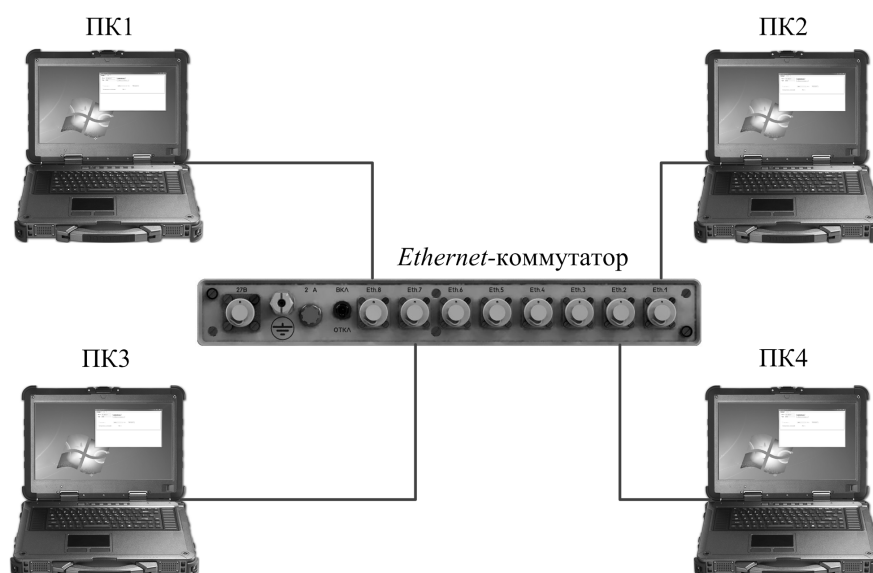


Рисунок 2. Схема для испытаний опытного образца изделия с восьмью портами

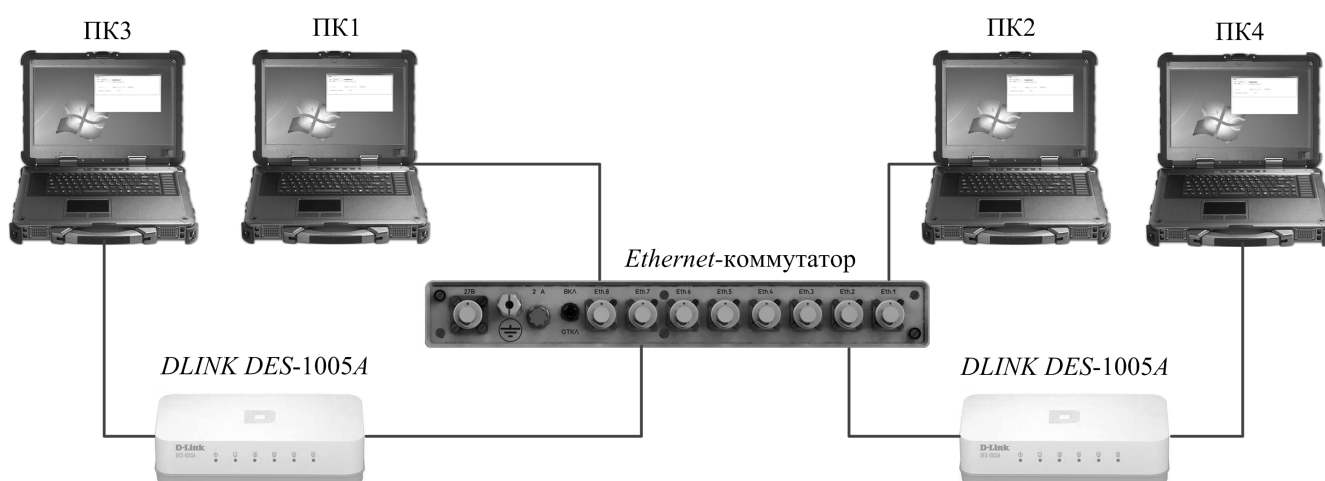


Рисунок 3. Схема для испытаний макета изделия при взаимодействии с другими коммутаторами

Таблица 1. Варианты подключения

Номер варианта	Вариант подключения	Схема для испытаний
1	ПК № 1 – порт № 1, ПК № 2 – порт № 2, ПК № 3 – порт № 3, ПК № 4 – порт № 4	Рисунок 2
2	ПК № 1 – порт № 1, ПК № 2 – порт № 7, ПК № 3 – порт № 2, ПК № 4 – порт № 8	Рисунок 2
3	ПК № 1 – порт № 1, ПК № 2 – порт № 2, ПК № 3 – порт № 7, ПК № 4 – порт № 8	Рисунок 2
4	ПК № 1 – порт № 1, ПК № 2 – порт № 2, ПК № 3 – порт № 6 DLink DES-1005A, ПК № 4 – порт № 3 DLink DES-1005A	Рисунок 3

Таблица 2. Скорость передачи данных в Мбит/с при номинальной скорости порта 10 Мбит/с

Вариант подключения ПК	Размер сообщения, байт						Примечание
	2000	5000	8000	12000	15000	20000	
1	8,7	8,8	8,9	8,9	8,9	8,9	ПК1–ПК2
	8,8	8,5	9	8,9	8,9	9,0	ПК3–ПК4
2	8,2	8,7	8,8	8,9	8,9	8,8	ПК1–ПК2
	7	5	8,9	8,9	8,9	8,7	ПК3–ПК4
3	8,7	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	ПК1–ПК2
	8,7	8,6	8,9	8,9	8,9	8,9	ПК3–ПК4
4	8,7	8,8	8,9	8,8	8,9	8,9	ПК1–ПК2
	3,9	4,7	4,5	3,2	3,1	5,5	ПК3–ПК4

Таблица 3. Скорость передачи данных в Мбит/с при номинальной скорости порта 100 Мбит/с

Вариант подключения ПК	Размер сообщения, байт						Примечание
	2000	5000	8000	12000	15000	20000	
1	49	38	10	77	0,5	89	ПК1–ПК2
	30	42	56	1,2	89	0,5	ПК3–ПК4
2	29	36	36	36	30	30	ПК1–ПК2
	46	36	36	35	30	30	ПК3–ПК4
3	49	39	51	77	1,2	89	ПК1–ПК2
	32	42	21	1,5	88	0,6	ПК3–ПК4
4	49	44	50	76	83	88	ПК1–ПК2
	3	1,6	1,2	1	0,8	0,3	ПК3–ПК4

Таблица 4. Скорость передачи данных в Мбит/с с использованием коммутатора DES-1005A

Вариант подключения ПК	Размер сообщения, байт						Примечание
	2000	5000	8000	12000	15000	20000	
1	10	9	5	11	7,5	11	ПК1–ПК2
	41	40	69	80	85	86	ПК3–ПК4
4	18	9	15	18	19	16	ПК1–ПК2
	43	38	57	69	77	83	ПК3–ПК4

спецификации в ней не предусмотрены особые меры по балансировке загрузки между разными коммутируемыми потоками. При построении локальных сетей *Ethernet* и *FastEthernet* на концентраторах и неуправляемых коммутаторах не рекомендуется использовать топологии сети более чем с пятью уровнями многоуровневой топологии локальных сетей [4].

Состав и выбор параметров для управления *Ethernet*-коммутатором

В микросхеме 5600BB3T предусмотрены регистры, доступные для чтения/записи в составе модулей приемопередатчиков физического уровня и адреса доступа к ним, представленные в табл. 5.

Согласно алгоритму коммутации, для отправки пакета на нужное устройство сначала вычисляется

Таблица 5. Набор параметров для удаленного управления

Название параметра	Описание
<i>CONTROL</i>	Регистр общего управления
<i>STATUS</i>	Информация о работе микросхемы
<i>PHY_MODES</i>	Группа регистров управления режимами работы
<i>AGE_CONTROL</i>	Регистры управления очисткой записей и задания максимального значения счетчика старения записей таблицы MAC-адресов
<i>AGE_CONTROL_2</i>	Регистр задания периода обновления счетчиков старения записей таблицы MAC-адресов
<i>MAC_RAM_WE_en</i>	Регистр разрешения обновления записей в таблице MAC-адресов со стороны портов
<i>IPG_hIPG_l</i>	Регистры задания старшей и младшей частей времени межпакетного интервала
<i>MAC_RX_CTRL</i> <i>MAC_TX_CTRL</i>	Регистры управления приемом и передачей соответственно
<i>MinFrame</i> <i>MaxFrame</i>	Задание минимальной и максимальной длин кадра

хэш-функция MAC-адреса, после чего осуществляется поиск адреса назначения в соответствующей строке таблицы MAC-адресов. Если адрес не найден, происходит обновление таблицы и пакет отправляется на все порты, кроме того, с которого он был принят. Такое поведение коммутатора приводит к увеличению нагрузки на другие порты. Чтобы предотвратить отправку ненужного трафика, необходимо увеличить значение счетчика старения записей таблицы MAC-адресов. В связи с этим в качестве управляющего параметра, отправляемого в коммутатор, используется значение регистра *AGE_CONTROL_2*. Другие параметры коммутатора, согласно условиям эксплуатации, изменять не требуется.

Программное обеспечение для удаленного управления параметрами коммутатора

Для управления режимом работы в микросхеме 5600BB3T реализован контроллер синхронного последовательного интерфейса управления *SPI*. В составе изделия был реализован преобразователь из внутреннего интерфейса *SPI* во внешний интерфейс RS232 на базе микроконтроллера 1887BE4Y (АО «НИИЭТ») [5]. Для микроконтроллера разработана управляющая программа, обеспечивающая получение, сохранение и считывание значений управляющих параметров для работы изделия.

В качестве среды разработки программы использована программная среда *Arduino IDE* v1.8.1. Для поддержки микроконтроллера 1887BE4Y добавлена библиотека *MightyCore*. Программа написана на языке C++.

Управляющая программа должна обеспечивать следующие функциональные возможности:

- Считывание значений управляющих параметров микросхем коммутатора.
- Запись значения управляющего параметра в микросхеме коммутатора.
- Сохранение введенных настроек параметров до их повторного изменения (микросхемы коммутатора энергонезависимой памяти не имеют).

Введенные настройки параметров должны сохраняться до их повторного изменения. В случае срабатывания внутреннего охранного таймера изделия должны автоматически загрузиться последние введенные настройки параметров. Для реализации данных возможностей разработан алгоритм работы программы, включающий следующие этапы:

1. Инициализация начальных установок (инициализация версии программы, интерфейса *UART*, интерфейса *SPI*, сторожевого таймера).

По результатам отладки установлено, что при низкой скорости выполнения команд чтения и записи значение управляющего параметра примерно составляет 1100 мс. Поэтому период сторожевого таймера установлен в 2 с.

2. Установка значения управляющего параметра в изделие при подаче питания. Для хранения значения управляющего параметра выбрано электронно-программируемое постоянное запоминающее устройство (ЭСППЗУ). Данный этап включает следующие пункты:

2.1. Считывание ЭСПЗУ, содержащего значение управляющего параметра и контрольную сумму. Ниже представлена структура, хранящая значение управляющего параметра изделия в ЭСПЗУ:

```
typedef struct _EepromMem {
byte age_control_2; //содержит значение параметра
unsigned short crc; //содержит контрольную сумму
} EepromMem;
```

2.2. Подсчет контрольной суммы считанного параметра.

2.3. Сравнение подсчитанной контрольной суммы с эталонной суммой из ЭСППЗУ.

2.4. При выявлении несовпадения контрольных сумм – установка значения управляющего параметра в значение по умолчанию.

2.5. В случае успешного считывания – запись значения управляющего параметра, считанного из ЭСППЗУ, в микросхему.

3. Цикл ожидания команд.

4. Выполнение команды при ее получении.

Для проверки наличия работоспособной прошивки изделия и изменения управляющего параметра изделия введены команды в соответствии с табл. 6. Команда должна завершаться кодами 0x0D и 0x0A – возврат каретки и перевод строки.

В ответ на команду изделие по последовательному порту присылает сообщение «OK» (если команда получена и отработана успешно) или «ERR» (при возникновении ошибок при разборе или исполнении команды).

Если команда предполагает чтение параметра, то выдается запрошенное значение.

Команда *INFO* предназначена для проверки наличия в изделии работоспособной прошивки.

Команда *RD_DELAY* предназначена для чтения значения управляющего параметра изделия. Команда по *SPI*-интерфейсу запрашивает значение параметра и возвращает его в последовательный порт.

Команда *SET_DELAY_XX* предназначена для записи в изделие значения *XX* управляющего параметра, при этом производится контроль значения параметра по предустановленным границам (от 0x00 до 0xFF). Команда по *SPI*-интерфейсу записывает новое значение параметра в микросхему

и одновременно сохраняет в ЭСППЗУ это же значение. В дальнейшем при включении питания используется сохраненное значение.

Управление параметрами обработки пакетов *Ethernet* в изделии осуществляется по последовательному порту компьютера с помощью текстовых команд. Для этого могут использоваться программа терминала, командная строка и иные способы в соответствии с возможностями операционной системы.

Чтение и запись параметра старения MAC-адресов в таблице коммутации

Для проверки изменения времени старения *MAC*-адресов коммутатора были проведены испытания с использованием трех компьютеров (рис. 4).

В качестве тестирующего устройства для контроля приема-передачи *Ethernet*-трафика и отслеживания временных интервалов использовалась ПЭВМ с установленной программой – анализатором трафика для компьютерных сетей *Wireshark*. На этом же компьютере была запущена программа терминала (из состава среды *Arduino IDE v1.8.1*) для удаленного управления параметрами коммутатора. Ниже представлен пример диалога в окне программы (рис. 5):

```
> INFO
>> Version 1.0 OK
> RD_DELAY
>> 00 OK
> SET_DELAY_5E
>> OK
> RD_DELAY
>> 5E OK
```

В начальный момент времени все ПЭВМ подключены к коммутатору. *Ethernet*-пакеты в виде *Ping*-запросов отправлялись с ведущего компьютера на ведомый, после чего от коммутатора отсоединялся кабель ведомой ПЭВМ. По истечении

Таблица 6. Описание команд

Команда	Значение команды и ее параметров	Значение по умолчанию
INFO	Чтение версии прошивки изделия	Version 1.0
SET_DELAY_XX	Счетчик задержки инкремента/удаления каждой записи памяти <i>MAC</i> -адресов (<i>XX</i>): 00 – на одну запись требуется два такта; 01 – на одну запись требуется три такта; ... FF – на одну запись требуется 257 тактов	00
RD_DELAY	Чтение счетчика задержки инкремента/удаления каждой записи памяти <i>MAC</i> -адресов	00

интервала устаревания *MAC*-адреса запрос *Ping* начинал рассылаться во все порты коммутатора, и пакет приходил на ПЭВМ с установленным *Wireshark*. В этот момент фиксировался временной промежуток между отключением кабеля (последним входящим ответом на *Ping* на ведущей ПЭВМ) и приходом запроса *Ping* на тестирующее устройство. Затем на коммутатор отправлялась команда увеличения счетчика старения *MAC*-адреса (*SET_DELAY*). Операция повторялась до достижения максимального значения параметра *DELAY_LIM* (255). По результатам испытаний составлен график зависимости фактического времени устаревания *MAC*-адресов в таблице коммутатора от параметра *DELAY_LIM* (рис. 6).

На графике видно, что минимальное время жизни одной записи в таблице *MAC*-адресов составляет 3 с, а максимальное – 688 с. Увеличение значения параметра *DELAY_LIM* позволяет избежать нагрузки на другие порты при условии статического подключения устройств к коммутатору.

Заключение

Проведенные испытания опытного образца показали, что отечественный *Ethernet*-коммутатор по скорости передачи данных соответствует импортным аналогам. Разработанное программное обеспечение позволяет осуществлять управление значениями параметра коммутатора для обеспечения его адаптации к условиям эксплуатации.

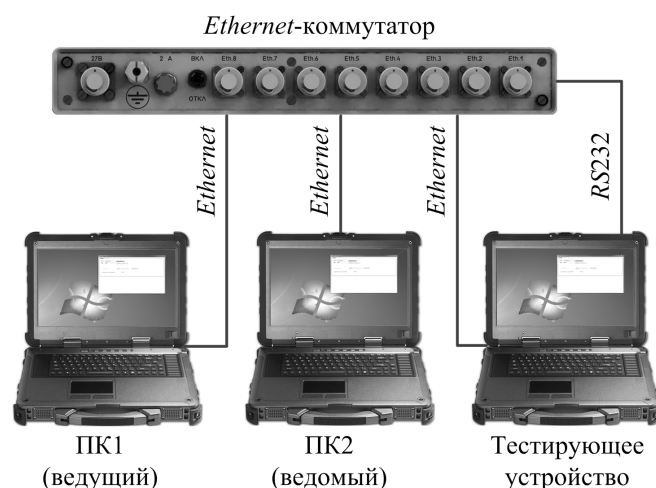


Рисунок 4. Схема подключения для тестирования

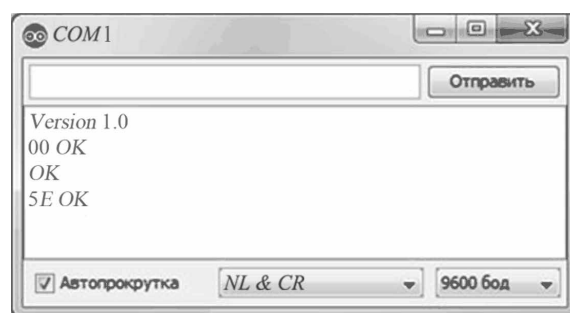


Рисунок 5. Окно программы-терминала

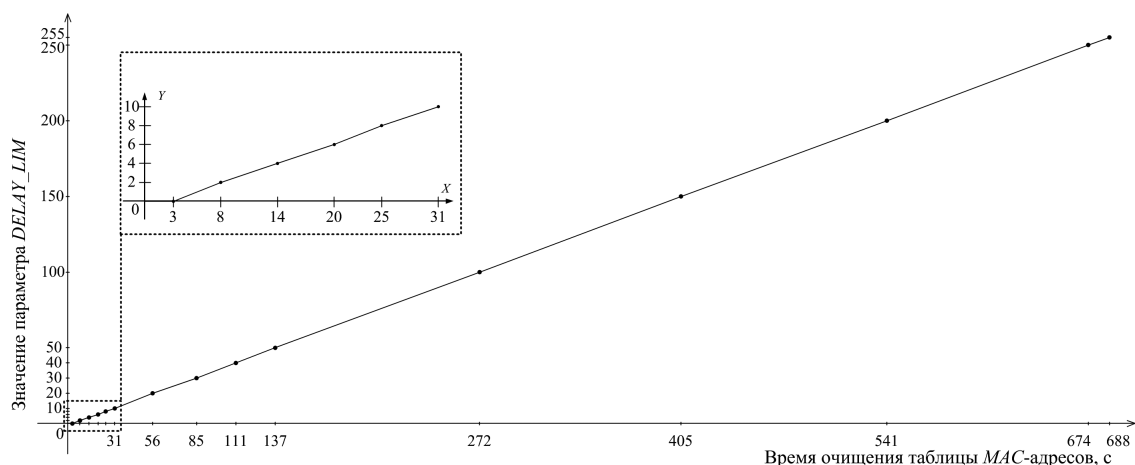


Рисунок 6. График времени устаревания MAC-адресов

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Описание микросхемы 5600BB3T. АО «ПКК «Миландр»» [Электронный ресурс]. URL: <http://ic.milandr.ru/upload/iblock/957/95752f946d023ae3decd3ee0942224f5.pdf> (дата обращения: 23.04.2017)
2. Характеристики коммутатора D-LINK DES-1005A [Электронный ресурс]. URL: http://ftp.dlink.ru/pub/Switch/DES-1005C/Data_sh/DS_DES-1005C_1008C_A1_RUS_01.pdf (дата обращения: 11.05.2017)
3. Макс Шлее. Qt 4.5. Профессиональное программирование на C++. СПб.: БХВ-Петербург, 2010. 896 с.

4. Описание микросхемы 1887BE4Y. АО «НИИЭТ» [Электронный ресурс]. URL: http://niiet.ru/wp-content/uploads/TO_1887BE4Y.pdf (дата обращения: 11.05.2017)
5. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети, принципы, технологии, протоколы. СПб.: Питер, 2010. 992 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Аладьев Юрий Юрьевич, инженер-электроник, АО «Научно-производственное предприятие «Рубин»», 440000, Пенза, ул. Байдукова, д. 2, тел.: 8 (8412) 20-89-37, e-mail: bcsp@npp-rubin.ru.

Романихин Роман Юрьевич, инженер-электроник, АО «Научно-производственное предприятие «Рубин»», 440000, Пенза, ул. Байдукова, д. 2, тел.: 8 (8412) 20-89-37, e-mail: bcsp@npp-rubin.ru.

Зиновьев Дмитрий Михайлович, инженер-электроник, АО «Научно-производственное предприятие «Рубин»», 440000, Пенза, ул. Байдукова, д. 2, тел.: 8 (8412) 20-89-37, e-mail: bcsp@npp-rubin.ru.

Востоков Никита Глебович, инженер-программист, АО «Научно-производственное предприятие «Рубин»», 440000, Пенза, ул. Байдукова, д. 2, тел.: 8 (8412) 20-89-37, e-mail: bcsp@npp-rubin.ru.

For citation: Aladyev Yu. Yu., Romanikhin R. Yu., Zinovyev D. M., Vostokov N. G. Analysis of the characteristics and development of remote management LAN switch at the base of the chip 5600BB3T. Voprosy radioelektroniki, 2017, no. 12, pp.

Yu. Yu. Aladyev, R. Yu. Romanikhin, D. M. Zinovyev, N. G. Vostokov

ANALYSIS OF THE CHARACTERISTICS AND DEVELOPMENT OF REMOTE MANAGEMENT LAN SWITCH AT THE BASE OF THE CHIP 5600BB3T

Today in Russia the import substitution program in the sphere of a telecommunication equipment actively continues to develop that is caused by need of safety of processed data, due to use of domestic components and the software. Due to the high relevance of these operations in JSC NPP Rubin the domestic multiport Ethernet switch was created. In article the analysis of characteristics of the Ethernet switch realized on a domestic chip 5600BB3T and comparing with an import analog is carried out. Explicitly the question of throughput of this switch as a part of the bench assembled from several computers is probed. Development process of the software for remote control of switch parameters on the RS-232 interface is described. Test results showed that the developed domestic Ethernet switch on data transmission rate does not concede to import analogs, and the developed software allows to control the Ethernet switch parameters and to adapt it to different operating conditions.

Keywords: LAN switch, Ethernet, telecommunication systems, domestic element base, SPI, RS232, Wireshark.

REFERENCES

1. [Description chip 5600BB3T. JSC ICC «Milandr»] (In Russ.) Available at: <http://ic.milandr.ru/upload/iblock/957/95752f946d023ae3decd3ee0942224f5.pdf> (accessed 23.04.2017)
2. [Characteristic switch D-LINK DES-1005A] (In Russ.) Available at: http://ftp.dlink.ru/pub/Switch/DES-1005C/Data_sh/DS_DES-1005C_1008C_A1_RUS_01.pdf (accessed 11.05.2017)
3. Maks Shlee. Qt 4.5. *Professionalnoe programmirovaniye na C++*. [Qt 4.5. Professional programming C++]. Saint-Petersburg, BHV-Petersburg, 2010, 896 p. (In Russian).
4. [Description chip 1887VE4U. IC «НИИЭТ»] (In Russ.) Available at: http://niiet.ru/wp-content/uploads/TO_1887BE4Y.pdf (accessed 11.05.2017)
5. Olifer V. G., Olifer N. A. *Kompyuternye seti, principy, tehnologii, protokoly* [Computer networks, principles, technologies, protocols]. Saint-Petersburg, Piter Publ., 2010, 992 p. (In Russian).

AUTHORS

Aladyev Yuriy, hardware engineer, АО «Nauchno-proizvodstvennoe predpriyatie «Rubin»», 2, ulitsa Baydukova, Penza, 440000, Russian Federation, tel.: +7 (8412) 20-89-37, e-mail: bcsp@npp-rubin.ru.

Romanikhin Roman, hardware engineer, АО «Nauchno-proizvodstvennoe predpriyatie «Rubin»», 2, ulitsa Baydukova, Penza, 440000, Russian Federation, tel.: +7 (8412) 20-89-37, e-mail: bcsp@npp-rubin.ru.

Zinovyev Dmitriy, hardware engineer, АО «Nauchno-proizvodstvennoe predpriyatie «Rubin»», 2, ulitsa Baydukova, Penza, 440000, Russian Federation, tel.: +7 (8412) 20-89-37, e-mail: bcsp@npp-rubin.ru.

Vostokov Nikita, software engineer, АО «Nauchno-proizvodstvennoe predpriyatie «Rubin»», 2, ulitsa Baydukova, Penza, 440000, Russian Federation, tel.: +7 (8412) 20-89-37, e-mail: bcsp@npp-rubin.ru.

Для цитирования: Романихин Р. Ю., Горбунов А. С. Опыт разработки Ethernet-коммутатора для жестких условий эксплуатации с использованием отечественной компонентной базы // Вопросы радиоэлектроники. 2017. № 12. С. УДК 004.318

Р. Ю. Романихин¹, А. С. Горбунов¹

¹ Научно-производственное предприятие «Рубин»

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ ETHERNET-КОММУТАТОРА ДЛЯ ЖЕСТКИХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ

Использование иностранных комплектующих в телекоммуникационном оборудовании военного назначения ставит под угрозу обеспечение информационной безопасности. В связи с этим вопрос разработки средств связи на отечественной элементной базе является весьма актуальным. В статье рассмотрены особенности разработки многопортового Ethernet-коммутатора на базе микросхем 5600BB3T, разработанных АО «ПКК “Миландр”», для дальнейшего применения в жестких условиях эксплуатации. Обоснован выбор элементной базы и конструктивных решений с учетом внешних воздействующих факторов. Подробно описана система охлаждения в конструкции изделия для поддержания рабочего теплового режима всех комплектующих. Рассмотрены вопросы проектирования печатных плат в соответствии с требованиями вибропрочности и виброустойчивости. В результате, разработанный многопортовый Ethernet-коммутатор полностью удовлетворяет требованиям по механическим и климатическим воздействиям, электромагнитной совместимости, тепловому режиму и электробезопасности.

Ключевые слова: жесткие условия эксплуатации, коммутатор локально-вычислительной сети (ЛВС), Ethernet, телекоммуникационные системы, отечественная электронно-компонентная база (ЭКБ).

Введение

Одним из направлений развития систем управления и связи в Вооруженных Силах РФ является внедрение телекоммуникационного оборудования, работа которого основана на сетевых технологиях. Однако в большинстве применяемых изделий велика доля иностранных комплектующих. В результате риски, связанные с возможной «утечкой» критически важной информации, крайне высоки. Решением этой проблемы является разработка телекоммуникационного оборудования на отечественной элементной базе.

В разработках АО «НПП “Рубин”» и других организаций широко применялись микросхемы KSZ8999I (*Micrel*) [1] – коммутатор на восемь портов *Ethernet* – и другая аналогичная ЭКБ иностранного производства. В 2014 г. российская компания АО «ПКК “Миландр”» завершила опытно-конструкторскую работу, результатом которой стал серийный выпуск микросхемы четырехпортового коммутатора сетей *Ethernet* 5600BB3T [2]. Микросхема используется в устройствах ЛВС на основе протоколов *IEEE802.3/Ethernet* для обеспечения коммутации оконечных устройств внутри сети на основе *MAC (Media Access Control)* адресов с пропускной способностью от 10 до 100 Мбит/с.

В данной статье рассмотрены особенности перехода на отечественную ЭКБ на примере разработки

многопортового *Ethernet*-коммутатора с использованием микросхем 5600BB3T.

Выбор ЭКБ для коммутатора

Выбор элементной базы является важнейшим этапом разработки изделия. Все комплектующие должны выпускаться с приемкой «5» и находиться в перечне ЭКБ (перечень электронной компонентной базы, разрешенной для применения при разработке, модернизации, производстве и эксплуатации вооружения, военной и специальной техники). Так как изделие предназначено для работы в жестких условиях эксплуатации, подразумевающих наличие внешних негативных факторов, особое внимание уделялось прочности материалов и качеству комплектующих.

Многопортовый *Ethernet*-коммутатор построен на базе двух микросхем 5600BB3T и имеет восемь портов. Микросхема 5600BB3T (рис. 1) функционирует как четырехпортовый коммутатор по стандарту *IEEE802.3 10Base-T* и *100Base-TX* в режимах дуплекса и полудуплекса, как концентратор или коммутатор. Альтернативных вариантов отечественных изделий со схожими характеристиками не выявлено.

Каждый из четырех каналов микросхемы имеет контроллеры канального и физического уровней. Кроме того, в состав микросхемы включен дополнительный порт на основе контроллера канального уровня. Прием и передача данных дополнительного

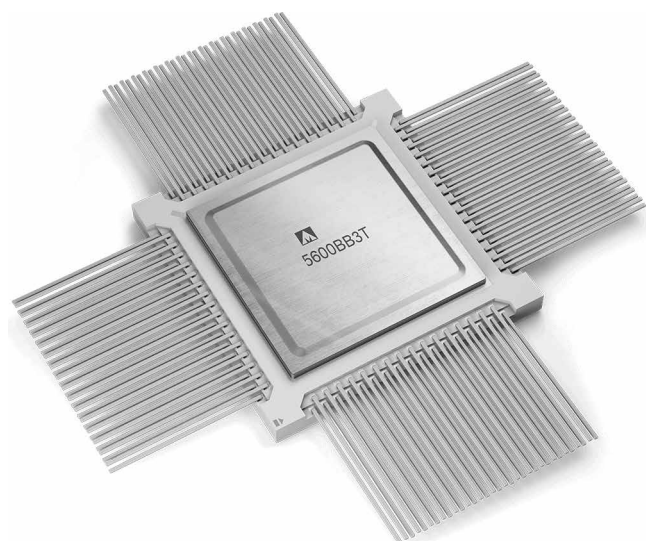


Рисунок 1. Микросхема 5600BB3T

порта осуществляются с помощью интерфейса *MII*, позволяющего использовать его в качестве порта расширения для объединения двух микросхем в восьмипортовый коммутатор, что и было реализовано в изделии.

Для управления режимом работы приемопередатчиков и блока коммутации ретрансляции в микросхеме реализован контроллер синхронного последовательного интерфейса управления *SPI*. Однако для осуществления контроля и диагностики с удаленного рабочего места необходимо использование более помехозащищенного интерфейса. Проведенный анализ показал, что на целевых объектах чаще всего используется интерфейс *RS232*. Поэтому в составе изделия был реализован преобразователь из внутреннего интерфейса *SPI* во внешний интерфейс *RS232* на базе микроконтроллера со следующими характеристиками:

- Наличие интерфейсов *SPI* и *UART* (для подключения драйверов *RS232*).
- Объем флэш-памяти не менее 8 Кбайт для хранения кода программы.
- Встроенная электрически перезаписываемая память (*EEPROM*) для хранения пользовательских настроек.
- Возможность внутрисхемного программирования, что позволяет при изготовлении изделий загружать файл прошивки в микросхему, уже запаянную на плате.
- Напряжение питания 3,3 В.

Проведенный анализ отечественной ЭКБ позволил выбрать микроконтроллер 1887BE4У (АО «НИ-ИЭТ») [3], который является аналогом *Atmega8535* (восьмиразрядный микроконтроллер с *AVR RISC*

архитектурой компании *Atmel* [4]). Схожесть этих микросхем позволяет использовать в процессе разработки большое количество отладочного программного и аппаратного обеспечения, а также библиотек программирования. В качестве драйвера интерфейса *RS232* выбрана микросхема 5559ИН4У (АО «ПКК «Миландр»), которая является аналогом микросхемы *MAX3237EAI* и использует напряжение питания 3,3 В. Для микроконтроллера 1887BE4У написана управляющая программа, обеспечивающая получение, сохранение и считывание значений управляющих параметров для работы изделия.

Для подключения внешних устройств в коммутаторах ЛВС обычно используются восьмиконтактные разъемы по стандарту *RJ45* со встроенным или внешним трансформаторными модулями. Применение данного типа разъемов в разрабатываемом устройстве недопустимо из-за нарушения требований герметичности и снижения виброустойчивости изделия. Для решения этой проблемы использованы защищенные разъемы совместно с внешними трансформаторными сборками. Проведенный анализ выявил подходящие разъемы типа СКЦ102 с твинаксиальными контактами для высокоскоростных интерфейсов при скорости передачи информации до 100 Мбит/с (ПАО «Завод «Атлант»»). Однако высокая стоимость и большие габариты данных разъемов ограничивают их применение в корпусе высотой 1U (не более 40 мм), так как восьмиконтактная розетка на корпус имеет диаметр 41,7 мм. Для подключения внешних устройств выбраны 10-контактные разъемы PC10TB (ОАО «Завод «Электрон»»), которые имеют подходящие габариты и меньшую стоимость, но худшие частотные характеристики.

В качестве трансформаторов для гальванической развязки в сетях *Ethernet* были выбраны сборки ТрС-ЛС6 (ОАО «Завод «Магнетон»»). Данные сборки соответствуют стандартам *IEEE802.3 10Base-T* и *100Base-TX* и выпускаются в низкопрофильных корпусах для поверхностного монтажа на печатную плату. Недостатком таких трансформаторов является их высокая стоимость.

Коммутатор должен питаться от сети постоянного тока с номинальным значением напряжения 27 В с установившимся отклонением +10, –25% (таблица 4, ГОСТ РВ 20.39.309–98). Все внутренние блоки имеют напряжение питания 3,3 В. Для преобразования входного напряжения использован *DC/DC*-модуль мощностью 15 Вт с низким коэффициентом шумов. Проведенный анализ выявил подходящий модуль питания в номенклатуре компании «Александр Электрик» МДМ15–1В3,3МУП с компаундной заливкой и совместимый с ним входной фильтр МРМ1-В2,5ДМ. С использованием элементов обвязки на базе указанных модулей реализован блок питания [5] для разрабатываемого изделия (рис. 2).

Конструктивные особенности коммутатора

По стойкости, прочности и устойчивости к внешним воздействующим факторам изделие должно удовлетворять требованиям ГОСТ РВ 20.39.304–98 по группе эксплуатации 1.10. Поскольку разрабатываемый коммутатор может подвергаться влиянию повышенной влажности и пыли, был разработан герметичный стальной корпус (рис. 3) высотой 1U, имеющий возможность установки в телекоммуникационную стойку. Корпус обеспечивает защиту от проникновения пыли и влаги по стандарту IP65.

Для поддержания рабочего теплового режима микросхем 5600BB3Т должна быть предусмотрена надежная система охлаждения, подходящая для работы оборудования в жестких условиях эксплуатации. В связи с тем, что потребляемая мощность изделия составляет менее 15 Вт, было выбрано пассивное охлаждение – кондуктивный теплоотвод на корпус изделия за счет процесса «естественной» теплопроводности с дальнейшим охлаждением корпуса посредством конвекции и отвода тепла в элементы конструкции. Крепление модулей в изделии организовано таким образом, что элементы с большим выделением тепла (микросхемы коммутатора и модуль питания) расположены теплопроводной стороной ко дну корпуса. Для снижения теплового сопротивления был выбран термоинтерфейс КПДТ-2/2 толщиной 4 мм с теплопроводностью 1,4 Вт/(м·К), производства ООО «Номакон» (Республика Беларусь). Гибкий термоинтерфейс имеет вдвое лучшую теплопроводность по сравнению с более распространенной термопастой КПТ8 (0,7 Вт/(м·К)). Для эффективного отвода тепла через прокладку из материала КПТД-2 нужно обеспечить требуемое усилие сжатия поверхностей микросхем и радиатора, что исключит образование остаточных воздушных полостей между прокладкой и прижимными поверхностями. Предельное напряжение сжатия определяет относительную

деформацию материала в пределах до 50% от его исходной толщины, при которой не происходит потери эластичности, и в последующем, при снятии напряжения сжатия, материал восстанавливается до исходной толщины и сохраняет свои свойства. Зазор между нагревающимися элементами в коммутаторе и дном корпуса составляет примерно 2 мм. Такое расстояние определило выбор толщины термоинтерфейса в 4 мм для обеспечения степени его сжатия 50%.

Для выполнения требований ГОСТ Р 50628–2000 по электромагнитной совместимости все модули устройства с частотоподающими элементами (кварцевые резонаторы и генераторы) помещены в дополнительный стальной кожух. Информационные жгуты и кабели питания находятся в экранированной оплетке и электрически соединены с клеммой заземления.

Особенности проектирования печатных плат

Для снижения стоимости изготовления в многопортовом Ethernet-коммутаторе используются двусторонние печатные платы из фольгированного стеклотекстолита марки FR-4 толщиной 1,5 мм с классом точности не выше третьего (рис. 4).

Платы спроектированы по модульному принципу, позволяющему поставлять коммутатор в четырех- или восьмипортовом исполнении. В связи с требованиями по вибропрочности и виброустойчивости все печатные платы имеют крепежные отверстия для установки на резьбовые стойки диаметром 3 мм, которые приварены ко дну корпуса. Для повышения устойчивости ко внешним воздействующим факторам (ВВФ) и обеспечения сжатия гибкого термоинтерфейса рядом с микросхемами коммутаторов предусмотрены дополнительные крепежные элементы. В связи с наличием в схеме коммутатора высокочастотных сигналов были соблюдены следующие правила трассировки [6]:

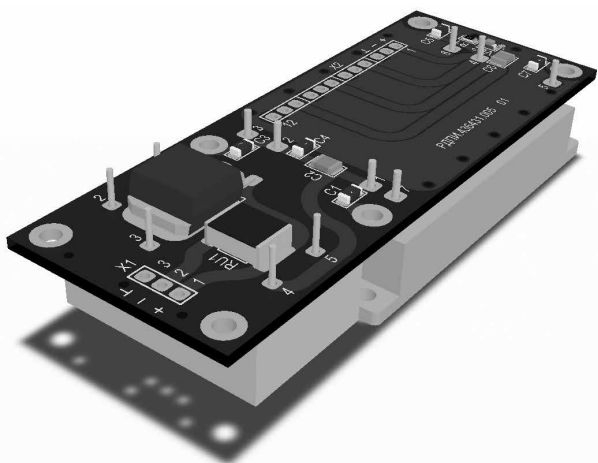


Рисунок 2. Блок питания коммутатора



Рисунок 3. Внешний вид многопортового Ethernet-коммутатора

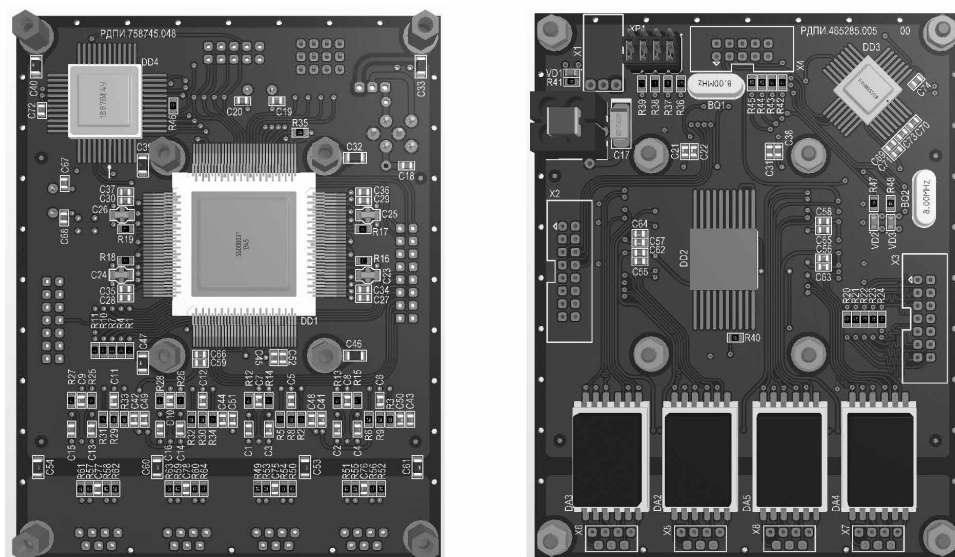


Рисунок 4. Печатная плата для многопортового Ethernet-коммутатора

- Дифференциальные пары выровнены по длине.
- Минимизировано количество переходных отверстий.
- Выполнено скругление острых углов всех элементов токопроводящего рисунка.
- Цепи питания выполнены полигонами максимального размера.

Для выполнения требований по электробезопасности на печатных платах предусмотрен гальванический барьер шириной 5 мм, обеспечивающий защиту от электрического пробоя напряжением не менее 1,5 кВ между корпусным полигоном и другими элементами токопроводящего рисунка.

Большинство элементов на печатной плате, такие как резисторы и конденсаторы, подходит для сборки на автоматической линии. Все используемые микросхемы предназначены только для ручной пайки. Микросхемы 5600BB3T поставляются заводом-изготовителем в металлокерамических корпусах 4229.132–3Н с неформованными гибкими выводами, расположенными в два яруса. Поэтому необходимо заказывать формовку на специализированном предприятии, изготавливать собственную оснастку или формовать микросхемы вручную. Для механизации формовки и обрезки выводов было разработано специальное устройство (рис. 5) на базе ручного пресса со специальной матрицей и пуансоном.

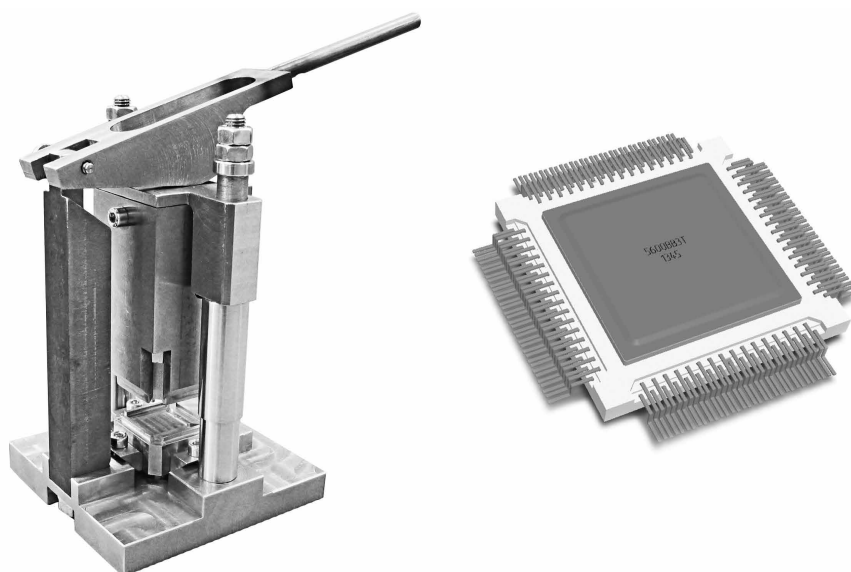


Рисунок 5. Оснастка для формовки микросхем в корпусе 4229.132–3Н и пример отформованной микросхемы

Особенности работы коммутатора

В процессе отладки и испытаний коммутатора выявлено, что объединение микросхем 5600BB3T через дополнительный порт с интерфейсом *MII* заметно (вдвое и более) увеличивает время задержки ретрансляции пакетов. Это снижает пропускную способность коммутатора, поэтому при работе коммутатора рекомендуется включать пары высокоскоростных нагрузок к группе портов, обслуживаемых одной микросхемой (группы «*Eth.1-Eth.4*» или

«*Eth.5-Eth.8*» соответственно), так как передача данных между микросхемами выполняется медленнее.

Заключение

В статье рассмотрены основные проблемы и технические решения, полученные при разработке отечественного многопортового *Ethernet*-коммутатора в защищенном исполнении с требуемыми характеристиками, без использования ЭКБ иностранного производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Описание микросхемы KSZ8999I. Micrel Semiconductor [Электронный ресурс]. URL: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/ks8999%20data%20sheet.pdf> (дата обращения: 23.04.2017)
2. Описание микросхемы 5600BB3T. АО «ПКК "Миландр"» [Электронный ресурс]. URL: <http://ic.milandr.ru/upload/iblock/957/95752f946d023ae3decd3ee0942224f5.pdf> (дата обращения: 23.04.2017)
3. Описание микросхемы 1887BE4Y. АО «НИИЭТ» [Электронный ресурс]. URL: http://niiet.ru/wp-content/uploads/TO_1887BE4Y.pdf (дата обращения: 23.04.2017)
4. Белов А. В. Микроконтроллеры AVR. От азов программирования до создания практических устройств. М.: Наука и техника, 2016. 352 с.
5. Рекомендации по применению модулей питания серии МДМ. ООО «Александр Электрик» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.aeip.ru/images/specs/rtm.pdf> (дата обращения: 23.04.2017)
6. Ардизони Дж. Практическое руководство по разработке печатных плат для высокочастотных схем // Компоненты и технологии. 2007. № 12. С. 157–162.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Романихин Роман Юрьевич, инженер-электроник, АО «Научно-производственное предприятие "Рубин"», 440000, Пенза, ул. Байдукова, д. 2, тел.: 8 (8412) 20-89-37, e-mail: bcsp@npp-rubin.ru.

Горбунов Алексей Сергеевич, начальник сектора, АО «Научно-производственное предприятие "Рубин"», 440000, Пенза, ул. Байдукова, д. 2, тел.: 8 (8412) 20-89-37, e-mail: bcsp@npp-rubin.ru.

For citation: Romanikhin R. Yu., Gorbunov A. S. Experience in the development of Ethernet switch in harsh environments, using the domestic element base. Voprosy radioelektroniki, 2017, no. 12, pp.

R. Yu. Romanikhin, A. S. Gorbunov

EXPERIENCE IN THE DEVELOPMENT OF ETHERNET SWITCH IN HARSH ENVIRONMENTS, USING THE DOMESTIC ELEMENT BASE

Use of foreign accessories in a military telecommunication equipment threatens support of information security. In this regard the question of development of means of communication on a domestic element basis is very relevant. In article features of development of a multiport Ethernet switch on the basis of the chips 5600BB3T developed by JSC «ICC "Milandr"» for application in severe conditions of maintenance are considered. The choice of an element basis and constructive decisions taking into account the external influencing factors is reasonable. Explicitly the cooling system in construction of a product for maintenance of the operating thermal mode of all accessories is described. Questions of design of printed circuit boards according to requirements of vibration strength are considered. The developed multiport Ethernet switch completely meets requirements for mechanical and climatic influences, electromagnetic compatibility, the thermal mode and electrical safety.

Keywords: harsh environments, LAN switch, Ethernet, telecommunication systems, domestic element base.

REFERENCES

1. [Description chip KSZ8999I. Micrel Semiconductor] (In Russ.) Available at: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/ks8999%20data%20sheet.pdf> (accessed 23.04.2017)
2. [Description chip 5600VV3T. JSC «ICC "Milandr"»] (In Russ.) Available at: <http://ic.milandr.ru/upload/iblock/957/95752f946d023ae3decd3ee0942224f5.pdf> (accessed 23.04.2017)
3. [Description chip 1887VE4U. IC «НИИЭТ»] (In Russ.) Available at: http://niiet.ru/wp-content/uploads/TO_1887BE4Y.pdf (accessed 23.04.2017)
4. Belov A. V. *Mikrokontrollery AVR. Ot azov programmirovaniya do sozdaniya prakticheskikh ustrojstv* [The AVR microcontrollers. From the basics of programming to create practical devices]. Moscow, Science and Technology Publ., 2016, 352 p. (In Russian).
5. [Recommendations for application of power modules series MDM. LTD «Alexander electric»] (In Russ.) Available at: <http://www.aeip.ru/images/specs/rtm.pdf> (accessed 23.04.2017)

6. Ardisoni J. A practical guide to designing printed circuit boards for high frequency circuits. *Komponenty i tekhnologii*, 2007, no. 12, p. 157–162 (In Russian).

AUTHORS

Romanikhin Roman, hardware engineer, AO «Nauchno-proizvodstvennoe predpriyatie “Rubin”», 2, ulitsa Baydukova, Penza, 440000, Russian Federation, tel.: +7 (8412) 20-89-37, e-mail: bcsp@npp-rubin.ru.

Gorbunov Aleksey, manager of sector, AO «Nauchno-proizvodstvennoe predpriyatie “Rubin”», 2, ulitsa Baydukova, Penza, 440000, Russian Federation, tel.: +7 (8412) 20-89-37, e-mail: bcsp@npp-rubin.ru.

Б. Г. Майоров¹

¹ Научно-производственное предприятие «Рубин»

КРИТЕРИЙ НАИБОЛЬШЕГО ОТКЛОНЕНИЯ СИГНАЛА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕРВАЛА ДИСКРЕТИЗАЦИИ ВРЕМЕНИ

Исследованы две математические модели – траектории наибольшего отклонения сигнала от двух соседних выборок из этого сигнала в виде парабол степени ($n = 1, 2, 3 \dots$): с согласованными между собой всеми параметрами сигнала и с параметрами сигнала, не согласованными с величиной максимальной скорости сигнала. Получена и исследована общая формула для определения максимально допустимой величины шага равномерной дискретизации времени – интервала времени между соседними выборками из сигнала. Восстановление сигнала осуществлено по выборкам из него с помощью ступенчатой и линейной аппроксимаций с учетом величины $(1 \leq i \leq n)$ -й производной по времени от сигнала без превышения заданной погрешности от восстановления. Приведены результаты математических расчетов и выводы.

Ключевые слова: критерий наибольшего отклонения, траектория наибольшего отклонения, выборки из сигнала, интервал дискретизации времени, степенная функция, производная, восстановление, линейная и ступенчатая аппроксимации, сжатие сигнала (процесса).

Введение

Решение задачи сбора информации от объекта управления по любому обрабатываемому сигналу сопровождается вопросом: как часто необходимо проводить измерения выходных сигналов на датчиках параметров объекта управления? Частота опроса пропорциональна объему данных, обрабатываемых в системе управления реального времени.

Ответ на поставленный вопрос традиционно находят, используя теорему Найквиста–Котельникова–Шеннона (НКШ) [1, 2] или критерий наибольшего отклонения (КНО) для определения обоснованной частоты выборок. Как показано в [3], в измерительной и информационной технике рационально использовать КНО, который устанавливает зависимость между величиной шага равномерной дискретизации по времени T и погрешностью ступенчатой и линейной аппроксимаций входного сигнала по выборкам из него.

Критерий наибольшего отклонения предложен советским ученым В. Н. Хлистуновым, который использовал максимальное значение остаточного члена формулы Лагранжа [4].

Для полинома нулевой степени (аппроксимация сигнала $p(t)$ по выборкам из него ступеньками) величина шага равномерной дискретизации сигнала $p(t)$ по времени p

$$T_{p1} = \frac{\Delta}{V}, \quad (1)$$

где Δ – максимальная абсолютная погрешность восстановления сигнала ступеньками; V – максимальная скорость изменения сигнала.

В обозначении T_{p1} использован индекс «1» ($n = 1$), так как остаточный член формулы Лагранжа содержит максимальную величину первой производной от сигнала $\max p^{(1)}(t) = V$.

Для полинома первой степени (аппроксимация сигнала по выборкам из него отрезками прямых линий) величина шага равномерной дискретизации сигнала $p(t)$ по времени

$$T_{p2} = \sqrt{\frac{8\Delta}{a}}, \quad (2)$$

где Δ – максимальная абсолютная погрешность восстановления сигнала отрезками прямых линий; a – максимальное ускорение изменения сигнала.

В обозначении T_{p2} использован индекс «2» ($n = 2$), так как остаточный член формулы Лагранжа содержит максимальную величину второй производной от сигнала $\max p^{(2)}(t) = V$. Индекс « p » означает параболическую (*parabola*) зависимость.

Аппроксимация сигнала по выборкам из него ступеньками или отрезками прямых линий преимущественно используется в современных информационно-измерительных и управляющих системах автоматики [5, 6], работающих в реальном времени. Существенно реже в таких системах используют функцию $\text{sinc}(x)$ [1, 2].

Имеются три существенных недостатка КНО:

1. Совместное рассмотрение (1) и (2) показывает, что T_{p1} зависит только от максимальной скорости V , а T_{p2} – только от максимального ускорения a . Зависимость T_{p2} одновременно от V и a в [4] отсутствует.

Такая зависимость получена автором [7] в виде выражения для линейной аппроксимации сигнала по двум точкам и определения величины шага равномерной дискретизации сигнала $p(t)$:

$$T_{p2} = \frac{2\Delta}{V_c} + \frac{V_c}{a}, \quad (3)$$

где $V_c \leq \sqrt{2\Delta a}$.

При $V_c \leq \sqrt{2\Delta a} = V$ ограничительная часть выражения (3) является критерием согласования параметров сигнала (определение и подробное рассмотрение даны далее), а (3) преобразуется в (2).

Использование (3) вместо (2) для расчета величины шага равномерной дискретизации сигнала $p(t)$ по времени T_{p2} позволяет в разы увеличить величину этого шага без потери точности восстановления [7]. Этот результат позволяет обосновать количество обрабатываемых физических величин, функций (сигналов) в системах управления реального времени без увеличения вычислительной мощности и потери точности обработки или существенно увеличить точность обработки физических величин без увеличения вычислительной мощности.

Частный случай (1) зависимости (3) для ступенчатой аппроксимации сигнала T_{p1} получается из (3) при выполнении операций: $a \rightarrow \infty$, $T_{p1} = 0,5T_{p2}$.

2. Отсутствует возможность определения величины T_{p3} при условии восстановления сигнала с помощью ступенчатой или линейной аппроксимаций, так как остаточный член формулы Лагранжа в этом случае содержит максимальную величину третьей производной от сигнала $\max p^{(3)}(t) = R$, а аппроксимация осуществляется квадратичными параболой по трем точкам. Подобный недостаток присутствует при определении величины шага T_{pn} дискретизации сигнала $p(t)$ по времени, если $n \geq 3$.

3. На практике и в теоретических статьях для создания и использования современных сигнальных процессоров применяют в основном ступенчатую и линейную аппроксимации сигналов [5, 6]. При этом используют для определения величины интервала дискретизации времени [8–10] эмпирическое соотношение $T \leq (1/2f)/(8+10)$, которое является приблизительным и основано на формуле теоремы НКШ $T \leq (1/2f)$. Применение такой формулы обусловлено большой популярностью и известностью теоремы НКШ в научно-технической литературе.

В связи с перечисленными недостатками нерационально определять интервал дискретизации по теореме НКШ при осуществлении точных

инженерных расчетов T , при использовании ступенчатой и линейной аппроксимаций для восстановления сигнала $p(t)$ в системах реального времени. В классической литературе [3] делается справедливый и актуальный для настоящего времени вывод о необходимости использования теоремы НКШ только в теории связи (радиотехнике) для восстановления речевого сигнала, но не в автоматике и системах управления реального времени.

Постановка задачи исследования

Получим выражение для определения величины шага T_{pn} дискретизации сигнала $p(t)$ по времени без указанных выше недостатков. Выражение должно определять величину T_{pn} с учетом произвольного количества $1 \leq i \leq n$ производных от сигнала и при условии восстановления сигнала с помощью ступенчатой или линейной аппроксимаций.

Выражение должно обобщать выражения (1), (2), (3), которые будут его частными случаями.

Для достижения поставленной задачи воспользуемся физической и математической моделями параболической траектории наибольшего отклонения ($ТНО^{pn}$).

Физическая модель $ТНО^{pn}$ заключается в предположении, что величина сигнала $p(t)$ между двумя измеренными значениями (соседними выборками) может уйти от первого измеренного значения на максимальной, положительной скорости по параболической траектории, достичь верхней границы коридора погрешностей и обязана вернуться на отрицательной, максимальной скорости во второе измеренное значение [7].

Математическая модель согласованной траектории $ТНО^{pn}$

Требования к траектории $ТНО^{pn}$ и основные математические выражения

1. Функция, описывающая $ТНО^{pn}$ математически, должна быть выпуклой на всем отрезке времени T_{pn} между двумя выборками из сигнала $p(t)$.

Выпуклая функция обладает тем свойством, что каждая ее дуга лежит не ниже своей хорды. Если ее уравнение $y = \varphi(x)$ имеет две непрерывные производные, то выпуклая функция характеризуется неравенством $\varphi^{(2)}(x) \leq 0$.

2. Амплитуда $ТНО^{pn}$ должна быть равна наибольшей погрешности аппроксимации Δ .

Примечание: рассматривается ступенчатый и линейный типы аппроксимации сигнала как наиболее распространенные на практике, что показано выше.

3. Начальная точка $ТНО^{pn}$ и ее конечная точка во времени должны совпадать, соответственно, с началом и концом шага равномерной дискретизации сигнала T_{pn} .

4. ТНО^{pn} должна быть симметричной относительно вертикальной линии $t = 0,5 T_{pn}$.

5. Величины максимальных производных от ТНО^{pn} должны совпадать с максимальными значениями параметров сигнала $p(t)$: $\max\{\Delta, V, a, R, \dots, p^{(n)}(t)\}$, где $\max p^{(0)}(t) = \Delta$ – амплитуда ТНО^{pn} или погрешность восстановления; $\max p^{(1)}(t) = V$ – скорость; $\max p^{(2)}(t) = a$ – ускорение; $\max p^{(3)}(t) = R$ – резкость.

6. Максимальные значения параметров сигнала $p(t)$ могут быть согласованы между собой и входить в общую систему уравнений или критериев согласования параметров (КСП^{pn}) [11]. Несогласованные параметры сигнала $p(t)$ входят в общую систему неравенств.

7. Величины выборок из сигнала $p(t)$ в начале и конце ТНО должны быть равны между собой [12], что соответствует минимальной величине интервала дискретизации T_{pn} .

Степенная или параболическая ТНО^{pn} отвечает не всем указанным выше требованиям к ТНО, а именно нарушаются требования 1 и 4. Степенные функции с нечетным порядком степени $n = 1, 3, 5, \dots$ не выпуклы на интервале $0,5 T_{pn} \leq t \leq T_{pn}$ и не симметричны относительно вертикальной линии $t = 0,5 T_{pn}$. Степенные функции с четным порядком степени $n = 2, 4, 6, \dots$ выпуклы и симметричны.

Для обеспечения требований 1, 4 и других связанных с ними требований запишем общее выражение для ТНО^{pn} с использованием абсолютной величины (модуля) $|t - 0,5 T_{pn}|$ аргумента функции $p(t)$ в системе координат (p, t) [13]:

$$p(t) = \Delta - \frac{\max p^{(n)}(t)}{n!} |t - 0,5 T_{pn}|^n, \quad (4)$$

где $0 \leq t \leq T_{pn}$ – интервал времени между двумя соседними выборками из сигнала; Δ – максимально допустимая погрешность восстановления сигнала $p(t)$ по выборкам из него с помощью линейной интерполяции; $n = 1, 3, 5, \dots$ – целые значения степени степенной (параболической) функции; (n) – максимальный порядок производной от сигнала $p(t)$.

На рис. 1 сплошной линией изображена согласованная ТНО^{pn}, построенная в соответствии с (4) и требованиями к ТНО^{pn}, штрихпунктирной линией – аппроксимация прямой линией двух выборок из сигнала $p(t)$, произведенных в моменты времени $t = 0, t = T_{pn}$.

Выражение (4) является степенной функцией модуля времени, поэтому количество возможных производных по времени от выражения (4) равно порядку степени n .

Общее выражение [13] для i -й производной от ТНО^{pn} (4) запишем в виде

$$p^{(i)}(t) = -\frac{\max p^{(n)}(t)}{(n-i)!} |t - 0,5 T_{pn}|^{n-i} \operatorname{sgn}^i(t - 0,5 T_{pn}), \quad (5)$$

где – порядок искомой i -й производной от выражения ТНО^{pn} (4), $(1 \leq i \leq n)$; sgn – обозначение функции знака.

Выражения (4) и (5) используем для определения величины шага равномерной дискретизации сигнала T_{pn} путем нахождения корней выражений (4) и (5) после подстановки в (5) известных (измеренных) максимальных параметров сигнала: $\max\{V, a, R, \dots, p^{(n)}(t)\}$. В таблице приведены результаты такой подстановки для $(1 \leq n \leq 4)$ и $(1 \leq i \leq n)$.

Из столбцов 4 и 5 таблицы видно, что каждому значению порядка ТНО^{pn} n соответствует оригинальное выражение для определения T_{pni} , и эти выражения равны между собой. Из данного факта следует, что параметры ТНО^{pn} и сигнала $p(t)$ не могут принимать произвольные значения. Такие параметры ТНО^{pn} и сами ТНО^{pn} назовем согласованными.

Каждому согласованному ТНО^{pn} соответствует $(n - 1)$ равенство, содержащее три из $(n + 1)$ параметра. Эти равенства назовем критериями согласования параметров (КСП^{pn}). Конкретные КСП^{pn} в таблице (столбец 3) получены совместным преобразованием пар выражений из столбцов 4 и 5 для определения T_{pni} . Пары выражений необходимо подбирать по входящим в них параметрам. Например, для строки $(n = 3)$ или ТНО^{p3} имеем параметры $\max\{\Delta, V, a, R\}$. Для первого равенства возьмем пару выражений T_{pni} , содержащую параметры $\max\{\Delta, V, a\}$: из ячейки строки $(n = 3, i = 1)$ столбца 5 и из ячейки строки $(n = 3, i = 2)$ столбца 5. После преобразований получим первый КСП^{p3} в ячейке строки $(n = 3)$ столбца 3. Для получения второго КСП^{p3} возьмем пару выражений T_{pni} , содержащую параметры $\max\{V, a, R\}$: из ячейки строки $(n = 3, i = 3)$ столбца 4 и из ячейки строки $(n = 3, i = 2)$ столбца 4.

Выражения, содержащиеся в таблице, позволяют применить метод математической индукции

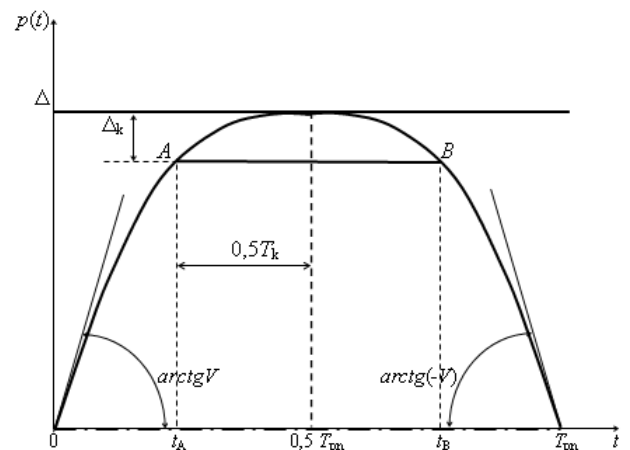


Рисунок 1. Параболическая ТНО^{pn} с согласованными параметрами сигнала

Таблица. Результаты подстановки для $(1 \leq n \leq 4)$ и $(1 \leq i \leq n)$

Порядок ТНО ^{pn}	Текущий порядок производной	Критерий согласования параметров сигнала	Интервал дискретизации времени при линейной аппроксимации выборок из сигнала	
			с возможным отсутствием Δ	с обязательным наличием Δ
1	2	3	4	5
$\max p^{(n)}(t) =$	i	КСП ^{pn}	T_{pni}	T_{pni}
$\max p^{(0)}(t) = \Delta$		Не существует	Не существует	Не существует
$\max p^{(1)}(t) = V$	1	$\pm V = \pm V$ Всегда согласованы $\max\{D, V\}$	$2\frac{\Delta}{V}$	$2\frac{\Delta}{V}$
$\max p^{(2)}(t) = a$	1	$V^2 = 2\Delta a$	$2\sqrt{\frac{2!\Delta}{a}} =$	$2\frac{2\Delta}{V} =$
	2		$= \frac{2V}{a}$	$= 2\sqrt{\frac{2!\Delta}{0!a}}$
$\max p^{(3)}(t) = R$	1	$V^2 = \frac{3}{2}\Delta a$ $a^2 = 2VR$	$2\sqrt[3]{\frac{3!\Delta}{R}} =$	$= 2\frac{3!\Delta}{2!V} =$
	2		$= 2\sqrt{\frac{2!V}{R}} =$	$= 2\sqrt{\frac{3!\Delta}{1!a}} =$
	3		$= \frac{2a}{R}$	$= 2\sqrt[3]{\frac{3!\Delta}{0!R}}$
$\max p^{(4)}(t) = u$	1	$V^2 = \frac{4}{3}\Delta a$ $a^2 = \frac{3}{2}VR$ $R^2 = 2au$	$2\sqrt[4]{\frac{4!\Delta}{u}} =$	$2\frac{4!\Delta}{3!V} =$
	2		$= 2\sqrt[3]{\frac{3!V}{u}} =$	$= 2\sqrt{\frac{4!\Delta}{2!a}} =$
	3		$= 2\sqrt{\frac{2!a}{u}} =$	$= 2\sqrt[3]{\frac{4!\Delta}{1!R}} =$
	4		$= \frac{2R}{u}$	$= 2\sqrt[4]{\frac{4!\Delta}{0!u}}$

и записать общее выражение для нахождения интервала дискретизации времени T_{pni} и правило определения КСП^{pn}.

Обобщение выражений для определения T_{pni} столбца 5 таблицы:

$$T_{\text{pni}} = 2 \left[\frac{n!\Delta}{(n-i)!\max p^{(i)}(t)} \right]^{\frac{1}{i}}, \quad (6)$$

где $1 \leq i \leq n$; $n \geq 1$; $0! = 1$.

Обобщение выражений для определения КСП^{pn} столбца 3 таблицы:

$$\max p^{(i)}(t) = \left[\left(1 + \frac{1}{n-i} \right) \max p^{(i-1)}(t) \max p^{(i+1)}(t) \right]^{0.5}, \quad (7)$$

где $1 \leq i \leq n-1$; $n \geq 2$.

В соответствии с (7) сформулируем правило нахождения критерия согласования параметров КСП^{pn}.

Правило. Максимальное значение i -й производной от согласованной ТНО^{pn} по времени равно среднему геометрическому значению максимальных значений $(i-1)$ -й и $(i+1)$ -й производных от ТНО^{pn}, умноженному на коэффициент $\left(1 + \frac{1}{n-i} \right)^{0.5}$.

Пример 1. В выражении (6) зададим $(n = 1, i = 1)$, получим выражение $T_{p1} = 2\Delta/V$, которое определяет шаг равномерной дискретизации сигнала T_{p1} для случая линейной интерполяции сигнала по двум точкам-выборкам. Для получения интервала аппроксимации сигнала по одной точке-выборке (ступеньками) умножим это выражение на коэффициент 0,5 и получим выражение (1). Так как $(n = 1 < 2)$, выражение (7) использовать нельзя, при этом КСП^{p1} не существует. Траекторию ТНО^{p1} получим из (4) при $(n = 1)$: $p(t) = \Delta - V|t - 0,5T_{p1}|$, где $\max p^{(1)}(t) = V$, $T_{p1} = 2\Delta/V$. ТНО^{p1} графически

изображается в виде треугольника с координатами вершин: $(0, 0)$, $(0, 5T_{p1}, \Delta)$, $(T_{p1}, 0)$.

Пример 2. В выражении (6) зададим $(n = 2, i = 1, i = 2)$, получим равенства $T_{p21} = 4\Delta / V = T_{p22} = \sqrt{8\Delta / a}$. Критерий КСП² найдем из (7) при $(n = 2, i = 1)$, $\max p^{(0)}(t) = \Delta$: $V = \sqrt{2\Delta a}$. Траекторию ТНО² получим из (4) при $(n = 2, i = 1)$: $p(t) = \Delta - \frac{a}{2} \left| t - 0,5T_{p1} \right|^2$, где $\max p^{(2)}(t) = a$.

Связь частоты дискретизации ТНО^{pn} и точности линейной аппроксимации

Из выражения (7) для всех КСП^{pn} при $(i = 1, n \geq 1)$ следует, что параметры восстановленного по выборкам сигнала $p(t)$ $\max\{\Delta, V, a\}$ обязательно связаны между собой в каждом первом КСП^{pn} (см. таблицу, столбец 3). Из КСП^{pn} (7) можно определить амплитуду траектории ТНО^{pn} $\Delta = V^2(n-1)/(na)$, если измерить параметры сигнала $\max\{V, a\}$.

Для уменьшения величины погрешности Δ осуществим дискретизацию интервала времени T_{pn} с частотой f_k , превышающей частоту $f_{pn} = 1/T_{pn}$ из (6).

На рис. 1 изображены выборки в моменты времени t_A и t_B , которые находятся между выборками в моменты времени $t_1 = 0$ и $t_2 = T_{pn}$. Восстановление ТНО^{pn} между выборками на интервале $t_A \leq t \leq t_B$ осуществлено отрезком AB с абсолютной погрешностью Δ_k .

Докажем теорему о превышении частоты траектории ТНО^{pn} сигнала $p(t)$.

Теорема. Сигнал $p(t)$, которому соответствует параболическая (порядка n) траектория наибольшего отклонения $p(t) = \Delta - \frac{\max p^{(n)}(t)}{n!} \left| t - 0,5T_{pn} \right|^n$

с частотой $f_{pn} = \frac{1}{T_{pn}} = 0,5 \left[\frac{\max p^{(n)}(t)}{n! \Delta} \right]^{\frac{1}{n}}$ можно восстановить с помощью линейной аппроксимации с максимальной погрешностью Δ_k по выборкам из этого сигнала $p(t)$ с частотой f_k , превышающей частоту f_{pn} в $k_{pn} = \delta_k^{-\frac{1}{n}}$ раз, где $\delta_k = \frac{\Delta_k}{\Delta}$.

Доказательство. Из рис. 1 следует, что $p(t_A) = \Delta - \Delta_k$. Подставим это выражение в выражение (4) и найдем абсциссу точки A :

$$t_A = 0,5T_{pn} - \left[\frac{n! \Delta_k}{\max p^{(n)}(t)} \right]^{\frac{1}{n}}, \quad (8)$$

где взят знак «-», так как $t_A \leq 0,5T_{pn}$.

Из рис. 1 и абсциссы t_A по выражению (8) следует

$$T_k = \frac{1}{f_k} = 2(0,5T_{pn} - t_A) = 2 \left[\frac{n! \Delta_k}{\max p^{(n)}(t)} \right]^{\frac{1}{n}}. \quad (9)$$

Из выражения (6) при $i = n$ и выражения (9) для $T_k = 1/f_k$ запишем отношение

$$k_{pn} = \frac{T_{pn}}{T_k} = \frac{f_k}{f_{pn}} = \delta_k^{-\frac{1}{n}}, \quad (10)$$

что и требовалось доказать.

На рис. 2 приведены зависимости $k_{pn} = F(\delta_k)$ при $n = 1, 2, 3, 4$. Как видно из рисунка, необходимо применять дискретизацию ТНО^{pn} для $(n \geq 2)$, что при малом значении k_{pn} позволит получить малую погрешность аппроксимации δ_k .

Другими словами, необходимо использовать максимальное ускорение сигнала совместно с его скоростью для расчета величины интервала дискретизации сигнала.

Математическая модель рассогласованной траектории ТНО^{pnс}

Согласование параметров сигнала при $V_c = \text{const} \leq V$

На рис. 3 изображена траектория наибольшего отклонения ТНО^{pnс}. Графическая модель соответствует случаю, когда не выполняется КСП^{pn}, то есть имеет место $V_c \leq V$.

Исследуем случай поведения сигнала, который максимально отклоняется от двух соседних известных (измеренных) значений сигнала в точках с координатами $(t_1, 0)$ и $(t_4, 0)$ в коридоре погрешностей Δ по параболической траектории степени n , где $n = 1, 2, 3, \dots$

Максимальная скорость сигнала V_c в процессе этого отклонения не достигает величины максимальной начальной скорости V : ($V_c \leq V$). Считаем, что задано n параметров сигнала $\max\{\Delta, V_c, a, \dots, p^{(n-1)}(t), p^{(n)}(t)\}$. Все параметры сигнала $\max p^{(2)}(t) = a$ от до последнего $\max p^{(n)}(t)$ являются согласованными, кроме $\max p^{(1)}(t) = V_c$. Этот параметр сигнала необходимо согласовать с другими параметрами сигнала, поэтому он имеет индекс «с» — согласуемый.

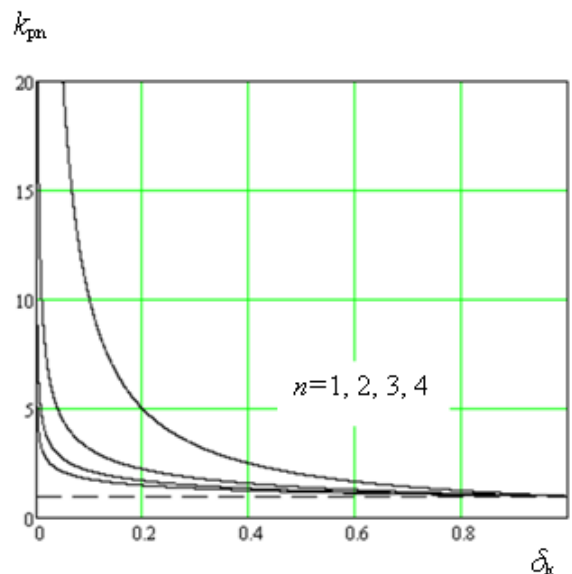


Рисунок 2. Зависимости количества интервалов k_{pn} дискретизации ТНО^{pn} от относительной погрешности δ_k аппроксимации линиями

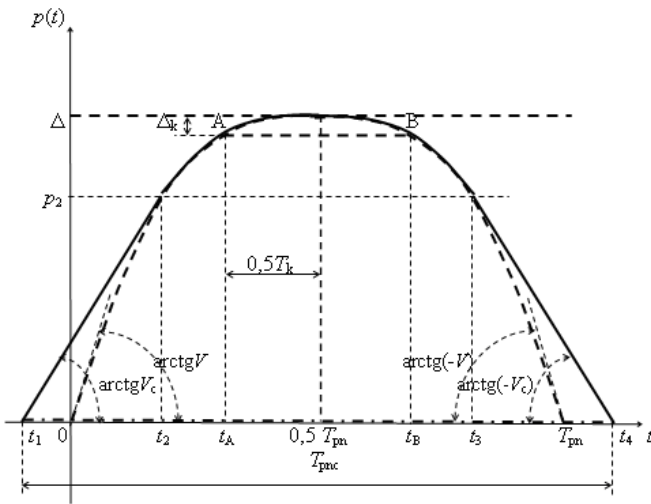


Рисунок 3. ТНО^{pnc} с постоянной скоростью отклонения $V_c = \text{const} \leq V$ на начальном и конечном участках траектории

Физическая модель ТНО^{pnc} заключается в том, что величина сигнала $p(t)$ между двумя измерениями значениями (соседними выборками) изменяется от измеренного значения в точке с координатами $(t_1, 0)$ с максимальной скоростью $+V_c$ ($V_c \leq V$) по линейной траектории (сплошная линия), касательной к параболической траектории (пунктирная линия) до точки (t_2, p_2) . В этой точке скорость V_c начинает уменьшаться и становится равной нулю в точке $(0,5T_{pnc}, \Delta)$. Далее процесс продолжается аналогично для значений скоростей, меньших нуля, и заканчивается в точке измеренного значения $(t_4, 0)$ с максимальной, отрицательной скоростью $(-V_c)$.

В соответствии с содержанием рис. 3 и физической моделью отклонения сигнала запишем выражение для нахождения интервала дискретизации времени T_{pnc} :

$$T_{pnc} = t_4 - t_1 = 2(0,5T_{pn} - t_1). \quad (11)$$

Для определения T_{pnc} по выражению (11) выразим величины t_1 и T_{pn} через известные параметры сигнала: $\max\{\Delta, V_c, a, p^{(3)}(t), \dots, p^{(n)}(t)\}$. Получим выражение для касательной к параболической траектории наибольшего отклонения ТНО^{pnc} в точке (t_2, p_2) .

В выражении (5) зададим $i = 1$, $t = t_2$, $p^{(1)}(t_2) = V_c$ или приравняем $p^{(1)}(t_2)$ заданной максимальной скорости сигнала V_c , которую достигает ТНО^{pnc} в точке (t_2, p_2) :

$$p^{(1)}(t_2) = -\frac{\max p^{(n)}(t)}{(n-1)!} |t_2 - 0,5T_{pn}|^{n-1} \operatorname{sgn}^1(t_2 - 0,5T_{pn}) = V_c.$$

Так как $t_2 \leq 0,5T_{pn}$, $\operatorname{sgn}^1(t_2 - 0,5T_{pn}) = -1$, $t_2 - 0,5T_{pn} \leq 0$. соответственно, получим

$$t_2 = 0,5T_{pn} - \left[\frac{(n-1)! V_c}{\max p^{(n)}(t)} \right]^{\frac{1}{n-1}}. \quad (12)$$

Выражение (12) подставим в (4), после необходимых преобразований получим вторую координату точки (t_2, p_2) :

$$p(t_2) = \Delta - \left[\frac{n! V_c^n}{n^n \max p^{(n)}(t)} \right]^{\frac{1}{n-1}}. \quad (13)$$

Запишем выражение для касательной к ТНО^{pnc} в точке (t_2, p_2) , определим абсциссу точки пересечения этой касательной с осью абсцисс, получим $t_1 = -\frac{p(t_2)}{V_c} + t_2$. Подставим в выражение для определения t_1 величины t_2 , $p(t_2)$ из выражений (12), (13). Получим выражение $t_1 = 0,5T_{pn} - \frac{\Delta}{V_c} - (1 - \frac{1}{n}) \left[\frac{(n-1)! V_c}{\max p^{(n)}(t)} \right]^{\frac{1}{n-1}}$, которое подставим в (11)

и получим выражение для нахождения интервала дискретизации времени T_{pnc} для ТНО^{pnc} в виде параболической траектории наибольшего отклонения степени n (где $n = 1, 2, 3, \dots$) с постоянной скоростью отклонения $V_c = \text{const} \leq V$ на начальном и конечном участках траектории:

$$T_{pnc} = T_{pn} - 2t_1 = \frac{2\Delta}{V_c} + 2(1 - \frac{1}{n}) \left[\frac{(n-1)! V_c}{\max p^{(n)}(t)} \right]^{\frac{1}{n-1}}, \quad (14)$$

$$\text{где } V_c \leq n \left[\frac{\Delta^{n-1}}{n!} \max p^{(n)}(t) \right]^{\frac{1}{n}}.$$

Ограничительное выражение для максимальной скорости $+V_c$ (при $V_c \leq V$) в выражении (14) получено путем последовательных подстановок групповых КСП^{pnc} друг в друга для конкретного значения величины степени n в столбце 3 таблицы. Причем последовательные подстановки осуществлены таким образом, чтобы последовательно исключались все параметры согласуемого ТНО^{pnc} $\max\{\Delta, V_c, a, p^{(3)}(t), \dots, p^{(n)}(t)\}$, кроме трех параметров $\max\{\Delta, V_c, p^{(n)}(t)\}$.

Таким образом, для выражения (14) введено ограничение, в соответствии с которым КСП^{pnc} согласуемого ТНО^{pnc} (таблица, столбец 3) выполняются, а КСП^{pnc}, содержащие максимальную скорость ($V_c \leq V$), не выполняются.

Проверим работоспособность и универсальность выражения (14) для соответствующих ТНО^{pnc} при значениях $n = 1, 2, 3$.

Пример 3. При $n = 1$ имеем $T_{p1c} = \frac{2\Delta}{V_c}$, где $V_c \leq \max p^{(1)}(t) = V$.

Пример 4. При $n = 2$ имеем $T_{p2c} = \frac{2\Delta}{V_c} + \frac{V_c}{\max p^{(2)}(t)} = \frac{2\Delta}{V_c} + \frac{V_c}{a}$, где $V_c \leq 2 \left[\frac{\Delta a}{2!} \right]^{\frac{1}{2}} = \sqrt{2\Delta a}$.

Примеры 3 и 4 доказывают универсальность (14) путем получения из (14) выражений (1)–(3) как частных случаев.

Коэффициент рассогласования скорости траектории ТНО^{рпс}

Для определения количественных отличий вариантов выражения (14), имеющих различные значения степени n (где $n = 1, 2, 3, \dots$), в части величины интервала дискретизации времени $T_{\text{рпс}}$ введем в ограничительную часть выражения (14) коэффициент $m = V/V_c$ рассогласования скорости [7] и запишем КСП^{пн} в виде

$$V_c = \frac{n}{m} \left[\frac{\Delta^{n-1}}{n!} \max p^{(n)}(t) \right]^{\frac{1}{n}}. \quad (15)$$

Выражение (15) подставим в выражение (11), учтем (6) при ($i = n$), обозначим $\tau_{\text{рпс}} = T_{\text{рпс}} / T_{\text{пн}}$, получим отношение максимально допустимых интервалов дискретизации времени для рассогласованного ТНО^{рпс} и согласованного ТНО^{пн}:

$$\tau_{\text{рпс}} = \frac{m}{n} + \left(1 - \frac{1}{n}\right) m^{\frac{1}{1-n}} = \frac{n-1+m^{\frac{n}{n-1}}}{n m^{\frac{1}{n-1}}}, \quad (16)$$

где $1 \leq m \leq \delta_k^{\frac{1-n}{n}}$.

Как видно из рис. 4, относительный максимально допустимый интервал дискретизации времени $\tau_{\text{рпс}}$ уменьшается при уменьшении коэффициента рассогласования скоростей m и увеличении степени ТНО^{пн} n .

Влияние дискретизации ТНО^{рпс} по времени на точность аппроксимации

На рис. 3 (как и на рис. 2) в верхней части ТНО^{рпс} изображен отрезок AB , который аппроксимирует ТНО^{рпс} по выборкам из него в моменты времени t_A и t_B с абсолютной погрешностью Δ_k . Так как эти моменты времени приходятся на параболический участок траектории, очевидно, абсцисса точки A (8), частота дискретизации f_k (9) отличных по величине интервалов времени $T_{\text{рпс}}$ и $T_{\text{пн}}$ будут одинаковы для двух траекторий ТНО^{рпс} и ТНО^{пн} (см. рис. 2, 3). В связи с этим теорема о превышении частоты траектории ТНО^{пн} сигнала $p(t)$ будет справедлива для двух типов траекторий ТНО^{рпс} и ТНО^{пн}, поэтому для определения частоты дискретизации сигнала $p(t)$ необходимо использовать выражение (9).

Запишем выражение, аналогичное (10), для нахождения коэффициента $k_{\text{рпс}}$ превышения частоты $f_{\text{рпс}}$, при этом учтем равенство $\tau_{\text{рпс}} = T_{\text{рпс}} / T_{\text{пн}}$ и вы-

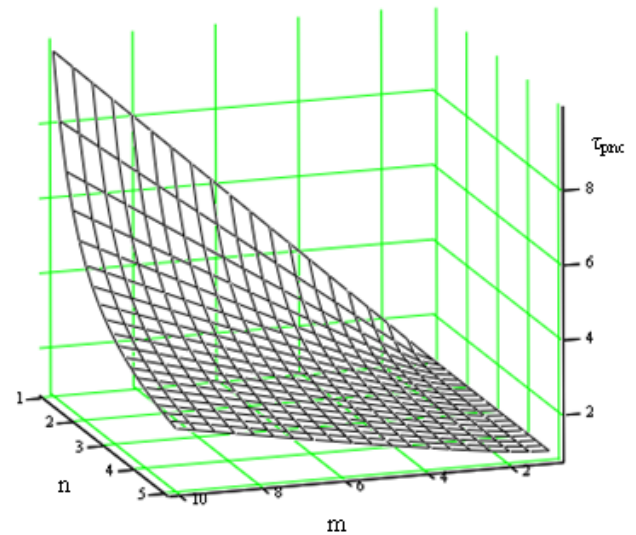


Рисунок 4. Поверхность, соответствующая зависимости

ражение (10) $k_{\text{рпс}} = \frac{T_{\text{рпс}}}{T_k} = \frac{T_{\text{пн}}}{T_k} \tau_{\text{рпс}} = \frac{f_k}{f_{\text{пн}}} \tau_{\text{рпс}} = \delta_k^{-\frac{1}{n}} \delta_{\text{рпс}}$.

Так как $\tau_{\text{рпс}} = T_{\text{рпс}} / T_{\text{пн}} \geq 1$, имеем $k_{\text{рпс}} \geq k_{\text{пн}}$.

Изображение графиков зависимости $k_{\text{рпс}} = F(\delta_k)$ при $n = 1, 2, 3, 4$ будет аналогично изображениям графиков на рис. 2 с умножением их ординат на коэффициент $\tau_{\text{рпс}} \geq 1$ (16).

Заключение

Классической математической модели в виде остаточного члена формулы Лагранжа присуще ограничение, которое не позволяет определять величину шага $T_{\text{пн}}$ дискретизации сигнала $p(t)$ по времени, если $n \geq 3$, а восстановление сигнала по выборкам происходит с помощью ступенчатой или линейной аппроксимирующей зависимости. Доказана теорема о превышении частоты ТНО^{пн}, которая увязывает между собой величину погрешности линейной аппроксимации Δ_k сигнала $p(t)$ по выборкам из него и коэффициент необходимого превышения частоты ТНО^{пн} для достижения такой погрешности. Для определения частоты дискретизации сигнала $p(t)$ необходимо использовать (9).

Математическая модель рассогласованной траектории ТНО^{рпс}, кроме указанных преимуществ согласованной траектории ТНО^{пн}, позволяет обобщить математические выражения для известных критериев наибольшего отклонения (1–3) и оценить количественный выигрыш в увеличении интервала дискретизации времени $T_{\text{пн}}$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Котельников В.А. О пропускной способности «эфира» и проволоки в электросвязи // Материалы к I Всесоюзному съезду по вопросам технической реконструкции дела связи и развития слаботочной промышленности. М.: Издание редакции управления связи РККА, 1933. С. 4–5.
2. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. М., 1963. С. 830.

3. Хлистунов В.Н. О применении теоремы Котельникова в дискретной измерительной технике // Измерительная техника. 1961. № 3. С. 15–28.
4. Хлистунов В.Н. О погрешности аппроксимации дискретных методов измерения // Приборостроение. 1960. № 5. С. 3–5.
5. Каталог 2014. Контрольно-измерительное оборудование [Электронный ресурс]. URL: www.rohde-schwarz.ru (дата обращения 15.04.20017)
6. Втюрин В.А. Основы автоматизированных систем управления технологическими процессами. СПб: Издательство ГЛТА, 2006. 152 с.
7. Майоров Б.Г. Обобщенный критерий наибольшего отклонения входных сигналов систем управления // Автоматика и телемеханика. 2005. № 10. С. 148–155.
8. Микросхемы АЦП и ЦАП. М.: Додека-XXI. 2005. 512 с.
9. Guan K. M., Kozat S. S., Singer A. C. Adaptive reference levels in a level-crossing analog-to-digital converter. *Eurasip Journal on Advances in Signal Processing*, 2008, iss. 3, pp. 201–210.
10. Guan K. M., Krauss J. P., Sovero E., Tseng G., Tan M. A Sequential Sampling Algorithm that Adapts to the Uncertain Sparsity in Signal Environment. The 2011 Communications Conference. Track 1. Waveforms and Signal Processing. Redondo Beach, CA. 2011, pp. 53–67.
11. Майоров Б.Г. Дискретизация сигналов и процессов по теореме Котельникова с учетом максимальных значений их производных по времени // Успехи современной радиоэлектроники. 2010. № 1. С. 56–63.
12. Майоров Б.Г. Определение минимального интервала дискретизации времени при ступенчатой и линейной аппроксимациях сигнала // Успехи современной радиоэлектроники. 2011. № 3. С. 71–75.
13. Майоров Б.Г. Модель траектории наибольшего отклонения сигнала (процесса) в виде степенной функции // Вопросы радиоэлектроники. 2015. № 12. С. 52–61.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Майоров Борис Геннадьевич, к.т.н., доцент, ведущий научный сотрудник, АО «Научно-производственное предприятие «Рубин», 440000, Пенза, ул. Байдукова, д. 2, тел.: 8 (8412) 20-47-77, e-mail: mail@npp-rubin.ru.

For citation: Mayorov B. G. Criterion of the greatest deviation of the signal and definition of sampling interval of time. Voprosy radioelektroniki, 2017, no. 12, pp.

B. G. Mayorov

CRITERION OF THE GREATEST DEVIATION OF THE SIGNAL AND DEFINITION OF SAMPLING INTERVAL OF TIME

Two mathematical models – trajectories of the greatest deviation of a signal from two next selections of this signal, in the form of degree parabolas are investigated: with all parameters of a signal coordinated among themselves and with signal parameters uncoordinated to the value of maximum speed of a signal. The general formula for determination of the most admissible value of a step of uniform sampling of time – an interval between the next selections of a signal is received and investigated. Signal recovery is carried out on selections of it by means of step and linear approximation taking into account value – by a derivative on time from a signal without exceeding of the set error from recovery. Mathematical calculations and outputs are given.

Keywords: criterion of the greatest deviation, trajectory of the greatest deviation, selections of a signal, time sampling interval, power function, derivative, recovery, linear and step approximation, signal compression (process).

REFERENCES

1. Kotelnikov V. A. [On throughput capacity of “ether” and wire in telecommunications]. *Materialy k I Vsesojuznomu sezdru po voprosam tehnichejskoj rekonstrukcii dela svyazi i razvitija slabotochnoj promyshlennosti*. Moscow, Izdanie redakcii upravlenija svyazi RKKA, 1933, pp. 4–5 (In Russian).
2. Shennon K. *Raboty po teorii informacii i kibernetike* [Works dedicated to theory of information and cybernetics]. Moscow, 1963, p. 830 (In Russian).
3. Hlistunov V. N. On application of Kotel’nikov’s theorem in discrete measuring techniques. *Izmeritel’naya tekhnika*, 1961, no. 3, pp. 15–28 (In Russian).
4. Hlistunov V. N. On the error of approximation of discrete measurement methods. *Priborostroenie*, 1960, no. 5, pp. 3–5 (In Russian).
5. [Catalogue 2014. Control and measuring equipment]. (In Russ.) Available at: <http://www.rohde-schwarz.ru> (accessed 00.00.2017)
6. Vtyurin V. A. *Osnovy avtomatizirovannyh sistem upravlenija tehnologicheskimi processami* [Основы автоматизированных систем управления технологическими процессами Fundamentals of automated process control systems]. Saint-Petersburg, GLTA, 2006, 152 p. (In Russian).
7. Mayorov B. G. Generalized criterion for the greatest deviation of input signals of control systems. *Avtomatika i telemekhanika*, 2005, no. 10, pp. 148–155 (In Russian).
8. *Mikroshemy ACP i CAP* [ADC and DAC microchips]. Moscow, Dodeka-HHI Publ., 2005, 512 p.
9. Guan K. M., Kozat S. S., Singer A. C. Adaptive reference levels in a level-crossing analog-to-digital converter. *Eurasip Journal on Advances in Signal Processing*, 2008, iss. 3, pp. 201–210.

10. Guan K. M., Krauss J. P., Sovero E., Tseng G., Tan M. A Sequential Sampling Algorithm that Adapts to the Uncertain Sparsity in Signal Environment. The 2011 Communications Conference. Track 1. Waveforms and Signal Processing. Redondo Beach, CA. 2011, pp. 53–67.
11. Mayorov B. G. Discretization of signals and processes by the sampling theorem with allowance for maximum values of their time derivatives. *Uspehi sovremennoj radioelektroniki*, 2010, no. 1, pp. 56–63.
12. Mayorov B. G. Determination of the minimum time sampling interval for step and linear signal approximations. *Uspehi sovremennoj radioelektroniki*, 2011, no. 3, pp. 71–75.
13. Mayorov B. G. Model of the trajectory of the greatest deviation of the signal (process) in the form of a power function. *Voprosy radioelektroniki*, 2015, no. 1, pp. 52–61.

AUTHOR

Mayorov Boris, PhD, associate professor, conducting the scientific employee, AO «Nauchno-proizvodstvennoe predpriyatie «Rubin»», 2, ulitsa Baydukova, Penza, 440000, Russian Federation, tel.: +7 (8412) 20-47-77, e-mail: mail@npp-rubin.ru.

В.В. Брызгалин¹

¹ Научно-производственное предприятие «Рубин»

РЕШЕНИЕ ПРЯМОЙ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ГРУППОВОГО КОМПЛЕКТА ЗИП РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ ПРИ НЕИЗВЕСТНОМ КОЛИЧЕСТВЕ ИЗДЕЛИЙ В ГРУППЕ

Статья посвящена решению нестандартной задачи комплектования групповых комплектов запасных частей, инструментов и принадлежностей (ЗИП) радиоэлектронных средств. Комплект ЗИП представляет собой набор запасных частей, инструментов и принадлежностей, компактно размещенных в пространстве. Расчет комплектов ЗИП определяет минимальный уровень запасов, удовлетворяющий заданным требованиям к показателю достаточности для определенной стратегии пополнения. Рассмотрены на конкретном примере возможные пути решения задачи аналитическим и графическим способами. Затронуты понятия «комплект ЗИП», «отказ комплекта ЗИП», «прямая задача оптимизации». Предлагаемый алгоритм решения задачи найдет применение в работе подразделений, занимающихся вопросами надежности и качества.

Ключевые слова: комплект ЗИП, надежность, показатель достаточности комплекта ЗИП, групповой комплект ЗИП, стратегия пополнения запасов.

Согласно [1, 2], комплект запасных частей, инструментов и принадлежностей предназначен для обеспечения эксплуатации (ремонта и технического обслуживания) изделий. Различают одиночный, групповой и ремонтный комплекты ЗИП. В данном исследовании речь пойдет о групповом комплекте ЗИП (ЗИП-Г), используемом для обеспечения эксплуатации группы изделий.

Для автоматизированного решения на ПЭВМ задач расчета оптимальных по затратам запасов проектируемых изделий используется пакет прикладных программ (ППП) «РОКЗЭРСИЗ» [3]. В ППП «РОКЗЭРСИЗ» применяются математические модели, изложенные в [1, 2, 4].

Как правило, определение состава комплекта ЗИП-Г при решении задачи оптимизации производится в следующем порядке:

1. Задаются исходные данные: показатели надежности составных частей (СЧ) изделия, количество изделий в группе, стратегия пополнения запасов, показатель достаточности комплекта ЗИП-Г.
2. Производится расчет оптимальных запасов в комплекте ЗИП-Г в соответствии с методикой, определенной в нормативно-технической документации.

Но в некоторых случаях по требованию заказчика приходится решать данную задачу в обратном

порядке: необходимо найти максимальное количество изделий в группе, для которого заданный комплект ЗИП-Г будет оптимальным. В комплект ЗИП-Г включаются изделия либо целиком, либо по СЧ в зависимости от конструктивных особенностей. Следует отметить, что для исследования использовались радиоэлектронные изделия.

При проведении исследования принимаются следующие допущения и ограничения:

1. Изделие восстанавливается методом агрегатной замены (целиком, без учета СЧ).
2. Решается прямая задача оптимизации, т.е. оптимизация по показателю достаточности $\Delta t_{\text{ЗИП-Г}}$. Данные о стоимости изделия не влияют на результаты расчета.
3. Расчет производится в соответствии с методикой 10.2 [1, 2].
4. Все изделия в группе однотипные и эксплуатируются в одинаковых условиях.
5. Поток заявок на запасные части (ЗЧ) в комплекты ЗИП является простейшим, то есть случайное время между заявками распределено по экспоненциальному закону.

В качестве исходных данных для расчета выступают:

- интенсивность замен изделия: $\lambda_3 = 0,0001$ 1/ч;

- количество составных частей данного типа в изделии: $m = 1$;
- стратегия пополнения запасов: $\alpha = 3$, т.е. непрерывное пополнение;
- время ремонта изделия и доставки в ЗИП-Г: $T_r = 2160 \text{ ч} = 90 \text{ сут}$;
- среднее время задержки в удовлетворении заявок на ЗЧ комплектом ЗИП-Г: $\Delta t_{\text{ЗИП-Г}} = 24 \text{ ч}$.

Среднее время задержки в удовлетворении заявок на ЗЧ является показателем достаточности, и максимальное количество изделий, которое может обслужить комплект ЗИП-Г, определяется при условии, что значение $\Delta t_{\text{ЗИП-Г}}$ не превысит 24 ч. В символьном представлении цель расчета – нахождение максимального количества образцов изделия S_{max} , для которого оптимальное количество запаса в комплекте ЗИП-Г $n_r = 1$. Расчет проводился в следующем порядке:

1. Определение расчетного показателя D_r по формуле

$$D_r = \Delta t_{\text{ЗИП-Г}} S m \lambda_3. \quad (1)$$

2. Вычисление среднего количества заявок на запасные части a_r по формуле

$$a_r = T_r S m \lambda_3. \quad (2)$$

3. Нахождение промежуточного расчетного показателя R_r при оптимальном количестве запаса в комплекте ЗИП-Г $n_r = 1$ по формуле

$$R_r(n_r; a_r) = a_r (1 - \exp(-F_1[(n_r - 1); a_r])),$$

$$F_1(n_r; a_r) = -\ln \left[1 - \frac{\exp(-a_r)}{a_r} \sum_{\gamma=n_r+2}^{\infty} (\gamma - n_r - 1) \frac{a_r^\gamma}{\gamma!} \right]. \quad (3)$$

4. Построение функций $R_r(S)$ и $D_r(S)$. Поскольку S неизвестно, в формулы (1)–(3) подставляются значения $S = [1; +\infty)$.

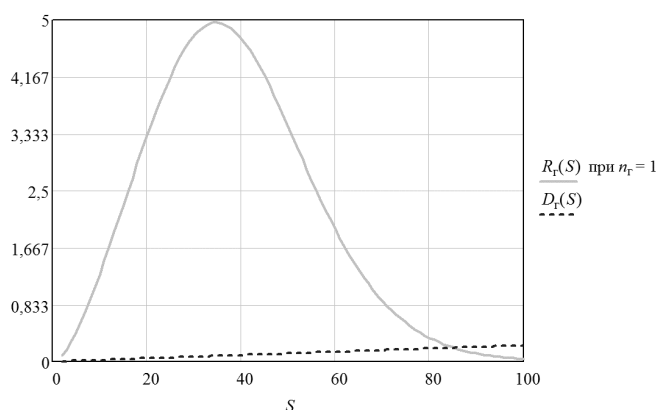


Рисунок 1. График расчетных показателей при $n_r = 1$

5. Нахождение максимального количества образцов изделия S_{max} , для которого выполняется условие оптимальности комплекта ЗИП-Г $R_r(S) \leq D_r(S)$. S_{max} определяется по графику функций $R_r(S)$ и $D_r(S)$, представленному на рис. 1.

На графике функции $R_r(S)$, $D_r(S)$ пересекаются в точке $S = 85,11$. Это означает, что при обслуживании комплектом ЗИП-Г 86 и более изделий в данный комплект рекомендуется включать одно изделие целиком. Максимальное количество образцов изделия, удовлетворяющее условию $R_r(S) \leq D_r(S)$, стремится к бесконечности $S_{\text{max}} \rightarrow +\infty$.

Однако можно предположить, что рассчитанный по вышеописанной методике комплект ЗИП-Г будет недостаточен. Интенсивность замен изделия $\lambda_3 = 0,0001 \text{ 1/ч}$ соответствует наработке на отказ $T_0 = 10000 \text{ ч}$, то есть в среднем отказ изделия произойдет через 417 сут. непрерывной эксплуатации. Комплекты ЗИП поставляются на длительный срок – не менее 1 года. А с учетом 86 изделий в группе высока вероятность отказа двух или более изделий в течение срока эксплуатации, что означает отказ комплекта ЗИП. Согласно [1, 2], отказ комплекта ЗИП представляет собой событие, при котором поступившая в ЗИП заявка на ЗЧ не удовлетворяется из-за того, что на момент поступления заявки запасные части в ЗИП отсутствуют (их запас был исчерпан ранее и еще не восстановлен).

Данное предположение возможно проверить нахождением промежуточного расчетного показателя R_r при оптимальном количестве запаса в комплекте ЗИП-Г $n_r > 1$. График функций $R_r(S)$, $D_r(S)$ при различных значениях n_r представлен на рис. 2.

По рис. 2 можно предположить, что функции $R_r(S)$ и $D_r(S)$ пересекаются в двух точках, поэтому более информативным будет представление графика для количества образцов изделия S от 1 до 10 (рис. 3).

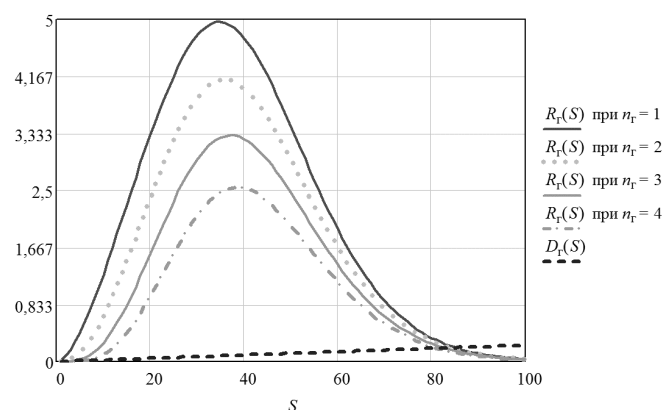


Рисунок 2. График расчетных показателей при различных значениях n_r

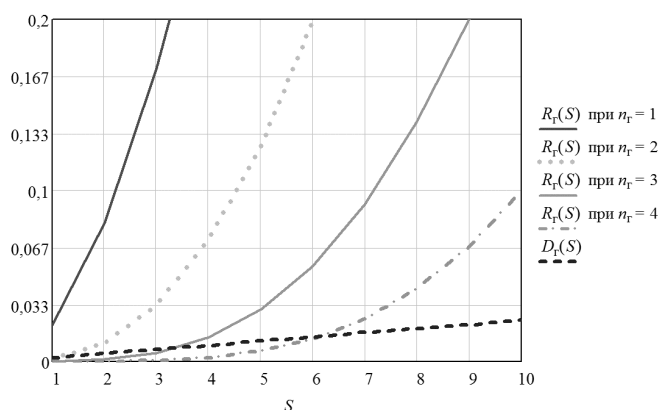


Рисунок 3. График расчетных показателей при различных значениях n_r в увеличенном масштабе

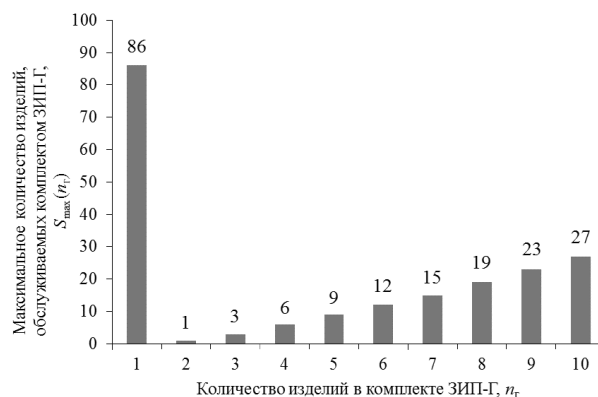


Рисунок 4. График зависимости максимального количества образцов изделия S от количества изделий в комплекте ЗИП-Г n_r

Как видно из рис. 3, при $n_r > 1$ функции $R_r(S)$ и $D_r(S)$ имеют две точки пересечения. Очевидно, что количество образцов изделия для оптимального комплекта ЗИП-Г – минимальное из двух значений S . Максимальным количеством образцов изделия в группе $S_{\max}$ будет наибольшее целое число, для которого выполняется условие $R_r(S) \leq D_r(S)$. Решать неравенство можно путем подстановки конкретных значений в формулы (1)–(3) или графически. Рассмотрим процесс решения данной задачи на конкретном примере. Необходимо найти максимальное количество образцов изделия $S_{\max}$, для которого оптимальное количество запаса в комплекте ЗИП-Г $n_r = 3$. Первоначальное значение S принимается равным 1, для него проверяется выполнение условия $R_r(S) \leq D_r(S)$. Если условие выполняется, S итерационно увеличивается на 1 до тех пор, пока впервые условие будет не выполнено.

При $S = 1$, $R_r(1) = 0,08 \cdot 10^{-3}$, $D_r(1) = 2,4 \cdot 10^{-3}$ условие $R_r(S) \leq D_r(S)$ выполняется.

При $S = 2$, $R_r(2) = 1,124 \cdot 10^{-3}$, $D_r(2) = 4,8 \cdot 10^{-3}$ условие $R_r(S) \leq D_r(S)$ выполняется.

При $S = 3$, $R_r(3) = 5,023 \cdot 10^{-3}$, $D_r(3) = 7,2 \cdot 10^{-3}$ условие $R_r(S) \leq D_r(S)$ выполняется.

При $S = 4$, $R_r(4) = 14,04 \cdot 10^{-3}$, $D_r(4) = 9,6 \cdot 10^{-3}$ условие $R_r(S) \leq D_r(S)$ не выполняется.

Максимальное количество образцов изделия $S_{\max} = 3$ при оптимальном количестве запаса в комплекте ЗИП-Г $n_r = 3$. Также можно найти значение $S_{\max}$ по графику на рис. 3 как округленное в меньшую сторону значение координаты по оси абсцисс точки пересечения функций $R_r(S)$ при $n_r = 3$ и $D_r(S)$.

Для лучшего понимания результатов решения данной задачи аналогичные вычисления проводятся

для $n_r = [1; 10]$. Вероятность того, что при эксплуатации понадобится более 10 однотипных изделий в комплекте ЗИП-Г, очень незначительна, поэтому такой случай не рассматривается. График зависимости максимального количества образцов изделия $S_{\max}$ от количества изделий в комплекте ЗИП-Г n_r приведен на рис. 4.

Можно найти некоторую схожесть между данной задачей и оценкой запасов в комплекте ЗИП-Г, проводимой в соответствии с методикой 9.2 [1, 2]. В обоих случаях оптимальное количество запаса в комплекте ЗИП-Г n_r заранее установлено. Разница между ними в том, что при оценке запасов вычисляется значение показателя достаточности $\Delta t_{\text{зип-г}}$ и известно количество изделий S , обслуживаемых комплектом ЗИП-Г. Открытым остается вопрос корректности такой постановки задачи, поскольку чаще всего система ЗИП формируется, когда количество образцов изделий S окончательно определено.

Вывод

Из вышеизложенного можно сделать следующий вывод: математические модели, используемые в нормативных документах [1, 2] и ППП «РОКЗЭРСИЗ», некорректно описывают функцию $S_{\max}(n_r)$ при $n_r = 1$ и $n_r = 2$. Тогда чем еще можно объяснить, что одно изделие в комплекте ЗИП-Г оптимально для группы из 86 изделий, а 10 изделий в ЗИП-Г оптимально для группы из 27 изделий? Также следует отметить, что задача оптимизации при известном составе комплекта ЗИП-Г позволяет получить корректное решение при $n_r \geq 3$. Поэтому при решении данной задачи следует учитывать в качестве ограничения значений исходных данных $n_r \geq 3$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. РД В 319.01.19–98. Комплексная система контроля качества. Аппаратура, приборы, устройства и оборудование военного назначения. Методики оценки и расчета запасов в комплектах ЗИП. М.: 22 ЦНИИИ МО РФ, 1999. 59 с.
2. ГОСТ РВ 27.3.03–2005. Надежность военной техники. Оценка и расчет запасов в комплектах ЗИП. М.: Стандартинформ, 2005. 38 с.
3. Шура-Бура А. Э., Резиновский А. Я., Дзиркал Э. В. Пакет прикладных программ по расчету оптимальных комплектов запасных элементов для ремонта сложных изделий ППП «РОКЗЭРСИЗ»: руководство по применению. 3-е изд. М.: 22 ЦНИИИ МО РФ, 2004. 59 с.
4. Головин И. Н., Чуварыгин Б. В., Шура-Бура А. Э. Расчет и оптимизация комплектов запасных элементов радиоэлектронных систем. М.: Радио и связь, 1984. 176 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Брызгалин Владимир Викторович, инженер-электроник, АО «Научно-производственное предприятие «Рубин», 440000, Пенза, ул. Байдукова, д. 2, тел.: 8 (8412) 20-47-76, e-mail: v-bryzgalin@yandex.ru.

For citation: Bryzgalin V. V. Direct optimization problem solution of the group spta package of the electronic equipment under unknown products quantity. Voprosy radioelektroniki, 2017, no. 12, pp.

V. V. Bryzgalin

DIRECT OPTIMIZATION PROBLEM SOLUTION OF THE GROUP SPTA PACKAGE OF THE ELECTRONIC EQUIPMENT UNDER UNKNOWN PRODUCTS QUANTITY

The article is devoted to non-standard task solving of group SPTA packages of electronic equipment collecting. SPTA package is a spare parts, tools and accessories set, housed in a compact space. SPTA packages calculation defines minimum spare level that satisfies the requirements to adequacy index for specify replenishment action strategy. The possible solutions to the problem considered on the particular example by analytical and graphical way. The concepts «SPTA package», «failure of SPTA package», «direct optimization problem» are affected. The proposed solution algorithm can find application in the divisions dealing with issues of reliability and quality.

Keywords: SPTA package, reliability, SPTA package adequacy index, group SPTA package, replenishment action strategy.

REFERENCES

1. RD V 319.01.19–98. *Kompleksnaya sistema kontrolja kachestva. Apparatura, pribory, ustrojstva i oborudovanie voennogo naznachenija. Metodiki ocenki i rascheta zapasov v komplektah ZIP* [Integrated quality control system. Military instrumentation, devices, units and equipment. Methods for evaluation and estimates of inventories in spare parts sets]. Moscow, 22 CNIII MO RF, 1999, 59 p. (In Russian).
2. GOST RV 27.3.03–2005. *Nadezhnost voennoj tehnik. Ocenka i raschet zapasov v komplektah ZIP* [GOST RV 27.3.03–2005. Reliability of military equipment. Estimation and calculation of inventory of spare tools and accessories kits]. Moscow, Standartinform Publ., 2005, 38 p. (In Russian).
3. Shura-Bura A. E., Rezinovskiy A. Ya., Dzirkal E. V. *Paket prikladnyh programm po raschetu optimal'nyh komplektov zapasnyh jelementov dlja remonta slozhnyh izdelij PPP «ROKZJeRSIZ»: rukovodstvo po primeneniju* [A package of application software for calculation of stock of spare parts kits for repair of complex products of ASP ROKZERSIZ: user manual]. 3-e izd. Moscow, 22 CNIII MO RF, 2004, 59 p. (In Russian).
4. Golovin I. N., Chuvarigin B. V., Shura-Bura A. E. *Raschet i optimizacija komplektov zapasnyh jelementov radioelektronnyh sistem* [Calculation and optimization of sets of spare elements of radio electronic systems]. Moscow, Radio i svyaz Publ., 1984, 176 p. (In Russian).

AUTHOR

Bryzgalin Vladimir, electronics engineer, АО «Nauchno-proizvodstvennoe predpriyatie «Rubin», 2, ulitsa Baydukova, Penza, 440000, Russian Federation, tel.: +7 (8412) 20-47-76, e-mail: v-bryzgalin@yandex.ru.

А. В. Шумило¹, Р. Ж. Бахтияров¹

¹ Научно-производственное предприятие «Рубин»

К ВОПРОСУ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РАЗРАБАТЫВАЕМОЙ (МОДЕРНИЗИРУЕМОЙ) АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В настоящее время происходит бурный рост темпов создания систем автоматизированного управления, наблюдается связанное с ужесточением требований к ним усложнение разрабатываемых комплексов как со структурной точки зрения, так и с функциональной. В результате повышения программно-технического уровня изделий в процессе разработки систем управления необходимо предусматривать мероприятия, направленные на повышение надежности разрабатываемой системы. В статье рассмотрены факторы, влияющие на надежность автоматизированных систем управления (АСУ) специального назначения на различных этапах их создания, и комплекс работ, обеспечивающий необходимый уровень надежности разрабатываемых (модернизируемых) систем управления. Приведены предложения по организации оценки надежности разрабатываемой АСУ специального назначения. В качестве необходимой процедуры на начальных этапах разработки АСУ выбрана проектная оценка надежности системы управления.

Ключевые слова: автоматизированная система управления, надежность АСУ, проектная оценка надежности, элементы АСУ.

В современных условиях устойчивое, надежное и непрерывное управление артиллерийскими и другими воинскими формированиями, постоянное руководство ими в целях своевременного, наиболее полного и эффективного использования боевых возможностей являются основой успешного решения поставленных задач.

Для управления артиллерийскими формированиями разработан ряд автоматизированных систем управления, обеспечивающих автоматизацию деятельности должностных лиц артиллерии. Также ведутся работы по созданию перспективных АСУ с функциями поддержки принятия решений. В состав каждой АСУ входят разнородные элементы, при этом в выполнении одной функции АСУ обычно участвуют несколько различных элементов, а один и тот же элемент может участвовать в выполнении нескольких функций системы. Таким образом, уровень надежности АСУ зависит от следующих основных факторов [1, 2]:

- состава и уровня надежности используемых технических средств и их взаимосвязи;

- состава и уровня надежности используемых программных средств, их взаимосвязи в структуре программного обеспечения АСУ;
- уровня квалификации персонала и уровня надежности его действий;
- рациональности распределения решаемых системой задач;
- режимов эксплуатации АСУ.

При анализе надежности системы целесообразно рассматривать три этапа в ее создании: проектирование, изготовление, эксплуатацию [3].

На этапе проектирования факторами, влияющими на надежность, являются:

- количество и качество элементов в системе: увеличение количества используемых элементов приводит к снижению уровня надежности технических средств. К ухудшению надежности приводит также применение менее надежных элементов;
- режим работы элементов: правильный выбор режимов их работы снижает частоту отказов;

- выбор стандартных и унифицированных элементов: применение элементов с отработанной технологией производства, известной своей надежностью, повышает надежность системы;
- обеспечение свободного доступа к блокам, элементам аппаратуры для осмотра, ремонта; наличие средств оповещения об отказе того или иного элемента.

В процессе изготовления на надежность АСУ влияют: входной контроль качества материалов и комплектующих изделий, поступающих от других предприятий; качество хранения комплектующих изделий и материалов; соблюдение технологии изготовления, сборки.

В процессе эксплуатации факторами, влияющими на надежность, являются:

- квалификация обслуживающего персонала;
- внешние условия: климатические, вибрации, перегрузки, удары и др.;
- фактор времени.

Таким образом, необходимый уровень надежности каждой конкретной АСУ должен обеспечиваться специальным комплексом работ, проводимых на всех стадиях создания и функционирования системы. Обязательными работами по обеспечению надежности, которые следует выполнять в процессе создания АСУ специального назначения, должны быть:

- анализ состава и содержания функций разрабатываемой (модернизируемой) АСУ, определение конкретного содержания понятия «отказ» и критериев отказа по каждому виду отказов для всех функций системы;
- анализ, при необходимости, аварийных ситуаций в АСУ, определение конкретного содержания понятия «аварийная ситуация» для данной АСУ и критериев аварийной ситуации по каждой из рассматриваемых ситуаций;
- выбор состава показателей надежности по всем функциям АСУ, указанным в тактико-техническом

задании (ТТЗ) (техническом задании (ТЗ)) на АСУ и, при необходимости, по всем аварийным ситуациям, определение требований к уровню их значений;

- выбор методов оценки надежности АСУ на различных стадиях ее создания и функционирования;
- проведение проектной оценки надежности АСУ.

Проведение проектной оценки надежности системы управления позволяет на начальных этапах разработки уточнить состав и структуру комплекса технических средств АСУ, оценить и выбрать способы повышения надежности функционирования технического и программного обеспечения системы.

Для более полного учета факторов [4], влияющих на надежность разрабатываемой (модернизируемой) АСУ специального назначения, проектная оценка должна проводиться с учетом операторов, что обеспечит не только уточнение состава и структуры технических средств, программного обеспечения и их взаимодействия, но и взаимодействие с операторами, а также рациональное распределение решаемых задач между ними.

Заключение

Резюмируя вышесказанное, можно сделать вывод, что необходимость проведения оценок надежности АСУ на различных стадиях ее создания и функционирования, методы получения таких оценок, а также состав оцениваемых при этом показателей надежности системы должны указываться в ТТЗ (ТЗ) на разработку АСУ. Методы оценок надежности АСУ на разных стадиях создания и эксплуатации системы следует выбирать с учетом особенностей конкретной разрабатываемой (модернизируемой) АСУ и конкретных условий ее разработки. Должны учитываться наличие инженерных методик, алгоритмов и программ решения задач оценки надежности, наличие необходимых исходных данных для использования определенного метода и возможности проведения испытаний необходимого объема.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 24.701–86. Единая система стандартов автоматизированных систем управления. Надежность автоматизированных систем управления. Основные положения. М.: Издательство стандартов, 1986. 11 с.
2. Черкесов Г. Н. Надежность аппаратно-программных комплексов. СПб: Питер, 2005. 479 с.
3. Половко, А. М., Гуров С. В. Основы теории надежности. СПб: БХВ-Петербург, 2006. 704 с.
4. Антонов, А. В. Системный анализ. Учебник для вузов. М.: Высшая школа, 2004. 454 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Шумило Александр Владимирович, к.т.н., начальник сектора, АО «Научно-производственное предприятие «Рубин»», 440000, Пенза, ул. Байдукова, д. 2, тел.: 8 (8412) 20-48-45, e-mail: ntc2@npp-rubin.ru.

Бахтияров Ринат Жаферович, инженер, АО «Научно-производственное предприятие «Рубин»», 440000, Пенза, ул. Байдукова, д. 2, тел.: 8 (8412) 20-48-45, e-mail: ntc2@npp-rubin.ru.

For citation: Shumilo A. V., Bakhtiyarov R. J. To the question of maintenance of reliability of the developed (modernized) special purpose automated control systems. Voprosy radioelektroniki, 2017, no. 12, pp.

A. V. Shumilo, R. J. Bakhtiyarov

TO THE QUESTION OF MAINTENANCE OF RELIABILITY OF THE DEVELOPED (MODERNIZED) SPECIAL PURPOSE AUTOMATED CONTROL SYSTEMS

For now there is a rapid growth of systems creation rates of automated control systems, and also the complication of the developed complexes connected with toughening of requirements to them, both from the structural point of view, and the functional. As a result of products program technological level increasing, in the process of control systems development, it is necessary to provide the actions, directed to increase of reliability of the developed system. In article the factors influencing reliability of automated control systems (ACS) of the special purpose on a different creating stages and a complex of operations, providing necessary level of reliability of developed (modernized) control systems are considered. Offers on the reliability assessment organization of the developed ACS of a special purpose are provided. As necessary procedure at the initial stages of ACS development is chosen the design assessment of reliability of a control system

Keywords: automated control system, reliability of the ACS, design assessment of reliability, ACS's elements.

REFERENCES

1. GOST 24.701–86. *Edinaja sistema standartov avtomatizirovannyh sistem upravleniya. Nadezhnost avtomatizirovannyh sistem upravleniya. Osnovnye polozheniya* [A unified system of standards for automated control systems. Reliability of automated control systems. Basic Provisions]. Moscow, Standart Publishing, 1986. 11 p.
2. Cherkasov G. N. *Nadezhnost apparatno-programmnyh kompleksov* [Reliability of hardware & software systems]. Saint-Petersburg, Piter Publ., 2005, 479 p. (In Russian).
3. Polovko A. M., Gurov S. V. *Osnovi teorii nadezhnosti* [Fundamentals of the theory of reliability]. Saint-Petersburg, BHV-Petersburg, 2006. 704 p. (In Russian).
4. Antonov A. V. *Sistemnii analiz. Uchebnik dlya vuzov* [System analysis. Textbook for high schools]. Moscow: High School, 2004. 454 p. (In Russian).

AUTHORS

Shumilo Aleksandr, PhD, chief of the sector, АО «Научно-производственное предприятие «Рубин»», 2, ulitsa Baydukova, Penza, 440000, Russian Federation, tel.: +7 (8412) 20-48-45, e-mail: ntc2@npp-rubin.ru.

Bakhtiyarov Rinat, engineer, АО «Научно-производственное предприятие «Рубин»», 2, ulitsa Baydukova, Penza, 440000, Russian Federation, tel.: +7 (8412) 20-48-45, e-mail: ntc2@npp-rubin.ru.

З.А. Сазыкин¹, В.Д. Шадрина¹

¹ Научно-производственное предприятие «Рубин»

УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ САНИТАРНЫХ УСЛОВИЙ ПРОИЗВОДСТВА

Рассмотрено применение концепции «Интернет вещей» в промышленном сегменте. Выбрано направление реализации данной концепции – разработка устройства контроля санитарных условий производства. Определены требования к устройству в соответствии с принципами концепции. Рассмотрена возможность построения централизованной системы контроля производственных факторов и применение модульного принципа. Перечислены преимущества внедрения таких устройств на производство. Указана целесообразность выбора аппаратной платформы – микроконтроллера. Перечислены краткие технические характеристики выбранного для макета устройства микроконтроллера. Рассмотрена возможность обеспечения автономной работы устройства с применением аккумуляторных батарей. Предоставлен перечень компонентов, входящих в состав разработанного макета устройства, перечень измеряемых параметров и соответствующих диапазонов измерения датчиков. Обоснованы потенциал, возможности расширения функционала и дальнейшая разработка.

Ключевые слова: Интернет вещей, автоматизация производства, микроконтроллер, санитарные условия, импортозамещение.

Одной из тенденций современности является быстрый рост потребления устройств Интернета вещей (Internet of Things, IoT): «умной» бытовой техники, смартфонов, носимой электроники, в частности для контроля состояния здоровья, устройств различного назначения для домашнего хозяйства, автомобильной промышленности и др. [1, 2].

К основным областям применения Интернета вещей, помимо вышеперечисленных, следует отнести и промышленный сегмент [3]. Для повышения производительности труда и качества выпускаемой продукции на производстве необходимо оперативно контролировать такие факторы, как санитарные нормы освещенности, шума, вибрации, состава воздуха, его температуры и влажности, атмосферное давление и ряд других [4].

Устройства, позволяющие осуществлять контроль перечисленных факторов, очевидно, должны обладать минимальными размерами, низким энергопотреблением, высокой точностью измерений, а также низкой себестоимостью, так как для оснащения всех производственных помещений и отдельных их участков потребуется значительное количество таких изделий. Еще одним важным требованием является высокая автономность подобных устройств: их запуск, работа, выключение и обслуживание, согласно принципам IoT, должны требовать минимального участия персонала.

Применение в разработке устройства модульного принципа по отношению к контролируемым параметрам позволит представить устройство в виде кластера некоторого подмножества устройств,

обеспечивающего контроль определенных этим подмножеством факторов. Оснащение всех компонентов кластера возможностью беспроводной передачи данных обеспечит канал передачи данных и их сбор в кластере. Объединение кластеров и, согласно принципам IoT, создание кластерного канала передачи данных позволят осуществлять централизованный сбор и обработку полученных данных, с помощью которых станет возможно построение централизованной системы контроля производственных факторов. Интеграция данной системы с устройствами управления энергоресурсами предприятия даст возможность автоматизировать процесс управления. Внедрение подобных IoT-устройств на производстве позволит производить оперативный контроль санитарных факторов на производстве, снизить частоту проведения соответствующих работ с задействованием персонала, повысить энергоэффективность предприятия за счет оптимизации расхода энергоресурсов в результате контроля соответствующих норм.

Простейшим устройством контроля санитарных условий производства является устройство, обеспечивающее индикацию контролируемых факторов. Разработку такого устройства следует проводить на основе проверенного и хорошо зарекомендовавшего себя микроконтроллера, а также группы датчиков, условия применения и погрешность которых позволяют контролировать заданные в [4] параметры с требуемой точностью. Значения измеряемых параметров должны выводиться на встроенный экран в виде, удобном для восприятия человеком,

а также передаваться по стандартным интерфейсам: USB, Ethernet, Wi-Fi и другим беспроводным сетям.

Для решения определенных выше задач целесообразно использовать микроконтроллер из семейства восьмибитных микроконтроллеров AVR компании Atmel. Микроконтроллеры AVR обладают памятью программ и данных большого объема и высоким быстродействием [5] в сочетании с небольшими размерами и низким энергопотреблением. Кроме того, возможна работа указанных микроконтроллеров в режиме пониженного энергопотребления, при котором потребляемая мощность может быть уменьшена почти в два раза [6]. Учитывая требование к минимизации стоимости при максимально возможном количестве поддерживаемых интерфейсов, в качестве основного элемента разрабатываемого устройства целесообразно выбрать микроконтроллер AVR Atmega328P. Розничная стоимость одной такой микросхемы составляет примерно 110–150 рублей [7], рабочий диапазон температур – от –40 до 85 °С. Микроконтроллер AVR Atmega328P поддерживает стандартные интерфейсы GPIO, I2C, SPI и UART, позволяющие подключить большое количество датчиков, в том числе все необходимые для контроля санитарные условия в соответствии с [4]. В качестве устройств вывода информации возможно применение разнообразных экранов и индикаторов, для обеспечения передачи данных доступны такие компоненты, как Ethernet-, Wi-Fi- и Bluetooth-адаптеры, радиочастотный трансивер (433 МГц, до 1 км), ИК-модуль, а также модуль интерфейса USB.

Точность измерений, производимых разработанным макетом устройства, очевидно, в значительной степени определяется точностью используемых датчиков. Однако с учетом того, что их подключение осуществляется с использованием стандартных интерфейсов, существует возможность замены датчиков более совершенными и дорогими, если в определенном случае требуются более точные измерения одного из параметров, или менее

дорогими, если дополнительная точность не требуется.

В целях обеспечения автономности работы необходимо оснастить устройство аккумуляторной батареей. Использование аккумуляторов форм-фактора ICR18650 и контроллера питания позволит обеспечить непрерывную автономную работу при соответствующей оптимизации программного и аппаратного обеспечения. Подзарядка аккумуляторов и питание устройства возможны также от сети или компьютера с помощью стандартного USB-интерфейса.

На базе микроконтроллера AVR Atmega328P в короткий срок был разработан макет устройства, в состав которого входят следующие компоненты:

- Микроконтроллер AVR Atmega328P.
- ЖК-экран LCD1602.
- Датчик освещенности TSL2561.
- Датчик температуры, влажности и давления BME280.
- Датчик уровня звуковых колебаний MAX4466.
- Датчик углекислого газа MQ135.

Указанный макет позволяет отслеживать такие факторы окружающей среды, как освещенность, температуру и влажность воздуха, атмосферное давление, уровень содержания углекислого газа в воздухе, а также шумовое загрязнение. Значения всех контролируемых параметров выводятся на дисплей, в будущем возможна их пересылка по одному из беспроводных интерфейсов или сохранение на флэш-накопитель.

Время подготовки устройства к работе не превышает 5 с. Перечень диапазонов измерения санитарных параметров и значения погрешности измерения представлены в табл. 1.

Электрическая структурная схема разработанного макета устройства представлена на рисунке. Макет устройства позволяет контролировать выполнение санитарных требований в любых помещениях при температуре окружающей среды от –30

Таблица 1. Перечень диапазонов контролируемых параметров

Измеряемый параметр	Диапазон измерения датчиков
Освещенность	0,1–40 000 лк
Влажность	0–100%
Давление	30–110 кПа
Температура	от –45 до +85 °С
Диапазон частот шумового загрязнения	20–20 000 Гц
Уровень громкости звука	25–135 дБ
Уровень углекислого газа	10–10 000 см ³ /м ³ (ppm)

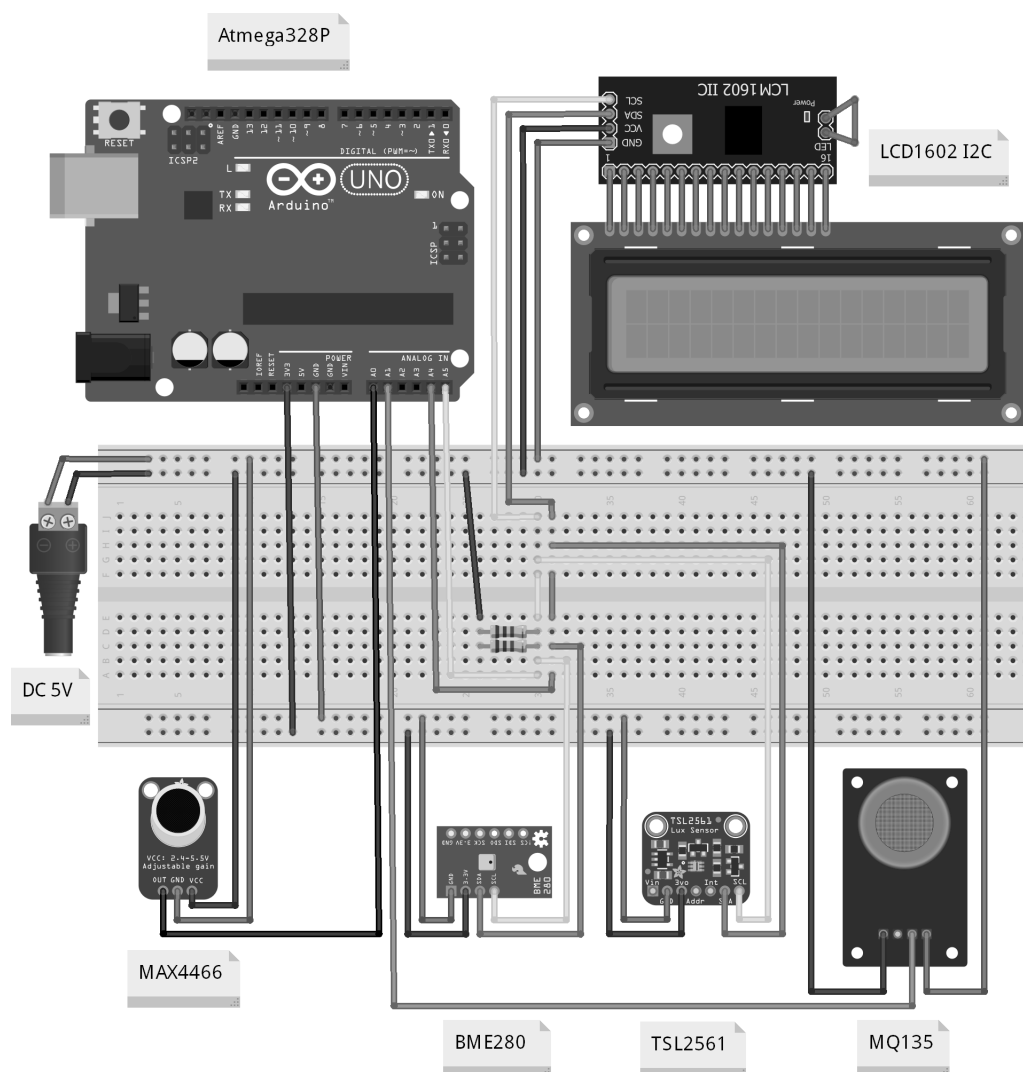


Рисунок. Электрическая структурная схема

до +65 °С. Средняя розничная стоимость компонентов составляет порядка 4000 рублей без аккумуляторных батарей. В перспективе возможны замещение иностранных комплектующих отечественными и организация крупносерийного производства устройства.

Заключение

Устройство имеет значительный потенциал для расширения функционала. Оснащение устройства модулями беспроводной передачи данных увеличит

мобильность и гибкость его использования, даст возможность построить централизованную систему контроля производственных факторов, а интеграция данной системы с устройствами управления энергоресурсами – автоматизировать управление и оптимизировать их расход. Большинство из существующих на рынке аналогов построены без применения модульного принципа и концепции IoT. Таким образом, дальнейшая разработка устройства контроля санитарных условий производства является обоснованной и перспективной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Встраиваемые системы в экосистеме Интернета вещей [Электронный ресурс]. URL: <http://www.auriga.com/blog/ru/embedded-systems-iot> (дата обращения: 25.11.2016)
2. Что такое Интернет вещей (Internet of Things, IoT) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.tadviser.ru/index.php/> (дата обращения: 15.11.2016)
3. Internet of Things в промышленности [Электронный ресурс]. URL: <http://www.internetofthings.ru/tekhnologii/192-internet-of-things-v-promyshlennosti/> (дата обращения: 15.11.2016)
4. ГОСТ 12.1.005–88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. Введение 01.01.1989. М.: Издательство стандартов, 1989. 49 с.

5. Микроконтроллеры megaAVR [Электронный ресурс]. URL: <http://www.atmel.com/ru/ru/products/microcontrollers/avr/megaavr.aspx> (дата обращения: 26.10.2016)
6. Энергопотребление Arduino [Электронный ресурс]. URL: <http://student-proger.ru/2013/10/energopotreblenie-arduino/> (дата обращения: 26.10.2016)
7. Atmega328. Available at: <http://www.atmel.com/ru/ru/devices/ATMEGA328.aspx?tab=parameters> (accessed 27.10.2016)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Сазыкин Захар Александрович, инженер-программист, АО «Научно-производственное предприятие «Рубин»», 440000, Пенза, ул. Байдукова, д. 2, тел.: 8 (927) 370-70-09, e-mail: monas.pnz@gmail.com.

Шадрина Валерия Дмитриевна, инженер-программист, АО «Научно-производственное предприятие «Рубин»», 440000, Пенза, ул. Байдукова, д. 2, тел.: 8 (906) 399-48-41, e-mail: shadrenok_pups@mail.ru.

For citation: Sazykin Z. A., Sazykina V. D. Device for control sanitary conditions of production. Voprosy radioelektroniki, 2017, no. 12, pp.

Z. A. Sazykin, V. D. Shadrina

DEVICE FOR CONTROL SANITARY CONDITIONS OF PRODUCTION

This article considers the concept of «Internet of Things» in the industrial segment. Is chosen the direction of realization this concept – development the device for control sanitary conditions of production. Are defined the requirements for the device on the principles of the concept «Internet of things». Are listed the advantages of introduction such devices on production. In article considers the possibility of creation centralized system control of production factors and apply the modular principle. Is specified the expediency of choice of the hardware platform – the microcontroller. Are listed the short technical characteristics of the microcontroller used for the device model. In addition, is considers the possibility of autonomous operation of the device using rechargeable batteries. In article considers the list of the components of the developed device model, the list of the measured parameters and the corresponding ranges of measurement of sensors. Also, is proved the potential, possibilities of expansion of functionality and further development.

Keywords: Internet of Things, process control, microcontroller, sanitary conditions, import substitution industrialization.

REFERENCES

1. [Embedded systems in the ecosystem of the Internet of things] (In Russ.) Available at: <http://www.auriga.com/blog/ru/embedded-systems-iot> (accessed: 25.11.2016)
2. [What is the Internet of things (Internet of Things, IoT)] (In Russ.) Available at: <http://www.tadviser.ru/index.php/> (accessed: 15.11.2016)
3. [Internet of Things in Industry] (In Russ.) Available at: <http://www.internetofthings.ru/tekhnologii/192-internet-of-things-v-promyshlennosti/> (accessed: 15.11.2016)
4. GOST 12.1.005–88. Obshhie sanitarno-gigienicheskie trebovaniya k vozduhu rabochej zony [General sanitary and hygienic requirements to air in working area]. Vvedenie 01.01.1989. Moscow, Standartov Publ., 1989, 49 p.
5. [Microcontrollers megaAVR] (In Russ.) Available at: <http://www.atmel.com/ru/ru/products/microcontrollers/avr/megaavr.aspx> (accessed 26.10.2016)
6. [Power consumption Arduino] (In Russ.) Available at: <http://student-proger.ru/2013/10/energopotreblenie-arduino/> (accessed 26.10.2016)
7. [ATmega328] (In Russ.) Available at: <http://www.atmel.com/ru/ru/devices/ATMEGA328.aspx?tab=parameters> (accessed 27.10.2016)

AUTHORS

Sazykin Zakhar, software engineer, АО «Nauchno-proizvodstvennoe predpriyatie «Rubin»», 2, ulitsa Baydukova, Penza, 440000, Russian Federation, tel.: +7 (927) 370-70-09, e-mail: monas.pnz@gmail.com.

Shadrina Valeriya, software engineer, АО «Nauchno-proizvodstvennoe predpriyatie «Rubin»», 2, ulitsa Baydukova, Penza, 440000, Russian Federation, tel.: +7 (906) 399-48-41, e-mail: shadrenok_pups@mail.ru.

Л. Б. Винничек¹, О. Н. Суханова¹, В. А. Ельшин²

¹ ФГБОУ ВО «Пензенский государственный аграрный университет», ² Научно-производственное предприятие «Рубин»

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК ИНСТРУМЕНТ ФИНАНСОВОГО АНАЛИЗА

Рассмотрено применение новых современных технологий для решения проблемы внутрифирменного финансового планирования. Проведен комплексный анализ финансового состояния по данным финансовой (бухгалтерской) отчетности на примере ООО «Победа» за 2013–2015 гг. Предложена экономико-математическая модель оптимизации структуры бухгалтерского баланса организации. Структура агрегатов баланса достигается за счет перераспределения статей баланса. Показано, что управление финансовой устойчивостью является важной задачей менеджмента на всем протяжении существования предприятия. Оптимальная структура бухгалтерского баланса обеспечит выполнение нормативов платежеспособности, финансовой устойчивости и позволит выявить и устранить узкие места финансового состояния организации. Результаты анализа позволят ответить на вопрос, каковы важнейшие способы улучшения финансового состояния конкретной организации в конкретный период ее деятельности.

Ключевые слова: математические модели, компьютерные информационные системы, финансовое планирование, бухгалтерский баланс.

Рыночная экономика требует качественно новых подходов к вопросам финансового планирования на предприятии. Многие проблемы внутрифирменного финансового планирования могут решаться посредством применения новых современных технологий планирования. Сущность экономико-математического моделирования в планировании финансовых показателей заключается в том, что оно позволяет найти количественное выражение взаимосвязей между финансовыми показателями и факторами, их определяющими. В модель включаются только основные (определяющие) факторы.

Модель может строиться по функциональной или корреляционной связи. Функциональная связь выражается уравнением вида

$$Y = f(X),$$

где Y – показатель; x – факторы.

Наиболее используемыми в планировании являются оптимизационные модели. Сущность метода оптимизации плановых решений заключается в том, что сначала разрабатываются несколько вариантов плановых расчетов, а затем выбирается оптимальный.

В бухгалтерском учете моделирование выступает как описание наиболее общих аспектов, присущих учету в различных отраслях и организациях. В этом заключается главная отличительная черта моделирования от других методов исследования.

Модель, построенная на общих принципах, определяет методику исследования, методику учета, приемлемую для всех отраслей и организаций, при этом отраслевые методики могут быть представлены как частные случаи общей модели.

Экономико-математическое моделирование при планировании финансовых показателей позволяет найти качественное выражение взаимосвязей между финансовыми показателями и определяющими их факторами [1].

Рассмотрим комплексный анализ финансового состояния по данным финансовой (бухгалтерской) отчетности на примере ООО «Победа» за 2013–2015 гг., который выявил узкие места, связанные с тем, что ООО «Победа» в 2015 г. находилось в кризисном финансовом положении, а бухгалтерский баланс не удовлетворял характеристикам «положительного» и в течение всего периода находился в зоне допустимого риска ликвидности.

Деятельность ООО «Победа», как и любого другого предприятия, представляет собой взаимосвязь сложных экономических процессов. Вследствие этого использование для их описания математического аппарата, прежде всего статистического, более чем оправдано и может дать положительные результаты.

Интерпретация результатов анализа – наиболее ответственный элемент методики, от которой в значительной мере зависит, будут ли реализованы все

преимущества, заложенные другими элементами (качество исходной информации, грамотно составленная система показателей). Действительно, можно выявить все характеристики деятельности предприятия и корректно рассчитать значения всех рисков, но не составить единой картины из отдельных показателей и не определить, каким же все-таки образом и когда выявленный уровень риска может повлиять на финансовое состояние банка.

Управленческая отчетность должна быть максимально краткой и в то же время информативной, дающей представление о положении предприятия в целом. Разумеется, представление полного набора показателей с подробным аналитическим отчетом в данном случае неприемлемо. В связи с этим возникает необходимость создания так называемой системы ключевых показателей эффективности, которая включает в себя информацию, наиболее полно характеризующую положение предприятия на анализируемую дату [2].

По нашему мнению, в данную систему необходимо включить ряд показателей по состоянию на текущую и предыдущую отчетные даты, процент изменений за период, плановые показатели и индикаторы тренда и исполнения плана. Под индикаторами тренда подразумевается указание динамики определенного показателя, для наглядности выделяемое цветом: позитивный тренд выделяется зеленым цветом, негативный – красным, стабильный – синим. Под стабильным трендом понимается незначительное изменение показателей, для каждого из которых уровень изменений определяется разным. Исполнение и неисполнение плана также показываются цветом – зеленым и красным соответственно. Таким образом, цветовое выделение сразу дает представление о количестве проблемных областей.

Оптимальная структура бухгалтерского баланса обеспечит выполнение нормативов платежеспособности, финансовой устойчивости и позволит устранить узкие места финансового состояния организации. С помощью надстройки «Поиск решения» программного продукта Microsoft Excel построим экономико-математическую модель оптимальной структуры бухгалтерского баланса, которая должна обеспечивать выполнение всех нормативов и иметь большой запас прочности [3].

Для расчетов будем использовать следующие коэффициенты и их нормативные значения:

- коэффициент абсолютной ликвидности:

$$K_{ал} = A1 / (П1 + П2) \geq 0,2;$$

- коэффициент критической ликвидности:

$$K_{кл} = (A1 + A2) / (П1 + П2) \geq 0,7;$$

- коэффициент текущей ликвидности:

$$K_{мл} = (A1 + A2 + A3) / (П1 + П2) \geq 2;$$

- коэффициент обеспеченности оборотных активов собственными оборотными средствами:

$$K_o = (П4 - A4) / (A1 + A2 + A3) \geq 0,1;$$

- коэффициент соотношения заемного и собственного капиталов:

$$K_{зс} = (П1 + П2 + П3) / П4 \leq 0,1;$$

- коэффициент финансовой устойчивости:

$$K_{фy} = (П3 + П4) / (П1 + П2 + П3 + П4) \geq 0,8;$$

где $A1, A2, A3, A4$ – группы актива баланса; $П1, П2, П3, П4$ – группы пассива баланса.

Экономико-математическая модель оптимальной структуры бухгалтерского баланса

Целевая функция $f(X) = (A1 + A2 + A3 + A4) - (П1 + П2 + П3 + П4) \geq 0$.

За ограничения, помимо вышеуказанных коэффициентов и их рекомендуемых значений, приняты условия абсолютно ликвидного бухгалтерского баланса. Таким образом, система ограничений будет иметь вид

$$\begin{cases} A1 / (П1 + П2) \geq 0,2 \\ (A1 + A2) / (П1 + П2) \geq 0,7 \\ (A1 + A2 + A3) / (П1 + П2) \geq 2 \\ (П1 + П2 + П3) / П4 \leq 0,1 \\ (П4 - A4) / (A1 + A2 + A3) \geq 0,1 \\ (П3 + П4) / (П1 + П2 + П3 + П4) \geq 0,8 \\ A1 \geq П1 \\ A2 \geq П2 \\ A3 \geq П3 \\ A4 \leq П4 \\ A1 + A2 + A3 + A4 = 1 \\ П1 + П2 + П3 + П4 = 1 \end{cases}$$

На рисунке представлена экранная форма решенной экономико-математической модели.

В результате решения задачи были получены следующие оптимальные значения групп активов и пассивов бухгалтерского баланса: $A1 = 4\%$; $A2 = 20\%$; $A3 = 16\%$; $A4 = 60\%$; $П1 = 4\%$; $П2 = 16\%$; $П3 = 16\%$; $П4 = 64\%$, которые обеспечат выполнение нормативов платежеспособности и финансовой устойчивости организации.

Сравним оптимальную структуру с фактическими данными бухгалтерского баланса ООО «Победа» за 2015 г. Для этого рассчитаем группы статей актива и пассива оптимального баланса в денежном выражении и отклонения фактических значений от оптимальных. Результаты сведем в табл. 1.

модель бух. учет(2) (2) - Microsoft Excel

Файл Главная Вставка Разметка страницы Формулы Данные Рецензирование Вид AB8YV FineReader 11

Темы Цвета Шрифты Эффе... Поля Ориентация Размер Область Разрывы Подложка Печата... Параметры страницы Вписать Параметры листа Упорядочить

Шрифт: 11, 12, 14, 16, 18, 20, 24, 36, 48, 72, 96, 144, 192, 288, 384, 512, 768, 1024, 1536, 2048, 3072, 4096, 5120, 6144, 7168, 8192, 9216, 10240, 11264, 12288, 13312, 14336, 15360, 16384, 17408, 18432, 19456, 20480, 21504, 22528, 23552, 24576, 25600, 26624, 27648, 28672, 29696, 30720, 31744, 32768, 33792, 34816, 35840, 36864, 37888, 38912, 39936, 40960, 41984, 43008, 44032, 45056, 46080, 47104, 48128, 49152, 50176, 51200, 52224, 53248, 54272, 55296, 56320, 57344, 58368, 59392, 60416, 61440, 62464, 63488, 64512, 65536, 66560, 67584, 68608, 69632, 70656, 71680, 72704, 73728, 74752, 75776, 76800, 77824, 78848, 79872, 80896, 81920, 82944, 83968, 84992, 86016, 87040, 88064, 89088, 90112, 91136, 92160, 93184, 94208, 95232, 96256, 97280, 98304, 99328, 100352, 101376, 102400, 103424, 104448, 105472, 106496, 107520, 108544, 109568, 110592, 111616, 112640, 113664, 114688, 115712, 116736, 117760, 118784, 119808, 120832, 121856, 122880, 123904, 124928, 125952, 126976, 128000, 129024, 130048, 131072, 132096, 133120, 134144, 135168, 136192, 137216, 138240, 139264, 140288, 141312, 142336, 143360, 144384, 145408, 146432, 147456, 148480, 149504, 150528, 151552, 152576, 153600, 154624, 155648, 156672, 157696, 158720, 159744, 160768, 161792, 162816, 163840, 164864, 165888, 166912, 167936, 168960, 169984, 171008, 172032, 173056, 174080, 175104, 176128, 177152, 178176, 179200, 180224, 181248, 182272, 183296, 184320, 185344, 186368, 187392, 188416, 189440, 190464, 191488, 192512, 193536, 194560, 195584, 196608, 197632, 198656, 199680, 200704, 201728, 202752, 203776, 204800, 205824, 206848, 207872, 208896, 209920, 210944, 211968, 212992, 214016, 215040, 216064, 217088, 218112, 219136, 220160, 221184, 222208, 223232, 224256, 225280, 226304, 227328, 228352, 229376, 230400, 231424, 232448, 233472, 234496, 235520, 236544, 237568, 238592, 239616, 240640, 241664, 242688, 243712, 244736, 245760, 246784, 247808, 248832, 249856, 250880, 251904, 252928, 253952, 254976, 256000, 257024, 258048, 259072, 260096, 261120, 262144, 263168, 264192, 265216, 266240, 267264, 268288, 269312, 270336, 271360, 272384, 273408, 274432, 275456, 276480, 277504, 278528, 279552, 280576, 281600, 282624, 283648, 284672, 285696, 286720, 287744, 288768, 289792, 290816, 291840, 292864, 293888, 294912, 295936, 296960, 297984, 299008, 300032, 301056, 302080, 303104, 304128, 305152, 306176, 307200, 308224, 309248, 310272, 311296, 312320, 313344, 314368, 315392, 316416, 317440, 318464, 319488, 320512, 321536, 322560, 323584, 324608, 325632, 326656, 327680, 328704, 329728, 330752, 331776, 332800, 333824, 334848, 335872, 336896, 337920, 338944, 339968, 340992, 342016, 343040, 344064, 345088, 346112, 347136, 348160, 349184, 350208, 351232, 352256, 353280, 354304, 355328, 356352, 357376, 358400, 359424, 360448, 361472, 362496, 363520, 364544, 365568, 366592, 367616, 368640, 369664, 370688, 371712, 372736, 373760, 374784, 375808, 376832, 377856, 378880, 379904, 380928, 381952, 382976, 383992, 385016, 386040, 387064, 388088, 389112, 390136, 391160, 392184, 393208, 394232, 395256, 396280, 397304, 398328, 399352, 400376, 401400, 402424, 403448, 404472, 405496, 406520, 407544, 408568, 409592, 410616, 411640, 412664, 413688, 414712, 415736, 416760, 417784, 418808, 419832, 420856, 421880, 422904, 423928, 424952, 425976, 426992, 428016, 429040, 430064, 431088, 432112, 433136, 434160, 435184, 436208, 437232, 438256, 439280, 440304, 441328, 442352, 443376, 444400, 445424, 446448, 447472, 448496, 449520, 450544, 451568, 452592, 453616, 454640, 455664, 456688, 457712, 458736, 459760, 460784, 461808, 462832, 463856, 464880, 465904, 466928, 467952, 468976, 469992, 471016, 472040, 473064, 474088, 475112, 476136, 477160, 478184, 479208, 480232, 481256, 482280, 483304, 484328, 485352, 486376, 487400, 488424, 489448, 490472, 491496, 492520, 493544, 494568, 495592, 496616, 497640, 498664, 499688, 500712, 501736, 502760, 503784, 504808, 505832, 506856, 507880, 508904, 509928, 510952, 511976, 512992, 514016, 515040, 516064, 517088, 518112, 519136, 520160, 521184, 522208, 523232, 524256, 525280, 526304, 527328, 528352, 529376, 530400, 531424, 532448, 533472, 534496, 535520, 536544, 537568, 538592, 539616, 540640, 541664, 542688, 543712, 544736, 545760, 546784, 547808, 548832, 549856, 550880, 551904, 552928, 553952, 554976, 555992, 557016, 558040, 559064, 560088, 561112, 562136, 563160, 564184, 565208, 566232, 567256, 568280, 569304, 570328, 571352, 572376, 573400, 574424, 575448, 576472, 577496, 578520, 579544, 580568, 581592, 582616, 583640, 584664, 585688, 586712, 587736, 588760, 589784, 590808, 591832, 592856, 593880, 594904, 595928, 596952, 597976, 598992, 599992, 600992, 601992, 602992, 603992, 604992, 605992, 606992, 607992, 608992, 609992, 610992, 611992, 612992, 613992, 614992, 615992, 616992, 617992, 618992, 619992, 620992, 621992, 622992, 623992, 624992, 625992, 626992, 627992, 628992, 629992, 630992, 631992, 632992, 633992, 634992, 635992, 636992, 637992, 638992, 639992, 640992, 641992, 642992, 643992, 644992, 645992, 646992, 647992, 648992, 649992, 650992, 651992, 652992, 653992, 654992, 655992, 656992, 657992, 658992, 659992, 660992, 661992, 662992, 663992, 664992, 665992, 666992, 667992, 668992, 669992, 670992, 671992, 672992, 673992, 674992, 675992, 676992, 677992, 678992, 679992, 680992, 681992, 682992, 683992, 684992, 685992, 686992, 687992, 688992, 689992, 690992, 691992, 692992, 693992, 694992, 695992, 696992, 697992, 698992, 699992, 700992, 701992, 702992, 703992, 704992, 705992, 706992, 707992, 708992, 709992, 710992, 711992, 712992, 713992, 714992, 715992, 716992, 717992, 718992, 719992, 720992, 721992, 722992, 723992, 724992, 725992, 726992, 727992, 728992, 729992, 730992, 731992, 732992, 733992, 734992, 735992, 736992, 737992, 738992, 739992, 740992, 741992, 742992, 743992, 744992, 745992, 746992, 747992, 748992, 749992, 750992, 751992, 752992, 753992, 754992, 755992, 756992, 757992, 758992, 759992, 760992, 761992, 762992, 763992, 764992, 765992, 766992, 767992, 768992, 769992, 770992, 771992, 772992, 773992, 774992, 775992, 776992, 777992, 778992, 779992, 780992, 781992, 782992, 783992, 784992, 785992, 786992, 787992, 788992, 789992, 790992, 791992, 792992, 793992, 794992, 795992, 796992, 797992, 798992, 799992, 800992, 801992, 802992, 803992, 804992, 805992, 806992, 807992, 808992, 809992, 810992, 811992, 812992, 813992, 814992, 815992, 816992, 817992, 818992, 819992, 820992, 821992, 822992, 823992, 824992, 825992, 826992, 827992, 828992, 829992, 830992, 831992, 832992, 833992, 834992, 835992, 836992, 837992, 838992, 839992, 840992, 841992, 842992, 843992, 844992, 845992, 846992, 847992, 848992, 849992, 850992, 851992, 852992, 853992, 854992, 855992, 856992, 857992, 858992, 859992, 860992, 861992, 862992, 863992, 864992, 865992, 866992, 867992, 868992, 869992, 870992, 871992, 872992, 873992, 874992, 875992, 876992, 877992, 878992, 879992, 880992, 881992, 882992, 883992, 884992, 885992, 886992, 887992, 888992, 889992, 890992, 891992, 892992, 893992, 894992, 895992, 896992, 897992, 898992, 899992, 900992, 901992, 902992, 903992, 904992, 905992, 906992, 907992, 908992, 909992, 910992, 911992, 912992, 913992, 914992, 915992, 916992, 917992, 918992, 919992, 920992, 921992, 922992, 923992, 924992, 925992, 926992, 927992, 928992, 929992, 930992, 931992, 932992, 933992, 934992, 935992, 936992, 937992, 938992, 939992, 940992, 941992, 942992, 943992, 944992, 945992, 946992, 947992, 948992, 949992, 950992, 951992, 952992, 953992, 954992, 955992, 956992, 957992, 958992, 959992, 960992, 961992, 962992, 963992, 964992, 965992, 966992, 967992, 968992, 969992, 970992, 971992, 972992, 973992, 974992, 975992, 976992, 977992, 978992, 979992, 980992, 981992, 982992, 983992, 984992, 985992, 986992, 987992, 988992, 989992, 990992, 991992, 992992, 993992, 994992, 995992, 996992, 997992, 998992, 999992, 1000992, 1001992, 1002992, 1003992, 1004992, 1005992, 1006992, 1007992, 1008992, 1009992, 1010992, 1011992, 1012992, 1013992, 1014992, 1015992, 1016992, 1017992, 1018992, 1019992, 1020992, 1021992, 1022992, 1023992, 1024992, 1025992, 1026992, 1027992, 1028992, 1029992, 1030992, 1031992, 1032992, 1033992, 1034992, 1035992, 1036992, 1037992, 1038992, 1039992, 1040992, 1041992, 1042992, 1043992, 1044992, 1045992, 1046992, 1047992, 1048992, 1049992, 1050992, 1051992, 1052992, 1053992, 1054992, 1055992, 1056992, 1057992, 1058992, 1059992, 1060992, 1061992, 1062992, 1063992, 1064992, 1065992, 1066992, 1067992, 1068992, 1069992, 1070992, 1071992, 1072992, 1073992, 1074992, 1075992, 1076992, 1077992, 1078992, 1079992, 1080992, 1081992, 1082992, 1083992, 1084992, 1085992, 1086992, 1087992, 1088992, 1089992, 1090992, 1091992, 1092992, 1093992, 1094992, 1095992, 1096992, 1097992, 1098992, 1099992, 1100992, 1101992, 1102992, 1103992, 1104992, 1105992, 1106992, 1107992, 1108992, 1109992, 1110992, 1111992, 1112992, 1113992, 1114992, 1115992, 1116992, 1117992, 1118992, 1119992, 1120992, 1121992, 1122992, 1123992, 1124992, 1125992, 1126992, 1127992, 1128992, 1129992, 1130992, 1131992, 1132992, 1133992, 1134992, 1135992, 1136992, 1137992, 1138992, 1139992, 1140992, 1141992, 1142992, 1143992, 1144992, 1145992, 1146992, 1147992, 1148992, 1149992, 1150992, 1151992, 1152992, 1153992, 1154992, 1155992, 1156992, 1157992, 1158992, 1159992, 1160992, 1161992, 1162992, 1163992, 1164992, 1165992, 1166992, 1167992, 1168992, 1169992, 1170992, 1171992, 1172992, 1173992, 1174992, 1175992, 1176992, 1177992, 1178992, 1179992, 1180992, 1181992, 1182992, 1183992, 1184992, 1185992, 1186992, 1187992, 1188992, 1189992, 1190992, 1191992, 1192992, 1193992, 1194992, 1195992, 1196992, 1197992, 1198992, 1199992, 1200992, 1201992, 1202992, 1203992, 1204992, 1205992, 1206992, 1207992, 1208992, 1209992, 1210992, 1211992, 1212992, 1213992, 1214992, 1215992, 1216992, 1217992, 1218992, 1219992, 1220992, 1221992, 1222992, 1223992, 1224992, 1225992, 1226992, 1227992, 1228992, 1229992, 1230992, 1231992, 1232992, 1233992, 1234992, 1235992, 1236992, 1237992, 1238992, 1239992, 1240992, 1241992, 1242992, 1243992, 1244992, 1245992, 1246992, 1247992, 1248992, 1249992, 1250992, 1251992, 1252992, 1253992, 1254992, 1255992, 1256992, 1257992, 1258992, 1259992, 1260992, 1261992, 1262992, 1263992, 1264992, 1265992, 1266992, 1267992, 1268992, 1269992, 1270992, 1271992, 1272992, 1273992, 1274992, 1275992, 1276992, 1277992, 1278992, 1279992, 1280992, 1281992, 1282992, 1283992, 1284992, 1285992, 1286992, 1287992, 1288992, 1289992, 1290992, 1291992, 1292992, 1293992, 1294992, 1295992, 1296992, 1297992, 1298992, 1299992, 1300992, 1301992, 1302992, 1303992, 1304992, 1305992, 1306992, 1307992, 1308992, 1309992, 1310992, 1311992, 1312992, 1313992, 1314992, 1315992, 1316992, 1317992, 1318992, 1319992, 1320992, 1321992, 1322992, 1323992, 1324992, 1325992, 1326992, 1327992, 1328992, 1329992, 1330992, 1331992, 1332992, 1333992, 1334992, 1335992, 1336992, 1337992, 1338992, 1339992, 1340992, 1341992, 1342992, 1343992, 1344992, 1345992, 1346992, 1347992, 1348992, 1349992, 1350992, 1351992, 1352992, 1353992, 1354992, 1355992, 1356992, 1357992, 1358992, 1359992, 1360992, 1361992, 1362992, 1363992, 1364992, 1365992, 1366992, 1367992, 1368992, 1369992, 1370992, 1371992, 1372992, 1373992, 1374992, 1375992, 1376992, 1377992, 1378992, 1379992, 1380992, 1381992, 1382992, 1383992, 1384992, 1385992, 1386992, 1387992, 1388992, 1389992, 1390992, 1391992, 1392992, 1393992, 1394992, 1395992, 1396992, 1397992, 1398992, 1399992, 1400992, 1401992, 1402992, 1403992, 1404992, 1405992, 1406992, 1407992, 1408992, 1409992, 1410992, 1411992, 1412992, 1413992, 1414992, 1415992, 1416992, 1417992, 1418992, 1419992, 1420992, 1421992, 1422992, 1423992, 1424992, 1425992, 1426992, 1427992, 1428992, 1429992, 1430992, 1431992, 1432992, 1433992, 1434992, 1435992, 1436992, 1437992, 1438992, 1439992, 1440992, 1441992, 1442992, 1443992, 1444992, 1445992, 1446992, 1447992, 1448992, 1449992, 1450992, 1451992, 1452992, 1453992, 1454992, 1455992, 1456992, 1457992, 1458992, 1459992, 1460992, 1461992, 1462992, 1463992, 1464992, 1465992, 1466992, 1467992, 1468992, 1469992, 1470992, 1471992,

Данные табл. 1 свидетельствуют о том, что фактический бухгалтерский баланс ООО «Победа» за 2015 г. существенно отличается от оптимального.

Наиболее ликвидные активы, медленно реализуемые активы и постоянные пассивы меньше оптимального значения на 3636, 19434 и 14390 тыс. руб. соответственно, а наиболее срочные обязательства превышают оптимальное значение в абсолютной величине на 37459 тыс. руб., или на 35,3%.

Оптимальная структура агрегатов баланса может быть достигнута за счет перераспределения статей баланса. В результате *A1* должен быть увеличен на 3636 тыс. руб., что может быть обеспечено за счет увеличения денежных средств и привлечения краткосрочных финансовых вложений. Значение *A2* может быть увеличено за счет роста среднегодовых остатков дебиторской задолженности, которая в балансе 2015 г. в 4,5 раза меньше размера кредиторской задолженности, и период ее оборота на 30 дней короче оборота кредиторской задолженности. Сокращение агрегата *A3* возможно за счет снижения среднегодовых остатков запасов, которые за исследуемый период возросли в 1,3 раза.

Однако цель анализа состоит не только и не столько в том, чтобы установить и оценить финансовое состояние предприятия, но еще и в том, чтобы постоянно проводить работу, направленную на его улучшение. Анализ финансового состояния показывает, по каким конкретным направлениям надо вести эту работу, дает возможность выявления наиболее важных аспектов и наиболее слабых позиций в финансовом состоянии именно на данном предприятии. В соответствии с этим результаты анализа отвечают на вопрос, каковы важнейшие способы улучшения финансового состояния конкретного предприятия в конкретный период его деятельности.

Для проведения оценки ликвидности предприятия используются следующие методы: анализ ликвидности баланса, расчет и оценка финансовых

коэффициентов ликвидности. Баланс считают абсолютно ликвидным, если имеют место следующие соотношения:

- быстро реализуемые активы (денежные средства и краткосрочные финансовые вложения) больше или равны наиболее срочным обязательствам;
- наиболее срочные обязательства больше или равны краткосрочным обязательствам;
- медленно реализуемые активы (запасы) больше или равны долгосрочным обязательствам;
- труднореализуемые активы (внеоборотные активы) меньше постоянных пассивов.

Коэффициенты ликвидности используют для оценки способности предприятия выполнить свои краткосрочные обязательства [4]. Расчет коэффициентов ликвидности с учетом оптимальной структуры баланса приведен в табл. 2.

Как видно из данных табл. 2, значения коэффициентов ликвидности, рассчитанные по прогнозируемому балансу, соответствуют нормативным ограничениям. При этом произошел рост коэффициентов абсолютной и критической ликвидности, который свидетельствует о повышении краткосрочной платежеспособности организации.

Финансовая устойчивость организации является одной из ключевых характеристик финансового состояния, представляя собой наиболее емкий, концентрированный показатель, отражающий степень безопасности вложения средств в эту организацию. Если организация финансово устойчива, она имеет определенное преимущество перед другими организациями, связанное с привлечением инвестиций, получением кредитов, выбором поставщиков и др. [4].

В основе устойчивости финансового состояния организации лежит соотношение между стоимостью материально-производственных запасов и источниками их формирования (собственными и заемными). Управление финансовой устойчивостью является важной задачей менеджмента на всем

Таблица 2. Показатели ликвидности ООО «Победа»

Показатели	Нормативное ограничение коэффициента	2015 г.	Оптимальный план	Отклонение (+, -)
Общий показатель платежеспособности	≥ 1	1,184	1,119	-0,065
Коэффициент текущей ликвидности	≥ 2	4,757	2,000	-2,757
Коэффициент критической ликвидности	$> 0,7$	0,202	1,200	0,998
Коэффициент абсолютной ликвидности	$> 0,2$	0,051	0,200	0,149

Таблица 3. Показатели финансовой устойчивости ООО «Победа»

Коэффициент	Нормальное ограничение коэффициентов	2015 г.	Оптимальный план	Отклонение (+, –)
Обеспеченности собственными источниками финансирования	$\geq 0,5$	0,497	0,500	–0,290
Финансовой независимости	$\geq 0,4–0,6$	0,730	0,640	–0,090
Финансирования	$\geq 0,7$	2,700	1,778	–0,922
Финансовой устойчивости	$\geq 0,6$	0,842	0,800	–0,042

протяжении существования предприятия. Цель – обеспечить независимость от внешних контрагентов (внешняя финансовая устойчивость – устойчивость отвечать по своим долгам и обязательствам) и рациональность покрытия активов источниками их финансирования (внутренняя финансовая устойчивость).

Рассмотрим изменение показателей финансовой устойчивости, полученных на основе оптимальной структуры баланса (табл. 3).

Данные табл. 3 показывают, что значения коэффициентов финансовой устойчивости соответствуют нормативным ограничениям. Полученная оптимальная структура баланса обеспечивает выполнение всех нормативов и имеет запас прочности.

Проведенное исследование показало, что для улучшения структуры баланса и повышения ликвидности и финансовой устойчивости организации необходимы:

- снижение кредиторской задолженности за счет увеличения доли собственных средств при реализации части оборотных средств;
- разработка оптимального плана в отношении привлечения и использования заемного капитала;

- управление дебиторской задолженностью с целью снижения ее остатков;
- повышение оборачиваемости запасов и оборотных активов за счет их оптимизации;
- снижение себестоимости путем сокращения включенных в нее основных затратных статей.

Предложенные рекомендации позволят улучшить финансовое состояние предприятия, избежать убыточности деятельности и в конечном итоге повысить прибыль, что отразится на увеличении платежеспособности и финансовой устойчивости организации.

Заключение

Таким образом, своевременное проведение анализа финансового состояния организации позволяет на ранних стадиях определить причины ухудшения ее положения, дает возможность выявления наиболее важных аспектов и наиболее слабых позиций в финансовом состоянии. В соответствии с этим результаты анализа позволяют ответить на вопрос, каковы важнейшие способы улучшения финансового состояния конкретной организации в конкретный период ее деятельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федотова М.Ю. Прогнозирование финансового развития компании с использованием экономико-математических методов // Аудит и финансовый анализ. 2015. № 2. С. 141–149.
2. Павлова И.В. Предварительная работа перед составлением годовой отчетности как основа достоверности показателей отчетных форм // Региональные особенности рыночных социально-экономических систем (структур) и их правовое обеспечение: сборник материалов VII Международной научно-практической конференции / под ред. О.С. Кошевого. Пенза, 2016. С. 310–315.
3. Пути улучшения финансового состояния организации / Е.Л. Белова, М.А. Чиркина, М.А. Мартынова, Т.М. Попельшко // Научный вестник ВФ РАНХиГС. 2015. № 3. С. 63–69.
4. Зарук Н.Ф., Винничек Л.Б. Оценка финансовой деятельности сельскохозяйственных предприятий // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2001. № 10. С. 40–42.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Винничек Любовь Борисовна, д.э.н., профессор, зав. кафедрой «Организация и информатизация производства», ФГБОУ ВО «Пензенский государственный аграрный университет», 440014, Пенза, ул. Ботаническая, д.30, тел.: 8 (8412) 62-85-63, e-mail: l_vinnichек@mail.ru.

Суханова Ольга Николаевна, доцент, ФГБОУ ВО «Пензенский государственный аграрный университет», 440014, Пенза, ул. Ботаническая, д. 30, тел.: 8 (8412) 62-85-63, e-mail: olga.suhanova.56@mail.ru.

Ельшин Владимир Александрович, к.э.н., начальник планово-экономического отдела, АО ««Научно-производственное предприятие «Рубин»», 440000, Пенза, ул. Байдукова, д. 2, тел.: 8 (937) 427-65-30, e-mail: elshinv@mail.ru.

REFERENCES

1. Fedotova M. Ju. Forecasting of a company financial development with the use of economic and mathematical methods. *Audit i finansovyy analiz*, 2015, no. 2, pp. 141–149 (In Russian).
2. Pavlova I. V. *Predvaritel'naya rabota pered sostavleniem godovoy otchetnosti kak osnova dostovernosti pokazatelej otchetnykh form* [Preliminary work before preparation of annual reports as a basis for reliability of reporting indicators]. *Regional'nye osobennosti rynochnykh social'no-ekonomicheskikh sistem (struktur) i ih pravovoe obespechenie: sbornik materialov VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii*. In O. S. Koshevoj ed. Penza, 2016, pp. 310–315 (In Russian).
3. Belova E. L., Chirkina M. A., Martynova M. A., Popelyshko T. M. Methods of and entity's financial rehabilitation. *Nauchnyy vestnik VF RANHiGS*, 2015, no. 3, pp. 63–69 (In Russian).
4. Zaruk N. F., Vinnichuk L. B. Evaluation of financial performance of agricultural enterprises. *Jekonomika sel'skhozajstvennykh i pererabatyvayushhih predpriyatij*, 2001, no. 10, pp. 40–42 (In Russian).

For citation: Vinnichuk L. B., Sukhanova O. N., Yelshin V. A. Mathematical modeling as a tool financial analysis. Voprosy radioelektroniki, 2017, no. 12, pp.

L. B. Vinnichuk, O. N. Sukhanova, V. A. Yelshin

MATHEMATICAL MODELING AS A TOOL FINANCIAL ANALYSIS

The application of new modern technologies for solving the problem of intrafirm financial planning is considered. A complex analysis of the financial state based on the financial (accounting) reporting data was carried out on the example of LLC «Pobeda» for 2013–2015. An economic-mathematical model for optimizing the structure of the organization's balance sheet is proposed. The structure of balance aggregates is achieved through the redistribution of balance sheet items. It is shown that the management of financial stability is an important task of management throughout the life of the enterprise. The optimal structure of the balance sheet will ensure compliance with solvency ratios, financial stability and will identify and eliminate bottlenecks in the financial state of the organization. The results of the analysis will allow to answer the question, what are the most important ways to improve the financial state of a particular organization in a particular period of its activity

Keywords: mathematical models, computer information systems, financial planning, balance sheet.

AUTHORS

Vinnichuk Lubov, Dr., professor, head of the department, Penza State Agrarian University, 30, Botanicheskaya ulitsa, Penza, 440014, Russian Federation, tel.: +7 (8412) 62-85-63, e-mail: l_vinnichuk@mail.ru.

Sukhanova Olga, associate professor, Penza State Agrarian University, 30, Botanicheskaya ulitsa, Penza, 440014, Russian Federation, tel.: +7 (841-2) 62-85-63, e-mail: olga.suhanova.56@mail.ru.

Yelshin Vladimir, PhD, the chief of planning-economic department, AO «Nauchno-proizvodstvennoe predpriyatie «Rubin»», 2, ulitsa Baydukova, Penza, 440000, Russian Federation, tel.: + 7 (937) 427-65-30, e-mail: elshinv@mail.ru.

Для цитирования: Гришечкин А. В., Кудряшова И. В., Швагрева Ю. А. Управление закупочной деятельностью на предприятиях ОПК в условиях действия Федерального закона № 223-ФЗ и Единого положения о закупке Государственной корпорации «Ростех» // Вопросы радиоэлектроники. 2017. № 12. С. УДК 658

А. В. Гришечкин¹, И. В. Кудряшова¹, Ю. А. Швагрева¹

¹ Научно-производственное предприятие «Рубин»

УПРАВЛЕНИЕ ЗАКУПОЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ОПК В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВИЯ ФЕДЕРАЛЬНОГО ЗАКОНА № 223-ФЗ И ЕДИНОГО ПОЛОЖЕНИЯ О ЗАКУПКЕ ГОСУДАРСТВЕННОЙ КОРПОРАЦИИ «РОСТЕХ»

В статье рассмотрен способ решения задач, поставленных перед предприятиями оборонно-промышленного комплекса, в связи с введением в действие Федерального закона от 18.07.2011 № 223-ФЗ «О закупках товаров, работ, услуг отдельными видами юридических лиц» и Федерального закона от 29.06.2015 № 159-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «О государственном оборонном заказе», посредством автоматизированной системы управления закупочной деятельностью, разработанной АО «НПП “Рубин”» с учетом требования Единого положения о закупке Государственной корпорации «Ростех». Рассмотрены задачи автоматизации рабочих мест сотрудников закупочного подразделения, отдела материально-технического снабжения, экономиста подразделения. Разработаны и подробно описаны бизнес-процесс автоматизированной системы управления закупками, процесс ее интеграции в 1С: УПП 8.3. Отмечены результаты внедрения автоматизированной системы управления на предприятии, которые позволили сделать организацию закупок предприятия прозрачной и понятной для всех участников, а также существенно повысить эффективность деятельности предприятия в целом.

Ключевые слова: автоматизированная система управления, автоматизированное рабочее место, закупочная деятельность.

Рациональная организация закупок в значительной мере предопределяет уровень использования средств производства, рост производительности труда, снижение себестоимости продукции, увеличение прибыли и рентабельности. Хорошо организованная закупочная деятельность оказывает большое влияние на все стороны производственной и финансовой деятельности предприятия. Нарушение ритмичности закупок не позволяет вести нормальное производство, вызывает простои предприятий, цехов, участков, снижает эффективность материального производства.

С вступлением в силу Федерального закона от 18.07.2011 № 223-ФЗ «О закупках товаров, работ, услуг отдельными видами юридических лиц» [1], а затем Федерального закона от 29.06.2015 № 159-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «О государственном оборонном заказе» и отдельные законодательные акты Российской Федерации», Единого положения о закупке

Государственной корпорации «Ростех» АО «Научно-производственное предприятие “Рубин”», как и другие предприятия оборонно-промышленного комплекса, столкнулось с необходимостью мониторинга и управления закупками товаров, работ, услуг. Задачами управления закупочной деятельностью являются:

- формирование потребности предприятия в закупках;
- формирование плана закупки на основании потребности в закупках;
- подготовка и проведение закупочных процедур;
- заключение и исполнение договоров по результатам закупочных процедур;
- учет проведенных закупочных процедур и заключенных договоров, формирование отчетности;
- учет закупок по отдельным счетам в рамках Федерального закона № 275-ФЗ [2];

- планирование платежей (составление платежного календаря);
- учет остатков денежных средств на отдельных счетах;
- автоматизированное взаимодействие с Единым корпоративным казначейством Государственной корпорации «Роспех» при осуществлении расчетов с контрагентами;
- учет банковских гарантий.

Без автоматизации процесса управления закупками, при больших объемах и номенклатуре закупок (на предприятии ежегодно осуществляется около 40 тыс. закупок), выполнить поставленные задачи невозможно. Автоматизированная система управления (АСУ) должна учитывать не только договоры, информацию о ходе проведенной закупочной процедуры, но и исполнение договора (оплата, поставка, изменения, закрытие, расторжение), а также хранение всех документов исполнения договоров.

Для автоматизации поставленных задач на предприятии был разработан алгоритм работы АСУ, в соответствии с которым определены пользователи системы, их обязанности и последовательность действий от создания закупки до ее завершения:

1. Автоматизированное рабочее место (АРМ) сотрудника закупочного подразделения.
2. АРМ отдела материально-технического снабжения (ОМТС).
3. АРМ экономиста подразделения.

АРМ сотрудника закупочного подразделения предназначено для контроля закупочной деятельности предприятия и позволяет решать следующие задачи:

- Создание заявки на закупку.
- Создание договоров с контрагентами по результатам закупочных процедур.
- Ведение справочников контрагентов.
- Контроль исполнения договора, включая изменения по договорам (дополнительные соглашения, расторжения), оплату, поставку и прочую информацию об исполнении договора.
- Ведение учета подписанных к безналичной оплате счетов по заключенным договорам по всем видам закупок предприятия.
- Постатейный контроль соблюдения бюджета закупок, в том числе по темам и заказам подразделений.
- Учет обеспечений исполнения договоров.
- Формирование различных отчетов и печатных форм.

- Контроль значений целевых показателей закупочной деятельности в режиме реального времени.
- Анализ результатов и статистики закупочной деятельности на основании отчетов.

АРМ сотрудника ОМТС предназначено для учета внутренних заказов подразделений, создания заказов поставщикам, резервирования товаров в системе, планирования платежей, формирования документов поступления и подготовки документов для передачи со склада в системе «1С. Управление производственным предприятием» (1С.УПП). При этом решаются следующие задачи:

- Создание и сопровождение внутренних заказов в электронном виде с возможностью резервирования товара.
- Создание и сопровождение заказов поставщика в электронном виде.
- Ведение справочников номенклатуры товаров.
- Создание документа поступления или приходного ордера от контрагента на материальные активы.
- Создание документов перемещения товаров с центрального склада.
- Создание документов заявок на платеж и осуществление планирования платежей.
- Сканирование и закрепление за документом в 1С.УПП первичных документов (договор, счет на оплату, счет-фактура, товарная накладная, товарный и кассовый чеки).
- Просмотр сведений о наличии и списании товаров и материалов с центральных складов ОМТС.
- Формирование отчетов и печатных форм.

АРМ экономиста подразделения позволяет решать следующие задачи:

- Формирование заявки на платеж и осуществление планирования платежей.
- Информирование сотрудников закупочного подразделения обо всех изменениях по договорам, закрепленным за подразделением.
- Контроль выполнения заявки на закупку в части сроков поставки и оплаты по договорам.
- Формирование отчетов и выборки документов о материальных затратах подразделения по тематике/заказам и оборотно-сальдовой ведомости по счетам затрат.
- Сканирование и закрепление за документом в 1С.УПП первичных документов (договор, счет на оплату, счет-фактура, товарная накладная, товарный и кассовый чеки).

В целом бизнес-процесс АСУ управления закупками представлен на рисунке.

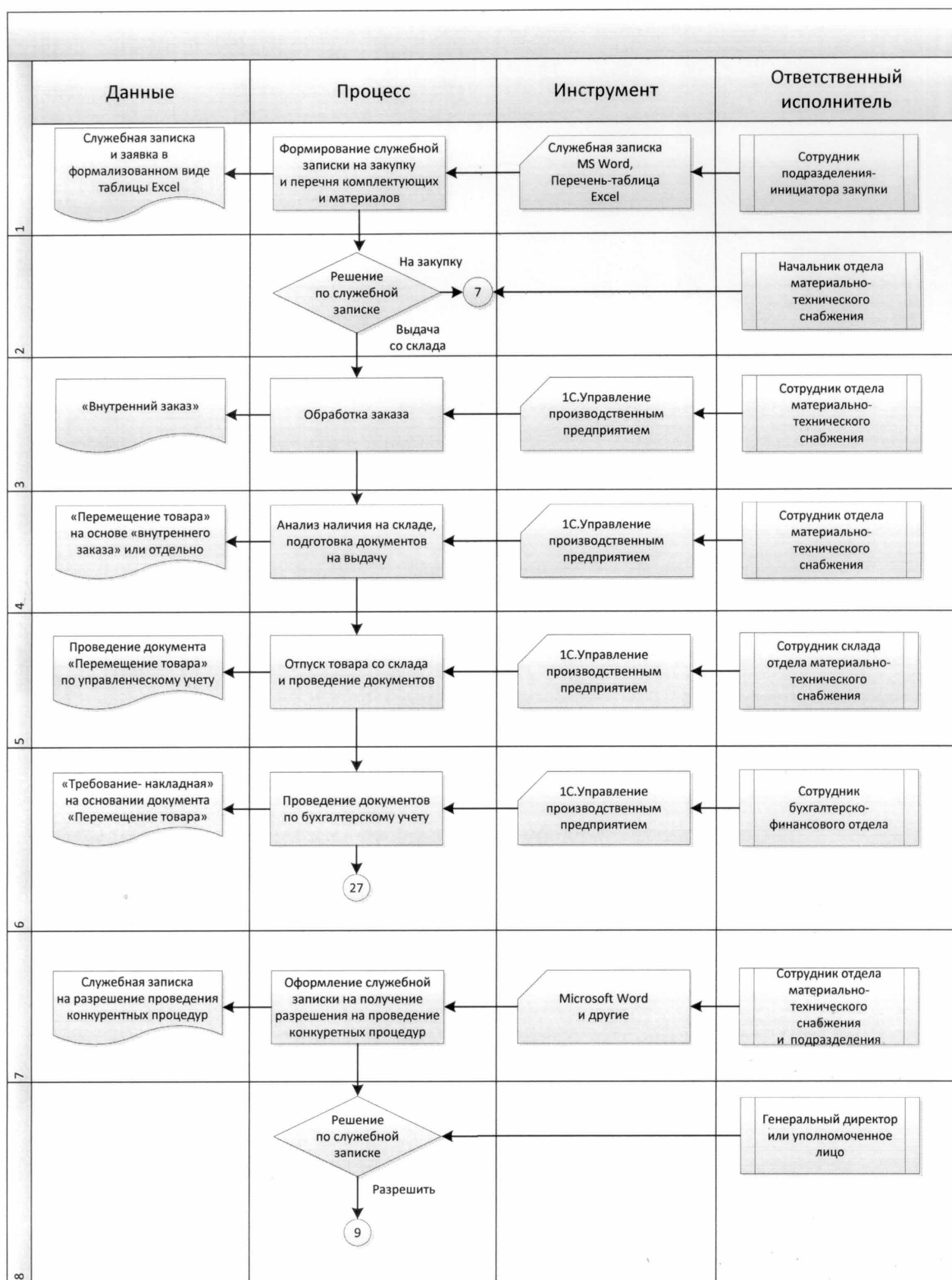


Рисунок. Бизнес-процесс АСУ управления закупками товаров, работ и услуг АО «НПП «Рубин»»

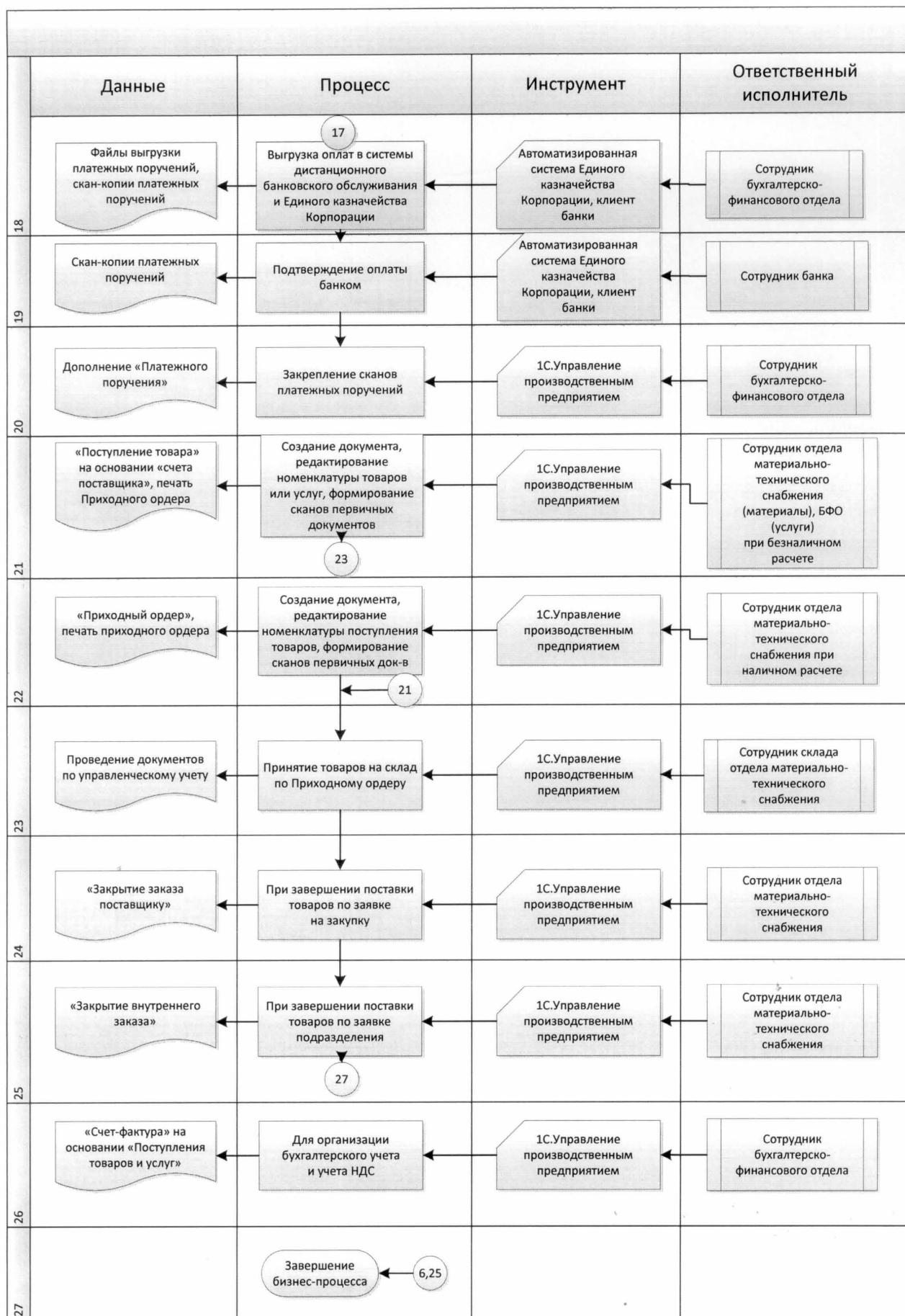


Рисунок. Бизнес-процесс АСУ управления закупками товаров, работ и услуг АО «НПП «Рубин»» (продолжение)

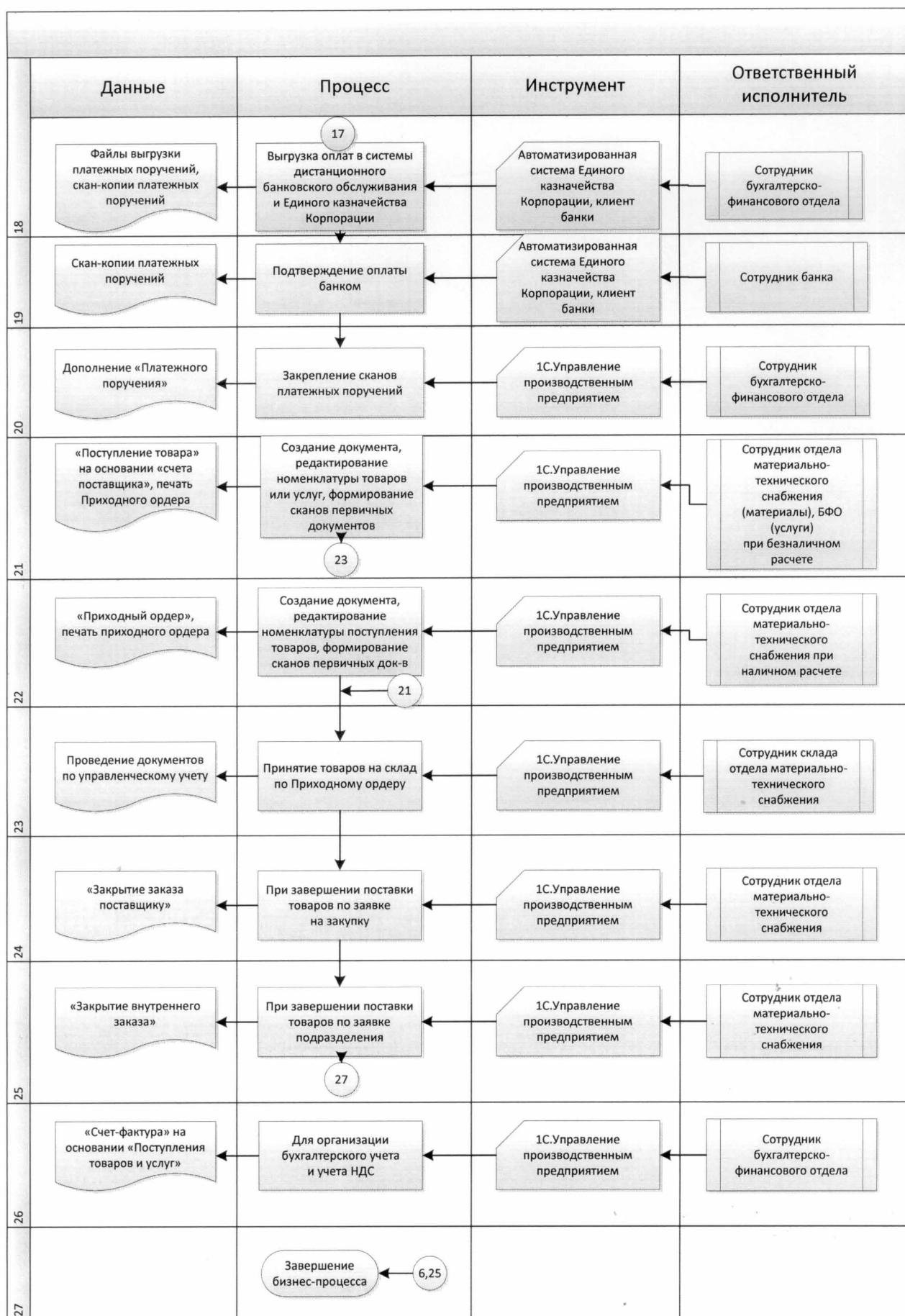


Рисунок. Бизнес-процесс АСУ управления закупками товаров, работ и услуг АО «НПП «Рубин» (окончание)

В ходе разработки АСУ система 1С.УПП для целей бухгалтерского учета была расширена до единой автоматизированной системы управления и учета деятельности предприятия в целом, включающей в себя:

- полное управление закупочной деятельностью с решением всех задач, описанных выше;
- управление расчетами (от планирования платежей до формирования платежных поручений и взаимодействия с банками);
- управление складами (от поступления материальных ценностей на склад до списания);
- бухгалтерский учет;
- формирование отчетности любой сложности;
- архив сканов всех необходимых документов.

Система очень гибкая, и в любой момент в нее оперативно можно внести все необходимые изменения и дополнения под новые требования.

Внедрение автоматизированной системы управления закупками позволило:

- снизить объем хранимых бумажных копий документов;
- организовать статистический анализ процессов и оперативно вносить изменения по необходимым документам в систему;

- обеспечить быстрый поиск необходимой информации о закупочной деятельности и доступ к необходимым документам по всем закупкам;
- распределить между сотрудниками функции и задачи закупочной деятельности;
- контролировать качество и сроки выполнения заказов при согласовании или финансировании закупок;
- отслеживать ход закупочной деятельности в режиме реального времени;
- формировать ежедневные отчеты о закупочной деятельности;
- распределять права доступа к данным программы и ее функциям, что позволяет разграничить ответственность между всеми участниками закупочного процесса и контролировать качество их работы, а также исключить дублирование функций различных подразделений предприятия, что значительно сокращает время, затрачиваемое на выполнение поставленных задач.

Заключение

Таким образом, разработанная на предприятии автоматизированная система позволяет сделать достаточно сложный процесс организации закупок прозрачным и понятным для всех участников, а также существенно повысить эффективность деятельности предприятия в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон от 18.07.2011 № 223-ФЗ «О закупках товаров, работ, услуг отдельными видами юридических лиц». // Российская газета. 22.07.2011. № 159.
2. Федеральный закон от 29.12.2012 № 275-ФЗ «О государственном оборонном заказе» // Российская газета. 31.12.2012. № 303.
3. Алексеев А., Безбородов А., Бескоровайнов Д. 1С: Предприятие 8.2. Руководство администратора. 2-е изд. М.: Фирма 1С, 2011. 540 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Гришечкин Александр Валерьевич, экономист, АО «Научно-производственное предприятие «Рубин»», 440000, Пенза, ул. Байдукова, д. 2, тел.: 8 (8412) 20-47-69, e-mail: 8600@npp-rubin.ru.

Кудряшова Инна Владимировна, экономист, АО «Научно-производственное предприятие «Рубин»», 440000, тел.: 8 (8412) 20-47-69, e-mail: 8600@npp-rubin.ru.

Швагрева Юлия Алексеевна, инженер-программист, АО «Научно-производственное предприятие «Рубин»», 440000, тел.: 8 (8412) 20-47-59, e-mail: admin@npp-rubin.ru.

For citation: Grishechkin A. V., Kudryashova I. V., Shvagrev A. Purchasing management on defense industry enterprises in the conditions of the Federal law № 223-FZ and general purchase regulations of the state corporation «Rostec» operation. Voprosy radioelektroniki, 2017, no. 12, pp.

A. V. Grishechkin, I. V. Kudryashova, YU. A. Shvagrev

PURCHASING MANAGEMENT ON DEFENSE INDUSTRY ENTERPRISES IN THE CONDITIONS OF THE FEDERAL LAW № 223-FZ AND GENERAL PURCHASE REGULATIONS OF THE STATE CORPORATION «ROSTEC»

Operation In this article the way of the solution of tasks, put before the enterprises of defense industry complex, in connection with introduction of the Federal law of 18.07.2011 No. 223-FZ «About purchases of goods, works, services as separate types of legal entities» and the Federal law of 29.06.2015 No. 159-FZ «About modification of the Federal law «About the state defensive

order», by means of an automated control system for the purchasing activity developed by JSC NPP Rubin taking into account the requirement of Uniform provision on purchase of the Rostec State corporation is considered. Problems of automation of workplaces of staff of purchasing division, department of logistics, the economist of division are considered. Business process of an automated control system for purchases, its integration in 1C is developed and in detail described: UPP 8.3. Results of introduction of an automated control system at the enterprise are noted that allowed to make process of the organization of purchases of the enterprise transparent and clear for all participants, and also it is essential to increase efficiency of activity of the enterprise in general.

Keywords: automated control system, work station, purchasing.

REFERENCES

1. Federal Law of 18.07.2011 under No.223-FZ «On procurement of goods, work, services by particular types of legal entities». *Rossijskaja gazeta*, 22.07.2011, no. 159 (In Russian).
2. Federal Law No. 275-FZ of 29.12.2012 «On State Defense Order».. *Rossijskaja gazeta*, 31.12.2012, no. 303 (In Russian).
3. Alekseev A., Bezborodov A., Beskorovajnov D. at al. 1C: Enterprise 8.2. Administrator's guide; 2-e izd.. Moscow, Firma 1S, 2011 (In Russian).

AUTHORS

Grishechkin Aleksandr, economist, AO «Nauchno-proizvodstvennoe predpriyatie "Rubin"», 2, ulitsa Baydukova, Penza, 440000, Russian Federation, tel.: +7 (8412) 20-47-69, e-mail: 8600@npp-rubin.ru.

Kudryashova Inna, economist, AO «Nauchno-proizvodstvennoe predpriyatie "Rubin"», 2, ulitsa Baydukova, Penza, 440000, Russian Federation, tel.: +7 (8412) 20-47-69, e-mail: 8600@npp-rubin.ru.

Shvagreva Yuliya, engineer, AO «Nauchno-proizvodstvennoe predpriyatie "Rubin"», 2, ulitsa Baydukova, Penza, 440000, Russian Federation, tel.: +7 (8412) 20-47-69, e-mail: admin@npp-rubin.ru.

В.А. Ельшин¹, Т.А. Ельшина¹

¹ Научно-производственное предприятие «Рубин»

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ПРЕДПРИЯТИЙ ОБОРОННО-ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА НА РЫНКЕ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЙ ГРАЖДАНСКОЙ ПРОДУКЦИИ

Рассмотрены особенности диверсификации производства в оборонно-промышленном комплексе в современных условиях. Показаны основные различия между отдельными характеристиками рынков гражданской и военной продукции. Расширена основная цель деятельности предприятий российского ОПК за счет освоения новых секторов рынка наукоемкой, высокотехнологичной продукции. Определены проблемы, которые должны быть решены менеджерами предприятий ОПК при формировании рынка гражданской продукции. Показана необходимость поиска новых источников финансирования и внедрения иных принципы ценообразования для гражданской продукции. Необходимо отметить, что на «гражданке» и в гособоронзаказе действуют разные подходы к ценообразованию. Разработана четырехуровневая модель диверсифицированной структуры ОПК, которая позволит оперативно и при весьма умеренных инвестициях создать новую самостоятельную, потенциально конкурентоспособную отрасль инновационного производства.

Ключевые слова: оборонно-промышленный комплекс, диверсификация, инновационное производство, высокотехнологичная гражданская продукция.

Премьер-министр РФ Дмитрий Медведев по итогам Российского инвестиционного форума в Сочи поручил Министерству промышленности и торговли России и заинтересованным ведомствам до 1 июля 2017 года проработать вопросы совершенствования механизмов поддержки предприятий ОПК, производящих высокотехнологичную гражданскую продукцию [1].

Оборонный промышленный комплекс (ОПК) – особая мезоэкономическая система, основанная на взаимодействии и взаимосвязи военных и гражданских отраслей, деятельность которых направлена на производство военной продукции, средств производства для военной промышленности, предметов потребления для занятых в этом комплексе [2].

ОПК всегда обеспечивал нужды народного хозяйства и населения (от грузовых вагонов и трамваев до телевизоров, холодильников, вычислительной техники, гражданской авиации и др.) в объеме от 30 до 100% (табл. 1) [3].

В любом случае в организациях такого типа гражданское производство оказывалось подчиненным военным целям. При этом стратегические приоритеты сохранялись за оборонным комплексом, в то время как большая доля продукции

гражданского назначения выпускалась только вспомогательными производствами оборонных предприятий. Так, в проекты гражданских заводов закладывалась возможность их использования для выполнения военных заказов.

В настоящее время ситуация в ОПК кардинально изменилась. Стоит отметить, что в структуре российского ОПК за последнее десятилетие сформировались специализированные интегрированные структуры, задачей которых явилось создание широкого спектра современных изделий и систем военного и гражданского назначения. Основная цель их деятельности – расширение своего присутствия на внутреннем и внешнем рынках, а также диверсификация деятельности за счет освоения новых секторов рынка наукоемкой, высокотехнологичной продукции.

Но не стоит забывать о том, что в состав таких структур обязательно должны входить предприятия, которые смогут переориентировать производство с выпуска вооружения и военной техники (ВиВТ) на изготовление высокотехнологичной и конкурентоспособной продукции гражданского назначения с использованием двойных технологий. Отсутствие таких структур в рамках ОПК приводит к тому, что все научно-технические достижения

жестко ограничены рамками производства вооружения и военной техники. Подобные структуры должны способствовать технологическому обмену не только между разными субъектами рынка, но и внутри комплекса, включая различные производства как на отдельном предприятии, так и в интегрированной структуре в целом.

В таких условиях средний и малый бизнес с присущими им динамичностью, адаптируемостью и мобильностью непосредственно должны включаться в систему большого бизнеса, когда значительная часть небольших предприятий и крупных структур не может существовать без тесных взаимных интеграционных связей.

По мере достижения высокого уровня развития производства внутри крупных интегрированных структур создаются мелкие, но законченные по предметному содержанию производства гражданского назначения, выделенные в самостоятельные или относительно самостоятельные подразделения. В этом проявляется процесс диверсификации производства в ОПК. Диверсификация будет заключаться в том, что предприятия комплекса, концентрированно обладающие различными производственными ресурсами, сформируют на своей основе без больших дополнительных вливаний финансовых средств производственные структуры, производящие потребительские товары.

Кроме того, необходимо дополнить интегрированные структуры широкой сетью небольших частных компаний (венчуров), которые использовали бы и материальную базу ОПК, и заделы НИОКР для производства новых высокотехнологичных гражданских товаров. В случае положительного итога от начального внедрения может ставиться вопрос об организации уже серийного производства. Таким образом, малая форма предпринимательства может дать жизнь крупной форме производства.

С точки зрения возможности дальнейшей диверсификации необходимо учитывать основные различия между отдельными характеристиками рынков гражданской и военной продукции ОПК (табл. 2).

Данные различия показывают проблемы, которые должны быть решены менеджерами предприятий ОПК при формировании рынка гражданской продукции:

1. Запуск производства не тех товаров, которые легче всего освоить при наличии производственных мощностей, а тех, для которых можно найти нишу на внутреннем рынке. Это проявляется в наличии и росте конкуренции, колебании рыночной конъюнктуры на товарных рынках, росте цен на сырье и материалы – микроэкономические факторы.

Таблица 1. Производство потребительских товаров длительного пользования в СССР, шт. на тысячу жителей

Наименование	1970 г.	1980 г.	1990 г.
Радиоприемники:			
всего	37,0	38,2	38,8
предприятиями ОПК	32,0	32,0	30,0
Телевизоры:			
всего	28,5	29,0	34,0
предприятиями ОПК	28,0	28,0	34,0
Магнитофоны:			
всего	5,0	12,4	23,0
предприятиями ОПК	4,9	11,5	19,7
Холодильники:			
всего	21,3	26,0	25,5
предприятиями ОПК	17,1	22,4	22,4
Стиральные машины:			
всего	25,4	17,1	36,6
предприятиями ОПК	6,2	12,2	17,6
Пылесосы:			
всего	7,8	17,6	30,2
предприятиями ОПК	6,2	12,2	17,6
Швейные машины:			
всего	10,8	9,6	11,8
предприятиями ОПК	5,8	5,0	5,4

2. Снижение затрат на производство, чтобы в итоге получить возможность улучшить соотношение цены и качества на рынке двойных технологий гражданской продукции. Это проявляется в сближении принципиально разных секторов экономики – макроэкономические факторы, а также в снижении транзакционных издержек – институциональные факторы.

Диверсификация производства требует немалых вложений, а возможности для финансового маневра у ОПК ограничены. До внедрения системы контроля за целевым использованием средств предприятия могли направлять «в мирное русло» средства из прибыли от выполнения государственного оборонного заказа (ГОЗ). Однако с сентября 2015 года такой вариант невозможен: в систему финансирования с использованием отдельных счетов и банковским сопровождением были вовлечены предприятия по всей цепочке кооперации.

Государственная программа развития ОПК до 2020 года предусматривает увеличение доли инновационной продукции в общем объеме с 34,4 до 39,6%. Таким образом, для гражданской продукции нужно искать новые источники финансирования и внедрять иные принципы ценообразования. Необходимо отметить, что на «гражданке» и в гособоронзаказе действует разный подход к ценообразованию. В гособоронзаказе он затратный, на «гражданке» – рыночный, то есть учитывающий

Таблица 2. Основные различия между отдельными характеристиками рынков гражданской и военной продукции

Факторы, формирующие рыночную позицию	Гражданский рынок	Рынок военной продукции	
		Внутренний рынок	Внешний рынок
Микроэкономические			
Наличие и рост конкуренции	Очень важно	Не имеет решающего значения	Важно
Колебания рыночной конъюнктуры на товарных рынках	Очень важно	Не имеет решающего значения	Важно
Рост цен на сырье, материалы, комплектующие, рекламу, товародвижение и др.	Жизненно важно	Не имеет решающего значения	Важно
Макроэкономические			
Сближение принципиально разных секторов экономики	Жизненно важно	Важно	Не имеет решающего значения
Неконкурентоспособность отраслей	Важно	Не имеет решающего значения	Жизненно важно
Инвестиционный кризис	Очень важно	Важно	Важно
Мегаэкономические			
Глобализация экономики	Жизненно важно	Не имеет решающего значения	Важно
Институциональные			
Рост трансакционных издержек	Очень важно	Не имеет решающего значения	Очень важно
Сложность поиска компромиссов с естественными монополиями	Не имеет решающего значения	Не имеет решающего значения	Не имеет решающего значения

как себестоимость продукции, так и конкуренцию на рынке и покупательскую способность потребителей.

Нужно разработать концепцию повышения эффективности системы ценообразования, прописать методы снижения затрат, принципы определения стоимости продукции внутри кооперационной цепочки и вертикально интегрированных холдингов, особое внимание уделить вопросам нормирования накладных расходов и распределения прибыли.

Эксперты отмечают, что действующий механизм ценообразования на оборонную продукцию не стимулирует производителей снижать затраты. Чтобы мотивировать их к оптимизации трат, предлагается оставлять в распоряжении предприятия 75% сэкономленных средств и только 25% перечислять в бюджет. Особые регуляторы цен также предлагается ввести в длинные кооперационные цепочки, чтобы сделать цены комплектующих, которые сегодня зачастую составляют 50–70% стоимости готового изделия, более низкими и прозрачными.

Уменьшить себестоимость производства гражданских видов продукции в ОПК позволит привлечение льготных кредитов, что увеличит долю малых

и средних компаний в кооперационных поставках для крупных оборонных заводов.

Экономические процессы на предприятиях ОПК имеют свою специфику. Но, тщательно изучив спрос, определив свободные и перспективные ниши рынка, выстроив грамотную экспортную стратегию, можно с выгодой работать и на рынке гражданской продукции. И те предприятия, которые перестроятся первыми, даже в условиях сокращения ГОЗ смогут сохранить и улучшить финансовые показатели.

На рисунке представлена четырехуровневая модель диверсифицированной структуры ОПК.

В разработанной модели первый уровень составляют группы предприятий, являющихся основными в производстве вооружения и военной техники, гражданской продукции, продукции двойного назначения и товаров народного потребления (ТНП). Второй уровень включает научно-исследовательские, проектные, венчурные, снабженческие, маркетинговые, сбытовые предприятия, компании послепродажного обслуживания, опытное производство, обеспечивающие переток военных технологий в гражданский сектор и т.д.

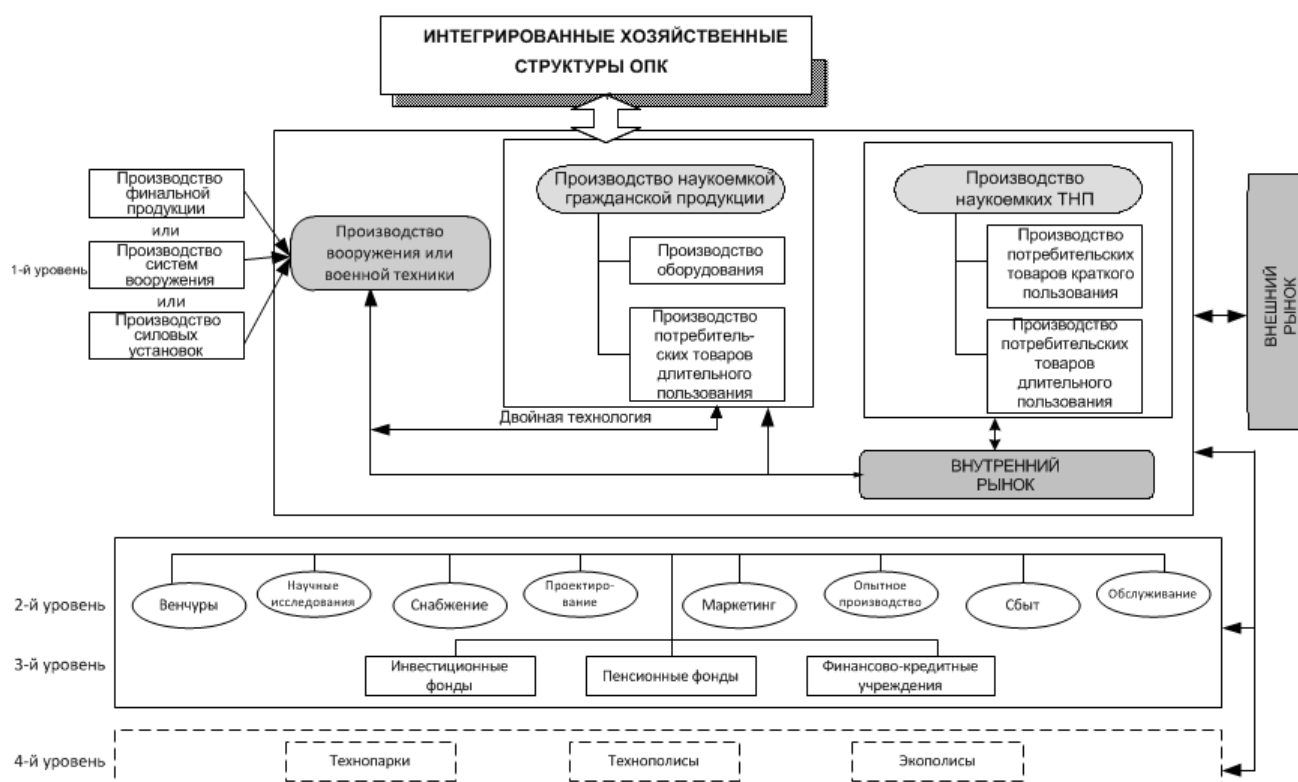


Рисунок. Модель создания диверсифицированной структуры на базе ОПК

Третий уровень – финансовые учреждения, которые участвуют в контрактах на поставку и производство продукции наукоемких отраслей как на внутренний, так и на внешний рынок, инвестиционные, пенсионные фонды, обеспечивающие диверсификацию финансовых ресурсов интегрированных структур.

Целенаправленная реструктуризация ОПК позволит оперативно и при весьма умеренных инвестициях создать новую самостоятельную, потенциально конкурентоспособную отрасль инновационного производства, занятую преимущественно созданием актуальных знаний и технологий, опытно-конструкторских разработок, наукоемкой продукции, на базе которой в перспективе будут развиваться технопарки, технополисы, экополисы, инвестиционные возможности которых основаны на их активном участии в военно-техническом сотрудничестве России с Индией и Китаем. Следовательно, уровень промышленного потенциала ОПК в части производства

военной техники определяется исключительно степенью загруженности конкретного предприятия экспортными заказами.

Конкурентоспособность гражданской продукции во многом будет зависеть от темпов роста стоимости сырья и услуг естественных монополий: топливно-энергетического комплекса и железнодорожного транспорта.

Заключение

Таким образом, чтобы предприятия ОПК эффективно работали на рынке высокотехнологичной гражданской продукции, необходимо:

- проводить интеграцию с небольшими частными компаниями (венчурами);
- учитывать особенность рыночного механизма ценообразования;
- выявлять конкурентные преимущества товаров;
- определять инвестиционные возможности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Доклад премьер-министра РФ Дмитрия Медведева по итогам Российского инвестиционного форума в Сочи [Электронный ресурс]. URL: <http://government.ru/news/26566/> (дата обращения: 25.06.2017)
2. Что изучает мезоэкономика? [Электронный ресурс]. URL: <http://fb.ru/article/159895/mezoeconomika—eto-cto-izuchaet-mezoeconomika>
3. Фальцман В. Конверсия и экономическая реформа // МЭМО. 1990. № 11. С. 35–38.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ельшин Владимир Александрович, к.э.н., начальник планово-экономического отдела, АО «Научно-производственное предприятие «Рубин»», 440000, Пенза, ул. Байдукова, д. 2, тел.: 8 (937) 427-65-30, e-mail: elshinv@mail.ru.

Ельшина Татьяна Александровна, к.э.н., инженер, АО «Научно-производственное предприятие «Рубин»», 440000, Пенза, ул. Байдукова, д. 2, тел.: 8 (937) 439-13-78, e-mail: raduga66617@rambler.ru.

For citation: Erin D.G., Isaev A.I. Information conjugation imitation special software. Voprosy radioelektroniki, 2017, no. 12, pp.

V. A. Yelshin, T. A. Yelshina

The features of production diversification in the military-industrial complex under modern conditions are considered. The main differences between the separate characteristics of the markets for civilian and military products are shown. The main objective of the activities of Russian defense enterprises has been expanded through the development of new sectors of the market of science-intensive, high-tech products. The problems that must be solved by the managers of the defense industry enterprises in shaping the market of civilian products are identified. The necessity of searching for new sources of financing and introducing other pricing principles for civil products is shown. It should be noted that the «citizen» and the state defense order have a different approach to pricing. A four-level model of the DIC's diversified structure has been developed, which will allow to create a new independent, potentially competitive branch of innovative production quickly and with very moderate investments.

Keywords: military-industrial complex, diversification, innovative manufacturing, high-tech civilian products.

REFERENCES

1. [Report of the Russian Prime Minister Dmitry Medvedev on the outcomes of the Russian Investment Forum in Sochi]. (In Russ.) Available at: <http://government.ru/news/26566/> (accessed 25.06.2017)
2. [What is the field of study in mesoeconomics?] (In Russ.) Available at: <http://fb.ru/article/159895/mezoeconomika—eto-cto-izuchaet-mezoeconomika> (accessed 00.00.2017)
3. Falcman V. Conversion and economic reform. MJeIMO, 1990, no. 11, pp. 35–38 (In Russian).

AUTHORS

Yelshin Vladimir, PhD, chief of planning-economic department, AO «Nauchno-proizvodstvennoe predpriyatie «Rubin»», 2, ulitsa Baydukova, Penza, 440000, Russian Federation, tel.: + 7 (937) 427-65-30, e-mail: elshinv@mail.ru.

Yelshina Tatyana, PhD, engineer, AO «Nauchno-proizvodstvennoe predpriyatie «Rubin»», 2, ulitsa Baydukova, Penza, 440000, Russian Federation, tel.: + 7 (937) 439-13-78, e-mail: raduga66617@rambler.ru.