

РОССИЙСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

**RUSSIAN
TECHNOLOGICAL
JOURNAL**



*Информационные системы
Информатика
Проблемы информационной безопасности*

*Роботизированные комплексы и системы
Технологии дистанционного зондирования и неразрушающего контроля*

Современные радиотехнические и телекоммуникационные системы

*Микро- и наноэлектроника
Физика конденсированного состояния*

Аналитическое приборостроение и технологии

*Экономика наукоемких и высокотехнологичных
предприятий и производств*

Мировоззренческие основы технологии и общества

СОДЕРЖАНИЕ

<i>МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКА. ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ</i>	
<i>Белкин М.Е., Головин В.В., Тыщук Ю.Н., Кудж С.А., Сигов А.С.</i> Моделирование оптических модуляторов интенсивности излучения на базе интерферометра Маха-Цандера при помощи программного средства расчета СВЧ-цепей NI AWR Design Environment	3
<i>Рубан О.А., Мальцев П.П.</i> Исследование поляризации в гетероструктурах с квантовой ямой AlGaIn/GaN методом вольт-фарадных характеристик	17
<i>АНАЛИТИЧЕСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ</i>	
<i>Серов В.Н., Фетисов Л.Ю., Фетисов Ю.К., Шестаков Е.И.</i> Высокочувствительный магнетометр на основе магнитоэлектрического датчика	24
<i>Филинов В.В., Аракелов П.Г., Третьяк Е.В., Головченко Д.А.</i> Универсальная информационно-измерительная система для исследования магнитных свойств ферромагнитных сталей	38
<i>ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ. ИНФОРМАТИКА. ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ</i>	
<i>Макаров М.И., Медведев А.А., Савельев Ю.М., Макаров В.М.</i> Автоматизированная система обеспечения эксплуатации ракетно-космической техники космодрома. Решаемые задачи и перспективы развития	46
<i>Цуников А.Ю.</i> Практические рекомендации по использованию стандартов проектирования интерактивных систем в задачах обработки тепловизионных изображений	55
<i>Шишманов Красимир.</i> Особенности развития информационных систем малых предприятий	63
<i>СОВРЕМЕННЫЕ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ</i>	
<i>Каганов В.И., Пенья Э.Р.</i> Спутниковая система радиосвязи для республики Куба	70
<i>ЭКОНОМИКА НАУКОЕМКИХ И ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ И ПРОИЗВОДСТВ</i>	
<i>Черных И.Н.</i> Методология управленческого контроля по центрам затрат (на примере завода по производству железобетонных изделий)	74
<i>МИРОВОЗЗРЕНЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ И ОБЩЕСТВА</i>	
<i>Бодрова Е.В., Красивская В.Н.</i> Роль государства в становлении технического образования и научно-технических учреждений в России	89
<i>Вольнякова О.А.</i> Рассмотрение экономического вопроса с нравственной точки зрения в русской философии на рубеже XIX и XX веков	101

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Сигов А.С. Главный редактор журнала, Президент Московского технологического университета, академик РАН, д.ф.-м.н., профессор, e-mail: sigov@mirea.ru

Кудж С.А. Ректор Московского технологического университета, д.т.н., профессор, e-mail: rector@mirea.ru

Большаков А.К. Директор Института инновационных технологий и государственного управления Московского технологического университета, к.э.н., доцент, e-mail: bolshakov@mirea.ru

Буслаева Т.М. Профессор, д.х.н., Московский технологический университет (МИТХТ), e-mail: buslaeva@mirea.ru

Герасин А.Н. Директор Института управления и стратегического развития организаций Московского технологического университета (МГУПИ), д.э.н., профессор, e-mail: gerasin_an@mgupi.ru

Есипова О.В. Ответственный секретарь, к.х.н., доцент, Московский технологический университет (МИТХТ), e-mail: esipova@mirea.ru

Жуков Д.О. Заведующий кафедрой интеллектуальных технологий и систем Московского технологического университета (МИРЭА), д.т.н., профессор, e-mail: zhukov_do@mirea.ru

Карнаков В.В. Директор Института комплексной безопасности и специального приборостроения Московского технологического университета (МГУПИ), к.т.н., e-mail: karnakov_vv@mgupi.ru

Кимель А.В. К.ф.-м.н., Университет г. Наймеген (Нидерланды), e-mail: a.kimel@science.ru.nl

Кондратенко В.С. Директор Физико-технологического института Московского технологического университета (МГУПИ), д.т.н., профессор, e-mail: kondratenko_vs@mgupi.ru

Кузнецов В.В. Советник ректората Московского технологического университета, к.т.н., доцент, e-mail: kuznetsov@mirea.ru

Куликов Г.В. Директор Института радиотехнических и телекоммуникационных систем Московского технологического университета (МИРЭА), д.т.н., профессор, e-mail: kulikov@mirea.ru

Перно Филипп. Проректор по научной работе Высшей инженерной школы, профессор, г. Лилль, Франция

Романов М.П. Директор Института кибернетики Московского технологического университета (МИРЭА), д.т.н., профессор, e-mail: m_romanov@mirea.ru

Савиных В.П. Президент МИИГАиК, член-корреспондент РАН, д.т.н., профессор, e-mail: president@miigaik.ru

Скотт Джеймс. Профессор, член Лондонского Королевского общества, Университет г. Кембридж, Великобритания, e-mail: jamescott@acm.org

Цветков В.Я. Советник ректората Московского технологического университета, д.т.н., профессор, e-mail: cvj2@mail.ru

РЕДАКЦИЯ

Сигов А.С. Главный редактор журнала, д.ф.-м.н., профессор, e-mail: sigov@mirea.ru

Буслаева Т.М. Профессор, д.х.н., e-mail: buslaeva@mirea.ru

Есипова О.В. Ответственный секретарь, к.х.н., доцент, e-mail: esipova@mirea.ru

Семерня Л.Г. Технический редактор, e-mail: semernya@mirea.ru

Середина Г.Д. Зав. редакцией, к.т.н., e-mail: seredina@mirea.ru

Цветков В.Я. Профессор, д.т.н., e-mail: cvj2@mail.ru

Адрес редакции:

Россия, 119571, Москва, пр. Вернадского, д. 86, оф. Л-119
Тел.: +7 (495) 246-05-55 (#2-88); e-mail: seredina@mirea.ru

УДК 621.373.826

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ МОДУЛЯТОРОВ
ИНТЕНСИВНОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ НА БАЗЕ ИНТЕРФЕРОМЕТРА
МАХА-ЦАНДЕРА ПРИ ПОМОЩИ ПРОГРАММНОГО
СРЕДСТВА РАСЧЕТА СВЧ-ЦЕПЕЙ
NI AWR DESIGN ENVIRONMENT

М.Е. Белкин¹, д.т.н., директор НТЦ «Интегральная радиофотоника»
В.В. Головин², к.т.н., доцент
Ю.Н. Тыщук², начальник отдела
С.А. Кудж¹, д.т.н., ректор
А.С. Сигов¹, академик РАН, президент

¹Московский технологический университет (МИРЭА), Москва, 119454 Россия

²Севастопольский государственный университет, Севастополь, 299053 Россия

@Автор для переписки, e-mail: belkin@mirea.ru

Представлены результаты разработки в САПР NI AWR Design Environment и экспериментальной верификации нелинейной физической эквивалентной модели электрооптического модулятора Маха-Цандера, работающей одновременно на оптических частотах и в СВЧ-диапазоне. Впервые предложена имитационная модель однополосного электрооптического модулятора Маха-Цандера и приведены предварительные результаты ее компьютерного исследования.

Ключевые слова: радиофотоника, электрооптический модулятор, передаточная характеристика, САПР NI AWR Design Environment, эквивалентная электрическая модель.

MODELING OPTICAL INTENSITY MODULATORS BASED
ON MACH-ZEHNDER INTERFEROMETER BY SOFTWARE
TOOL OF MICROWAVE CIRCUITS CALCULATION
NI AWR DESIGN ENVIRONMENT

M.E. Belkin¹,
V.V. Golovin²,
Yu.N. Tyschuk²,
S.A. Kudzh¹,
A.S. Sigov¹

¹Moscow Technological University (MIREA), Moscow, 119454 Russia

²Sevastopol State University, Sevastopol, 299053 Russia

@Corresponding author e-mail: sdlavrov@mail.ru

At the design stage of radio-electronic means using microwave photonics units, the co-simulation capability in a single CAD tool for the elements of microwave and optical ranges is a vital issue, and it is important to retain the ability to complex nonlinear analysis of the circuits and systems under design. One of the most suitable solution of this complex problem is in using working on symbolic level CAD tool NI AWR Design Environment (AWRDE) from National Instruments, which has extensive built-in library of multi-parametric models for electronic and topological components, functional modules, or system units. Following it, in the paper we offer an upgraded nonlinear physical equivalent-circuit model of the double-sideband optical modulator, fully implemented based on AWRDE Schematic library elements. Developing the model, we proposed for the first time and initially studied by AWRDE a nonlinear physical model of the single-sideband electro-optical modulator, comprising three Mach-Zehnder interferometers. During the simulations, the static and dynamic characteristics of the models in large-signal operation mode are analyzed by transmitting Ku-band microwave signals. Carrying out experimental verification has confirmed the correctness of the developed models.

Keywords: microwave photonics, electro-optical modulator, transfer characteristic, CAD NI AWR Design Environment, equivalent-circuit model.

Введение

Одно из основных направлений развития современных радиоэлектронных систем (РЭС) и комплексов связано с уменьшением их массогабаритных показателей, энергопотребления и стоимости, а также увеличением пропускной способности, функциональности и надежности. В связи с этим все большее применение в схемах РЭС двойного назначения находят радиофотонные технологии, и уже известны примеры разработок РЭС, где с помощью радиофотонных узлов реализуются такие операции, как преобразование частоты, фильтрация, формирование высокостабильных опорных радиосигналов и др. [1, 2]. На этапе проектирования таких РЭС с применением радиофотонных узлов остро стоит вопрос о возможности совместного моделирования в одной САПР функционирования и характеристик элементов СВЧ и оптического диапазонов. При этом важно сохранить возможность комплексного нелинейного анализа проектируемых схем и систем.

При всем разнообразии САПР для проектирования СВЧ-цепей и САПР для анализа оптических трактов в настоящее время отсутствуют программные среды, где эти задачи решаются совместно, что обусловлено необходимостью выделения немалых ресурсов, обеспечивающих приемлемую точность моделирования. Поэтому единственным доступным подходом остается разработка для активных и пассивных узлов и устройств оптического тракта их верифицированных имитационных моделей на базе линейных и нелинейных физических эквивалентных схем (ФЭС), что является основным принципом компьютерного проектирования современных радиотехнических и СВЧ-цепей [3].

Одной из наиболее подходящих для решения этой комплексной задачи САПР является работающая на символьном уровне программная среда NI AWR Design Environment (AWRDE) фирмы National Instruments, в которую встроены обширные базы многопараметрических моделей электронных и топологических компонентов, функциональных модулей, системных блоков. В данной САПР доступен также путем однокнопочной операции широкий набор нелинейных измеряемых показателей качества функционирования

проектируемого устройства, что полностью отсутствует в современных САПР оптического диапазона. К другим достоинствам AWRDE относятся:

- возможность реализации разнообразных радиочастотных трактов на уровне развитой топологии;
- наличие большой встроенной библиотеки активных и пассивных, линейных и нелинейных функциональных компонентов;
- возможность эквивалентного представления сигнала оптического диапазона (далее мы будем называть его квазиоптическим сигналом) в виде токов и напряжений с оптической частотой, что позволяет непосредственно рассмотреть большинство возможных вариантов взаимодействия оптического и радиочастотного трактов;
- возможность представления активных оптоэлектронных приборов в виде многопараметрических нелинейных ФЭС, которые полностью совместимы с радиочастотным трактом;
- возможность нелинейного моделирования за счет применения самого точного на сегодняшний день метода гармонического баланса, позволяющего моделировать схемы с большим числом элементов и высокой нелинейностью;
- возможность использования разработанных ФЭС оптических устройств для системного моделирования на уровне радиолокационных и телекоммуникационных систем и комплексов.

Вышеприведенные преимущества определили наш выбор AWRDE как САПР для разработки в ней эквивалентных электрических схем устройств радиофоники и сквозного нелинейного анализа характеристик создаваемых на их основе комплексных РЭС.

Базовая схема радиопотонного узла (РФУ) приведена на рис. 1 [1].

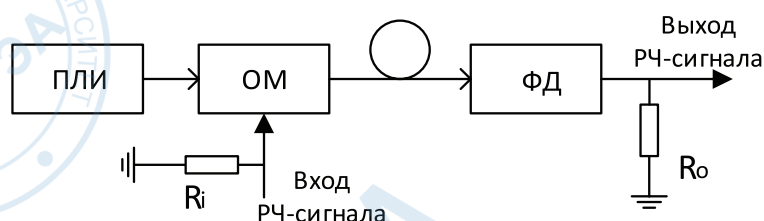


Рис. 1. Базовая схема радиопотонного узла.

Как следует из рис. 1, тремя принципиальными схемными элементами являются: полупроводниковый лазерный излучатель (ПЛИ), выполняющий функции формирования оптической несущей, оптический модулятор (ОМ), осуществляющий операцию электрооптического преобразования радиосигнала, и фотодетектор (ФД), выполняющий обратное оптико-электрическое преобразование в радиочастотный (РЧ) диапазон. Ранее нами были предложены нелинейные модели ПЛИ и ФД на базе ФЭС [4, 5], реализованные с помощью вышеуказанной САПР.

Цель настоящей статьи – описание модели и моделирование с помощью AWRDE наиболее распространенных в современных разработках оптических модуляторов интенсивности излучения на базе интерферометра Маха-Цандера.

1. Варианты построения и схемы современных оптических модуляторов на базе интерферометра Маха-Цандера

Поскольку фотодетектор схемы на рис. 1, в качестве которого в радиофотонных схемах повсеместно используется *p-i-n*-фотодиод, реагирует только на изменение интенсивности оптического излучения, современные ОМ построены преимущественно на базе известного в оптике интерферометра Маха-Цандера (ИМЦ), назначение которого состоит в преобразовании фазового сдвига в изменение интенсивности оптического излучения. Базовая схема такого устройства, получившего название «модулятор Маха-Цандера (ММЦ)», приведена на рис. 2 [6].

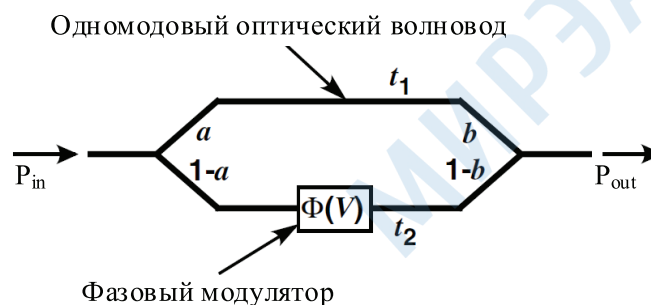


Рис. 2. Базовая схема модулятора Маха-Цандера.

Здесь немодулированное лазерное излучение вводится через входной оптический волновод. В соответствии с принципом построения интерферометра данного типа схема содержит два сформированных в ниобате лития планарных одномодовых оптических волновода с коэффициентами пропускания t_1 и t_2 , соединенных посредством входного и выходного Y-разветвителей с коэффициентами деления a и b . Эффект управления показателем преломления нижнего волновода описан путем введения фазового модулятора $\Phi(V)$.

Допуская отсутствие потерь в волноводах (т. е. $t_1 = t_2 = 1$) и равенство коэффициентов деления обоих разветвителей, связь входной P_{in} и выходной P_{out} мощностей в ИМЦ описывается следующим выражением [7]:

$$P_{out} = P_{in} \frac{1}{2} \{1 + \cos[\Phi(V)]\} \quad (1)$$

Следуя обычному представлению фазовой модуляции гармоническим сигналом, разделим член в квадратных скобках на постоянную и переменную составляющие: то есть, на начальную фазу Φ_0 при управляющем напряжении $V = 0$ и зависящую от него текущую фазу. Тогда для случая линейного электрооптического эффекта передаточная функция ММЦ будет соответствовать [8]:

$$T_{ММЦ}(V) = \frac{1}{2} \left\{ 1 + \cos \left[\Phi_0 + \frac{\pi V}{V_\pi} \right] \right\} \quad (2)$$

В полученном выражении так называемое полуволновое напряжение πV соответствует управляющему напряжению, при котором разность фаз в обоих плечах ИМЦ достигает 180° и является одним из основных показателей качества ММЦ.

Развитие техники ММЦ привело к его усложнению по сравнению с базовой схемой на рис. 2. В частности, для расширения диапазона управления фазовый модулятор был также введен в верхнее плечо ММЦ (рис. 2). При этом управляющее напряжение, содержащее постоянную и переменную составляющие, должно прикладываться к обоим плечам в противофазе. На практике в зависимости от назначения ММЦ получили распространение два режима его постоянного смещения:

- в так называемой квадратурной точке (середине линейного участка косинусоиды), что обеспечивает максимальную линейность передаточной характеристики;
- в точке минимального пропускания, что обеспечивает режим модуляции с подавлением оптической несущей.

Кроме того, как и в радиотехнике, разработаны схемы однополосного ММЦ с подавлением оптической несущей, что, например, уменьшает влияние хроматической дисперсии волокна при передаче СВЧ-сигналов на значительные расстояния. Типичная структурная схема однополосного ММЦ, также получившего название двойного параллельного ММЦ, приведена на рис. 3 [1].

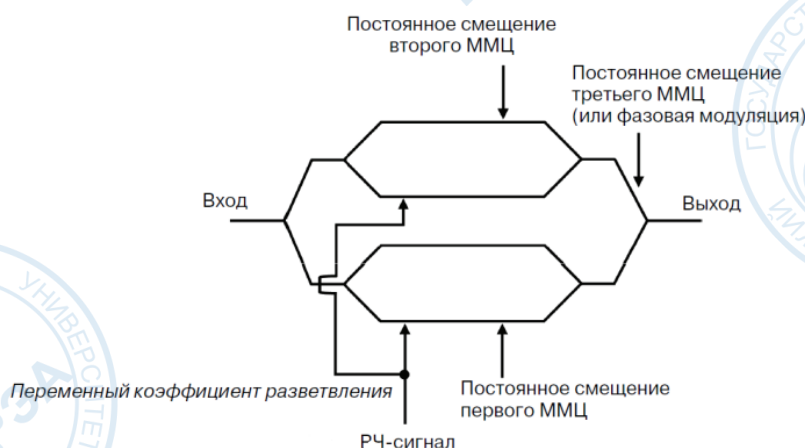


Рис. 3. Схема однополосного ММЦ.

Как следует из рис. 3, схема содержит три ИМЦ, причем два из них являются плечами третьего. Отметим, что условием подавления одной из боковых полос модуляции является прикладывание к первым двум ИМЦ переменных управляющих напряжений одинаковой амплитуды со сдвигом фаз на 90° и постоянного смещения в точку минимального пропускания их передаточной характеристики.

2. Нелинейная физическая эквивалентная модель двухполосного оптического модулятора

Поиск по отечественной и зарубежной периодике показал наличие физической эквивалентной модели оптического ММЦ на базе AWRDE, описанной более 10 лет назад в серии конференционных и журнальных публикаций научной группы из Политехнического университета Турина, Италия. Статья, обобщающая результаты разработки, приведена в [9]. В известной модели, наряду с четким эквивалентным представлением физики работы ММЦ, можно отметить следующие недостатки с точки зрения проектирования радиофотонных узлов комплексных РЭС:

- применение для реализации фазового модулятора функционального блока («черного ящика») с внешним математическим приложением;
- линейность модели;
- отсутствие в модели отдельного квазиоптического сигнала.

Таким образом, построение многопараметрической нелинейной эквивалентной модели ОМ на базе ИМЦ сохраняет свою актуальность и практическую значимость. Следуя данной цели, ранее нами была представлена модель ММЦ, реализованная в САПР AWRDE, средствами системного моделирования [10]. Основные недостатки этой модели:

- а) невозможность ее интеграции в схемотехнический («Schematic») раздел САПР AWRDE, предназначенный для моделирования РЧ-цепей на элементном и топологическом уровне;
- б) ограниченный функционал измерительных средств в системном разделе данного САПР;
- в) системная модель ММЦ требует для моделирования характеристик относительно большой ресурс машинного времени.

Поскольку в разделе «Schematic» AWRDE доступны широкие возможности для нелинейного моделирования микроволновых устройств с учетом различных видов планарных топологий и развитой элементной базы активных и пассивных компонентов при минимальных затратах машинного времени, то оптимальным подходом является разработка модели ММЦ в этом разделе САПР. Кроме того, для сохранения функциональных возможностей модели модулятора необходимо обеспечить его совместную работу в РЧ- и оптическом диапазонах.

Базовым элементом новой нелинейной модели ММЦ является фазосдвигающая ячейка (ФСЯ), ФЭС которой представлена на рис. 4. В схеме на вход библиотечной модели циркулятора CRC через библиотечную модель сумматора мощностей SPLIT2 подаются сигналы на радиочастоте (Вход 1) и на оптической частоте (Вход 2). При этом напряжение РЧ-сигнала управляет нелинейной емкостью библиотечной модели переменного конденсатора VRCTR, зависимость которой задается в табличной форме, изменяя вносимый фазовый сдвиг. На выходе циркулятора установлена библиотечная модель диплексера DPLEXF, выделяющая только составляющую на оптической частоте, модулированную по фазе.

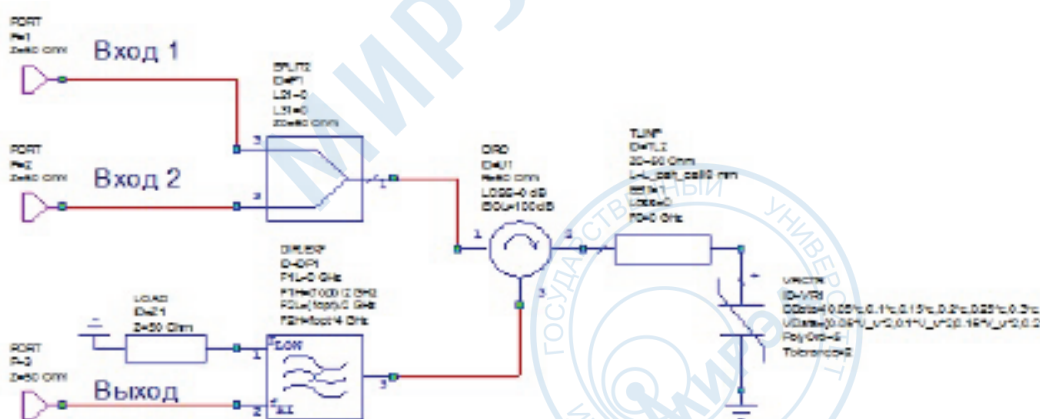


Рис. 4. Схема фазосдвигающей ячейки.

Анализ функционирования различных библиотечных элементов AWRDE показал, что оптимальным техническим решением при разработке схемы ФСЯ является использование данной модели управляемого напряжением конденсатора. Принцип работы такого элемента поясним на примере рис. 5, где рассмотрен режим работы линии передачи, нагруженной на емкостную нагрузку [11].

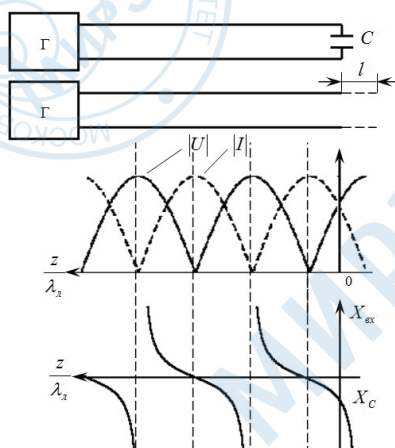


Рис. 5. Пояснение принципа работы фазосдвигающей цепочки.

На рис. 5 падающая со стороны генератора Γ волна полностью отражается от реактивной нагрузки и получает на ней набег фазы, который в распределениях напряжения и тока вызывает смещение пучности напряжения и узла тока из точки подключения нагрузки на величину, пропорциональную емкости нагрузки. Это эквивалентно увеличению длины линии передачи на величину l , определяемую по формуле:

$$l = \frac{1}{k} \operatorname{arctg}(\rho \omega C), \quad (3)$$

где $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ – волновое число; ρ – волновое сопротивление линии передачи; λ – длина волны оптического излучения; $\omega = 2\pi f$ – оптическая круговая частота.

Из рис. 5 и формулы (3) следует:

- набег фазы kl в общем случае нелинейно зависит от емкости и является ее периодической функцией;
- допустимый диапазон изменения емкости ограничен относительно небольшим линейным участком изменения вносимой фазы kl и диапазоном изменения входного сопротивления линии передачи, нагруженной емкостью;
- для расширения пределов требуемого квазилинейного управления фазовым сдвигом, вносимым ФСЯ, необходимо использовать несколько последовательно включенных ФСЯ, работающих на линейном участке зависимости, определяемой (3).

В качестве иллюстрации на рис. 6 показаны расчетные зависимости сдвига фазы квазиоптического сигнала от управляющего напряжения при типичном значении $U_{\pi} = 4$ В для разной длины цепочки ФСЯ. С целью сравнения на том же рисунке приведена предельная линейная теоретическая зависимость (3). Из рис. 6 видно, что одна ФСЯ, кривая (1), обеспечивает примерную линейность управления сдвигом фаз квазиоптического сигнала

лишь в небольших пределах изменений фазы (около 90°). Увеличение числа последовательных ФСЯ до четырех, кривая (2), приводит к значительному (примерно до 300°) расширению квазилинейного участка фазовой характеристики.

На основе описанной выше схемы ФСЯ нами разработана показанная на рис. 7 ФЭС фазового модулятора (ФМ) в плече ММЦ (рис. 2). Модель ФМ является нелинейной в соответствии с проведенным рассмотрением (рис. 6). В модуляторе количество ячеек увеличено до 4 для обеспечения квазилинейной перестройки вносимого сдвига фаз в пределах более 180° , типично требуемого для работы ММЦ радиофотонного узла (рис. 1). Результирующий фазовый сдвиг формируется в фазовом модуляторе как алгебраическая сумма сдвигов фаз, полученных в каждой из ячеек, поскольку сигнал на оптической частоте последовательно проходит через все ФСЯ.

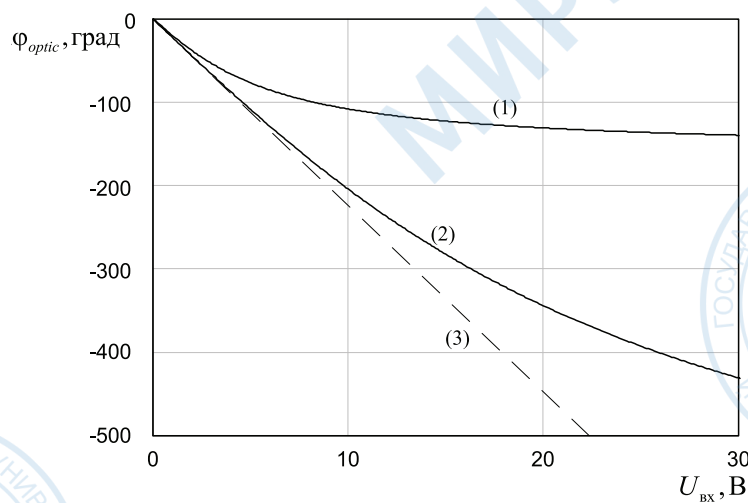


Рис. 6. Зависимость сдвига фазы квазиоптического сигнала от управляющего напряжения:

(1) – одна ФСЯ; (2) – 4 ФСЯ; (3) – линейная теоретическая зависимость $\Delta\varphi = U_{vx} \frac{180}{U_\pi}$.

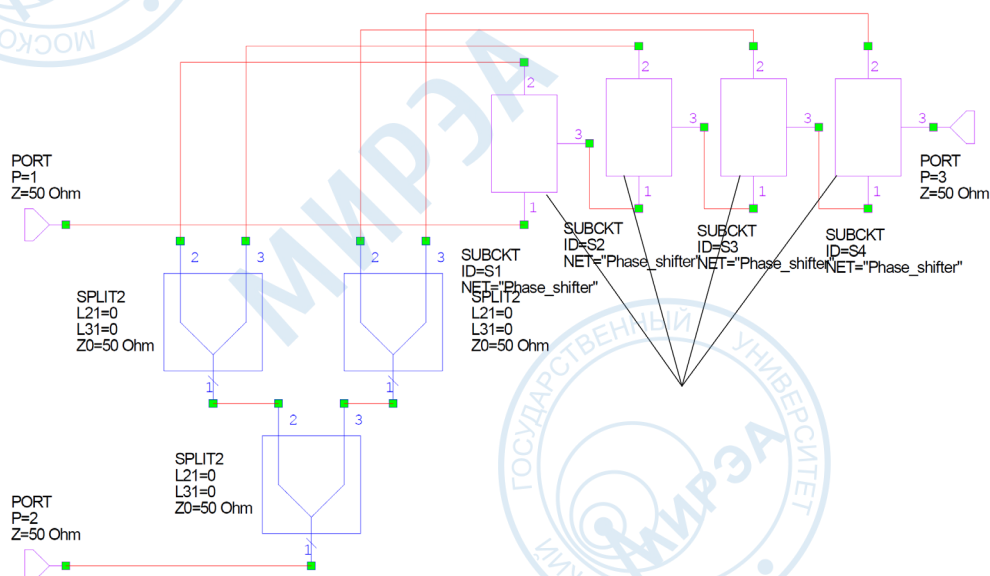


Рис. 7. Модель фазового модулятора на четырех фазосдвигающих ячейках.

На основании описанных выше входящих схем разработана результирующая ФЭС ММЦ, вариант которой с ФМ в каждом из двух плеч ИМЦ (рис. 2) представлен на рис. 8.

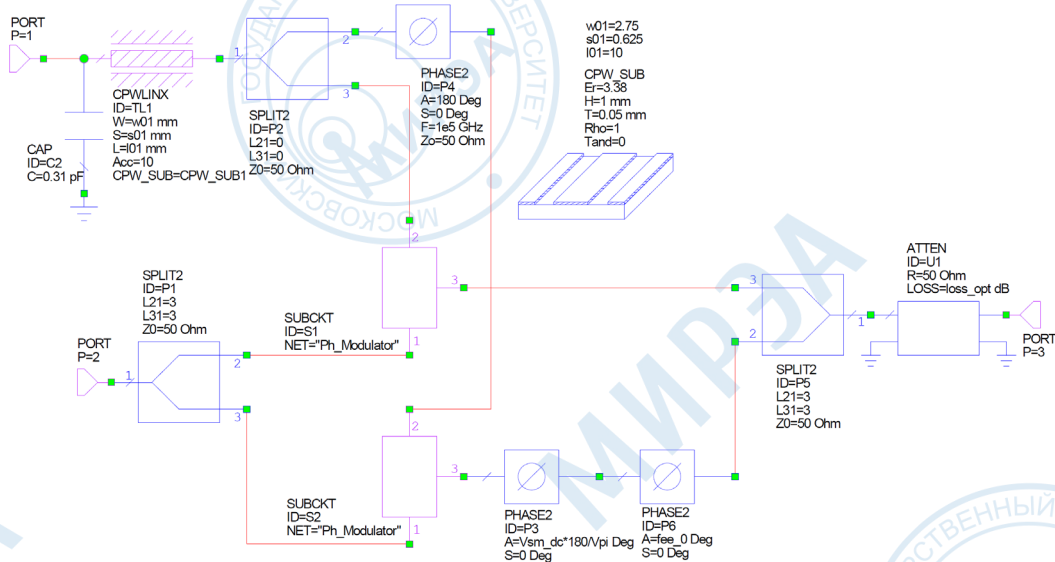


Рис. 8. Эквивалентная нелинейная электрическая модель ММЦ.

В схеме разнополярность модулирующих напряжений для двух ФМ ММЦ обеспечивается библиотечной моделью фазовращателя ФВ1. Рабочая точка на передаточной характеристике ММЦ задается постоянным напряжением смещения $U_{см}$, значение которого в модели пересчитывается с учетом заданного половолнового напряжения U_{π} в сдвиг фаз фазовращателя ФВ2 φ_{ps2} по формуле $\varphi_{ps2} = U_{см} \frac{180}{U_{\pi}}$, град. Назначение моделей фазовращателя ФВ3 и аттенюатора АТТЕН на выходе схемы состоит в калибровке передаточной характеристики ММЦ в ходе экспериментальной верификации. Аттенюатор определяет потери, вносимые по оптическому сигналу в тракте модулятора, а ФВ3 – сдвиг передаточной характеристики ММЦ по оси управляющего напряжения, определяемый задержкой оптического сигнала в тракте модулятора. Для анализа характеристик ММЦ в радиочастотном диапазоне к выходу его схемы (Port 3) подключается модель фотодетектора [5] (не показана на рис. 8). Учет сосредоточенной входной емкости модулятора по управляющему входу и распределенной электромагнитной связи между СВЧ и оптическим полями осуществляется при помощи библиотечных моделей CAP постоянного конденсатора и копланарной СВЧ-линии передачи CPWLINK, размеры и взаимоположение проводников и параметры которой соответствуют реальному ММЦ. Оба этих элемента определяют полосу модуляции ММЦ. Остальные входящие элементы рассмотрены при описании схемы на рис. 4.

На рис. 9 показаны результаты численного моделирования передаточной характеристики разработанной модели ММЦ после калибровки по паспортным данным (половолновое напряжение, начальная фаза, полоса модуляции и т.д.) серийного ММЦ типа MXER-LN, Photline Technologies, Франция и экспериментальная характеристика данного прибора. Высокая степень совпадения свидетельствует о корректности разработанной модели ММЦ.

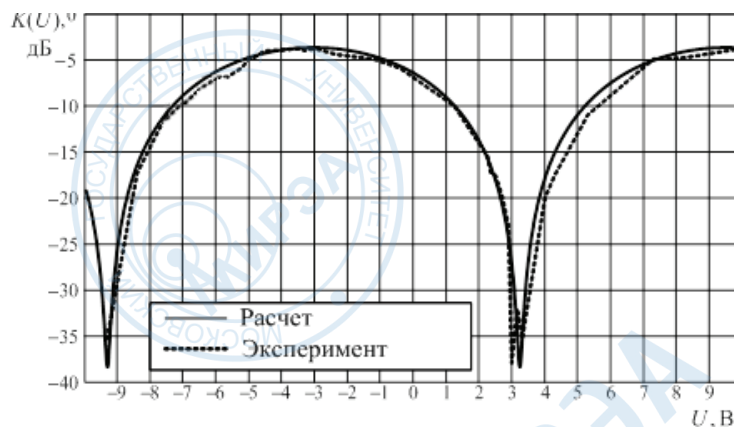


Рис. 9. Теоретическая и экспериментальная передаточные характеристики ММЦ.

Для верифицированной модели проведены модельные эксперименты по исследованию спектра выходного сигнала ММЦ при подаче оптического сигнала частотой 193.3 ТГц, модулирующего РЧ-сигнала 15 ГГц и разных напряжениях постоянного смещения (рис. 10), обеспечивающих различные режимы работы ММЦ: без подавления ($U_{см} = 0.5U_{\pi}$) и с подавлением ($U_{см} = U_{\pi}$) оптической несущей. Как видно из рис. 10, при смещении $U_{см} = U_{\pi}$ подавление несущей осуществляется более, чем на 30 дБ, что соответствует паспортным данным для ММЦ вышеуказанного типа.

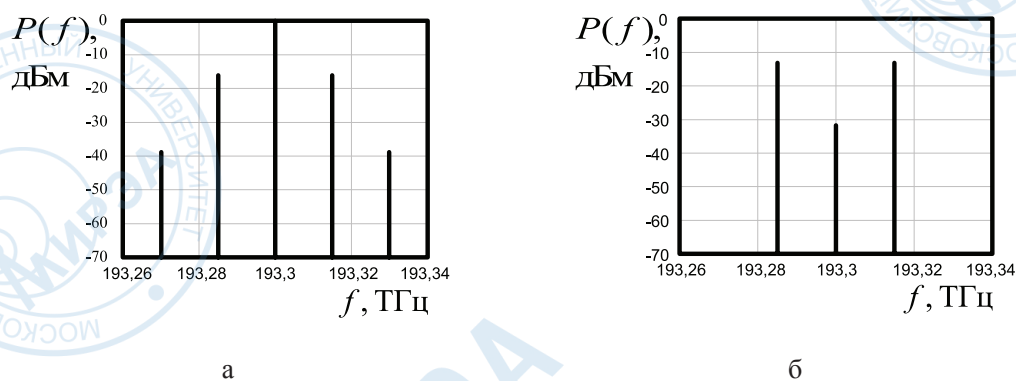


Рис. 10. Расчетные спектры оптического сигнала на выходе ММЦ при $U_{см} = 0.5U_{\pi}$ (а) и $U_{см} = U_{\pi}$ (б).

Важным отличием разработанной модели ММЦ является ее нелинейность, влияние которой на динамические характеристики ММЦ в режиме большого сигнала в радиофотонике обычно характеризуется путем определения двух параметров [1]:

1. Мощности по управляющему входу ММЦ $P_{-1дБ}$ при компрессии характеристики передачи радиофотонного узла (в схеме рис. 1 – это разность в дБ между мощностями в дБм на выходе и входе РЧ-сигнала) на 1 дБ при однотональном воздействии;
2. Так называемой входной точки пересечения третьего порядка $IP3$, которая определяется по идеализированным характеристикам передачи радиофотонного узла на основной модулирующей частоте и на частоте интермодуляционных искажений третьего порядка (ИМИЗ) при двухтональном воздействии на управляющем входе ММЦ.

Отметим, что эти ключевые параметры качества невозможно рассчитать с помощью любой оптической САПР, а в AWRDE модельные эксперименты по их определению выполняются путем однокнопочной операции.

Экспериментальная проверка вышеуказанных параметров нелинейности осуществлялась с помощью установки, схема которой соответствует приведенной на рис. 1. В качестве ПЛИ использовали лазер С-диапазона с узкой линией излучения модели PS-NLL производства TeraXion, Канада, в качестве ФД – фотодиод с полосой 75 ГГц модели XPDV3120R производства Finisar, США. Испытывали тот же ММЦ модели MXER-LN. Модельные и реальные эксперименты выполняли в одинаковых режимах при подаче на оптический вход модулятора немодулированного сигнала мощностью порядка 50 мВт на частоте 193.3 ТГц, а на управляющий вход ММЦ – один гармонический РЧ-сигнал частотой 15 ГГц при анализе $P_{-1\text{дБ}}$ или два гармонических РЧ-сигнала частотами 14.95 и 15.05 ГГц при анализе $ИПЗ$. В обоих случаях диапазон изменения мощностей входных РЧ-сигналов соответствовал -15...15 дБм в расчете и -15...10 дБм в эксперименте. Постоянное смещение испытываемого ММЦ устанавливали в квадратурной точке передаточной характеристики (2.5 В на рис. 9).

Результаты расчета (а) и эксперимента (б) интермодуляционных искажений третьего порядка при мощности сигналов на управляющем входе ММЦ 10 дБм представлены на рис. 11. Как следует из рис. 11, расчетный коэффициент интермодуляционных искажений получился на уровне 36.5 дБ, а экспериментальный – 35.2 дБ, что свидетельствует о корректности разработанной модели не только при постоянном смещении (рис. 9), но и при

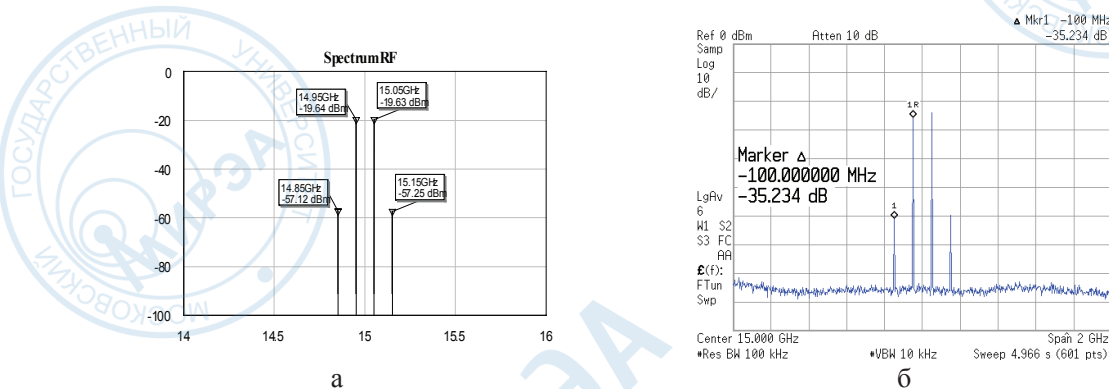


Рис. 11. Интермодуляционные характеристики исследуемого ММЦ.

На рис. 12 показаны обобщающие результаты моделирования (сплошные линии) и экспериментального исследования (пунктирные линии) нелинейных искажений ММЦ с учетом влияния фотодетектора.

Рассчитанный на базе рис. 12 уровень $ИПЗ$ составил примерно 28 дБм, экспериментально определенный – 24 дБм. Рассчитанная точка компрессии коэффициента передачи $P_{-1\text{дБ}}$ приблизительно равна 14 дБм, определенная экспериментально – около 12 дБм.

3. Нелинейная физическая эквивалентная модель однополосного оптического модулятора

В развитие описанной в разделе 2 модели двухполосного ММЦ на основе структурной схемы на рис. 3 реализована модель однополосного ММЦ (ОПММЦ) в виде ФЭС,

показанной на рис. 13. В схеме в соответствии с рис. 3 функции двух внутренних ИМЦ реализуются с помощью моделей, описанных в разделе 2.

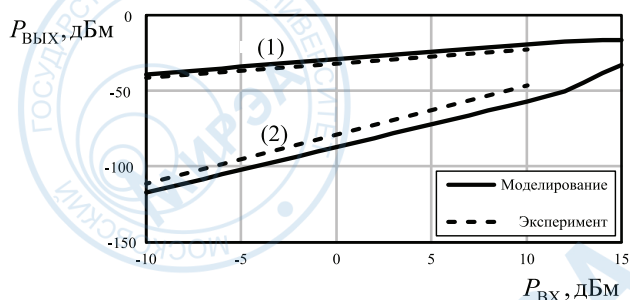


Рис. 12. Расчетные и экспериментальные характеристики передачи ММЦ в режиме большого сигнала по основной гармонике (1) и по интермодуляционным искажениям третьего порядка (2) на частоте модуляции в районе 15 ГГц.

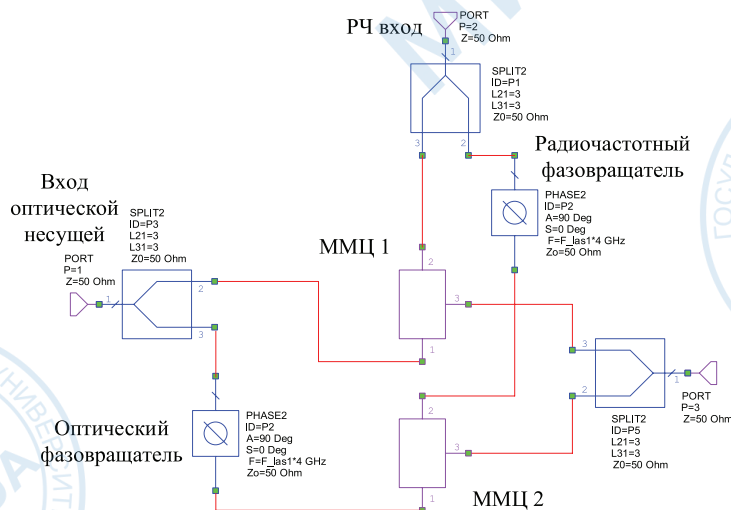


Рис. 13. Модель однополосного ЭОММЦ в САПР AWRDE.

Для внесения требуемого дополнительного фазового сдвига в оптическом тракте использована библиотечная модель фазовращателя PHASE2. Такая же модель применена для регулировки сдвига фаз входных РЧ-сигналов, что приводит к подавлению несущей и верхней либо нижней боковой полосы.

Пример модельного эксперимента с подавлением нижней боковой полосы приведен на рис. 14, где показаны спектры сигнала на выходе ОПММЦ при двухтональном модулирующем РЧ-сигнале (14.95 и 15.05 ГГц) и напряжениях постоянного смещения в квадратурной точке без подавления несущей (а) и в точке минимального пропускания с подавлением несущей и боковой полосы (б). Из рис. 14 видно, что модулятор подавляет оптическую несущую на 35 дБ, а нижнюю боковую полосу – на 80 дБ.

Заключение

Разработана нелинейная физическая эквивалентная модель двухполосного электрооптического модулятора Маха-Цандера в программной среде проектирования СВЧ-цепей NI AWR Design Environment. Основные преимущества разработанной модели заключаются в следующем:

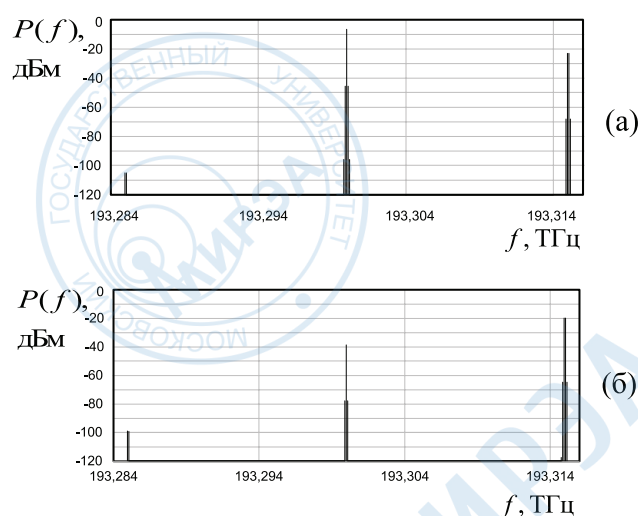


Рис. 14. Спектр сигнала на выходе однополосного оптического модулятора при двухтональном модулирующем РЧ-сигнале при $U_{cm} = 0.5U_{\pi}$ (а) и $U_{cm} = U_{\pi}$ (б).

– по сравнению с известной моделью [9]: реализовано совместное использование квазиоптических сигналов и радиосигналов и при моделировании не требуется применения внешних библиотек;

– по сравнению с известной моделью [10]: динамичность управления, возможность сопряжения в радиоканале с радиочастотными схемами и топологиями, линейное и нелинейное моделирование, небольшое машинное время расчета, что особенно важно при комплексном расчете сложных схем – таких, как радиофотонное диаграммообразующее устройство [12];

– модель полностью реализована на библиотечной элементной базе AWRDE.

В развитие модели ММЦ впервые предложена и предварительно исследована с помощью AWRDE нелинейная физическая эквивалентная модель однополосного электрооптического модулятора, содержащего три интерферометра Маха-Цандера.

В ходе модельных экспериментов проанализированы статические и динамические характеристики моделей в режиме большого сигнала при управлении СВЧ-сигналами Ку-диапазона. Проведенная экспериментальная верификация подтвердила корректность разработанных моделей.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант офи_м № 14-29-08141.

Литература:

1. Урик В.Д., МакКинни Д.Д., Вилльямс К.Д. Основы микроволновой фотоники / Пер. с англ. под ред. С.Ф. Боева, А.С. Сигова. М.: Техносфера, 2016. 376 с.
2. Белкин М.Е., Кудж С.А., Сигов А.С. Новые принципы построения радиоэлектронной аппаратуры СВЧ-диапазона с использованием радиофотонной технологии // Российский технологический журнал. 2016. Т. 4. № 1 (10). С. 4–20.
3. Fundamentals of Nonlinear Behavioral Modeling for RF and Microwave Design / Ed. by J. Wood and D.E. Root. Artech House, Inc., 2005. 221 pp.

4. Belkin M.E., Iakovlev V. Microwave-band circuit-level semiconductor laser modeling. 9th european modelling symposium on mathematical modelling and computer simulation // EMS2015. Madrid, Spain, 6–8 October 2015. P. 443–445.
5. Belkin M. E., Sigov A.S. Circuit-level large-signal modeling of microwave bandwidth photodetector // Int. Conf. on Electromagnetics in Advanced Applications, ICEAA 2015. Torino, Italy, 7–11 September, 2015. P. 1587–1589.
6. Белкин М.Е. Устройства линейного тракта телекоммуникационных ВОСП: учебное пособие. М.: МИРЭА, 2012. 64 с.
7. Зайдель А.Н., Островская Г.В., Островский Ю.И. Техника и практика спектроскопии. М.: Наука, 1976. 392 с.
8. RF Photonic Technology in Optical Fiber Links / Ed. W.S.C. Chang. Cambridge University Press, 2002. 423 p.
9. Pirola M., Cappelluti F., Giarola G., Ghione G. Multisectional modeling of high-speed electrooptic modulators integrated in a microwave circuit CAD environment // J. Lightwave Technol. 2003. V. 21. № 12. P. 2989–2996.
10. Тыщук Ю.Н., Головин В.В. Применение модели электрооптического модулятора Маха-Цандера в оптической диаграммообразующей схеме антенной решетки // Матер. 25-й Междунар. Крымской конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2015). Севастополь, 6–12 сентября 2015. Т. 1. С. 1031–1032.
11. Попов В.П. Основы теории цепей. М.: Высшая школа, 1985. 496 с.
12. Belkin M.E., Sigov A.S., Tyschuk Y., Golovin V. Comparison of RF photonics-based beam formers for super-wide bandwidth phased array antennas // IEEE RADIO Conference (RADIO2016). Reunion Island, 10–13 October 2016. P. 1–2.

УДК 536.4

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИИ В ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ
С КВАНТОВОЙ ЯМОЙ AlGaN/GaN МЕТОДОМ
ВОЛЬТ-ФАРАДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

О.А. Рубан[@], аспирант
П.П. Мальцев, д.т.н., профессор

Кафедра нанoeлектроники Физико-технологического института МИРЭА,
Московский технологический университет (МИРЭА), Москва, 119454 Россия
[@]Автор для переписки, e-mail: myx.05@mail.ru

На основе измерений вольт-фарадных характеристик GaN-HEMT в настоящей работе определены степени релаксации напряжения в барьерном слое AlGaN/GaN гетероструктур. Образцы выращены на подложках Al₂O₃ методом осаждения металлоорганических соединений из газообразной фазы. С целью проведения вольт-фарадных измерений для всех исследуемых HEMT-структур созданы двухзатворные HEMT. Из измеренных вольт-фарадных характеристик получено значение поляризации P_{exp} внутри каждой HEMT-структуры. На основании анализа вольт-фарадных характеристик обнаружены электронные ловушки. По модифицированной модели Амбахера рассчитаны значения спонтанной P_{sp} и пьезоэлектрической P_{pz} поляризации. Полученные значения P_{exp} , P_{sp} и P_{pz} для каждой HEMT-структуры позволили определить значение степени релаксации напряжения R в барьерном слое. Показана возможность применения вольт-фарадных характеристик для оценки качества кристаллической структуры барьерного слоя в AlGaN/GaN-гетероструктуре.

Ключевые слова: наноструктуры, нитрид галлия, вольт-фарадные характеристики, пьезоэффект.

INVESTIGATION OF POLARIZATION IN HETEROSTRUCTURES
WITH THE QUANTUM WELL AlGaN / GaN USING
CAPACITANCE-VOLTAGE CHARACTERISTICS

О.А. Ruban[@],
P.P. Maltsev

Moscow Technological University (MIREA), Moscow, 119454 Russia
[@]Corresponding author e-mail: myx.05@mail.ru

In the present study, the degree of relaxation of tension in the barrier layer of heterostructures AlGaN / GaN on the basis of measurements of the capacitance-voltage characteristics GaN-HEMT is determined. Samples were grown on Al₂O₃ substrates by deposition of organometallic compounds from a gaseous phase. In order to conduct capacitance-voltage measurements, dual-gate HEMT were created for all these tested HEMT-structures. From the measured capacitance-

voltage characteristics, the P_{exp} polarization value within each HEMT-structure was obtained. By analyzing the capacitance-voltage characteristics, electron traps were found. According to the modified model by Ambacher, spontaneous P_{sp} values and piezoelectric polarization P_{pz} were calculated. Obtained values P_{exp} , P_{sp} and P_{pz} for each HEMT-structure allowed to determine the value of the relaxation degree of tension R in the barrier layer. Thus, the possibility of application of the capacity-voltage characteristics for evaluating the quality of the crystal structure of the barrier layer in the heterostructure AlGaN / GaN is shown.

Keywords: nanostructures, gallium nitride, capacitance-voltage characteristics, piezoelectric effect.

Введение

Транзисторы с высокой подвижностью электронов НЕМТ (*High-electron-mobility transistor*) на основе широкозонных гетероструктур AlGaN/GaN широко применяются в мощных приеме-передающих СВЧ-устройствах с рабочими частотами свыше 8 ГГц [1]. В основе НЕМТ лежит гетероструктура с двумерным электронным газом в квантовой яме. Для моделирования и последующего изготовления СВЧ-приборов на основе GaN-HEMT необходимо иметь комплексное представление о гетероструктуре: состоянии слоев, образующих квантовую яму, наличии электронных ловушек и концентрации электронов в канальном слое. В гетероструктурах AlGaN/GaN полярная природа соединений GaN и AlGaN приводит к их спонтанной поляризации P_{sp} [2, 3]. Кроме того, из-за растягивающих латеральных напряжений на границе раздела AlGaN/GaN, вызванных несогласованием кристаллических решеток, возникает пьезоэлектрическая поляризация P_{pz} [4, 5]. В итоге на границе раздела AlGaN/GaN возникает суммарная поляризация P_{sum} , которая приводит к возникновению встроенного электрического поля. Данное поле вызывает накопление зарядов в квантовой яме, образуя двумерный электронный газ.

В настоящее время используется множество разнообразных методов измерения параметров полупроводниковых материалов и среди них – методы вольт-фарадных характеристик. Обращает на себя внимание отличительная черта данных методов, в которых исследуется не монолитный полупроводник, а структура на основе полупроводника, обладающая емкостью: металл–полупроводник, металл–диэлектрик–полупроводник (МДП-структура) или p – n -переход. С их помощью проводят измерения концентрации легирующих примесей, глубоких уровней и их характеристик, генерационного времени неравновесных носителей заряда, плотности поверхностных состояний и их распределения по энергиям [6, 7]. В настоящей работе использован метод измерения вольт-фарадных характеристик (ВФХ).

Предметом настоящей статьи является разработка способа проведения анализа качества барьерных слоев гетероструктуры с помощью ВФХ.

Экспериментальная часть

Исследуемые гетероструктуры AlGaN/GaN выращивали на подложках Al_2O_3 методом осаждения металлоорганических соединений из газообразной фазы (МОС-гидридная эпитаксия). Для усиления пьезоэффекта использовали слой AlN толщиной 7 Å, период кристаллической решетки а этого слоя меньше, чем у GaN и AlGaN (a для GaN = 3.16 Å и a для AlN = 3.11 Å, соответственно [7]). В исследуемых гетероструктурах сформирована

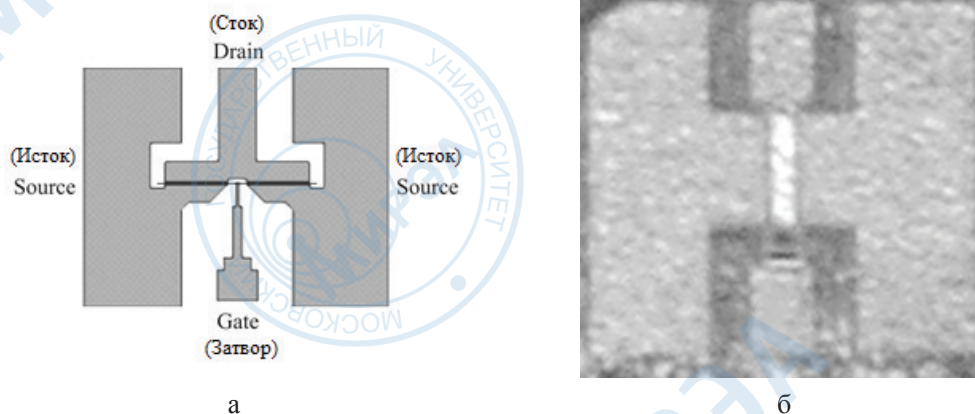


Рис. 3. Схема (а) и фотографическое изображение (б) тестового транзистора.

Результаты и их обсуждение

Измеренные нами ВФХ показаны на рис. 4.

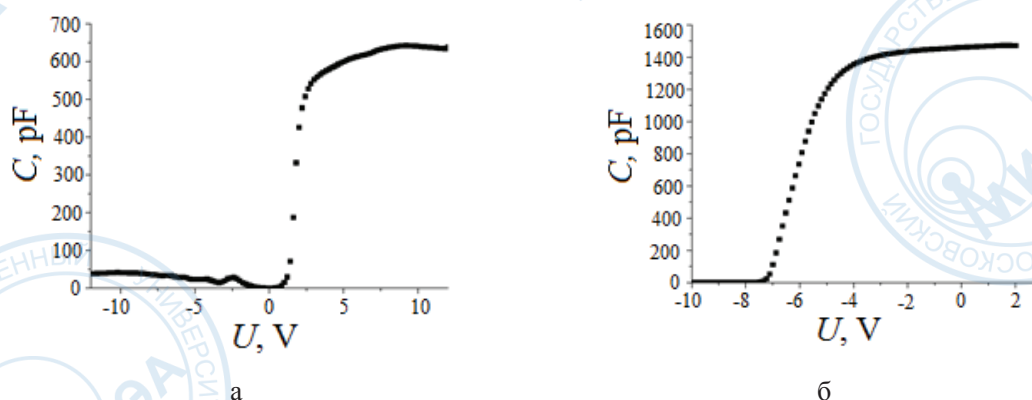


Рис. 4. Вольт-фарадные характеристики для образца 1 (а) и для образца 2 (б).

Полученные кривые позволили с помощью стандартной процедуры дифференцирования [9] рассчитать распределение концентрации носителей заряда N в зависимости от расстояния от поверхности образца x (рис. 5):

$$N(x) = \frac{C^3}{e\epsilon\epsilon_0 S^2} \frac{dU}{dC}, \quad (1)$$

- где e – заряд электрона;
- ϵ – диэлектрическая проницаемость;
- ϵ_0 – диэлектрическая постоянная;
- C – измеренная емкость;
- S – площадь контакта Шоттки.

Из рис. 5а видно, что в образце 1, в отличие от образца 2, обнаружены пики, соответствующие не только квантовой яме, но и заряженным ловушкам, причем концентрация носителей заряда в данных ловушках достигает значений, сравнимых с квантовой ямой.

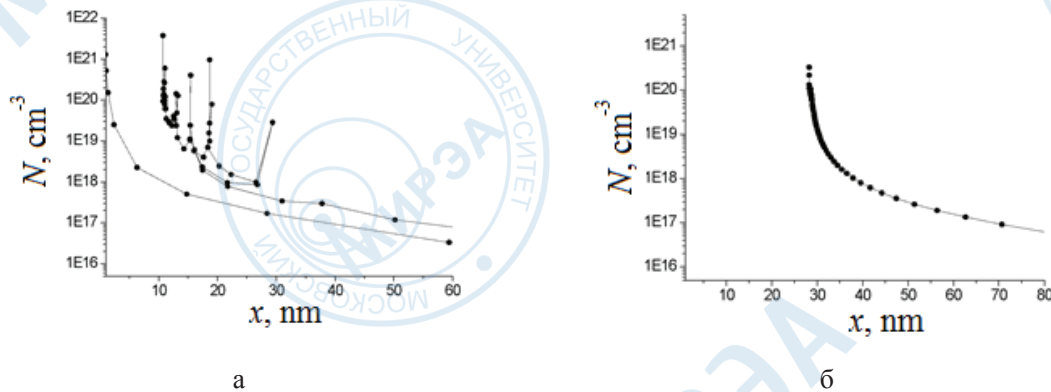


Рис. 5. Распределение электронной плотности в гетероструктурах для образцов 1 (а) и 2 (б).

Это свидетельствует о том, что в барьерном слое присутствуют ловушки для электронов.

Для определения экспериментального значения поляризации P_{exp} использовали следующее выражение:

$$P_{exp} = -(\epsilon - 1)\epsilon_0 \frac{dU}{dx} \quad (2)$$

Чтобы рассчитать пьезоэлектрическую составляющую поляризации, мы модифицировали модель Амбахера [10] путем замены полностью упруго деформированного слоя GaN, выращенного на релаксированном слое AlGaIn, на полностью упруго деформированный слой AlN, выращенный на релаксированном слое GaN, так как в исследуемых гетероструктурах была сформирована треугольная квантовая яма, а не прямоугольная, как в модели Амбахера. Результатом модификации известной модели является совпадение направлений пьезоэлектрической и спонтанной составляющих поляризации. Суммарная поляризация, являющаяся суперпозицией составляющих, создает поле, приводящее к возникновению электронов в квантовой яме. Расчет пьезоэлектрической составляющей P_{pz} осуществляли по следующей формуле:

$$P_{pz} = 2 \frac{a - a_0}{a_0} \left(e_{31} - e_{33} \frac{C_{13}}{C_{33}} \right), \quad (3)$$

где a_0 – значение решетки для GaN;

a – значение решетки для AlN;

e_{31}, e_{33} – пьезомодули AlN;

C_{13}, C_{33} – коэффициенты упругой жесткости AlN.

Пьезоэлектрическая составляющая поляризации будет соответствовать полностью упруго деформированному барьерному слою.

Степень релаксации R определяли из отношения значений пьезоэлектрических со-

ставляющих поляризации, определенных из эксперимента через измерение вольт-фарадных характеристик, и из модифицированной модели Амбахера, согласно следующему выражению:

$$R = \left(1 - \frac{P_{\text{exp}} - P_{\text{sp}}}{P_{\text{pz}}}\right) \cdot 100\%, \quad (4)$$

Результаты приведены в таблице. Видно, что для образца **2** определенное из эксперимента значение поляризации P_{exp} совпадает с рассчитанным суммарным значением поляризации P_{sum} . Это объясняется тем, что барьерный слой имеет низкую степень релаксации. В образце **1** P_{exp} совпадает со значением для спонтанной поляризации P_{sp} [14, 15], что указывает на отсутствие пьезоэлектрической компоненты в данном образце вследствие высокой степени релаксации R , обусловленной протеканием процесса пластической деформации. Так как на распределении электронной плотности в барьерных слоях присутствуют ловушки (рис. 5а), можно предположить, что ими являются заряженные дислокационные линии [11–13]. Из данных, представленных в таблице, следует вывод, что в образце **2** барьерные слои пластически деформированы, поскольку экспериментальное значение поляризации совпадает с рассчитанным по модифицированной модели Амбахера. При этом ловушки не образуются, что видно из распределения электронной плотности (рис. 5б).

Поляризации и степени релаксации в исследованных НЕМТ-структурах: полученная из эксперимента P_{exp} , спонтанная P_{sp} , пьезоэлектрическая P_{pz} поляризации и степень релаксации напряжения R

№ образца	P_{exp} , Кл/м ²	Расчетные значения			R , %
		P_{pz} , Кл/м ²	P_{sp} , Кл/м ²	P_{sum} , Кл/м ²	
1	-0.095				90.4
2	-0.138	-0.052	-0.09	-0.142	7.7

Заключение

1. В результате расчета профиля концентрации электронов, основанном на измерении ВФХ, обнаружены электронные ловушки, природу которых можно интерпретировать как заряженные дислокационные линии в барьерном слое образца **1**. Установлено отсутствие заряженных дислокационных линий в образце **2**.

2. Расчет поляризации на основании экспериментальных данных и модифицированной модели Амбахера позволил определить степень релаксации барьерных слоев в исследуемых гетероструктурах.

Предложенный метод ВФХ обеспечивает возможность определения необходимых для создания монолитной интегральной схемы (МИС) параметров. В случае использования ртутного зонда метод ВФХ применим в качестве входного контроля пластин для уточнения расчетной модели при создании МИС, в результате увеличивается выход годных элементов и уменьшается расход дорогостоящих материалов.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ, проект № 16-32-00552 «Исследование электрофизических и кристаллографических свойств гетероструктур AlGaIn/GaN для мощных СВЧ-транзисторов».

Литература:

1. Федоров Ю.В. Широкозонные гетероструктуры (Al,Ga,In)N и приборы на их основе для миллиметрового диапазона длин волн // ЭЛЕКТРОНИКА: наука, технология, бизнес. 2011. Т. 2 (00108). С. 92–107.
2. Bernardini F., Fiorentini V., Vanderbilt D. Spontaneous polarization and piezoelectric constants of III-V nitrides // Phys. Rev. B. 1997. V. 56. P. R10 024– R10 027.
3. Bernardini F., Fiorentini V. Macroscopic polarization and band offsets at nitride heterojunctions // Phys. Rev. B. 1998. V. 57. P. R9427– R9430.
4. Zoroddu A., Bernardini F., Ruggerone P., Fiorentini V. First-principles prediction of structure, energetics, formation enthalpy, elastic constants, polarization, and piezoelectric constants of AlN, GaN, and InN: comparison of local and gradient-corrected density-functional theory // Phys. Rev. B. 2001. V. 64. P. 045208(6).
5. Fiorentini V., Bernardini F., Sala F.D., Carlo A.D., Lugli. P. Effects of macroscopic polarization in III-V nitride multiple quantum wells // Phys. Rev. B. 1999. V. 60. P. 8849–8858.
6. Иванов П.А., Потапов А.С., Николаев А.Е., Лундин В.В., Сахаров А.В., Цацульников А.Ф., Афанасьев А.В., Романов А.А., Осачев Е.В. Вольт-фарадные характеристики МДП структур (Al/Ti)/Al₂O₃/n-GaN // Физика и техника полупроводников. 2015. Т. 49. № 8. С. 1061–1064.
7. Супрядкина И.А., Абгарян К.К., Бажанов Д.И., Мутигуллин И.В. Исследование поляризации нитридных соединений (Al,Ga,AlGa)N и зарядовой плотности различных интерфейсов на их основе // Физика и техника полупроводников. 2013. Т. 47. № 12. С. 1647–1652.
8. Стрельченко С.С., Лебедев В.В. Соединения A³B⁵. М.: Металлургия, 1984. С. 121.
9. Смирнов В.И. Неразрушающие методы контроля параметров полупроводниковых материалов и структур. Ульяновск: УлГУ, 2012. 75 с.
10. Ambacher O. Growth and applications of Group III-nitrides // J. Phys. D. 1998. V. 31. P. 2653–2710.
11. Тяпунина Н.А., Белозерова Э.П. Заряженные дислокации и свойства щелочногалогенидных кристаллов // Успехи физических наук. 1988. Т. 156. С. 683–717.
12. Алексеев А.Н., Петров С.И., Красовицкий Д.М., Чалый В.П., Мамаев В.В., Сидоров В.Г. // Известия ЮФУ. Технические науки. 2014. Т. 9 (158). С. 24–32.
13. Алексеев А.Н., Петров С.И., Красовицкий Д.М., Чалый В.П. // Физика и техника полупроводников. 2012. Т. 46. Вып. 11. С. 1460–1463.
14. King-Smith R.D., Vanderbilt D. Theory of polarization of crystalline solids // Phys. Rev. 1993. V. B 47. P. 1651–1654.
15. Polarization Effects in Semiconductors. From Ab Initio Theory to Device Applications / Ed. C. Wood and D. Jena. USA: Springer, 2008. 515 p.

УДК 681.586.785

ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ МАГНЕТОМЕТР НА ОСНОВЕ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ДАТЧИКА

В.Н. Серов[@], к.т.н., доцент
Л.Ю. Фетисов, к.ф.-м.н., доцент
Ю.К. Фетисов, д.ф.-м.н., профессор
Е.И. Шестаков, аспирант

Московский технологический университет (МИРЭА), Москва, 119454 Россия
[@]Автор для переписки, e-mail: serov@mirea.ru

Разработан высокочувствительный магнетометр на основе магнитоэлектрического датчика магнитных полей нового типа. Датчик представляет собой структуру, содержащую механически связанные слои ферромагнетика и пьезоэлектрика, помещенную в электромагнитную катушку. Магнитоэлектрический эффект возникает в результате комбинации магнитострикции ферромагнитного слоя и пьезоэффекта в пьезоэлектрическом слое. При воздействии на структуру поля накачки h с частотой f и измеряемого постоянного поля H она генерирует гармоники напряжения с частотами f , $2f$, $3f$ и т.д. Амплитуды 1-ой и 3-ей гармоник линейно зависят от H , что и использовано для измерения поля. Исследованы полевые, частотные и амплитудные характеристики датчика. Описаны электронные схемы, реализующие обработку сигналов датчика. Изготовлен макет магнетометра с батарейным питанием, работающий в диапазоне полей 0.1–200 мЭ и обеспечивающий точность измерений 0.1 мЭ. Магнетометр может составить конкуренцию феррозондовым датчикам и найти применение в геофизике, системах навигации, дефектоскопии и медицине.

Ключевые слова: магнетометр, датчик магнитных полей, магнитоэлектрический эффект, магнитострикция, пьезоэффект, синхронное детектирование, измерительные устройства с автономным питанием.

HIGH-SENSITIVITY MAGNETOMETER BASED ON A MAGNETOELECTRIC SENSOR

V.N. Serov[@],
L.Y. Fetisov,
Y.K. Fetisov,
E.I. Shestakov

Moscow Technological University (MIREA), Moscow, 119454 Russia
[@]Corresponding author e-mail: serov@mirea.ru

A high-sensitivity magnetometer based on new type magnetoelectric sensor was fabricated. The sensor contains a composite structure of ferromagnetic and piezoelectric layers placed

inside an electromagnetic coil. Magnetolectric effect in the structure arises due to combination of magnetostriction of the ferromagnetic layer and piezoelectricity of the piezoelectric layer. Under simultaneous action of pumping magnetic field with frequency f and dc field to be measured, the structure generates voltage harmonics with frequencies f , $2f$, $3f$. Amplitudes of the 1st and the 3^d harmonics are linear functions of H , which is used for measurements. The field, frequency, and amplitude characteristics of the sensor were investigated. The electronics circuits used for signals processing are described. The battery powered proto-type of the magnetometer operates in the 0.1–200 mOe magnetic field range with accuracy of 0.1 mOe. The proposed magnetolectric magnetometer may compete with fluxgate magnetometers and find applications in geophysics, navigation, defectoscopy, and medicine.

Keywords: magnetometer, magnetic field sensor, magnetolectric effect, magnetostriction, piezoelectric effect, phase-locking, autonomous measuring devices.

Введение

В настоящее время приборы для измерения магнитного поля (магнетометры) широко применяются в таких областях науки и техники, как физика, геофизика, медицина, неразрушающая дефектоскопия, системы обеспечения безопасности [1–3]. В магнетометрах применяются различные типы датчиков магнитных полей, которые, в зависимости от величины измеряемого поля, можно условно разделить на четыре основных типа:

1. Для измерения сильных полей ($B \sim 0.1$ мТл – 1 Тл) применяют датчики на основе силы Лоренца (датчики Холла [4], микроэлектромеханические [5], пьезоэлектрические датчики [6]);
2. Для измерения средних полей ($B \sim 1$ мкТл – 1 мТл) более подходят магниторезистивные (гигантское, анизотропное и туннельное магнетосопротивления [7]) и магнитоимпедансные [8] датчики;
3. Для измерения слабых полей ($B \sim 0.1$ нТл – 10 мкТл) широкое распространение получили fluxgate-магнетометры, использующие перемагничивание ферромагнетика в переменном поле [9, 10]; сверхслабые магнитные поля ($B \sim 1$ фТл – 1 нТл) измеряют с помощью сверхпроводящих магнетометров, использующих эффект Джозефсона;
4. Для измерения переменных полей величиной $B \sim 10$ фТл – 1 мТл широко применяют датчики на основе явления электромагнитной индукции [11].

В последние годы активно исследуют датчики на основе магнитоэлектрического (МЭ) эффекта в композитных структурах, содержащих механически связанные ферромагнитные (ФМ) и пьезоэлектрические (ПЭ) слои [12–15]. МЭ-эффект в таких структурах позволяет осуществить прямое преобразование магнитного поля в электрический сигнал и возникает из-за комбинации магнитоэлектричества ФМ-слоя и пьезоэффекта в ПЭ-слое. При помещении структуры в слабое измеряемое переменное магнитное поле h и дополнительное постоянное поле смещения H возникает магнитоэлектрическая деформация ФМ-слоя. Она передается ПЭ-слою, который, вследствие пьезоэлектрического эффекта, генерирует переменное напряжение u . Амплитуда напряжения линейно растет с увеличением измеряемого поля $u \sim h$. С использованием структур, содержащих ФМ-слои с высокой магнитоэлектрической связью λ (металлы Ni, Co, сплавы FeCo, FeGa, Terfenol-D, ферриты) и ПЭ-слои с большим пьезомодулем d (керамика цирконата-титаната свинца, монокри-

сталлы магниониобата–танталата свинца, пьезоволоконные композиты), созданы датчики, регистрирующие минимальные поля до $\sim 10^{-9}$ Тл (т.е. до $\sim 10^{-5}$ Э) [14] с частотами от десятков Гц до десятков кГц.

В настоящей работе впервые создан и исследован магнетометр для измерения слабых постоянных магнитных полей на основе МЭ-датчика нового типа, который использует эффект генерации гармоник напряжения ФМ–ПЭ-структурой при одновременном воздействии на нее переменного магнитного поля накачки h большой амплитуды с частотой f и слабого измеряемого постоянного поля H [17]. Принцип работы магнетометра на основе МЭ-датчика наиболее близок к принципу работы магнетометров на основе феррозондовых (ФЗ) датчиков [9–11]. Поэтому характеристики МЭ-датчика сравниваются в основном с характеристиками ФЗ датчиков.

В первых разделах статьи описаны конструкция и принцип работы нового МЭ-датчика, приведены измеренные полевые и частотные характеристики датчика. Далее описана структурная схема и электронные схемы магнетометра. В заключительной части работы приведены параметры разработанного магнетометра, перечислены отличия и преимущества МЭ-магнетометров по сравнению с ФЗ-магнетометрами.

Конструкция магнитоэлектронного датчика

Конструкция МЭ-датчика схематически изображена на рис. 1а, а внешний вид изготовленного макета – на рис. 1б. Основным элементом датчика является структура, содержащая ФМ-слой и механически связанный с ним ПЭ-слой. Структура помещена в электромагнитную катушку, которая подключена к источнику тока $I(f)$ и создает переменное магнитное поле накачки $h \cos(2\pi ft)$ достаточно большой амплитуды h с частотой f . Измеряемое постоянное поле H приложено параллельно к плоскости структуры и возбуждающему полю h . Генерируемое вследствие МЭ-эффекта выходное напряжение $u(f)$ снимается с обкладок ПЭ-слоя структуры.

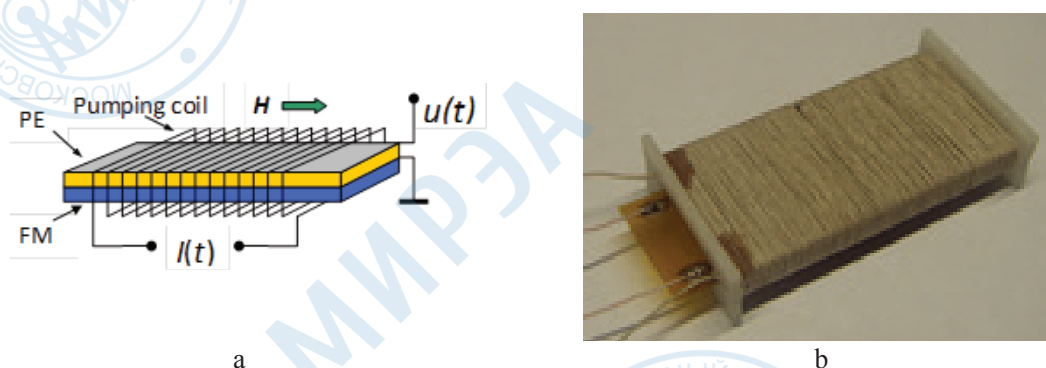


Рис. 1. Схематическая конструкция (а) и внешний вид (б) макета МЭ-датчика.

Макет МЭ-датчика содержит два ФМ-слоя, между которыми был расположен ПЭ-слой. Симметричная конструкция позволила избавиться от возникновения изгибных колебаний структуры при ее магнитострикционной деформации. В качестве материала для ФМ-слоев (каждый размерами 10×40 мм и толщиной 25 мкм) использована лента из аморфного ферромагнитного сплава состава FeBSiC (Metglas 2605S1A Magnetic Alloy)

[19]. Metglas имеет достаточно высокую магнитоупругость насыщения $\lambda_s \approx 20 \cdot 10^{-6}$ в малых полях насыщения $H_s \approx 30$ Э, наибольшие по величине пьезомагнитные коэффициенты $\lambda^{(1)}$, $\lambda^{(2)}$ и $\lambda^{(3)}$ среди используемых в МЭ-структурах материалов и малый гистерезис $H_r < 0.2$ Ое. В качестве ПЭ-слоя использовали пьезоволоконный композитный (PFC) преобразователь (M4010-P1, Smart Materials) размерами 10×40 мм и толщиной 0.3 мм [20]. Преобразователь содержит набор волокон из цирконата-титаната свинца (PZT-волокна) прямоугольного сечения, расположенных между встречно-штыревыми преобразователями с периодом 1 мм. Емкость и сопротивление PFC на частоте 1 кГц равнялись, соответственно, $C = 0.96$ нФ и $R = 10.8$ МОм. Волокна композита поляризованы в продольном направлении, и при деформации работал пьезомодуль $d_{33} = 460 \cdot 10^{-12}$ С/Н. Использование PFC, вместо поперечно поляризованной пластины из PZT керамики, позволило существенно повысить эффективность МЭ-взаимодействия. Слои структуры соединены с помощью клея «Loctite». Структура помещена в катушку с поперечным сечением 20×1 мм и длиной 40 мм.

Измерения характеристик макета МЭ-датчика проводили на стандартном измерительном оборудовании. Генератор Agilent 33210А, подключенный к катушке, обеспечивал магнитное поле накачки $h \cos(2\pi ft)$ с частотой $f = 10$ Гц – 100 кГц и амплитудой до $h = 6$ Ое. Постоянное поле $H = 0 - 40$ Э создавали с помощью катушек Гельмгольца диаметром 200 мм, подключенных к прецизионному регулируемому источнику постоянного тока TDK-Lambda. Спектр частот напряжения, генерируемого датчиком, регистрировали с помощью низкочастотного спектроанализатора SR770 фирмы Stanford Research.

Принцип работы магнитоэлектрического датчика

Принцип работы МЭ-датчика поясняет рис. 2. На рис. 2а изображена типичная зависимость $\lambda(H)$ магнитоупругости ФМ-слоя от постоянного поля H . Магнитоупругость насыщается на уровне λ_s в поле H_s . Зависимость $\lambda(H)$ имеет симметричный относительно инверсии направления поля H вид.

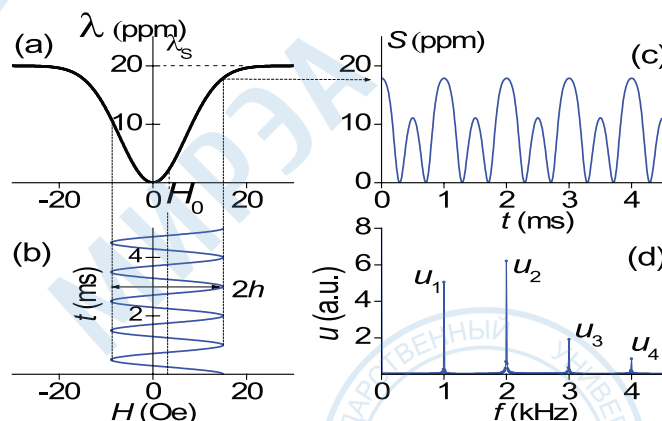


Рис. 2. Графики, поясняющие принцип работы МЭ-датчика: (а) зависимость магнитоупругости ФМ-слоя от поля H ; (б) поле накачки $h(t)$ и постоянное поле H_0 ; (с) зависимость деформации ФМ-слоя S от времени t ; (д) спектр частот генерируемого напряжения $u(f)$.

При приложении к структуре поля накачки $h \cos(2\pi ft)$ в ФМ-слое возникает переменная однополярная деформация $S(t)$ (рис. 2b), период которой меньше в два раза. Если дополнительно приложить к структуре слабое измеряемое постоянное поле H_0 , то нелинейность магнитострикции приводит к отличию величины соседних максимумов на зависимости $S(t)$ и искажению их формы. Эта деформация передается ПЭ-слою структуры, и он генерирует напряжение $u(t)$ примерно такой же формы. Фурье-преобразование от функции $u(t)$ дает спектр частот выходного напряжения, показанный на рис. 2с. Спектр содержит низшую гармонику с частотой накачки f и амплитудой u_1 и высшие гармоники с частотами $2f, 3f, 4f$ и т.д. и амплитудами u_2, u_3, u_4 , соответственно.

Типичные временные формы и спектры частот напряжения, генерируемого композитной МЭ-структурой при воздействии накачки $h = 5$ Ое с частотой $f = 1$ кГц без постоянного поля и в присутствии постоянного поля, показаны на рис. 3. Видно, что при $H = 0$ структура генерирует только четные гармоники напряжения с частотами $2f$ и $4f$ и амплитудами u_2 и u_4 , соответственно. Если $H = 1$ Э, форма генерируемого сигнала искажается и в спектре появляются также нечетные гармоники напряжения с частотами $f, 3f$ и амплитудами u_1 и u_3 , соответственно. Как будет показано далее, при малых $h, H \ll H_s$ амплитуды первой u_1 и третьей u_3 гармоник линейно растут с увеличением H , что можно использовать для измерения постоянного поля. Из рис. 3d следует, что амплитуда 1-ой гармоники на порядок больше амплитуды 3-ей гармоники. Поэтому в настоящей работе при создании магнетометра использовали 1-ю гармонику напряжения.

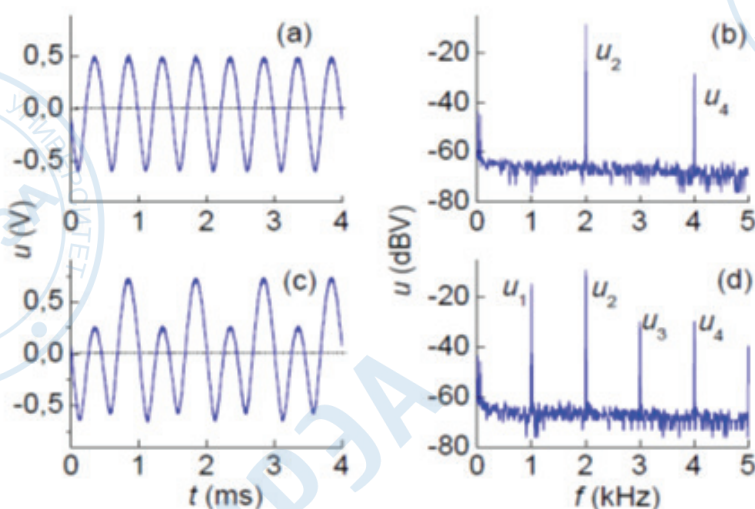


Рис. 3. Формы (а, с) и спектры частот (b, d) напряжения, генерируемого датчиком при поле $h = 5$ Э с частотой $f = 1$ кГц: (а) и (b) – при $H = 0$, (с) и (d) – при $H = 1$ Ое.

Полевые характеристики магнитоэлектрического датчика

Полевые характеристики МЭ-датчика, измеренные при частоте накачки $f = 1$ кГц, приведены на рис. 4. Согласно зависимости амплитуды гармоники u_1 от постоянного поля H для различных полей накачки h (рис. 4а), с увеличением H амплитуда гармоники u_1 для всех h вначале линейно растет, достигает максимума в поле $H_m \sim 4-7$ Ое, а затем монотонно падает при насыщении ФМ-слоя. При малых $h \ll H$ поле H_m соответствует полю максимума пьезомагнитного коэффициента ФМ-слоя структуры. С ростом амплитуды накачки h величина генерируемого структурой напряжения u_1 при одном и том же H

существенно возрастает. Из рис. 4а видно также, что с увеличением поля накачки h диапазон рабочих полей МЭ-датчика, т.е. область примерно линейной зависимости $u_1(H)$ от нуля до $\sim H^*$, расширяется, и чувствительность датчика, т.е. наклон зависимости $S = u_1/H$ в области малых полей, растет. Очевидно и то, что для датчика с ФМ-слоями из Metglas при амплитуде поля накачки $h = 5$ Э верхняя граница рабочего диапазона измеряемых полей составляет $H^* \sim 4$ Э, и чувствительность датчика, определенная по наклону кривой, равняется $S \approx 0.25-0.28$ В/Э.

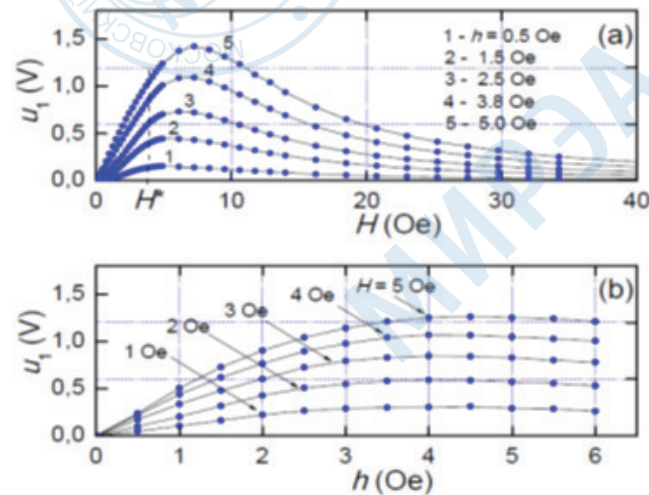


Рис. 4. Полевые характеристики МЭ-датчика:

(а) зависимость амплитуды 1-ой гармоники u_1 от постоянного поля H при различных полях накачки h , Ое; (б) зависимость амплитуды 1-ой гармоники u_1 от поля накачки h при различных постоянных полях H , Э.

На рис. 4б изображены зависимости амплитуды первой гармоники u_1 от поля накачки h для различных значений постоянного поля H . Как явствует из этого рисунка, для всех H в интервале 1–6 Э напряжение u_1 сначала линейно растет с увеличением h , затем достигает максимума при $h \approx 4-5$ Э, а далее начинает монотонно спадать. В области полей максимума первой гармоники u_1 амплитуда второй гармоники u_2 обращается в нуль. При дальнейшем увеличении накачки $h > 5$ Э амплитуда второй и всех высших гармоник, генерируемых структурой, резко растут. Отсюда можно заключить, что существует оптимальное поле накачки, при котором чувствительность датчика максимальна. Для описанного датчика с ФМ-слоями из Metglas оптимальная величина поля накачки составляла $h_{\text{opt}} \approx 4-5$ Э, а чувствительность при этом поле, как видно из рис. 4б, достигала максимума $S \approx 0.25$ В/Э. Отметим, что величина оптимального поля накачки оказалась в несколько раз меньше поля насыщения H_s ФМ-слоя.

Частотные характеристики магнитоэлектрического датчика

Частотные характеристики МЭ-датчика приведены на рис. 5. На рис. 5а изображены (в логарифмическом масштабе по осям) спектры частот напряжения на выходе, снятые при частоте поля накачки $f = 1$ кГц и различных условиях: кривая 1 (синяя) – частотная зависимость напряжения собственных шумов структуры при $h = 0$ и $H = 0$; кривая 2 (красная) – спектр частот напряжения при поле накачке $h = 5$ Э в отсутствие постоянного поля $H = 0$; кривая 3 (черная) – спектр частот напряжения при поле накачки $h = 5$ Э

в постоянном поле $H = 1$ Э. Все зависимости получали в естественных лабораторных условиях без дополнительной магнитной экранировки. При измерениях ось структуры ориентировали перпендикулярно горизонтальной составляющей поля Земли.

Частотная зависимость напряжения шумов $u_{ns}(f)$ является важной характеристикой МЭ-датчика, поскольку именно шумы определяют величину минимального измеряемого поля. Видно (кривая 1 на рис. 5а), что напряжение шумов $u_{ns}(f)$ монотонно падает с ростом частоты. На частоте 0.1 кГц оно составляет $u_{ns} \approx 330$ мкВ, что соответствует спектральной плотности напряжения шума $SPD = u_{ns} / \sqrt{\Delta f} \approx 60$ мкВ/ $\sqrt{\text{Гц}}$, где Δf – ширина полосы. На частоте 1-ой гармоники $f = 1$ кГц $u_{ns} \approx 22$ мкВ ($SPD \sim 5$ мкВ/ $\sqrt{\text{Гц}}$) и уменьшается до $u_{ns} \approx 4.3$ мкВ ($SPD \sim 0.8$ мкВ/ $\sqrt{\text{Гц}}$) в области частот $f \approx 10$ кГц. Рост шумов при $f > 10$ кГц обусловлен наличием низкодобротного акустического резонанса структуры вблизи частоты ~ 22 кГц (не показан на графике). Оптимистическая оценка спектральной плотности магнитных шумов МЭ-датчика вблизи частоты 10 кГц с учетом его чувствительности дает величину $SPD/S \approx 3.2$ мкОе/ $\sqrt{\text{Гц}}$, что сравнимо с лучшими данными для МЭ-датчиков переменных полей.

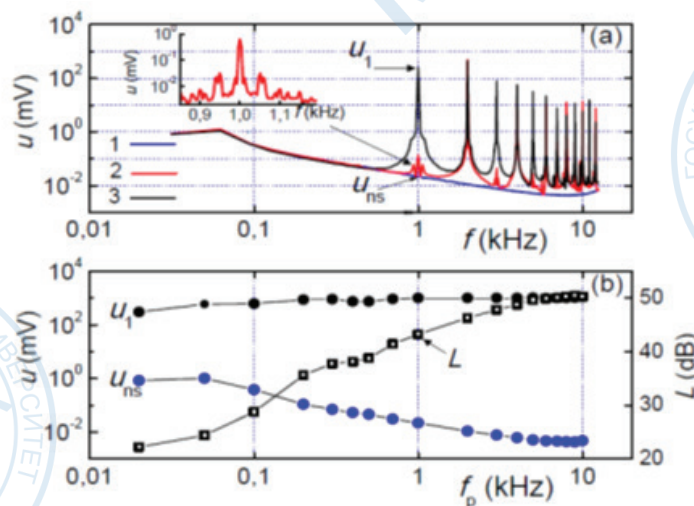


Рис. 5. Частотные характеристики МЭ-датчика:

- (а) спектры частот напряжения на выходе МЭ-датчика при частоте поля накачки $f = 1$ кГц и различных условиях: 1 – $h = 0, H = 0$; 2 – $h = 5$ Э, $H = 0$; 3 – $h = 5$ Э, $H = 4$ Э;
- (б) зависимость напряжения шума u_{ns} , амплитуды сигнала u_1 при $H = 4$ Э и динамического диапазона L от частоты накачки f_p .

При включении поля накачки h (кривая 2 на рис. 5а) в спектре появляются четные гармоники напряжения вблизи частот $2f, 4f$ и т.д. В области низких частот $f < 1$ кГц и между четными гармониками шум остается примерно на прежнем уровне. Кроме того, появляются дополнительные пики вблизи частот нечетных гармоник $f, 3f$ и т.д. На вставке рис. 5а в более крупном масштабе показана тонкая структура пика вблизи частоты первой гармоники f , измеренная с частотным разрешением $\Delta f = 3.9$ Гц. Видно, что пик имеет достаточно широкий «пьедестал» и четко выделенный сигнал на частоте первой гармоники 1 кГц с боковыми сателлитами, отстоящими на частоту ~ 50 Гц. Сигнал на частоте 1-ой гармоники и боковые сателлиты отражают присутствие неконтролируемого слабого постоянного поля и переменных полей с частотой 50 Гц, равной частоте промышленного тока.

При включении постоянного поля $H = 1$ Э (кривая 3 на рис. 5а) в спектре частот появляется основной сигнал на частоте 1-ой гармоники, амплитуда которого достигает $u_1 \approx 249$ мВ. Величина сигнала позволяет оценить чувствительность к постоянному магнитному полю $S \approx 0.25$ В/Э. Аналогичные измерения выполнены для различных частот накачки в диапазоне $f_p = 50$ Гц – 10 кГц при фиксированной амплитуде поля накачки $h \approx 5$ Э. На рис. 5б показаны зависимости напряжения шума u_{ns} и напряжения сигнала u_1 на частоте первой гармоники при максимальном значении измеряемого поля $H = 4$ Э от частоты накачки f_p . Видно, что с увеличением f_p напряжение u_{ns} магнитных шумов структуры монотонно падает. Напряжение полезного сигнала u_1 остается примерно постоянным при изменении частоты накачки и спадает только в области малых частот $f_p < 100$ Гц из-за конечной проводимости пьезоэлектрика.

Используя частотную зависимость напряжения шума $u_{ns}(f)$ в отсутствие поля накачки и зная чувствительность S , можно найти величину минимального детектируемого поля $H_{min} = u_{ns}/S$ и максимально достижимую ширину динамического диапазона $L = 10 \cdot \log(H_{max}/H_{min})$ при каждой частоте накачки. Как следует из рис. 5б, для описанного макета при возрастании f_p от 0.1 кГц до 10 кГц величина H_{min} монотонно уменьшается от $\sim 1.5 \cdot 10^{-3}$ до $\sim 1.7 \cdot 10^{-5}$ Э, а динамический диапазон расширяется от ~ 33 до ~ 53 дБ. Шумы датчика описанного типа требуют более детальных исследований.

Характеристики магнитоэлектрического датчика в слабых полях

Характеристики МЭ-датчика в области слабых полей представлены на рис. 6. На рис. 6а мы видим зависимость напряжения u_1 от постоянного поля при $H < 1.5$ Э для оптимальной частоты $f_p = 1$ кГц и амплитуды $h = 5$ Э поля накачки. Измерения проводили без магнитной экранировки. Для устранения влияния магнитного поля Земли при измерениях продольную ось структуры ориентировали перпендикулярно полю Земли. Видно, что зависимость практически линейна в области слабых полей, величина сигнала не меняется при инверсии направления поля H . В пределах точности измерений при увеличении и последующем уменьшении поля H гистерезис не наблюдался. Чувствительность при данной накачке, определенная из графика, составляла $S = (0.249 \pm 0.002)$ В/Ое. Величина минимального измеряемого поля, при котором сигнал с датчика уменьшался до уровня шума, составляла $H_{min} \approx 1$ мЭ.

Чувствительность структуры к ориентации постоянного магнитного поля на примере поля Земли отражена на рис. 6б. При измерениях структуру располагали в горизонтальной плоскости в магнитном поле Земли таким образом, что угол $\delta = 90^\circ$ соответствовал ориентации продольной оси структуры вдоль направления горизонтальной компоненты поля Земли $H_z = 200$ мЭ. При вращении датчика в поле Земли амплитуда первой гармоники u_1 падала от 49 мВ до уровня шума. Для сравнения: по правой вертикальной оси графика отложена рассчитанная величина проекции поля Земли на продольную ось структуры $H = H_z \cos(\delta)$. Измерения в спектральной области позволяют определить только величину проекции поля на продольную ось структуры, но не ее знак. Вместе с тем при использовании синхронного детектирования для выделения сигнала первой гармоники фаза напряжения меняется на π при ориентациях структуры $\delta = 0^\circ$ и 180° . Это позволяет однозначно определять направление поля.

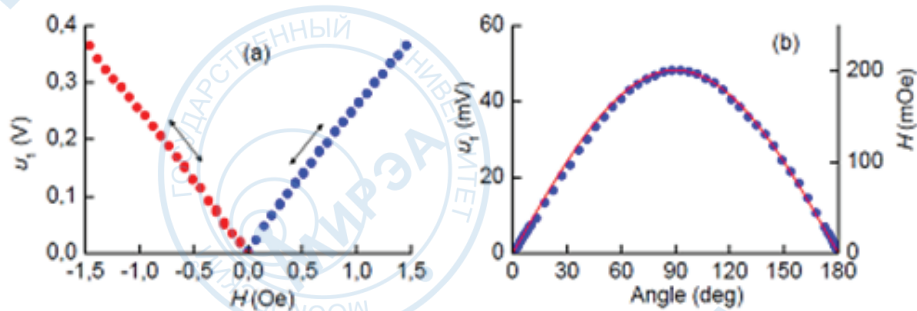


Рис. 6. Характеристики МЭ-датчика в области слабых полей при поле накачки $f_p = 1$ кГц и $h \approx 5$ Э: (а) зависимость сигнала МЭ-датчика от постоянного поля H ; (б) зависимость горизонтальной составляющей магнитного поля Земли от направления.

Структурная схема магнетометра

Проведенные исследования показали принципиальную возможность создания компактного магнетометра с батарейным питанием на основе МЭ-датчика постоянных полей. Для решения этой технической задачи нами разработаны электронные схемы обработки сигналов, которые реализуют практически те же функции, что и стандартные электроизмерительные приборы, но в гораздо более компактном виде. Предложенная структурная схема магнетометра приведена на рис. 7.

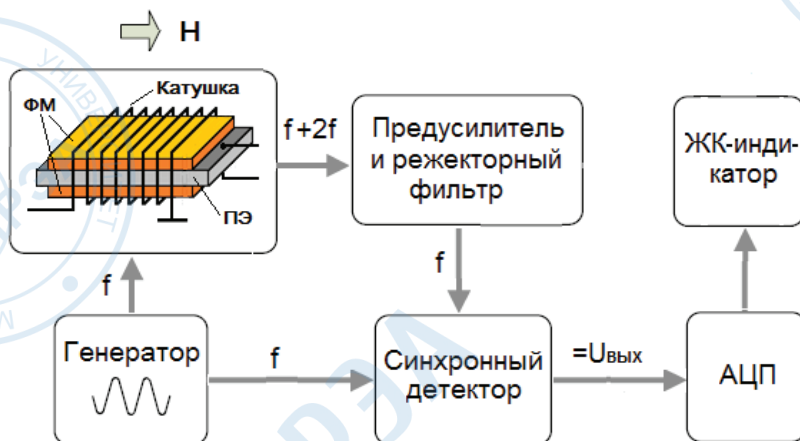


Рис. 7. Структурная схема магнетометра.

Схема содержит следующие основные блоки: МЭ-датчик поля, задающий генератор, предусилитель с режекторным фильтром, синхронный детектор, аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и жидкокристаллический (ЖК) индикатор. Генератор синусоидальных колебаний предназначен для питания электромагнитной катушки, которая должна создавать магнитное поле накачки $h(f)$ с частотой $f = 1$ кГц и амплитудой до 4 Э. Генерируемое МЭ-датчиком напряжение поступает на предусилитель с симметричным высокоомным входом. Спектр выходного сигнала датчика содержит, как показано ранее (рис. 2), полезную первую гармонику с частотой 1 кГц и бесполезную вторую гармонику достаточно большой амплитуды. Чтобы вторая гармоника не перегружала усилительный

тракт, на входе предусилителя поставлен режекторный фильтр на частоту второй гармоники. Для выделения амплитуды сигнала 1-ой гармоники использован синхронный детектор. Постоянное напряжение с выхода синхронного детектора поступает на аналого-цифровой преобразователь и далее на ЖК-индикатор, служащий для отображения результата измерений. Ниже приведено краткое описание электронных схем основных блоков магнетометра.

Электронные схемы магнетометра

На рис. 8 приведена принципиальная схема задающего генератора, выполненного также на основе двух интегральных микросхем (ИМС) AD8642 и полностью дифференциального усилителя THS4521. ИМС AD8642 представляет собой прецизионный микропотребляющий сдвоенный операционный усилитель. Частота задающего генератора плавно регулируется около значения 1 кГц сдвоенным потенциометром 16 кОм. Для уменьшения нелинейных искажений берется небольшая часть выходного напряжения с одной половины ИМС и усиливается другой половиной до необходимой величины порядка 2 В. Выходной каскад на ИМС THS4521 с симметричным выходом работает непосредственно на электромагнитную катушку МЭ-датчика, обеспечивая в ней значительный ток до 35 мА. Сигнал с вывода 5 микросхемы подается также на Вх.3 компаратора синхронного детектора.

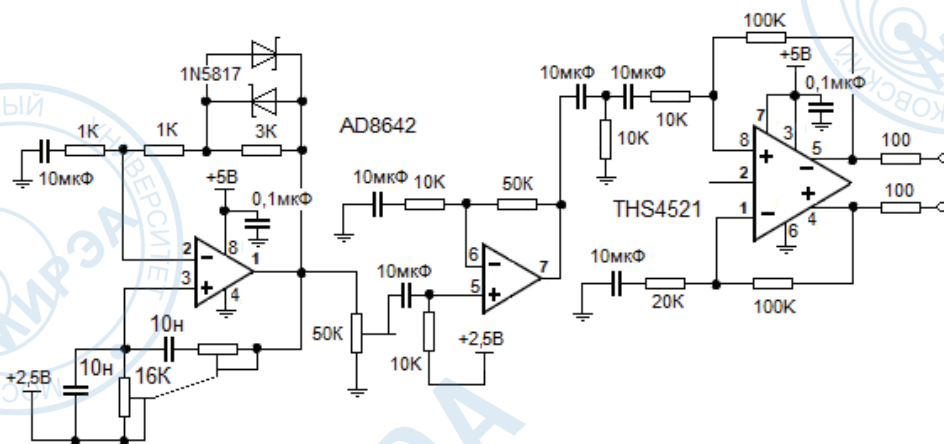


Рис. 8. Принципиальная схема задающего генератора.

На рис. 9 дана принципиальная схема предусилителя с режекторным фильтром. Предусилитель выполнен на двух ИМС AD620 и AD8642, которые способны работать с однополярным питанием. AD620 – это недорогой, обладающий высокой точностью инструментальный малошумящий усилитель, который требует одного внешнего резистора между выводами 1, 8 для задания коэффициента усиления. ИМС выпускается в 8-выводном корпусе SOIC, занимающем меньше места по сравнению с дискретными решениями, и имеет меньшее энергопотребление: потребляемый ток всего 1.3 мА, благодаря чему ИМС хорошо подходит для систем с питанием от батарей. Минимальный входной шум по напряжению 9 нВ/ $\sqrt{\text{Гц}}$ обеспечивается на рабочей частоте предусилителя 1 кГц. Для обеспечения работы с однополярным питанием постоянный уровень напряжения всех ИМС сдвигается на 2.5 В с помощью линейного стабилизатора ИМС LM4040. Коэф-

коэффициент усиления предусилителя устанавливается в соответствии с отношением сопротивления 50 кОм к сопротивлению внешнего резистора между выводами 1, 8 ИМС. В рассматриваемом случае $K_u = 3.5$.

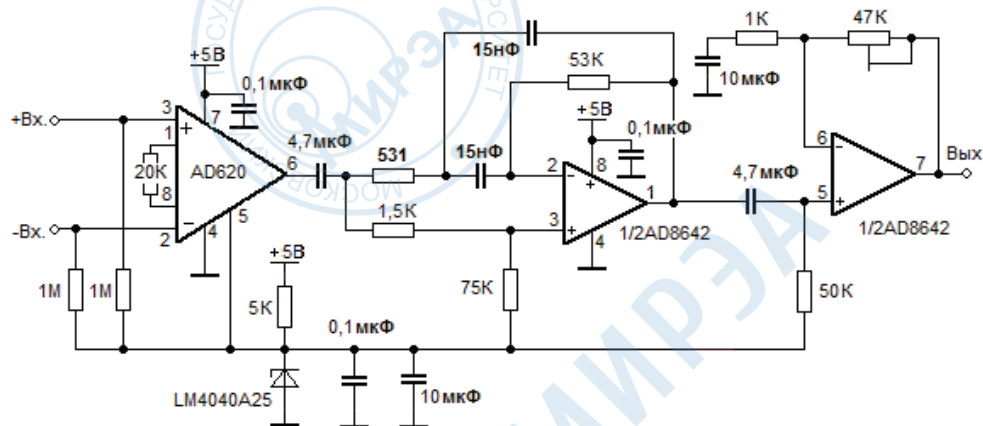


Рис. 9. Принципиальная схема предусилителя с режекторным фильтром.

Режекторный фильтр выполнен на основе сдвоенного операционного усилителя ИМС AD8642. При этом его настройка на вторую гармонику осуществляется не подгонкой резисторов, а плавной регулировкой частоты задающего генератора в небольшом диапазоне около рабочей частоты 1 кГц . Моделирование предусилителя в программной среде TINA-TI и последующие экспериментальные измерения показали, что режекция второй гармоники при указанной настройке составляет величину порядка -30 дБ . При этом практически не нарушаются фазовые соотношения для сигнала первой гармоники, что важно для последующей операции синхронного детектирования. Окончательная регулировка амплитуды выходного сигнала предусилителя осуществляется переменным резистором 47 кОм .

На рис. 10 изображена схема синхронного детектора, основу которого составляет ИМС AD630, представляющая собой балансный модулятор - демодулятор высокой точности. Данная ИМС содержит два усилительных канала: неинвертирующий (А) и инвертирующий (В). Каналы переключаются синхронно под действием сигнала накачки, подаваемого на компаратор по Вх. 3. Малое время установления компаратора позволяет минимизировать и не учитывать искажения, вызываемые переключением каналов на рабочей частоте датчика $f = 1 \text{ кГц}$. Фактически ИМС AD630 производит двухполупериодное выпрямление синусоидального сигнала и тем самым выделяет информацию о его амплитуде. Однако при малых уровнях входных сигналов суммарная аддитивная погрешность ИМС, определяемая напряжением смещения $U_{см}$ и входными токами $I_{вх}$, приводит к потере чувствительности синхронного детектора. Для ИМС AD630 $U_{см} = 500 \text{ мкВ}$ и $I_{вх} = 300 \text{ нА}$. В наихудшем случае результирующая аддитивная ошибка двух каналов при внешних резисторах сопротивлением порядка нескольких кОм может составлять величину порядка $10\text{--}15 \text{ мВ}$. Для повышения точности в схеме на рис. 10 использовали подачу детектируемого сигнала на входы усилительных каналов ИМС (1 и 16) через отдельные разделительные RC-цепи (по входам Вх.1 и Вх.2). При этом включение и точный подбор номиналов дополнительных внешних резисторов R_1^* и R_2^* , позволяет отдельно минимизировать

аддитивные погрешности усилительных каналов. Экспериментальным подбором этих резисторов удалось снизить напряжение ошибки обоих каналов до уровня ~ 1 мВ.

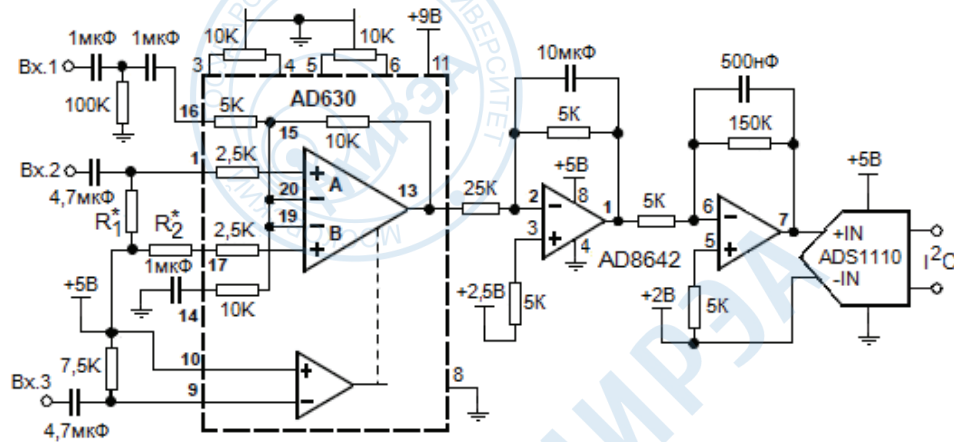


Рис. 10. Принципиальная схема синхронного детектора с АЦП.

Отметим, что схема синхронного детектора на рис. 10 работает с однополярным источником питания +9 В, а все опорные напряжения получены с помощью ИМС стабилизаторов от данного источника. Это необходимое условие при разработке переносной малогабаритной измерительной аппаратуры с батарейным питанием. На выходе AD630 включен активный фильтр нижних частот с частотой среза 1.5 Гц. ФНЧ также выполнен на ИМС AD8642. Первый ОУ этой ИМС использован для необходимого сдвига уровня постоянного напряжения от +5 В на выходе AD630 до +2 В на входе АЦП. При этом происходит потеря усиления на величину -15 дБ. Второй ОУ компенсирует потери в усилении и обеспечивает общее усиление ФНЧ в полосе пропускания +15 дБ. Выходной АЦП с дифференциальными входами позволяет устранить опорное напряжение +2 В и выделить знакопеременный полезный сигнал датчика.

В качестве АЦП использовали 16-ти-битный $\Sigma\Delta$ -преобразователь ИМС ADS1110 с внутренним опорным напряжением 2.048 В, интерфейсом I2C и ультранизким потреблением. Данный АЦП обеспечивает с необходимой точностью четыре значащих десятичных разряда результата измерений. Преобразование измеряемого напряжения в измеряемое магнитное поле осуществляется соответствующим изменением тока в электромагнитной катушке МЭ-датчика. Отметим также, что основными требованиями к используемому ЖК индикатору является низкое энергопотребление и наличие интерфейса I2C. Отметим, что все рассмотренные электронные схемы реализованы на двусторонних печатных платах, изготовленных заводским способом в ООО «Микролит».

Конструкция и характеристики магнетометра

Нами изготовлен макет МЭ-магнетометра, фотография которого приведена на рис. 11. Датчик вместе с предусилителем выполнен в виде выносного блока и подсоединен к измерительному блоку, где помещены описанные выше электронные схемы и источник питания, с помощью кабеля. Технические параметры магнетометра (см. таблицу) позволяют использовать его, например, для измерения локальных значений магнитного поля Земли или полей рассеяния слабых постоянных магнитов.



Технические параметры магнетометра

Диапазон измеряемых полей H :	0.1- 200 мЭ
с делителем 1:10	1- 2000 мЭ
Разрешение по полю ΔH :	0.1 мЭ
Индикация направления поля:	есть
Погрешность измерения: (от измеряемого поля)	1%
Питание:	от батареи 9 В
Потребляемый ток:	< 30 мА
Время непрерывной работы: с аккумулятором «Крона»:	40 час
Габариты прибора:	14 x 10 x 3 см ³
Размеры датчика:	2 x 1.2 x 8 см ³
Масса магнетометра/датчика:	150/25 г
USB выход на компьютер:	есть

Рис. 11. Макет магнетометра с МЭ-датчиком и его технические характеристики.

В заключение отметим основные сходства, отличия и преимущества описанного магнетометра на основе МЭ-датчика по сравнению с ФЗ-магнетометром [9, 10], принцип действия и конструкции которого наиболее близки к описанному устройству:

- чувствительным к магнитному полю элементом МЭ-датчика и ФЗ-датчика является ферромагнитный слой. Однако МЭ-датчик использует нелинейную зависимость магнитострикции ФМ-слоя от поля $\lambda(H)$, в то время как ФЗ-датчик использует нелинейную зависимость намагниченности ФМ-слоя от поля $M(H)$;

- в обоих датчиках для возбуждения ФМ-слоя используется катушка, создающая переменное магнитное поле накачки, однако в МЭ-датчике для регистрации сигнала используется ПЭ-слой, тогда как в ФЗ-датчике сигнал регистрируется с помощью объемной катушки. Конструкция МЭ-датчика проще и легче может быть реализована методами планарной технологии;

- регистрация полезного сигнала в обоих датчиках проводится в спектральной области: в МЭ-датчике на 1-ой или 3-ей гармониках сигнала накачки, а в ФЗ-датчике – на 2-ой гармонике сигнала накачки;

- величины минимального измеряемого поля для МЭ-датчика и ФЗ-датчика, использующих ФМ-слой из одного и того же материала, примерно одинаковы. Эта величина определяется собственными шумами ФМ-слоя при перемагничивании в переменном поле накачки и лежит в области полей $H_{\min} \sim 1 \mu\text{Э}$. Требуется более детальное исследование шумовых характеристик МЭ-датчиков;

- верхняя граница диапазона рабочих полей МЭ-датчика и ФЗ-датчика также примерно одинакова: она определяется полем насыщения используемого ФМ-слоя и может составлять $H_m \sim 1 - 102 \text{ Э}$. При использовании ФМ-материалов с большим H_s необходимо увеличивать и поле накачки h , что приведет к росту потребляемой мощности;

- чувствительности МЭ-датчика и ФЗ-датчика сравнимы по порядку величины, но чувствительность МЭ-датчика может быть существенно увеличена за счет использования акустического резонанса композитной структуры [18]. При совпадении частоты поля накачки с частотой изгибных или планарных колебаний структуры величина деформаций и амплитуда генерируемого ПЭ-слоем напряжения возрастают в добротность Q раз. Изготовив ПЭ-слой из монокристаллического материала с высокой акустической добротностью (лангитат, кварц, нитрид алюминия), можно увеличить чувствительность

МЭ датчика в $Q \sim 10^2\text{--}10^3$ раз вплоть до $S \sim 102$ В/Э. Такая возможность отсутствует в ФЗ-датчиках.

Работа поддержана Министерством образования и науки РФ в рамках госзадания на 2014-2016 гг.: проектная часть – проект № 3.76.2014/К, базовая часть – «Организация проведения научных исследований».

Литература:

1. Lenz J., Edelstein A.S. Magnetic sensors and their applications // IEEE Sensors J. 2006. V.6. P. 631–649.
2. Diaz-Michelena M. Small magnetic sensors for space applications // Sensors. 2009. V. 9. P. 2271–2288.
3. Tumanski S., Modern magnetic field sensors – a review // Przegląd Elektrotechniczny. 2013. V. R 89. P. 1–12.
4. Hall Effect Sensing and Application, In: Sensing and Control, Honeywell Inc., P. 1–100.
5. Tadigadapa S., Mateti K. Piezoelectric MEMS sensors: State-of-the-art and perspectives // Meas. Sci. Technol. 2009. V. 20. P. 092001.
6. Fetisov Y.K. Piezoelectric resonance sensors of DC magnetic fields // IEEE Sensors. 2014. V. 14. P. 1817–1821.
7. Freitas P.P., Ferreira R., Cardoso S., Cardoso F. Magnetoresistive sensors // J. Phys.: Con-dense. Matter. 2007. V. 19. P. 165221.
8. Mahdi A.E., Panina L., Mapps D. Some new horizons in magnetic sensing: High-Tc SQUIDS, GMR and GMI materials // Sens. Actuators. 2003. V. A105 . P. 271–285.
9. Primdahl F. The fluxgate magnetometer // J. Pjys. E: Instr. 1979. V. 12. P. 241–253.
10. Ripka P. Advances in fluxgate sensors // Sensors and Actuators A: Physical. 2003. V. 106. P. 8–14.
11. Tumanski S. Induction coil sensors – a review // Meas. Sci. Techn. 2007. V. 18. P. 31–46.
12. Nan C.-W., Bichurin M.I., Dong S., Viehland D., Srinivasan G. Multiferroic magnetoelectric composites: Historical perspectives, status, and future directions // J. Appl. Phys. 2008. V. 103. P. 031101.
- 13 Scott J.F. Applications of magnetoelectrics // J. Materials Chemistry. 2012. V. 22. P. 4567.
- 14 Wang Y., Li J., Viehland D. Magnetoelectrics for magnetic sensors applications: Status, challenges and perspectives // Materials Today. 2014. V. 17. P. 269–275.
15. Vopson M., Fundamentals of Multiferroic Materials and Their Possible Applications // Crit. Rev. in Solid State and Materials Sci. 2014. P. 1–28. DOI: 10.1080/10408436.2014.992584.
16. Kamentsev K.E., Fetisov Y.K., Srinivasan. G. Ultra-low frequency magnetoelectric effect in a multilayer ferrite-piezoelectric structure // Technical Physics. 2007. V. 52. P. 727–733.
17. Kamentsev K.E., Fetisov Y.K., Srinivasan G. Low-frequency nonlinear magnetoelectric effects in a ferrite-piezoelectric multilayer // APL. 2006. V. 89. P. 142510.
18. Burdin D.A., Chashin D.V., Ekonomov N.A., Fetisov Y.K., Stashkevich A.A. High-sensitivity dc field magnetometer using nonlinear resonance magnetoelectric effect // JMMM. 2016. V. 405. P. 244–248.
19. http://www.metglas.com/products/magnetic_materials.
20. <http://www.smart-material.com/MFC-product-main.html>

УДК 620.179.14

УНИВЕРСАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ ФЕРРОМАГНИТНЫХ СТАЛЕЙ

В.В. Филинов[@], д.т.н., профессор

П.Г. Аракелов, к.т.н.

Е.В. Третьак, студент

Д.А. Головченко, студент

Московский технологический университет (МГУПИ), Москва, Россия

[@]Автор для переписки, e-mail: filinov@mirea.ru

Приведены результаты разработки информационно-измерительной системы для регистрации магнитных параметров ферромагнитных сталей: характеристик петли гистерезиса и параметров магнитных шумов от сигналов скачков Баркгаузена. Приведены блок-схема прибора магнитошумового контроля и принцип его работы с использованием современной микропроцессорной техники и трехкоординатного сканера. Показаны возможности системы при контроле физико-механических свойств сталей, например, плосконапряженного состояния.

Ключевые слова: магнитные шумы, эффект Баркгаузена, коэрцитивная сила, магнитострикция, информационно-измерительная система.

UNIVERSAL INFORMATION-MEASURING SYSTEM FOR THE STUDY OF MAGNETIC PROPERTIES OF FERROMAGNETIC STEELS

V.V. Filinov[@]

P.G. Arakelov

E.V. Tretyak

D.A. Golovchenko

Moscow Technological University (MGUPI), Moscow, Russia

[@]Corresponding author e-mail: filinov@mirea.ru

The article deals with information-measuring system of magnetic noise control stress with the use 3D scanner and advanced microprocessor technology. A block diagram of the device magnetic noise control from signals of Barkhausen jumps and how it works. The possibilities of the system under the control of physical and mechanical properties of steels, for example, measurement plane stress.

Keywords: magnetic noise, Barkgauzene effect, coercive force, magnetostriction, information-measuring system.

Магнитные свойства сталей исследуются для разработки эффективных методов контроля и диагностики их физико-механических характеристик, во многом определяющих надежность, сроки эксплуатации и остаточный ресурс работы ответственных узлов, деталей, изделий в различных отраслях промышленности.

В [1] показано успешное использование параметров петли гистерезиса для контроля физико-механических свойств ферромагнитных сталей, например, таких параметров, как коэрцитивная сила (H_c), остаточная индукция (B_r), индукция насыщения (B_s), магнитная проницаемость (μ), а также площадь петли (P). Применение этих параметров позволяет исследовать глубинные слои деталей из ферромагнитных сталей, что актуально, например, при закалке габаритных изделий, в частности, рельсов или валов для турбин электростанций, где применение традиционных разрушающих методов контроля либо связано с большими трудозатратами, либо является дорогостоящим.

Важно отметить, что физические свойства металла на поверхности изделия не всегда совпадают со свойствами в глубине. Такое явление наблюдается при упрочнении поверхностных слоев путем их деформирования, поверхностной закалки или цементации, когда основным параметром является глубина обработанного слоя. При этом глубинные слои остаются без изменений.

Одновременное исследование поверхностного слоя и глубинных слоев может дать более полное представление о физических свойствах металла. Оно возможно при условии одновременного применения двух методов неразрушающего контроля:

- магнитные шумы (МШ) и магнитоакустические шумы (МАШ) перемагничивания [2];
- исследование параметров петли гистерезиса [1].

Энергетические и эмиссионные характеристики МШ и МАШ определяются перестройкой магнитной текстуры ферромагнетика скачками Бракгаузена, соответственно, 180° и 90° доменных границ, при его циклическом перемагничивании линейно изменяющимся магнитным полем. Поэтому МШ и МАШ несут разную информацию о физико-механических свойствах сталей, а параметры их сигналов во взаимосвязи могут использоваться для построения новых алгоритмов контроля и диагностики, например, напряженного состояния ответственных изделий из ферромагнитных сталей [2–4].

Цель настоящей работы – выявление магнитных свойств ферромагнитных сталей путем одновременного исследования поверхностных и глубинных слоев.

Для исследования глубинных слоев металла применяется режим низкочастотного намагничивания изделия и регистрация параметров петли гистерезиса при перемагничивании [1]. Низкие частоты обеспечивают проникновение электромагнитного поля на большую глубину и, соответственно, регистрацию параметров с глубинных слоев.

Для достижения поставленной цели нами разработана универсальная информационно-измерительная система МШ-3, которая представляет собой модульный прибор (рис. 1) [5, 6].

На материнской плате прибора для каждого из двух блоков обработки сигнала установлены усилители мощности ОРА541, позволяющие получать ток в обмотке электромагнитного преобразователя с разным режимом перемагничивания контролируемого изделия. Их охлаждение обеспечивают боковые алюминиевые радиаторы. Амплитуда и форма усиленного возбуждающего сигнала измеряются на резисторе, и подготовленный сигнал выводится на заднюю панель прибора и в измерительные блоки для регистрации параметров петли гистерезиса.

а



б



Рис. 1. Общий вид прибора МШ-3 (а) и главное окно программы для ПК (б).

Блок обработки сигнала МШ и МАШ (рис. 2) включает в себя:

- управляемый фильтр 10-го порядка;
- управляемый усилитель с программируемым коэффициентом усиления;
- цифровой сигнальный процессор ric32MZ2048ECH100 с встроенным АЦП для обработки сигналов МШ, МАШ и получения параметров петли гистерезиса;
- блок питания для преобразования подаваемого с материнской платы постоянного напряжения состоит из отдельных модулей для цифровой и аналоговой части.

Блок цифровой обработки сигналов представляет собой печатную плату-модуль, подключаемую к материнской плате (рис. 3). Данный блок для повышения помехозащищенности спроектирован компактно, оснащен собственными стабилизаторами питания для уменьшения влияния помех по питанию, создаваемыми другими электронными компонентами, и закрывается металлическим экраном с заземлением. При запуске МШ-3 сигнальный процессор производит первичную инициализацию:

- настраивает тактовую частоту и таймеры;
- производит первичную инициализацию переменных;
- настраивает АЦП для измерения силы тока перемагничивающего сигнала и для приема измеренного сигнала;
- настраивает ЦАП для генерации перемагничивающего сигнала;
- настраивает интерфейсы UART и I2C для общения с интерфейсным модулем и

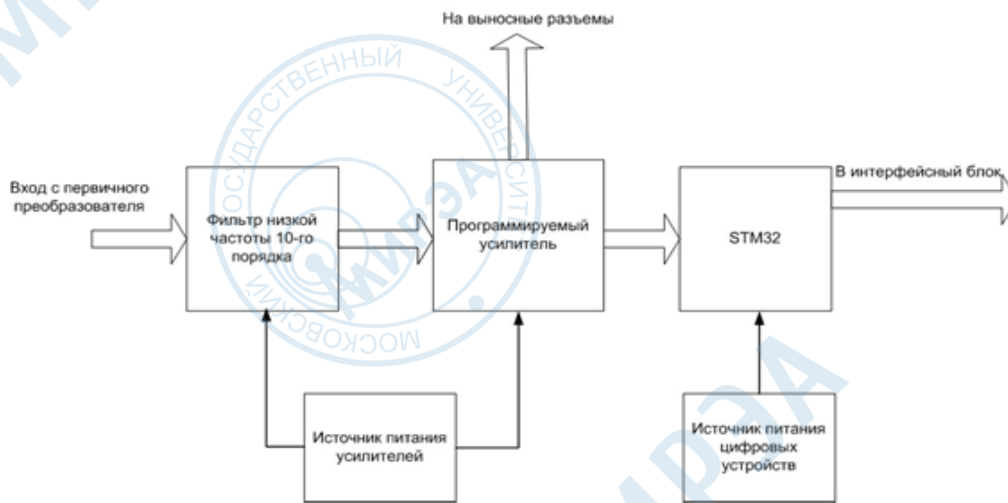


Рис. 2. Структурная схема блока обработки сигнала.

материнской платой;

- генерирует таблицу с одним периодом перемагничивающего сигнала (синус, треугольник, трапеция или заданная пользователем форма) и передает ее в модуль ЦАП;
- настраивает векторы прерываний от модуля прямого доступа к памяти и периферийных интерфейсов;
- задает коэффициент усиления для программируемых каскадов усиления для полезного сигнала и для сигналов тока и напряжения перемагничивающего сигнала.

Интерфейсный блок (рис. 4) предназначен для создания обмена информацией между пользователем и блоками обработки сигнала. С этой целью он снабжен цветным сенсорным TFT экраном с разрешением 480×272 пикселей, четырьмя кнопками и энкодером. Интерфейсный блок позволяет управлять настройками блоков обработки сигнала: частотой, амплитудой, формой перемагничивающего сигнала, настройками, управляемыми усилителем и фильтром, АЦП и управлением мощными источниками питания для перемагничивающего сигнала. Информация о сигналах МШ представляется в виде графика огибающей МШ и МАШ (рис. 1б), в виде формы петли гистерезиса и ее параметров: H_c , V_r , V_s , μ , P , а также символьным представлением характеристик сигнала, в виде столбчатой диаграммы. Обмен данными с блоками обработки сигнала МШ и параметрами петли гистерезиса производится по интерфейсу UART. Получение служебной информации с материнской платы осуществляется по интерфейсу I2C. Заданные пользователем настройки сохраняются во внешней энергонезависимой памяти.

Для передачи информации между интерфейсным блоком и блоками обработки информации используется, как указывалось выше, интерфейс UART. Все блоки также объединены в общую систему обмена информацией на основе интерфейса I2C, что позволяет гибко подходить к проектированию программного обеспечения для комплекса из составных блоков.

Система МШ-3 позволяет регистрировать параметры петли гистерезиса V_r , V_s , H_c , μ и P , а также параметры сигналов МШ:

- минимум и максимум сигналов МШ и МАШ – U_{max} , U_{min} ;
- регистрируемый ток перемагничивающего сигнала – I_{max} , I_{min} ;

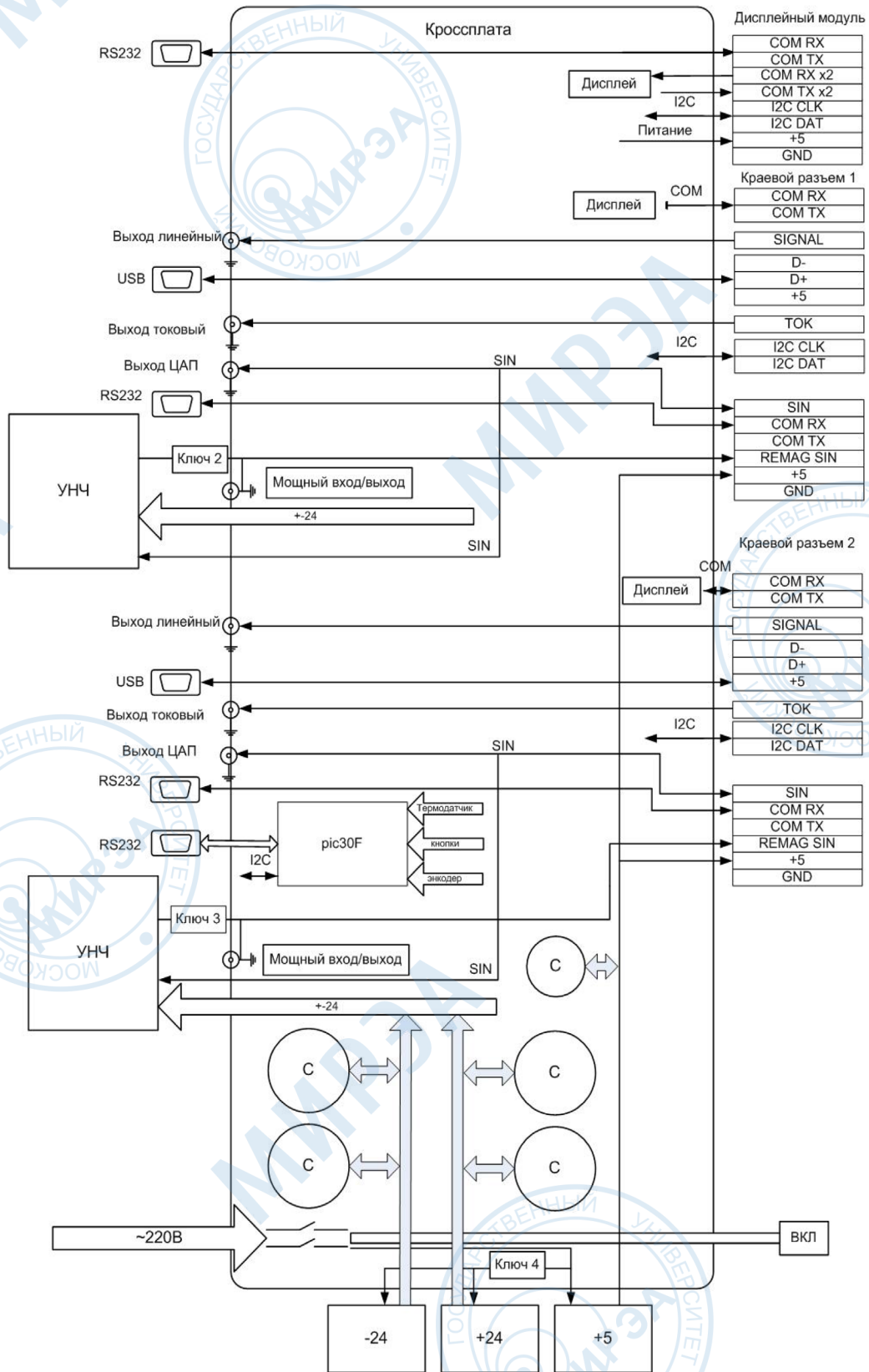


Рис. 3. Структурная схема материнской платы.



Рис. 4. Структурная схема интерфейсного блока.

- ширину сигнала – W ;
- начало сигнала – S ;
- количество скачков сигнала по всей ширине сигнала – N ;
- частотный анализ полученных параметров;
- проведение цифрового синхронного детектирования и других операций при обработке параметров сигналов петли гистерезиса.

Обработанный сигнал накапливается и по запросу пользователя передается на ПК или на интерфейсный блок.

Для работы с ПК написана программа, обеспечивающая захват и отображение регистрируемой измерительным блоком информации, в том числе, необработанных данных с АЦП для последующего сохранения и обработки в таких программах, как, например, MatLab 2009.

Разработка прибора и его испытания проведены на базе НУЦ «КАСКАД» МГУПИ. Испытания показали, что разработанная система успешно выполняет поставленные задачи и обладает высокой помехозащищенностью и возможностью ускоренной модернизации.

Таким образом, универсальная информационно-измерительная система МШ-3 является универсальным комплексом для отладки новых методик контроля и информативных параметров, на базе которой создаются малогабаритные приборы целевого назначения.

Для расширения возможностей прибора МШ-3 разработана система сканирования «СтрессСкан», обеспечивающая высокую точность и гибкость настройки процесса сканирования поверхности изделия [5, 6]. Его применение в тандеме с прибором магнитошумового контроля МШ-1 позволило создать карты цветности с нанесенными на них распределенными плоскостными напряжениями в изделиях из ферромагнитных сталей, в том числе, и в изделиях цилиндрической формы.

Фотографии трехкоординатного сканера представлены на рис. 5. Он оснащен сервоприводами с шаговыми моторами, управляется с ПК, сигналы от которого дешифровы-

ваются в блоке управления сканера микропроцессором фирмы ATMEЛ и усиливаются микросхемами драйверов шаговых двигателей, которые подают управляющие сигналы на обмотки шаговых двигателей. Сканер обладает следующими характеристиками:

- интерфейс связи с ПК: LPT;
- шаговые двигатели SM-200 без осевого люфта;
- программное подавление люфта ходовых винтов;
- скорость перемещения каретки – до 5 мм/с;
- шаг сканирования: от 0.0025 мм;
- рабочий объем: 220×220×220 мм.

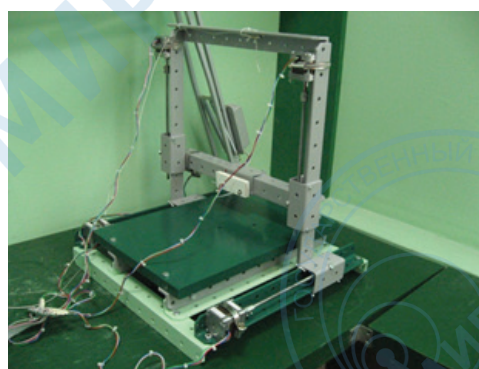
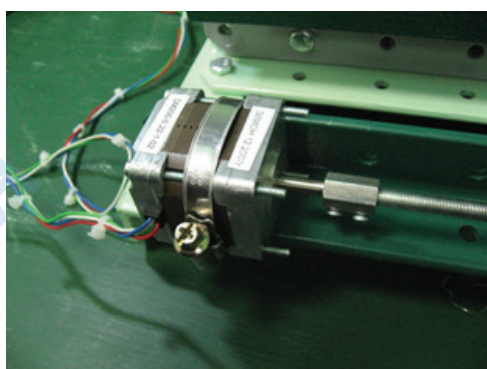


Рис. 5. Общий вид трехкоординатного сканера.

Согласно заданной пользователем программе движения, каретка сканера с первичным преобразователем перемещается в декартовой системе координат по поверхности контролируемого изделия, благодаря чему в заданных пользователем координатах обеспечивается контроль плосконапряженного состояния изделия с последующей передачей обработанных результатов на ПК. Собранные и обработанные данные сохраняются на твердом носителе. По окончании контроля выбранной области создается карта с указанием областей повышенной напряженности.

Шаг сканирования, скорость перемещения каретки и алгоритмы снижения погрешностей (люфта) движущихся элементов сканера задаются пользователем через прикладное программное обеспечение с ПК, что позволяет производить гибкую настройку работы сканера с учетом габаритов датчика и области перемагничивания, а также задавать алгоритмы обработки полезного сигнала, его фильтрации и способов визуального отображения.

Прибор МШ-3 и сканер-приставка обеспечили возможность сканировать, например, поверхность трубопровода с заданным шагом и одновременно менять направление перемагничивания относительно осей главных механических напряжений. В качестве примера на рис. 6 приведены результаты контроля напряжений с использованием параметра U_m (напряжение МШ) после локальной пластической деформации поверхности образца в виде цветной графической карты на дисплее. Светлым отмечены сильно деформированные зоны, красным – зоны с меньшими деформациями.

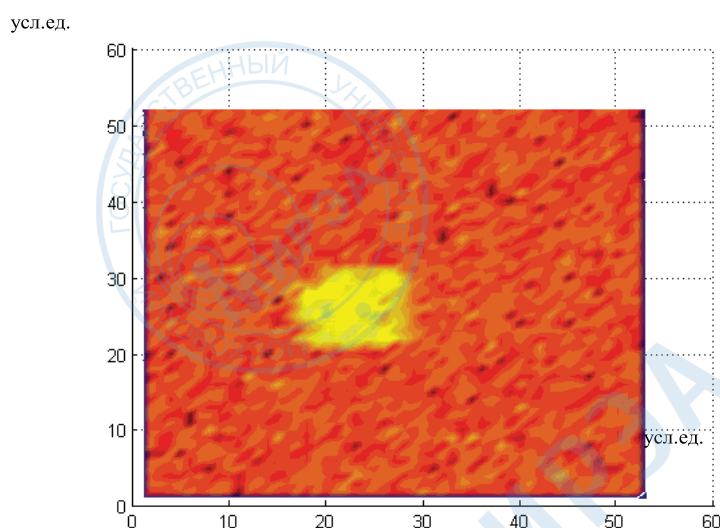


Рис. 6. Результаты сканирования плоского образца с помощью сканера-приставки прибора МШ-1.

Таким образом, информационно-измерительная система МШ-3 позволяет регистрировать и исследовать практически все магнитные параметры поверхностных и глубинных слоев изделий из ферромагнитных материалов, выбирать из них наиболее коррелированные с контролируемыми свойствами изделий, разрабатывать новые методики и информативные параметры контроля, на базе которых возможно создать портативные приборы целевого использования.

Литература:

1. Клюев В.В., Мужичкий В.Ф., Горкунов Э.С., Щербинин В.Е. Неразрушающий контроль. Т. 6. Кн. 1. М.: Машиностроение, 2004. 376 с.
2. Филинов В.В. Методы и приборы контроля механических напряжений на основе использования магнитоакустических шумов. М.: Машиностроение, 2000. 154 с.
3. Филинов В.В., Шатерников В.Е., Аракелов П.Г. Контроль технологических напряжений методом магнитных шумов // Дефектоскопия. 2014. № 12. С. 58–71.
4. Филинов В.В., Шатерников В.Е., Исследование физико-механических свойств высокопрочной стали и возможности их контроля по параметрам магнитных и акустических шумов // Дефектоскопия. 2014. № 10. С. 47–51.
5. Филинов В.В., Шатерников В.Е., Филинова А.В. Разработка приборов для контроля механических напряжений, использующих магнитные шумы // Приборы. 2011. № 10. С. 5–10.
6. Филинов В.В., Аракелов П.Г. Разработка информационно-измерительной системы для контроля физико-математических свойств изделий из ферромагнитных сталей с использованием информативных параметров сигналов магнитных и магнитоакустических шумов // Контроль. Диагностика. 2014. № 8. С. 35–42.

УДК 629.7

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ЭКСПЛУАТАЦИИ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ
КОСМОДРОМА.
РЕШАЕМЫЕ ЗАДАЧИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

М.И. Макаров¹, д.т.н., профессор, руководитель филиала
А.А. Медведев², д.т.н., генеральный конструктор
Ю.М. Савельев³, к.т.н., главный специалист
В.М. Макаров¹, старший научный сотрудник

¹«НИИ КС им. А.А. Максимова» – филиал ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева», Московская область, г. Королев, 141091 Россия;

²ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева», Москва, 121087 Россия;

³Государственная корпорация по космической деятельности «Роскосмос», Москва, 107996 Россия
Автор для переписки, e-mail:

В статье анализируется опыт НИИ КС имени А.А. Максимова по созданию автоматизированной системы обеспечения надежной и безопасной эксплуатации ракетно-космической техники и наземной космической инфраструктуры космодрома Плесецк, обосновываются рациональные направления дальнейшего совершенствования технологии информационного обеспечения управления эксплуатацией больших человеко-машинных систем. Приводится ориентировочная оценка эффекта, получаемого в результате внедрения новых информационных технологий в практику управления эксплуатацией объектами наземной космической инфраструктуры космодрома.

Ключевые слова: ракетно-космическая техника, наземная космическая инфраструктура, автоматизированная система, безопасная эксплуатация, мониторинг, адаптивность, масштабируемость, мобильность.

ROCKET AND SPACE GROUND OPERATION PROVIDED
AUTOMATED SYSTEM.
DECIDED TASKS AND PROGRESS PERSPECTIVES.

M.I. Makarov¹,
A.A. Medvedev²,
Yu.M. Savelyev³,
V.M. Makarov¹

¹FSUE Khrunichev State Research and Production Space Center Branch in Korolev City – A.A. Maksimov Space Systems Research Institute, Moscow region, Korolev, 141091 Russia

²FSUE Khrunichev State Research and Production Space Center, Moscow, 121087 Russia

³State Space Corporation ROSCOSMOS, Moscow, 107996 Russia

@Corresponding author e-mail:

Paper analyzes the experience of the A.A. Maksimov Space Systems Research Institute in the development of automated system providing the reliability and safety of the Plesetsk Cosmodrome rocket and space vehicles and ground space infrastructure facilities operation, formulates rational guidelines of further enhancement of the large man-machine systems operation control informational support technology. Paper gives the rough estimate of the benefit gained as the result of new information technologies introduction into the cosmodrome ground space infrastructure facilities operation control practice.

Keywords: rocket and space vehicles, ground space infrastructure, automated system, safety of operation, monitoring, adaptability, scalability, mobility

В современных условиях повышения значимости и роли космической деятельности в решении научных, социально-экономических и оборонных задач Российской Федерации возникают требования к надежному, безаварийному и безопасному функционированию ракетно-космической техники (РКТ) и объектов космической инфраструктуры (НКИ) космодромов. Обеспечение безопасности применения РКТ и объектов НКИ космодромов – фундаментальный принцип, определяемый законом Российской Федерации о космической деятельности.

Безусловно, максимально эффективная реализация вышеуказанного принципа относится к космодрому Плесецк. В составе космодрома Плесецк функционирует множество потенциально опасных объектов. К числу основных относятся:

- стартовые комплексы с системами заправки компонентами топлив, газоснабжения и нейтрализации;
- заправочно-нейтрализационные станции;
- кислородно-азотный завод;
- командные пункты;
- технические комплексы;
- энергетические установки;
- объекты измерительного комплекса космодрома и др.

К настоящему времени имеет место частичное или полное исчерпание технического ресурса многих используемых элементов оборудования и возрастает риск возникновения аварийных ситуаций в процессе эксплуатации с возможными техногенными экологическими и гуманитарными последствиями, а также существенными финансовыми затратами на ликвидацию последствий чрезвычайных ситуаций. В современных условиях нельзя исключать также проявление по отношению к объектам космической инфраструктуры угроз природного и террористического характера.

Реальным путем решения проблемных задач повышения надежности и безопасности функционирования объектов НКИ космодрома явились разработка и создание автоматизированной системы обеспечения надежной и безопасной эксплуатации (СОНБЭ) ракетно-космической техники и наземной космической инфраструктуры космодрома Плесецк.

Разработка и создание этой системы для космодрома Плесецк выполнены в период с 2009 по 2013 гг. ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева» совместно с другими предприятиями – соисполнителями в рамках Государственной программы вооружений на 2007–2015 годы на основании совместного решения Коллегии Росавиакосмоса и Военного совета Космических войск от 05.03.2003 № 3р (Госконтракт № К-29-03-09 от 19.10.2009 г. между Министерством обороны и ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева») и тактико-техническое

задание Минобороны России) с учетом требований Указа Президента Российской Федерации от 7 мая 2012 года № 603. Разработке и созданию системы предшествовал десятилетний опыт наработки научно-технического и конструкторского задела в рамках выполнения научно-технических программ Союзного государства «Космос-БР» (1999–2002 гг.), «Космос-СГ» (2004–2007 гг.), «Космос-НТ» (2008–2011 гг.), Федеральной целевой программы «Электронная Россия» (2002–2004 гг.) при головной роли ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева» (НИИ космических систем имени А.А. Максимова).

В процессе реализации программ выполнены и разработаны [1–5]:

- исследования процессов эксплуатации ракетно-космической техники и отдельных объектов наземной космической инфраструктуры с определением факторов, определяющих надежность и безопасность их функционирования;
- математические, информационные и программные модели выборочных процессов эксплуатации РКТ и НКИ;
- исследования теоретических и практических проблем обеспечения безопасности и надежности функционирования РКТ и НКИ, моделирование аварийных ситуаций контроля и оценки безопасности;
- методы парирования и исследования причин возникновения нештатных (аварийных) состояний РКТ и НКИ;
- методы и средства технического диагностирования средств наземных комплексов, стартового оборудования, технологического оборудования опасных процессов с использованием автоматизированных измерительных и экспертных систем, технологий и методов, основанных на физических принципах определения причин изменения состояния систем в процессе эксплуатации комплексов.

Созданная система предназначена для комплексного автоматизированного оперативного обеспечения органов управления, разработчиков и изготовителей РКТ и НКИ космодрома Плесецк первичной и обобщенной эксплуатационной информацией о результатах применения космических средств по назначению, их техническом состоянии, надежности и безопасности.

Созданная территориально распределенная информационно-аналитическая система состоит из автоматизированных рабочих мест (АРМ), созданных на базе персональных электронно-вычислительных машин (ПЭВМ) трех типов (стационарных, мобильных и переносных), комплектуемых приборным оборудованием различного назначения. В состав приборного оборудования включены несколько типов приборов, в том числе приборы неразрушающего контроля, измерительные, связные, навигационные и др.

Все АРМ включены в состав единой локальной вычислительной сети, обеспечивающей обмен эксплуатационной информацией в позиционном районе космодрома. АРМ системы обеспечивают автоматизацию деятельности должностных лиц космодрома различных категорий – от номеров расчетов до руководителей высшего уровня.

Основу автоматизированной обработки эксплуатационной информации составляет специальное программное обеспечение, включающее 56 типов программных комплексов, базируемых на математических и информационных моделях, а также алгоритмах, описывающих наиболее значимые процессы управления эксплуатацией.

Топология телекоммуникационно-компьютерных средств автоматизированной системы обеспечения надежной и безопасной эксплуатации НКИ и РКТ космодрома Плесецк представлена на рис. 1.

Система обеспечения надежной и безопасной эксплуатации РКТ и НКИ космодро-

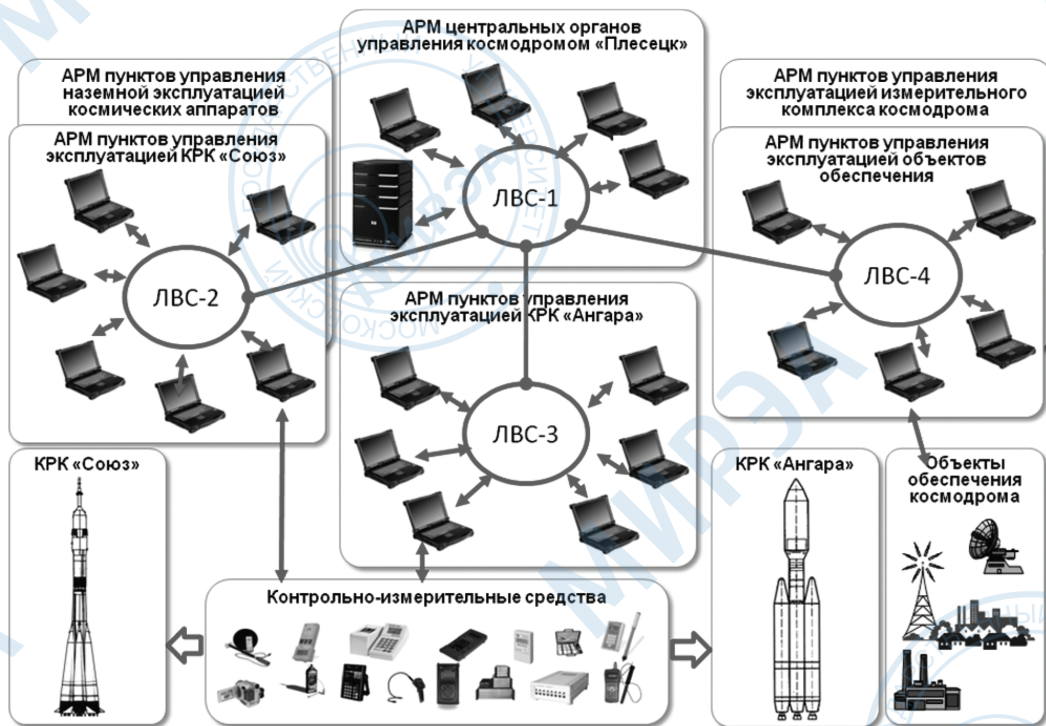


Рис. 1. Структура системы обеспечения надежной и безопасной эксплуатации НКИ и РКТ космодрома Плесецк.



Рис. 2. Основные комплексы задач системы обеспечения надежной и безопасной эксплуатации НКИ и РКТ космодрома Плесецк.

ма Плесецк обеспечивает автоматизированное решение следующих основных комплексов задач (рис. 2).

Первый комплекс задач – комплекс мониторинга технического состояния объектов РКТ и НКИ космодрома (КМТС). Данный комплекс предназначен для автоматизированного:

- измерения параметров технического состояния (ТС) типовых элементов оборудования НКИ;
- передачи информации от приборов измерения параметров технического состояния типовых элементов оборудования НКИ на персональную электронную вычислительную машину (ПЭВМ), обработку и хранение этой информации;
- выявления отказов, дефектов и повреждений, имевших место при испытаниях, пуске и полете объектов РКТ;
- анализа результатов измерений, идентификации и прогнозирования предотказных и неработоспособных состояний типовых элементов оборудования НКИ;
- контроля рисков эксплуатации потенциально опасных объектов РКТ и НКИ;
- анализа статистики неисправностей, отказов, происшествий, а также причин, механизмов и условий их возникновения и развития;
- расчета оценок показателей надежности и безопасности отдельных элементов конструкции космических средств, а также элементов конструкции опасных промышленных объектов космической инфраструктуры (сосудов, работающих под давлением, грузоподъемных механизмов, емкостей для хранения токсичных жидкостей и газов и др.).

Объектами мониторинга технического состояния являются: критичные элементы конструкции объектов НКИ и РКТ из металла, композиционных материалов, стекла, пластика; емкости для хранения токсичных и взрывоопасных жидкостей и газов; объекты Гостехнадзора; специальные транспортные средства; особо ответственные грузы.

Контролируемые параметры технического состояния объектов РКТ и НКТ: температура; давление; вибрации; электрический ток; электромагнитное поле; характеристики свойств конструкционных материалов; геометрические размеры элементов конструкции; положение и перемещение элементов конструкции в пространстве и др.

Второй комплекс задач – комплекс поддержки принятия решений по управлению эксплуатацией РКТ и НКИ (КППР). Он обеспечивает автоматизированную информационную поддержку принятия решений по вопросам технического обслуживания, а также подготовки к применению и применения космических средств, в том числе:

- поддержку принятия решений по вопросам подготовки и проведения пусков ракет космического назначения (РКН) на стартовом и техническом комплексах;
- представление интегрированной информации для анализа и принятия решений при возникновении нештатных ситуаций, организации аварийно-спасательных работ;
- ведение архива эксплуатационной документации по системам и агрегатам РКТ;
- получение иерархического и табличного представления фактического состава эксплуатируемого оборудования поиск и выбор объектов по заданному условию;
- просмотр графических данных о составе, размещении, внешнем виде объектов, на которых осуществляется эксплуатация РКТ, а также эксплуатируемых образцов космических средств;
- ведение данных о действиях расчетов (в том числе, об ошибочных действиях) при выполнении технологических операций в процессе эксплуатации РКТ, ведение данных о нештатных ситуациях при проведении работ на РКТ;

- планирование и учет ремонтных работ, доработок и поставок материальных средств, учет личного состава, эксплуатирующего системы и агрегаты ТК и СК;
- проведение аттестации, анализа, количественной оценки и контроля надежности действий расчетов при проведении работ на РКТ;
- расчет вероятности успешного выполнения технологического процесса заданным составом расчетов, в том числе, при возникновении нештатных ситуаций;
- планирование и контроль исполнения технологических графиков подготовки и применения систем и агрегатов РКТ по назначению;
- контроль экономических факторов эксплуатации.

При разработке программного комплекса задач КППР в качестве объектов ситуационного моделирования рассматривались процессы подготовки информации (с использованием 3D-изображений оборудования стартовых и технических комплексов) и расчетных данных для принятия решений при управлении различными технологическими процессами, в том числе, моделировалось возникновение нештатных и аварийных ситуаций на опасных производственных объектах наземной космической инфраструктуры.

Третий комплекс задач – комплекс обеспечения безопасности пусков ракет космического назначения (КОБПР) предназначен для автоматизированной оценки и прогнозирования безопасности в позиционном районе космодрома в период подготовки и проведения пусков ракет. Основные задачи комплекса:

- оценка и контроль безопасности в период повседневной эксплуатации космических средств космодрома, а также на этапах подготовки к пуску и пуска ракет космического назначения (РКН), инструментальный контроль безопасности рабочих мест и мест падения отделяющихся частей РКН;
- топопривязка мест падения отделяющихся частей РКН, документирования событий;
- количественная оценка и контроль показателей безопасности рабочих мест на объектах эксплуатации РКТ;
- контроль уровня безопасности в период подготовки к пуску ракет космического назначения (РКН), по трассам полета РКН и в районах падения отделяющихся частей РКН;
- прогнозирование последствий чрезвычайных ситуаций космического характера в позиционном районе космодрома, по трассам полета РКН и в районах падения отделяющихся частей РКН;
- поддержка принятия решений при проведении работ по локализации и ликвидации последствий аварийных пусков РКН.

Объектами математического моделирования и автоматизации являются процессы измерения показателей безопасности на объектах эксплуатации, подготовки информации и расчетных данных для принятия решений при обеспечении безопасности пусков РКН, в том числе, в условиях возникновения нештатных ситуаций на объектах эксплуатации РКТ.

Измеряемые и контролируемые параметры: температура и влажность воздуха; направление и сила ветра; характеристики ландшафта местности; концентрация токсичных газов; освещенность; уровень звука; напряженность электрического поля; плотность магнитного потока; напряженность постоянного магнитного поля; напряженность электростатического поля; уровень оксидов азота; уровень радиации и др.

Четвертый комплекс задач – комплекс анализа надежности, безопасности, планирования эксплуатации НКИ и РКТ космодрома (КАНБП). Данный комплекс является центральным звеном системы, координирующим взаимодействие всех составных частей.

Комплекс предназначен для автоматизированного (на основе электронного документо-оборота) сбора, обработки, анализа и передачи информации о результатах эксплуатации, техническом состоянии, надежности и безопасности космических средств космодрома. Основными решаемыми в автоматизированном режиме задачами являются следующие:

- прием информации о надежности, безопасности и результатах эксплуатации РКТ и НКИ космодрома Плесецк от смежных систем;
- накопление и хранение в базе данных первичной и обработанной информации о надежности;
- учет информации о результатах эксплуатации изделий РКТ и формирование первичных информационных документов об отказах, неисправностях, результатах испытаний и эксплуатации изделий РКТ;
- сбор, обработка, систематизация, передача и хранение информации, содержащейся в документах системы информации о техническом состоянии и надежности космических комплексов;
- статистическая обработка информации, содержащейся в формализованных информационных документах, анализ причин возникновения отказов и неисправностей;
- формирование системы исходных данных, необходимых для количественной и качественной оценки надёжности и безопасности изделий РКТ, определения тенденций их изменения в процессе испытаний и эксплуатации;
- проведение расчетов значений показателей надежности и безопасности изделий РКТ;
- количественная оценка тенденций изменения надежности и безопасности изделий РКТ в процессе эксплуатации;
- информационная поддержка принятия решений по вопросам технического обслуживания и применения оборудования объектов НКИ;
- обеспечение документооборота по вопросам безопасности и надежности НКИ, а также организации эксплуатации и применения оборудования объектов НКИ;
- количественная оценка качества работ, выполняемых эксплуатирующими организациями, а также оценка состояния информационной работы в подразделениях космодрома;
- выявление причин и факторов, приводящих к отказам, инцидентам, авариям, катастрофам;
- планирование профилактики и предотвращение происшествий на объектах РКТ и НКИ.

Объектами математического моделирования и автоматизации являются процессы сбора, обработки, передачи, хранения и анализа документально оформленной информации о техническом состоянии, надежности и безопасности, а также процессы оценки надежности и безопасности эксплуатируемых изделий ракетно-космической техники.

В основу построения системы СОНБЭ положены: современные средства технического и общего программного обеспечения (ОПО), разработанные высокоинтеллектуальные средства информационного (ИО), специального программного (СПО) и лингвистического (ЛО) обеспечения решения комплексов задач эксплуатации РКТ и НКИ космодрома. При создании средств ИО, СПО и ЛО реализованы такие свойства автоматизированных систем, как адаптируемость, масштабируемость, мобильность.

Адаптируемость обеспечивает решение прикладных задач эксплуатации в различных вычислительных средах и конфигурациях компьютерного оборудования, расширение круга решаемых задач, создание интерфейсов взаимодействия должностных лиц органов управления эксплуатацией с комплексом решаемых задач и смежными информационными си-

стемами космодрома, длительный жизненный цикл функционирования комплексов задач.

Масштабируемость определяет способность ИО, СПО и ЛО справляться с увеличением рабочей нагрузки (производительности) системы СОНБЭ, связанной с добавлением сетевых ресурсов (аппаратных, баз данных, входных и выходных сообщений).

Мобильность характеризует возможности переноса с минимальными изменениями средств ИО, СПО и ЛО системы СОНБЭ на широкий диапазон информационных платформ (вычислительных сред), функционирующих на других объектах космических войск (КВ), в частности, на объектах Воздушно-космических сил (ВКС) в целом; создания иерархических и сетевых структур взаимосвязанных вычислительных процессов в рамках единого информационного пространства КВ и ВКС.

По предварительным оценкам разработчиков системы СОНБЭ, эксплуатация такой системы на космодроме Плесецк позволит обеспечить:

- повышение степени предотвращения нештатных (аварийных) ситуаций при подготовке и проведении пусков ракет на 70–80%;
- повышение оперативности подготовки данных о техническом состоянии и надежности РКТ и НКИ космодрома в 10–12 раз;
- повышение оперативности решения задач управления в системе эксплуатации космодрома в 1.5–2 раза;
- сокращение текущих эксплуатационных расходов на 15–20%;
- среднестатистический предотвращенный ущерб от нештатных (аварийных) ситуаций до 50–70 млн. руб. в год;
- окупаемость затрат на создание системы – до 5 лет.

Перечисленные свойства эксплуатируемой на космодроме Плесецк системы СОНБЭ определяют потенциал ее развития и возможность промышленного внедрения технологий системы в центральном звене управления и на других объектах КВ, а также объектах ВКС и на космодроме Восточный. В первую очередь, целесообразно взять технологии СОНБЭ в качестве прототипа для разработки и создания на космодроме Восточный аналогичной системы СОНБЭ-В. Создаваемые на космодроме Восточный объекты РКТ и НКИ являются техническими объектами повышенной опасности, обеспечивающими проведение дорогостоящих пусковых кампаний по выводу на орбиту космических аппаратов различного назначения. Задержки пусков или аварии, возникающие вследствие отказов наземного оборудования, приводят к необходимости проведения длительных восстановительных работ, к многомиллиардным штрафным выплатам заказчикам пусковых услуг, а также к снижению рейтинга России на мировом рынке космических услуг. В связи с этим все потенциально опасные объекты РКТ и НКИ космодрома Восточный в процессе эксплуатации должны быть под непрерывным контролем и управлением их техническим состоянием. В процессе решения данной задачи в настоящее время недостаточно полно реализуется комплексный подход, фрагментарно используются существующие технологии контроля состояния потенциально опасных объектов и технологий. Не в полной мере используются возможности современных программно-технических средств обработки информации и современных телекоммуникационных технологий.

В перспективе на космодроме Восточный будут создаваться новые ракетно-космические комплексы с применением РКТ «Ангара-А5» и «Ангара-5В», использующих потенциально-опасные кислородно-водородные технологии в комплексе разгонного блока «КВТК», в третьей ступени ракеты-носителя и на объектах НКИ космодрома. Обеспечение выполнения требований по надежному и безопасному применению таких техноло-

гий невозможно без внедрения автоматизированной системы мониторинга, управления надежной и безопасной эксплуатацией, задачи которой должны быть возложены на систему СОНБЭ-В. Создание такой системы поддержано решением выездного заседания Комитета Совета Федерации по обороне и безопасности 16 сентября 2014 года на космодроме Восточный и рекомендовано включить работу по созданию системы в состав мероприятий проекта ФЦП «Развитие российских космодромов на 2016–2025 годы».

Литература:

1. Макаров М.И., Рудаков В.Б., Попов Л.И., Бурцев А.С., Эртман Л.И., Савельев Ю.М. Создание и перспективы развития автоматизированной системы обеспечения надежной и безопасной эксплуатации НКИ космодрома // Актуальные проблемы российской космонавтики: Материалы XXXVIII академических чтений по космонавтике (28–31 января 2014 г.) / Под ред. А.К. Медведевой: Тез. докл. – М.: Комиссия РАН, 2014. С. 284–286.
2. Система обеспечения надежной и безопасной эксплуатации ракетно-космической техники и наземной космической инфраструктуры космодрома Плесецк. Часть 1. Описание и характеристика системы обеспечения надежной эксплуатации РКТ и наземной космической инфраструктуры космодрома Плесецк. Технический проект. Пояснительная записка. АУВМ.466453.004ПЗ. М.: НИИ КС, 2011. 509 с.
3. Макаров М.И., Макаров С.М. Перспективная автоматизированная система комплексного мониторинга объектов космической инфраструктуры // Ракетно-космическая техника. Информационные системы и технологии. Научные труды. В 2-х томах. Т. 2 / Под общ. ред. д-ра техн. наук, профессора М.И. Макарова. М.: НИИ КС имени А.А. Максимова, 2012. С. 4–21.
4. Макаров М.И., Королев А.Н., Павлов С.В. Комплекс технологий оперативного контроля состояния потенциально опасных объектов // Ракетно-космическая техника. Информационные системы и технологии. Научные труды. В 2-х томах. Т.2 / Под общ. ред. д-ра техн. наук, профессора М.И. Макарова. М.: НИИ КС имени А.А. Максимова, 2012. С. 106–111.
5. Макаров М.И., Медведев А.А., Иванов В.Л. Концептуальные основы создания автоматизированной системы обеспечения надежной и безопасной эксплуатации объектов наземной космической инфраструктуры (АСОНБЭ) космодрома Восточный // Двойные технологии. 2015. № 2 (71). С. 10–18.

УДК 621.338

**ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ
СТАНДАРТОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНТЕРАКТИВНЫХ
СИСТЕМ В ЗАДАЧАХ ОБРАБОТКИ ТЕПЛОВИЗИОННЫХ
ИЗОБРАЖЕНИЙ**

А.Ю. Цуников, к.т.н., с.н.с.

*Московский технологический университет, Москва, 119454 Россия
Автор для переписки, e-mail: bmw325ix@mail.ru*

В статье проведён анализ критических параметров качества программно-аппаратного обеспечения оптико-электронных систем (ОЭС) на соответствие эргономическим требованиям по работе с компьютерными системами: ISO 9241 – Эргономика человеко-машинного взаимодействия; ISO 10075 – Эргономические принципы, относящиеся к умственной нагрузке при работе с интерактивными системами; ISO 14915 – Эргономика программного обеспечения мультимедийных пользовательских интерфейсов. По результатам современного состояния проблемы автоматизации обработки данных зашумленных и искаженных ИК-изображений установлено, что процедура обработки изображения является непременной составляющей общей процедуры обработки сигнала в цепочке преобразований информации от ее регистрации фотоприемным устройством до предъявления оператору. Поэтому неунифицированность количественного критерия качества обработки изображений при решении практических задач современного оптико-электронного приборостроения делает особенно актуальной разработку алгоритмов обработки тепловизионных изображений с учетом эргономических требований, предъявляемых к компьютерным системам. Даны практические рекомендации, обеспечивающие повышение достоверности интерпретации информации оператором, а, следовательно, и повышение надежности прогноза развития ситуации и эффективности информационной системы аппаратно-программного комплекса (АПК) в целом.

Ключевые слова: эргономика человеко-машинного взаимодействия, мультимедийный пользовательский интерфейс, эффективность информационной системы, надежность прогноза развития ситуации, достоверность информации, достоверность интерпретации информации, пригодность результата обработки для восприятия и понимания.

**PRACTICE GUIDELINES FOR THE USE OF STANDARDS FOR
DESIGN OF INTERACTIVE SYSTEMS IN THERMAL IMAGING
PROCESSING TASKS**

A.Y. Tsunikov

*Moscow Technological University (MIREA), Moscow, 119454 Russia
@Corresponding author e-mail: bmw325ix@mail.ru*

The article analyzes the critical quality parameters firmware optoelectronic systems (IPS) to meet the ergonomic requirements for work with computer systems: ISO 9241 - Ergonomics of human-machine interaction; ISO 10075 - Ergonomic principles related to mental workload when dealing with interactive systems; ISO 14915 - Ergonomics software multimedia user interfaces.

According to the results of theoretical analysis of the current state of the problem of data processing automation of noisy and distorted IR images revealed that the image processing procedure is an indispensable component of the total signal processing procedure in the chain of data transformations from its registration photodetectors to the presentation to the operator, so the lack of standardized quantitative criterion imaging quality to solve practical problems of modern optoelectronic instrument makes it especially urgent to develop treatment algorithms thermal images with ergonomic requirements for computer systems.

Practical recommendations are done to improve the reliability of the interpretation of the information provider, and thus improve the reliability of the situation prediction efficiency and APC information system as a whole.

Keywords: ergonomics of human-computer interaction, multimedia user interface, information system efficiency, reliability prognosis of the situation, the accuracy of the information, the accuracy of the interpretation of the information, availability of treatment result for perception, understanding.

Актуальность проблемы исследования определяется востребованностью проектирования аппаратно-программных комплексов (АПК), разработки специальных алгоритмов обработки и предъявления оператору информации от нескольких спектральных каналов оптико-электронных систем (ОЭС) с автоматической адаптацией критериев выбора и приоритетности отличительных признаков целей и помех в каждом из спектральных каналов при изменяющихся условиях наблюдения.

В рамках исследования ранее был выполнен анализ современного состояния проблемы автоматизации обработки зашумленных и искаженных ИК-изображений и проблем прогнозного моделирования поведения объектов в зашумленных средах с учетом характеристик флуктуаций фонового излучения в алгоритмах обработки сигналов инфракрасных приборов (Можейко В.И., Обухова Н.А., Тимофеев Б.С., Фисенко В.Т., Фисенко Т.Ю. Белоусов Ю.И., Иванов Д.В. и др.); изучена проблема визуализации локальных областей неоднородных поверхностей (Шмидт В.К., Галикеев Г.Б., Горбачевич Ф.Ф., Кудрявцев А.С. и др.). Проанализированные данные были осмыслены и подтверждены результатами практических разработок по методам анализа различных видов электромагнитного излучения: видеоинформации в комплексе трех спектральных инфракрасных диапазонах по контролю технологических процессов [1], обработки цифровых сигналов при тепловизионном контроле изготовления деталей и узлов аппаратуры [2], моделирования плотности излучения и теплового баланса при инженерном мониторинге [3], определения ориентации космических аппаратов при использовании оптических звездных датчиков [4].

Установлено, что процедура обработки изображения является непременной составляющей общей процедуры обработки сигнала в цепочке преобразований информации от ее регистрации фотоприемным устройством до предъявления оператору. Отсюда следует заключить, что неунифицированность количественного критерия качества обработки изображений при решении практических задач современного оптико-электронного приборостроения делает особенно актуальной разработку алгоритмов обработки тепловизи-

онных изображений с учетом эргономических требований, предъявляемых к компьютерным системам.

При разработке такого рода новых программных средств специальной обработки данных зашумленных и искаженных ИК-изображений нами разработана архитектура программных средств для АПК, обоснованы этапы проектирования и реализован АПК на статистически учитываемом количестве испытаний. Применение эргономических требований определило выбор методов математической обработки и алгоритмизации обработки зашумленных и искаженных тепловизионных изображений [5], характер адаптации метода Канни для выделения границ объектов, дополнительно разработан и реализован авторский алгоритм сегментации и визуализации ИК-изображений (вычисление контрастности объекта относительно фона, выделение температурных зон по заданным температурным интервалам, либо кластерному распределению, расчет их относительных площадей) [6].

Таким образом, на программно-аппаратное обеспечение опико-электронных систем (ОЭС) распространяется группа стандартов, определяющих эргономические требования по работе с компьютерными системами. Следует принять во внимание следующие стандарты [7]:

- ISO 9241 – Эргономика человеко-машинного взаимодействия;
- ISO 10075 – Эргономические принципы, относящиеся к умственной нагрузке при работе с интерактивными системами;
- ISO 14915 – Эргономика программного обеспечения мультимедийных пользовательских интерфейсов.

По результатам проведенного анализа рекомендуется на практике учитывать все три направления нормирования: по способам человеко-машинного взаимодействия; по параметрам дисплеев и связанного оборудования [8]; по техническим характеристикам устройств ввода и их эргономическим свойствам. Это позволит задать квалиметрическую базу анализа соответствия получаемого изображения требуемому качеству приведенных выше стандартов.

На практике целесообразно использовать следующие качественные показатели при проектировании аппаратно-программных комплексов.

Эффективность аппаратно-программного комплекса будет соответствовать требуемому условию, если оператор на основании полученного изображения сможет провести его интерпретацию и сделать выводы о целях и приоритетах поставленных задач за определенный промежуток времени. При этом качество визуализации исследуемого изображения должно соответствовать приемлемому уровню умственной нагрузки. Недостаточная информативность изображения либо излишняя его зашумленность приводит к дополнительной нагрузке для оператора при принятии им решения. Неоднозначность информации потребует дополнительной интерпретации полученного изображения [9].

Надежность прогноза развития ситуации будет определяться на основе отделения сигналов, несущих информацию, от помех и шумов, т.е. потребует возможности инструмента фильтрации изображения с целью изменения интенсивности сигналов, применения методов различного кодирования с использованием характеристик формы, цвета, снижения интенсивности фонового шума.

Отображение дополнительной резервной информации, как, например, в задачах обработки видеoinформации в комплексе трех спектральных инфракрасных диапазонах по контролю технологических процессов проводился анализ видеoinформации в комплексе трех спектральных инфракрасных диапазонов по контролю технологических процессов.

В этом случае рекомендуется использовать дополнительную информацию в виде количественных (тепловизионных, радиометрических, фотометрических и др.) данных [9].

Таким образом, при обработке зашумленных изображений помимо количественных аспектов интенсивности умственной нагрузки оператора, следует учитывать качественные различия в уровнях умственной нагрузки оператора, связанные с восприятием, интенсивной нагрузкой на память и пр. Следует учитывать, что уменьшение умственной нагрузки ниже оптимального уровня может привести к появлению монотонии, чему препятствует расширение поля решения задачи и изменения задач (введение ручного режима коррективки) параметров обработки изображений АПК.

Достоверность полученной информации определяется как способность к выделению нужных объектов в присутствии сложных фоновых и организационных помех, что может быть реализовано при обеспечении точности обработки изображений, включая и параллельную и последовательную формы, а также наличием системы помощи принятия решений оператором. На уровне интерфейса это соответствует реализации требования пригодности интерфейса для выполнения задания, информативность, управляемость, соответствие ожиданиям пользователя, устойчивость к ошибкам, пригодность к индивидуализации [9].

Достоверность интерпретации информации определяется как вероятность принятия правильного решения на данном иерархическом уровне принятия решений. С точки зрения организации интерфейса АПК – обеспечение прозрачной навигации (поиска), структурирования информации на основе учета различий в возможностях восприятия; обеспечения альтернативных поисковых целей при использовании системы ручной обработки снимков, реализованной программно-аппаратным способом (ментальные модели взаимодействия оператора и системы для обеспечения правильности управляющих действий) [9].

Таким образом, с позиции организации интерфейса взаимодействия оператора и системы достоверность интерпретации информации обеспечивается на основе прозрачной навигации, способом структурирования аналитической информации с учетом различий в возможностях восприятия конкретным оператором и обеспечения альтернативных поисковых целей.

Пригодность для восприятия, понимания полученного визуализированного изображения определяется особенностями применяемых математических методов, алгоритмов обработки зашумленных изображений и различимостью, понятностью, согласованностью цветовых шкал мультимедийного интерфейса на основе характеристики пригодности тепловизионного изображения: выбора исходного описания объектов (пространства признаков) и объединение форм представления результирующей информации средствами мультимедийного интерфейса [9]. С этой целью описанным выше качественным показателям поставлены в соответствие и доопределены характеристики и рекомендации, соответствующих ГОСТ Р ИСО (табл. 1), что позволяет установить однозначное соответствие качества ИК-изображения при анализе его на соответствие нормам восприятия оператора.

Выявлено, что производители тепловизионных комплексов формируют шкалы в соответствии с техническим стандартом, однако не учитывают требования к четкому порядку цветов, воспринимаемых оператором, что, соответственно, порождает различия, вследствие визуальной адаптации, аддитивного смещения, индивидуального ахроматического цветового ощущения. Указанные различия снимаются, и оператор лучше воспринимает различия яркостей в монохроматическом спектре, если выбраны шкалы в оттенках серого, как наиболее оптимальные [10].

Выбор шкал цветности [11] АПК в исследовании производился с учетом требований использования видео-дисплейных терминалов по ГОСТ Р ИСО 9241-8-2007. В табл. 2 приведены эргономические требования к параметрам качества обработки термографических изображений, которые по совокупности дают полную картину факторов, определяющих собственно процесс восприятия оператором изображения.

Таблица 1. Критические показатели качества АПК и их соответствие требованиям ГОСТ Р ИСО

Критические параметры	Содержание параметра качества	Маркировка ГОСТ Р ИСО	Характеристики и рекомендации
Эффективность информационной системы	Своевременность прогноза. Управление и взаимодействие с формами представления информации (мультимедийный интерфейс)	100075-2-2009	Интенсивность умственной нагрузки (п. 4.2.1., 4.2.2.) Адекватность и неоднозначность информации (п.4.2.2.4, 4.2.2.5)
		14915-1-2010	Проектирование взаимодействий (п.6.3.2, 6.3.3)
Надежность прогноза развития ситуации	Содержательная непротиворечивость информации, которая достоверна и не нуждается в перепроверке или уточнениях Пригодность для целей коммуникации (мультимедийный интерфейс)	100075-2-2009	Распознаваемость сигналов и дополнительная информация (п. 4.2.2.6, 4.2.2.7.) Совместимость отображения, управляющих действий и ответов системы (п.4.2.2.8)
		14915-1-2010	Поддержка ориентации пользователя (п. 5.2.6.3) Обеспечение средствами поиска и навигации (п.5.2.6.8)
Достоверность информации	Способность выделять нужные объекты в присутствии сложных фоновых и организационных помех Пригодность интерфейса для выполнения задания, информативность, управляемость, соответствие ожиданиям пользователя, устойчивость к ошибкам, пригодность к индивидуализации	100075-2-2009	Точность обработки, параллельная и последовательная обработка (п. 4.2.2.9, 4.2.2.10) Поддержка решений оператора и устойчивость системы к ошибкам (п. 4.2.2.18, 4.2.2.23)
		14915-1-2010	Принципы организации диалога (п.5.2.2.)
Достоверность интерпретации информации	Вероятность принятия правильного решения на данном иерархическом уровне принятия решений Поддержка прозрачной навигации, структурирование информации (мультимедийный интерфейс)	100075-2-2009	Ментальные модели взаимодействия оператора и системы для обеспечения правильности управляющих действий (п.4.2.2.13)
		14915-1-2010	Учет различий в возможностях восприятия, обеспечение альтернативных навигационных (поисковых) целей (п.5.2.5.5, 5.2.6.4,5.2.6.6)
Пригодность для восприятия, понимание	Обнаруживаемость, различимость, понятность, согласованность и проч. (мультимедийный интерфейс)	14915-1-2010	Характеристики пригодности (п. 5.2.5.1; ИСО 9241-12) Отбор и объединение форм представления информации (п. 5.2.5.6; ИСО 14915-3)

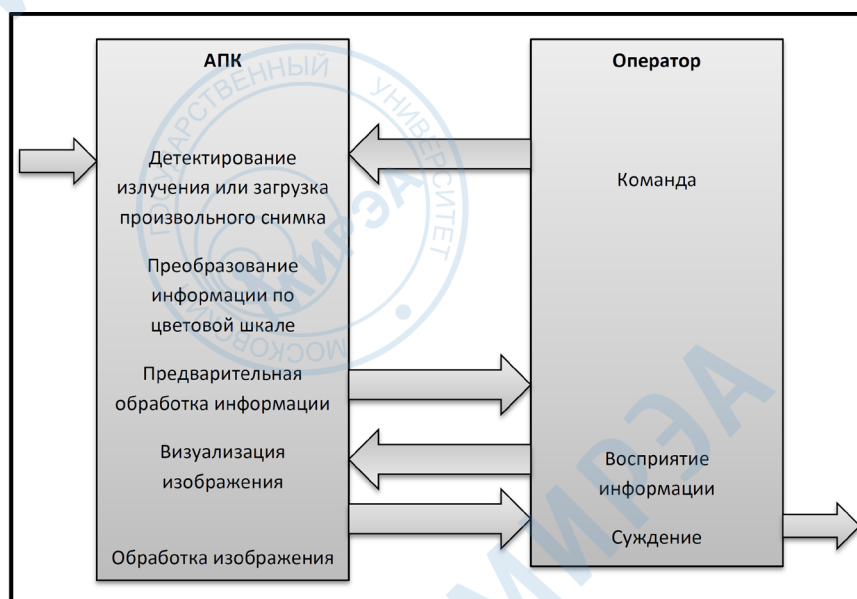
Эргономические требования учитывают особенности механизма восприятия цветов глазом человека, а именно с тем, что при градуировке шкалы в условных цветах данная информация не является достаточной для оценки различия отображаемой пикселем температуры с его окружением. В ситуации же недостаточной информативности требуется дополнительная интерпретации полученного изображения – оператор вынужден про-

Таблица 2. Эргономические требования к параметрам качества обработки термографических изображений

Проектное расстояние наблюдения (п. 3.25)	Расстояние или диапазон расстояний, нормируемое производителем, между экраном и глазами оператора, при которых изображение на дисплее удовлетворяет требованиям к модуляции раstra, пространственной нестабильности, временной нестабильности, разборчивости, линейности, однородности раstra.
Адаптация (визуальная) (п. 3.2)	Процесс изменения органа зрения под воздействием световых стимулов, экспозиция которых осуществляется в данное время или несколько раньше, и которые имеют различную яркость, спектральный состав и угловые размеры.
Аддитивное смещение (п. 3.3)	Метод смещения цветовых стимулов на сетчатке глаза, когда воздействие различных цветовых стимулов не может восприниматься глазом раздельно.
Ахроматическое цветовое ощущение (п. 3.1)	Воспринимаемое ощущение – восприятие цвета, исключаящее цветовой тон. Обычно используются такие названия цветов, как «белый», «серый» и «черный» или, в случае объектов, пропускающих свет, бесцветный и нейтральный. Психофизическое ощущение – стимул, вызывающий ощущение воспринимаемого ахроматического цвета.
Колориметрическая чистота цвета (п. 3.32)	Величина, определяемая отношением $p_c = \frac{L_d}{(L_n + L_d)},$ где L_d и L_n – яркости монохроматического стимула и заданного ахроматического стимула соответственно, которые при аддитивном смещении дают цвет рассматриваемого цветового стимула.
Линия спектральных цветностей (п.3.37)	Геометрическое место точек на графике цветностей, определяющее монохроматические стимулы.
Минимально заметное различие (п. 3.28)	Перцепционный элемент, точно определяющий минимальное физическое изменение в изображении.
Равноконтрастный цветовой график (п. 3.42)	Двумерный график, координатная система которого выбрана так, чтобы равным расстояниям соответствовало равное число порогов цветоразличения для цветовых стимулов одинаковой яркости по всему графику.
Различение цветов (п. 3.15)	Обнаружение разности цветов между стимулами.

водить дополнительные сравнения пикселя с эталонной шкалой (проводить процедуру фильтрации изображения с целью уточнения характера интенсивности сигналов), что повышает умственную нагрузку и снижает достоверность и своевременность принимаемого решения. Выводы, полученные на основе анализа требований данных стандартов, подтвердили актуальность разработанного в исследовании алгоритма перевода производного снимка в полутоновую шкалу, который также позволяет снизить умственную нагрузку оператора за счет получения оптимальной колориметрической чистоты цвета серой шкалы, четких границ спектральной цветности, равноконтрастности изображения и различимости оттенков. Предложенная методика и алгоритм обработки зашумленных и искаженных тепловизионных изображений усовершенствует типовую технологию процесса взаимодействия АПК и оператора.

Диаграмма проектирования АПК в соответствии с ГОСТ Р ИСО 10075-2-2009 [12, с. 4] принимает вид (рисунок):



Алгоритм взаимодействия оператора и АПК специальной обработки зашумленных термографических изображений.

Таким образом, для оптимизации обработки тепловизионных изображений рекомендуется на практике учитывать все три направления нормирования: по способам человеко-машинного взаимодействия; по параметрам дисплеев и связанного оборудования; по техническим характеристикам устройств ввода и их эргономическим свойствам. Это позволит нивелировать различия в организации производственных шкал цветности, которые возникают вследствие различной визуальной адаптации, аддитивного смещения, индивидуального ахроматического цветового ощущения.

Выбор шкалы в оттенках серого (в монохроматическом спектре) обусловлен качеством получаемых изображений с точки зрения визуальной четкости границ спектральной цветности, равноконтрастности изображения и различимости оттенков, что позволяет снизить умственную нагрузку оператора за счет получения оптимальной колориметрической чистоты цвета серой шкалы, четких границ спектральной цветности, равноконтрастности изображения и различимости оттенков.

Предложенная методика позволяет повысить достоверность интерпретации информации оператором, делает изображение пригодным для восприятия и понимания, что, в свою очередь, повышает надежность прогноза развития ситуации и эффективность информационной системы АПК в целом.

Литература:

1. Грязных И.В., Лысов П.И., Панков А.В., Шпак А.В., Зубков А.П., Цуников А.Ю. Анализ видеoinформации в инфракрасном диапазоне по контролю технологических процессов // INTERMATIC-2012 – Материалы Междунар. научно-техн. конф. «Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения», 3–7 декабря 2012. Москва, МИРЭА / Часть 6 «Информационные технологии и телекоммуникации». М.: Энергоатомиздат, 2012. С. 184–187.
2. Филатов С.В., Цуников А.Ю. Моделирование плотности излучения и теплового баланса при инженерном мониторинге изготовления узлов и деталей аппаратуры / Транспортное дело России. 2014. № 3. С. 69–72.

3. Филатов С.В., Цуников А.Ю. Тепловизионный контроль изготовления деталей и узлов аппаратуры / Транспортное дело России. 2014. № 4. С. 112–114.
4. Сигов А.С., Нефедов В.И., Цуников А.Ю. [и др.] Повышение точности определения ориентации космических аппаратов при использовании оптических звездных датчиков / Материалы Междунар. научно-техн. конф. «Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения», 3–7 декабря 2012. Москва, МИРЭА / Часть 4 «Приборы и компоненты РЭА». М.: Энергоатомиздат, 2012. С. 62–66.
5. Денисевич В.Н., Цуников А.Ю., Шепелева А.Н. [и др.] Сжатие полутоновых изображений на основе вейвлетов / Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. 2010. № 1-1. С. 190–191.
6. Цуников А.Ю. Методы, алгоритмы и программные средства для аппаратно-программных комплексов специальной обработки данных зашумленных и искаженных ИК-изображений : дис. ... канд. техн. наук. М., 2015. 172 с.
7. Базовые эргономические требования и рекомендации URL: <http://www.professionalgroup.ru/resheniya/ispolzuemyie-texnologii/obshhie-ergonomicheskie-trebovaniya.html>
8. Терминология ГОСТ Р ИСО 9241-3-2003: Эргономические требования при выполнении офисных работ с использованием видео-дисплейных терминалов (ВДТ). Часть 3. Требования к визуальному отображению информации (оригинал документа)
9. Цуников А.Ю. Методы, алгоритмы и программные средства для аппаратно-программных комплексов специальной обработки данных зашумленных и искаженных ИК-изображений: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2015. 24 с.
10. Нефедов В.И., Егорова Е.В., Цуников А.Ю. [и др.] Особенности обработки тепловизионных изображений / Электромагнитные волны и электронные системы. 2015. № 4. URL: <http://www.radiotec.ru/catalog.php?cat=jr5&art=16513>
11. Терминология ГОСТ Р ИСО 9241-8-2007: Эргономические требования при выполнении офисных работ с использованием видео-дисплейных терминалов (ВДТ). Часть 8. Требования к отображаемым цветам. (оригинал документа)
12. ГОСТ Р ИСО 10075-2-2009. Эргономические принципы обеспечения адекватности умственной нагрузки. Часть 2. Принципы проектирования. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200075944>.

УДК 629.7

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ МАЛЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Красимир Шишманов, профессор, д-р

*Хозяйственная Академия «Д.А. Ценов», г. Свиштов, Болгария
Автор для переписки, e-mail: k.shishmanov@uni-svishtov.bg*

Развитие информационных систем малых предприятий, несмотря на все объективные трудности и сокращение бюджетов на ИТ-инфраструктуру, требует углубленного стратегического подхода. Он должен включать в себя анализ условий, оценки возможностей и точного выбора наиболее подходящих аппаратных и программных платформ. В свою очередь, эти платформы должны соответствовать современным тенденциям и обеспечивать гибкую настройку в соответствии с конкретными индивидуальными требованиями.

Реконструкцию существующих и создание современных интегрированных информационных систем не следует рассматривать как единый акт, а как долгосрочный в перспективе, хорошо продуманный и спланированный процесс.

Ключевые слова: информационные технологии, информационные системы, ERP, CRM, BI, облачные вычисления, системная интеграция, реинжиниринг.

FEATURES IN THE DEVELOPMENT OF INFORMATION SYSTEMS TO SMALL BUSINESSES

Krassimir Shishmanov

*Tsenov Academy of Economics, Svishtov, Bulgaria
@Corresponding author e-mail: k.shishmanov@uni-svishtov.bg*

The development of information systems for small enterprises despite the objective difficulties and reduced budgets for IT infrastructure requires an in-depth strategic approach. It should include an analysis of the conditions, assessment of the opportunities and a precise selection of the most appropriate hardware and software platforms. They, in turn, must comply with the current trends and allow for a flexible adjustment according to the specific individual requirements.

The renovation of the existing information systems and the development of modern integrated ones should not be perceived as a single act, but as a long-term, premediated and planned process.

Keywords: information technology, information systems, ERP, CRM, BI, cloud computing, system integration, reengineering.

Развитие информационных технологий (ИТ) естественным образом привело к их использованию в различных формах на малых предприятиях. На большинстве предприятий упрочилось понимание того, что наличие ИТ-инфраструктуры и внедрение современных информационных систем составляет важный компонент управления. Более того, многие из руководителей считают, что рациональное применение ИТ является основным средством повышения конкурентоспособности и устойчивости их бизнеса [1].

В результате информатизации малого бизнеса в настоящее время большинство малых предприятий располагают автономными решениями для отдельных видов деятельности или самостоятельно функционирующими программными продуктами, которые чаще всего используют локальные или частично интегрированные базы данных без их интеграции в предварительно спланированную и разработанную информационную систему (ИС). Серьезная проблема заключается в том, что у преобладающей части малых предприятий нет стратегического взгляда на развитие своей информационной структуры в перспективе. Зачастую это объясняется тем, что в усложнившейся экономической ситуации внимание менеджеров в основном сосредоточено на проблемах текущего управления и непосредственных финансовых результатах. Кроме того, в силу ограниченности ресурсов малые предприятия не могут позволить себе поддержку специализированного звена или специалистов, которые непосредственно заняты информационной деятельностью. Следовательно, основными направлениями информационной деятельности является проведение отдельных мероприятий, связанных с автоматизацией производства, бухгалтерского учета и т.д., реализация которых ведет к временным решениям с краткосрочным эффектом от их применения.

Чтобы преодолеть создавшуюся ситуацию, необходимо разработать стратегию, включающую углубленный анализ условий (внутренних и внешних), и направить усилия на оценку современных технологических возможностей, которые предлагают различные варианты решений. Самое важное заключается в создании современной и эффективно функционирующей информационной системы как одного из стратегических приоритетов будущего развития (рисунок).

Начиная с анализа актуального состояния, следует указать, что последние годы прошли в условиях серьезного экономического кризиса, который неизбежно создает неблагоприятную обстановку для принятия решений относительно создания информационных систем на малых предприятиях. Весьма значимым фактором является высокая скорость происходящих технологических перемен, в результате чего многие из внутренних информационных и управленческих систем, созданных и поддерживаемых в предыдущие годы, быстро морально устаревают и неэффективны в использовании.

Основная причина констатируемой негативной тенденции кроется в отсутствии целостного проектирования и стремления к интегрированию процессов, протекающих на малых предприятиях. Это порождает несогласованность данных между отдельными функциональными модулями и усложнение связи между ними. Установка несовместимых пакетов и наличие унаследованных систем часто блокируют возможности оперативного внесения изменений и улучшений. Большинство систем создавалось случайно и расширялось с единственной целью проведения обработки информации, облегчавшей труд служащих. Правильное проектирование и постановка долгосрочных задач в области информационного обеспечения постоянно отодвигались на второй план в интересах решения, как представлялось, более важных текущих задач.

Очевидно, что создание и развитие ИС на малом предприятии зависит, прежде всего, от ответа на каждый из трех основных вопросов:

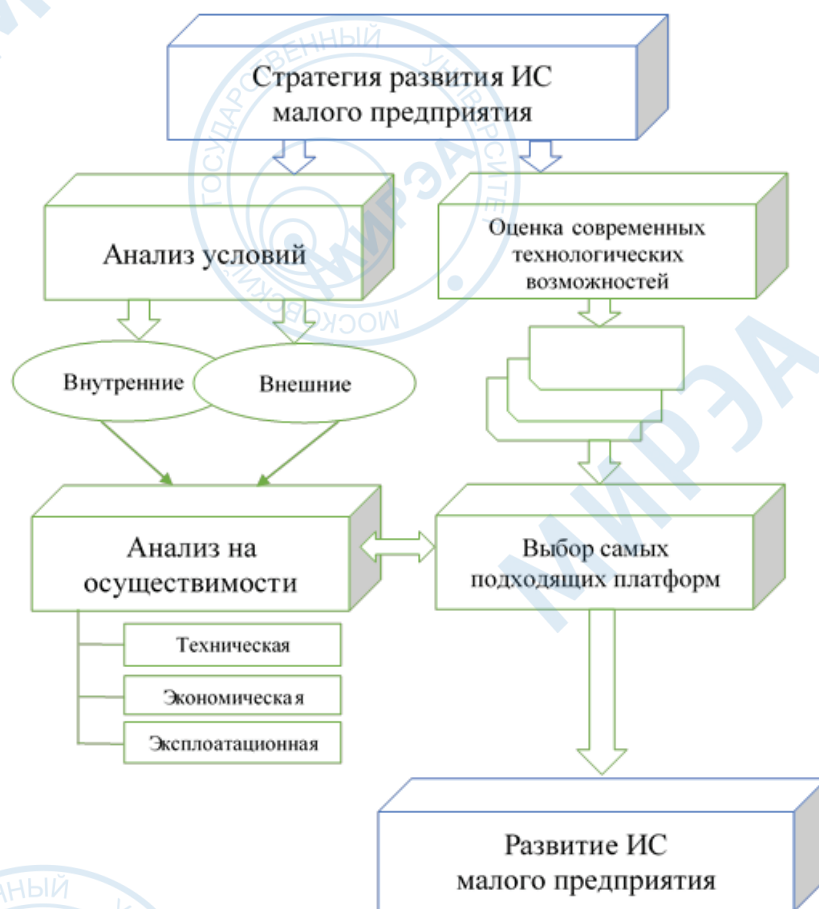


Схема стратегии развития ИС малого предприятия.

1. Каково состояние и перспективы предприятия?
2. Каковы финансовые возможности создания современной информационной системы?
3. Каковы потенциальные возможности ресурсов, которыми предприятие располагает:
 - техническое обеспечение и возможности его обновления и модернизации;
 - современное прикладное программное обеспечение;
 - специалисты и обученные кадры для работы в новой информационной среде.

Ответ на каждый из поставленных вопросов неоднозначен и зависит от множества факторов, наиболее важными из которых являются следующие:

- наличие подходящих условий развития предприятия;
- настрой персонала и руководителей;
- разработанная стратегия развития информационной системы.

В современных условиях при наличии новых технологических решений (ERP – системы планирования ресурсов, BI – системы бизнес-интеллекта и т.д.), с учетом возможности использования web-базированных приложений, современных средств управления отношениями с клиентами (CRM) и т.д. логично поставить вопрос: насколько актуальными являются имеющиеся у малых предприятий информационные системы, каковы возможности интеграции различных приложений и в целом – как повысить эффективность их использования.

Следующий очень важный момент состоит в том, что обновление существующих

систем и создание современной интегрированной системы не следует рассматривать как однократный акт, а как долгосрочный, хорошо продуманный и спланированный процесс. Кроме того, переход предприятия к новым средствам обработки информации, автоматизация управления развиваются эволюционно и значительно более медленными темпами по сравнению с автоматизацией технологических или производственных процессов.

Необходимо подчеркнуть, что при создании современной информационной системы не следует прибегать к механической замене, внедряя новые технические средства и современные программные решения, а постепенно формировать единый механизм автоматизации управления, в котором рационально должны сочетаться и новые элементы, и традиционные, проверенные практикой.

Первые шаги в этом направлении следует искать в процессах и секторах, где интеграция естественным образом расширяет и дополняет уже созданные информационные системы управления предприятием. Однако гораздо рациональнее и значимее, если у предприятия есть технологические и финансовые возможности перехода целиком на новую платформу и, таким образом, достижения более эффективной организации управления, открывающей новые возможности для развития бизнеса. К сожалению, это решение, наиболее верное в настоящей экономической ситуации, является трудно осуществимым, и большинство предприятий ограничивается усовершенствованием своих систем, преследуя цель овладеть возрастающей сложностью только отдельных компонентов бизнеса и тем самым оптимизировать расходы.

Каждое предприятие малого бизнеса имеет определенную специфику не только в своей производственной деятельности, но и во внутренней системе управления. По этой причине не всегда готовые программные бизнес-приложения служат необходимым решением. Обычно разработчики предлагают специализированные возможности доработки, но их адаптация реально осуществляется трудно и не всегда успешно.

Важно подчеркнуть, что если ранее специалисты по информационным технологиям уделяли внимание, в первую очередь, функциональным возможностям систем, то на данном этапе на передний план выходят перспективы развития интегрированных информационных технологий и использование их потенциала в целях влияния на управленческие процессы. Необходимо учитывать факт, что в настоящий момент у предприятий нет возможности инвестировать в целостные решения. Более реалистично усовершенствовать информационные системы на основе интеграции отдельных технологических приложений (ERP, CRM, облачные вычисления и т.д.). Поэтому необходимо определить, какие технологии и подходы являются подходящими для реализации, каковы наиболее важные тенденции в области ИТ, позволяющие максимально использовать потенциал ИС с целью обеспечения более высокой степени управляемости предприятием и эффективности его функционирования в настоящей экономической ситуации.

Практическая реализация поставленной задачи оптимизации ИС проходит в два этапа. Первый этап связан с адекватным и гармоничным выбором технических средств и программных приложений, отвечающих возможностям предприятия, второй – с нахождением «технологических мостов», объединяющих отдельные программные приложения в единую информационно-аналитическую среду.

Выбор технического и программного обеспечения в последние годы претерпел серьезные изменения, обусловленные высокими достижениями в области виртуализации и предложения облачных услуг. Для многих предприятий малого бизнеса покупка и поддержка собственных серверов и другого технического оборудования являются не-

целесообразными и неэффективными в ценовом отношении. В этом случае применение облачных услуг в общей среде представляет собой хорошее решение. Существует возможность расположения в рамках одного облака различных сред, которые обеспечат технологические нужды различных приложений, а в целом – эта среда может быть легко настроена и изменена по отношению к нагрузке. Так как софт может использоваться посредством браузера и web-среды, появляется возможность обработки данных в форме облачных вычислений.

По данным исследования вопросов информатизации на малых предприятиях, 62% из наиболее часто и широко используемых предприятиями малого бизнеса программных решений представлены облачными технологиями (SaaS), которые используются в рамках схемы получения услуг по подписке. Для малых предприятий основное достоинство SaaS заключается в возможности многократно сократить расходы на программное обеспечение [2]. Кроме того, внедрение SaaS в сфере управления малым предприятием дает следующие преимущества:

- отпадает большая часть расходов на ИТ;
- уменьшается риск, связанный с приобретением нового программного обеспечения;
- постоянно осуществляются актуализации и улучшается качество услуг, что уже перестает быть источником для беспокойств со стороны потребителей;
- устанавливаются прочные отношения с поставщиком услуг;
- есть возможность изменить компьютерные программы, если изменяются бизнес-обстоятельства;
- появляется возможность точно предусматривать текущие расходы, когда ИТ-бюджет предварительно известен. Обычно поставщики услуг калькулируют расходы за час, что исключительно удобно, особенно, когда нужды предприятия в ресурсах представляют собой временную нагрузку.

Анализ результатов проведенного исследования состояния информационных систем на болгарских предприятиях показывает [3], что преобладающая часть из них (82.1%) предпринимает попытки использовать компьютерные системы для непосредственного обслуживания нужд бизнеса. Однако эти попытки связаны преимущественно с созданием отдельных программ или групп программ, не интегрированных друг с другом и обеспечивающих быструю обработку в основном финансово-учетных данных. Вопреки своему значительному развитию в течение ряда лет, они все еще носят отпечаток продуктов, созданных, чтобы обслуживать оперативную работу в конкретной деятельности, не связанных с другими приложениями и не генерирующих прямую информацию для нужд управления предприятиями.

Такие прикладные продукты с течением времени создаются и для других видов деятельности, каковыми являются: управление производством – 17.9%; CAD/CAM – 10.3%; управление персоналом – 69.2%; управление документацией – 20.5% и др. Подобные продукты представляют собой отдельные модули чаще всего без связи друг с другом. Существуют случаи, когда они интегрированы через специальные интерфейсы, чтобы покрыть больше видов деятельности, но не могут сформировать целостную интегрированную управленческую информационную систему.

Основная идея при разработке интегрированных приложений – активно способствовать деятельности по управлению бизнесом. Интегрирование отдельных приложений преследует цель уменьшить ручной труд и сократить количество ошибок при неавтоматизированной передаче данных из одного приложения в другое. Чаще всего интеграция

и повышение функциональности продуктов выражаются в двух направлениях: развитие учетных модулей и развитие производственных модулей. По существу, это отражает взаимосвязь между производством и комплексом видов деятельности, связанных с приемом заявок клиентов, с планированием материалов и человеческих ресурсов, с планированием мощностей возможностей производства и снабжения сырьем и материалами.

Серьезным препятствием в распространении такого типа систем является их высокая цена, которая недоступна для большинства малых предприятий. У них нет ресурсов и масштаба, чтобы осуществлять крупные инвестиции.

Чтобы получить желаемые результаты, необходима интеграция в рамках информационной системы данных и процессов, а также требований к информационному обеспечению предприятий и их структурных подразделений. Указанная деятельность, в свою очередь, требует специалистов с определенными профессиональными знаниями и умениями. К сожалению, большинство предприятий испытывают трудности при подборе подходящих людей – как специалистов, которые должны реализовать внедрение и обслуживание информационных систем, так и менеджеров, имеющих образование и эрудицию и знающих возможности и альтернативы управленческих решений, которые предлагают системы.

Предприятия все яснее понимают, что информационные системы требуют намного большего от самого внедрения соответствующей технологии. Необходим углубленный стратегический подход к их созданию, который касается как технических и технологических решений, так и специалистов, управляющих процессами.

Реальная ситуация в Болгарии показывает, что для большей части болгарских предприятий поддержка ИТ-специалистов является слабо приоритетной и едва ли не ненужной при альтернативе использования внешних услуг. Острая необходимость в них ощущается только в моменты наступления критических событий или при возникновении каких-то специфических информационных потребностей. Это одна из негативных тенденций, потому что ИТ-специалисты необходимы не только для поддержки информационных систем, но они являются именно теми людьми, которые знают новости и призваны отстаивать их внедрение перед руководством предприятия.

Четко вырисовывается тенденция, что определяющей предпосылкой для успешной деятельности предприятия становится наличие хорошо обученных, творчески ориентированных и ответственных специалистов. Поэтому предприятия заинтересованы финансировать подготовку и профессиональную специализацию своих служащих согласно современным образовательным технологиям и нововведениям. Важным вкладом в реализацию концепции непрерывного повышения квалификации персонала является понимание того, что эти вложения необходимо воспринимать не только как производственные расходы, а, прежде всего, как инвестиции, имеющие стратегическое значение.

Наряду с этим следует иметь в виду, что в связи со сложной экономической ситуацией у предприятий нет достаточных средств на финансирование специализированной подготовки кадров. Дополнительное затруднение представляют и продолжительный период окупаемости произведенных вложений, и риск возможной «утечки» квалифицированного персонала к конкурентным структурам. Все это в значительной степени определяет отсутствие устойчивого интереса и мотивации для привлечения и формирования высококвалифицированных специалистов.

При разработке оптимальной стратегии создания ИС необходимо учитывать как текущее состояние – потребность в информации и способах ее автоматизированной обработ-

ки, так и развитие в будущем – возможность постоянного изменения и усовершенствования, поскольку в большинстве случаев наличная техника или созданная организация обработки информации является существенным фактором в разработке концепций будущего развития. Вот почему от того, насколько наличная и функционирующая ИС гибка и открыта (т.е. допускает возможности расширения и усовершенствования), зависят быстрое и беспроблемное внедрение новых информационных технологий и переход к новому, более современному и совершенному управлению предприятием.

Литература:

1. Gartner, Forbes, журнал. СІО, сентябрь 2012 г., стр. 4.
2. Curt Finch, The Benefits Of The Software-as-a-Service Model, 2005.
3. Проект № 17/2012 «Возможности за усъвършенстване на корпоративните информационни системи посредством аналитични системи и технологии» / към ИНИ, Свищов.

УДК 621.39.93

**СПУТНИКОВАЯ СИСТЕМА РАДИОСВЯЗИ
ДЛЯ РЕСПУБЛИКИ КУБА**

В.И. Каганов[@], д.т. н., профессор

Э.Р. Пенья, студент магистратуры (Республика Куба)

Московский технологический университет (МИРЭА), Москва, 119454 Россия

[@]Автор для переписки, e-mail: Kaganovwil@yandex.ru

Рассмотрены принципы построения спутниковой системы радиосвязи, позволяющей обеспечить передачу информации сети «Интернет» в любой район на территории Куба. Приведены результаты расчета линии радиосвязи: геостационарный спутник – наземный абонент, использующий для приема информации обычный смартфон. Рассчитаны параметры синфазной антенной решетки, размещаемой на спутнике.

Ключевые слова: геостационарный спутник, радиосвязь, антенная решетка.

SATELLITE RADIO SYSTEM FOR THE REPUBLIC OF CUBA

W.I. Kaganov[@],

E.P. Pena

Moscow Technological University (MIREA), Moscow, 119454 Russia

[@]Corresponding author e-mail: Kaganovwil@yandex.ru

Principles of satellite radio communications system for providing network information "Internet" in any part of the territory of Cuba are discussed. The results of calculation of radio link: a geostationary satellite – ground subscriber with conventional smartphone are discussed. Options phase array antenna placed on a satellite are calculated.

Keywords: geostationary satellite, radio, antenna array.

В республике Куба имеются районы, не охваченные сотовой радиосвязью и информационной системой «Интернет». Для полной информатизации всей страны необходимо построить определенное количество базовых радиостанций, что требует значительных финансовых затрат. В этой связи представляется целесообразным рассмотреть иной вариант решения данной проблемы с использованием одного спутника, выведенного на геостационарную орбиту.

Идея, положенная в основу данной работы, состоит в выведении на геостационарную орбиту, отстоящую от Земли на расстоянии в 36 тыс. км, одного спутника, который заменит большое количество недостающих наземных базовых радиостанций.

Рассмотрим более подробно предлагаемое техническое решение и определим параметры аппаратуры для ее реализации.

В целом структура системы включает: наземный центральный пункт управления с параболической антенной, направленной в сторону спутника, сам спутник с ретранслятором и тысячи абонентов со смартфонами (рис. 1).

Исходными данными для расчета проектируемой системы спутниковой радиосвязи являются:

- диаграмма направленности антенны спутника, которая должна обеспечить радиосвязь на всей территории острова длиной 1250 км и шириной до 210 км;
- уровень сигнала на всей территории острова площадью 11 000 кв. км, который должен превышать чувствительность радиоприемника смартфона (рис. 1).

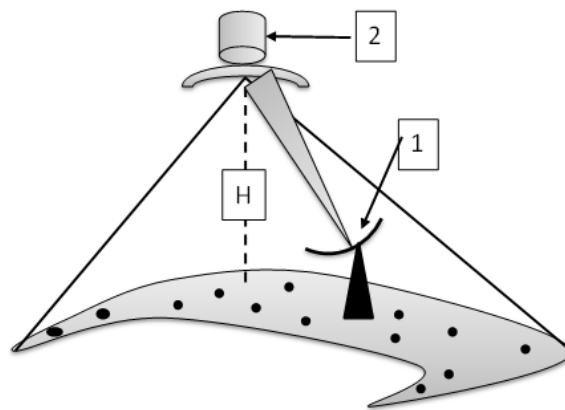


Рис. 1. Структура спутниковой системы: 1 – центральный пункт; 2 – геостационарный пункт; ● – абоненты со смартфонами.

Исходя из первого требования, определим телесный угол диаграммы направленности (рис. 2, здесь же приведены обозначения):

$$\Theta^{\circ} = 2 \operatorname{tg} \left(\frac{D}{2H} \right), \quad (1)$$

При $H = 36000$ км и $D = 1600$ км, согласно (1), получим приращение $\Delta\theta = 2.5^{\circ}$. Принимаем с запасом угол раскрыва антенны $\Delta\theta = 8.3^{\circ}$.

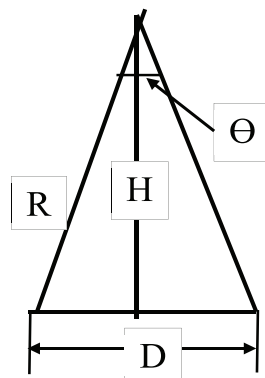


Рис. 2. Модель диаграммы направленности.

Спутниковая антенна может быть выполнена в виде фазированной антенной решетки (ФАР) с N излучателями в одной плоскости. Диаграмма направленности такой ФАР при $N = 12$, рассчитанная по формуле, приведенной в [1], представлена на рис. 3. Общее число излучателей ФАР при этом составит $N^2 = 144$.

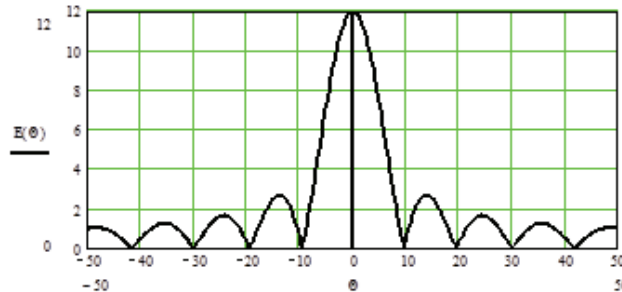


Рис. 3. Диаграмма направленности фазированной антенной решетки.

Согласно графику на рис. 3, данная ФАР по уровню 0.7 от максимального значения имеет требуемый угол раскрытия в одной плоскости $\Delta\theta = 8.3^\circ$, которому соответствует коэффициент усиления:

$$K_A = \frac{11000}{(\Theta^\circ)^2} = 160. \quad (2)$$

Определим требуемую мощность радиопередатчика спутникового ретранслятора [1]

$$P_A = \frac{4\pi R^2 K_A P_{\text{ПР}} S_{\text{ПР}} B_{\text{АТ}}}{\lambda^2}, \quad (3)$$

где $R = 36 \cdot 10^6$ км – расстояние спутник–Земля;

$K_A = 160$ – коэффициент усиления спутниковой антенны;

$P_{\text{ПР}} = 2 \cdot 10^{-14}$ Вт – чувствительность радиоприемника смартфона в 1 мкВ;

$S_{\text{ПР}} = 0.05$ м² – площадь приемной антенны;

$B_{\text{АТ}} = 1.25$ – коэффициент, определяющий потери мощности сигнала в атмосфере в 1 дБ;

$\lambda = 0.15$ м – длина волны сигнала, соответствующая частоте 2 ГГц.

Подставив приведенные значения параметров в (3), получим для требуемой мощности спутникового ретранслятора $P_A = 50$ Вт.

При выбранной выше антенне в виде фазированной антенной решетки с $N^2 = 144$ излучателями, к каждому из них следует подвести сигнал мощностью в 1 Вт. СВЧ-усилители такой мощности можно изготовить на основе арсенидгаллиевых полевых транзисторов или транзисторов типа «нитрид галлия на кремнии» (GaN-on-Si) [2]. При этом суммарная мощность, излучаемая антенной решеткой, составит за вычетом потерь 124 Вт, что обеспечит устойчивый прием информации, передаваемой со спутника по всей территории республики Куба и даже за ее пределами на расстоянии в 1000 км.

Обратим внимание, что, согласно выбранному варианту построения системы, обеспечивается только односторонняя связь с центрального пункта управления через гео-

стационарный спутник всем индивидуальным и коллективным пользователям, имеющим смартфон (рис. 1). Для двусторонней связи абонент должен иметь небольшой терминал с антенной диаметром в 1 м и передатчиком мощностью в 10 Вт.

Литература:

1. Каганов В.И. Радиотехника: от истоков до наших дней. М.: Форум, 2015. 352 с.
2. www.alldatasheet.com.NPT1012 Datasheet - M/A-COM Technology Solutions, Inc.

УДК 657.47

**МЕТОДОЛОГИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ
ПО ЦЕНТРАМ ЗАТРАТ (НА ПРИМЕРЕ ЗАВОДА
ПО ПРОИЗВОДСТВУ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ)**

И.Н. Черных, доцент

Московский технологический университет, Москва, 119454 Россия

@Автор для переписки, e-mail: innachernikh@mail.ru

В статье рассматриваются вопросы методологии управленческого контроля по центрам затрат в коммерческой организации. Актуальность данной проблемы в настоящее время обусловлена тем, что организация контроля по центрам затрат обеспечивает отражение, накопление, анализ и представление информации о затратах в отдельных подразделениях. Она необходима для оценки деятельности центров затрат, а также менеджеров. Изучена информационная база и определены субъекты и объекты управленческого контроля деятельности центров затрат, обозначены основные принципы управленческого контроля центров затрат и показана практическая возможность использования указанных принципов на примере завода по производству железобетонных изделий. Представлена принципиальная схема проведения комплексного управленческого контроля, включающая порядок осуществления предварительного, текущего и последующего контроля. Предложены методы управленческого контроля деятельности центров затрат, которые могут использовать ответственные лица подразделения. Особое внимание уделяется автоматизации управленческого учета и контроля по центрам затрат, которая может быть использована в организациях, производящих железобетонную продукцию.

Ключевые слова: управленческий учет, управленческий контроль, затраты, центр ответственности, центр затрат, принципы управленческого контроля, методы управленческого контроля, информационная база контроля.

**METHODOLOGY OF COST CENTER MANAGEMENT CONTROL
(THE CASE OF A PRECAST CONCRETE PLANT)**

I.N. Chernykh

Moscow Technological University, Moscow, 119454 Russia

@Corresponding author e-mail: innachernikh@mail.ru

The article deals with organizational aspects of management control of the cost centres on the example of a plant for the production of concrete products. In the study reviewed the organizational support of the system of management control by cost centers: the purpose of monitoring, the main objectives and elements of control (control environment, accounting system, control procedures). Presents information base, a list of objects and subjects of

management control by cost centers in the organization under study: depending on role in the monitoring process, the level of detail of the responsibilities and range of contacts. In addition to the selection of subjects of management control by cost centers in the work outlines the main principles of management control of the cost centres and the possibility of their use in these parts of the organization. The conduct of preliminary, current and subsequent control by cost centers has a positive impact on the formation of the economic impact, constituting one of the main purposes of the system of internal management control in the organization. The author offers the scheme of the integrated management control of the cost centers of the plant for production of concrete products. Analyzed software management management accounting and control by cost centers in the organization.

Keywords: management accounting, management control, cost, responsibility center, cost center, principles of management control methods, management control, data base control.

Одним из элементов управленческого учета является учет по центрам ответственности, представляющий систему сбора, отражения и обобщения информации о деятельности отдельных структурных подразделений организации. На базе информации по центрам ответственности организуется контроль и регулирование расходов организации. Важнейшим элементом системы контроля по центрам ответственности является контроль по центрам затрат, позволяющий связать деятельность каждого подразделения с ответственностью конкретных лиц (рабочих, бригадиров, мастеров, начальников участков и т.д.), оценить результаты каждого подразделения и определить его вклад в общие результаты деятельности организации [1]. На сегодняшний день перед многими организациями стоит задача рационального использования затрат, оптимизации их суммы и уровня для достижения предусмотренных объемов прибыли.

Необходимость решения данной задачи приводит организацию к децентрализации управления, делегированию части общих финансовых управленческих полномочий и ответственности на более низкие уровни управленческой структуры. Поэтому необходимо перестроить организационную структуру в виде совокупности центров затрат так, чтобы каждый нижний уровень управления был подотчетным верхнему, а совокупность линий ответственности представляла иерархическую структуру соподчинения. В современных условиях выделение центров затрат и организация контроля по ним в организациях позволят существенно повысить эффективность производственного учета, контроля и управления всей организации в целом. Для каждого центра затрат необходимо определить цель и задачи, в том числе и учетные: какая информация, с какой периодичностью, куда и кем должна предоставляться. Информация о затратах, формируемая по центрам затрат, позволит организовать их эффективное управление путем осуществления контроля за правильным расходованием сырья, материалов, заработной платы и другими затратами [2].

Отечественными учеными создан ряд трудов по проблемам организации контроля по центрам затрат. Однако при всей существенности и практической значимости имеющихся разработок следует отметить, что ряд теоретических и методических проблем контроля по центрам затрат не получил полного и системного отражения. В частности, недостаточно внимания уделяется исследованию управленческого контроля по центрам

затрат, нуждается в уточнении, корректировке и дополнительном обосновании информационная база контроля, недостаточно проработанными остаются содержательные положения отдельных элементов методики управленческого контроля по центрам затрат организации. Вышеперечисленные факторы свидетельствуют о необходимости проведения дальнейших исследований, направленных на решение теоретических и прикладных проблем контроля по центрам затрат в коммерческих организациях.

Для успешной деятельности организации, повышения уровня рентабельности, сохранения и преумножения ее активов необходим отлаженный механизм управления, важнейшим элементом которого выступает повседневный управленческий (внутренний) контроль [3]. Ученые по-разному трактуют содержание управленческого контроля.

Впервые управленческий контроль был определен Р. Энтони как процесс, с помощью которого менеджеры убеждаются в том, что ресурсы поступают и используются эффективно и результативно для достижения целей, поставленных перед организацией [4].

А. А. Радугин под управленческим контролем понимает наблюдение и регулирование разных видов деятельности организации с целью облегчения выполнения стоящих перед ней организационных задач [5]. Цель управленческого контроля он видит в том, чтобы определить, насколько хорошо выполняется план и где необходимо внести коррективы или применить регулирующие меры.

Анализируя различные подходы к определению понятия управленческого контроля, мы сформулировали точку зрения, согласно которой современный управленческий контроль необходимо рассматривать как фиксирование отклонений тех или иных показателей, анализ их причин и выявление возможных тенденций развития на всех уровнях управления организацией: на уровне организации в целом, на уровне отдельных подразделений, на уровне группы или отдельного работника [6]. Внутренний контроль по центрам затрат – одна из основных функций управления центрами затрат, представляющая собой систему постоянного наблюдения и проверки работы подразделений организации в целях обоснованности и эффективности принятых управленческих решений, выявления отклонений и неблагоприятных ситуаций, своевременного информирования ответственных лиц для принятия решений по устранению, снижению рисков и управления ими [7].

Основная цель контроля деятельности центров затрат, на наш взгляд, состоит в выявлении отклонений от сметы с отнесением их на ответственное лицо.

Задачами управленческого контроля по центрам затрат являются:

- соблюдение должностными лицами и другими работниками центра затрат установленных администрацией требований, правил и процедур: положений о подразделениях, должностных инструкций, правил поведения, исполнения приказов и распоряжений;
- предоставление информации о затратах и результатах центров затрат;
- обеспечение сохранности имущества центра затрат;
- выявление критериев и способов контроля деятельности центров затрат;
- рациональное и экономное использование всех видов ресурсов;
- выявление критериев и способов контроля деятельности центров затрат;
- улучшение финансово-экономических показателей деятельности центра затрат;
- сравнение плановых (сметных) величин затрат с фактически достигнутыми, выявление отклонений от сметы (выяснение причин расхождений) с отнесением их на ответственное лицо центра затрат [2].

Система управленческого контроля центров затрат организации включает в себя три основных элемента:

1. Среду контроля (информационная база, организационная структура, распределение полномочий и ответственности, управленческие методы контроля, работа с персоналом);
2. Учетную систему (совокупность процедур по сбору, регистрации, обработке и представлению данных о затратах центра, зависящую от состояния системы бухгалтерского учета);
3. Процедуры контроля (методы и правила, дающие уверенность в том, что цели контроля будут достигнуты) [9].

Таким образом, управленческий контроль по центрам затрат представляет собой систему отражения, накопления, анализа и представления информации о затратах. Он необходим для оценки деятельности отдельных менеджеров и подразделений.

Для контроля производственных затрат по центрам затрат могут быть использованы многочисленные и разнообразные источники данных, которые можно сгруппировать следующим образом: законодательные акты и нормативно-справочная документация, данные первичного, бухгалтерского, оперативного и статистического учета; плановые данные; нормативные данные; конструкторская и технологическая документация (табл. 1) [8].

Таблица 1. Информационная база контроля производственных затрат по центрам затрат

Группа данных	Составляющие элементы
Законодательные акты и нормативно-справочная документация	Федеральный Закон о бухгалтерском учете План счетов бухгалтерского учета финансово-хозяйственной деятельности и инструкции по его применению
Данные первичного, бухгалтерского, оперативного и статистического учета	Лимитно-заборные карты Требования на отпуск материалов Накладные на внутреннее перемещение материалов Отчеты об использовании материалов Ведомости учета расхода топлива и энергии Табели учета рабочего времени Ведомости учета выработки Отчеты о выпуске готовой продукции Акты о внутреннем браке Рекламации Оборотно-сальдовые ведомости по счетам 20, 23, 25, 26. Сводная ведомость затрат Аналитические данные по счетам учета (20, 23, 25, 26, 43) Управленческая отчетность по центрам затрат
Плановые данные	Плановые показатели организации
Нормативные данные	Нормативные карты прямых затрат на изделия по цехам Сборочные карты и спецификации
Конструкторская и технологическая документация	Карты пооперационного контроля качества изделий Карты технологического процесса производства изделий

Информационная база контроля производственных затрат весьма неоднородна и обширна. Сбор и обработка такого объема информации обычно производится без применения вычислительной техники и представляется чрезвычайно трудоемким процессом. Это является одной из причин того, что контроль проводится нерегулярно, в основном по данным за длительные промежутки времени. Однако в результате создания систем автоматизации управления организацией можно будет формировать единые универсальные

базы данных, используемые при нормировании, планировании, учете и контроле производственных затрат.

С целью создания методологии управленческого контроля по центрам затрат нами выполнен анализ и разработаны предложения по совершенствованию этой системы на одном из заводов по производству железобетонных изделий.

Центры затрат на рассматриваемом заводе по производству железобетонных изделий представлены основными и обслуживающими (вспомогательными) центрами затрат. Управленческий контроль деятельности центров затрат предложен нами на примере основных цехов завода по производству железобетонных изделий: формовочного, арматурного и бетоносмесительного.

Объектами контроля центров затрат являются производственные затраты подразделения или всей организации в целом. Для центров затрат завода по производству железобетонных изделий нами выделены основные объекты контроля, представленные затратами на производство железобетонных изделий, и контрольные точки данных объектов, в качестве которых будем признавать количественные и/или качественные показатели, характеризующие соответствие объекта тем или иным необходимым техническим требованиям и стандартам [9] (табл. 2).

Субъектами управленческого контроля центров затрат могут выступать как ответственные руководители (работники) центра затрат, так и специально созданные подразделения (например, служба внутреннего контроля). Для выделения перечня субъектов управленческого контроля по центрам затрат завода (табл. 3) нами предложены следующие характеристики:

- роль в процессе контроля;
- степень детализации ответственности;
- круг контактов [9].

Мы также предлагаем выделить основные этапы контроля производственных затрат по основным центрам затрат завода по производству железобетонных изделий. Первым этапом контроля производственных затрат по основным центрам затрат является контроль обобщающих показателей затрат, позволяющий оценить общую величину, динамику и структуру затрат. Контроль производственных затрат основных подразделений завода организован нами на примере цехов основного производства (формовочный цех, арматурный и бетоносмесительный), которые являются основными центрами затрат завода. Контроль общей величины, динамики и структуры производственных затрат предлагается проводить по смете затрат цехов основного производства, которая формируется на основе смет затрат основных подразделений (центров затрат), где, в свою очередь, учитываются сметы вспомогательных и обслуживающих цехов.

В результате контроля производственных затрат по основным цехам производства завода, а также в соответствии с размером и структурой выявленных резервов экономии и перерасхода затрат, можно будет сделать выводы о качестве контроля за производственными затратами в организации.

Помимо определения субъектов и объектов управленческого контроля по центрам затрат, можно сформулировать основные принципы управленческого контроля центров затрат:

Таблица 2. Основные объекты управленческого контроля центров затрат завода по производству железобетонных изделий

	Объекты контроля	Контрольные точки
Затраты на производство железобетонных изделий	Материальные затраты: - затраты на сырье и материалы; - затраты на теплоэнергию; - затраты на электроэнергию	Контроль технических требований, предъявляемых к сырью, материалам, полуфабрикатам Способ хранения, согласно ГОСТу и ТУ Входной контроль качества приобретенных для производства железобетонных изделий сырья, материалов, полуфабрикатов Соблюдение норм расходования материальных ресурсов при производстве изделий Соблюдение норм расхода электроэнергии, теплоэнергии, сжатого воздуха, воды, услуг канализации, услуг связи Распределение расходов на энергоресурсы между отдельными видами изделий
	Зарботная плата производственных рабочих	Начисление заработной платы в соответствии с нормами, расценками и тарифными ставками на оплату труда Отклонение от норм и непроизводительные расходы на оплату труда производственных рабочих Контроль правильности отнесения затрат на оплату труда на себестоимость конкретного вида железобетонных изделий
	Отчисления на социальные нужды	Контроль правильности отнесения отчислений на социальные нужды на себестоимость конкретного вида железобетонных изделий
	Затраты на амортизацию	Контроль правильности начисления амортизации основных средств и ее списания на затраты Распределение расходов на амортизацию на конкретный вид изделия
	Затраты на налоги	Контроль правильности уплаты налогов
	Прочие затраты	Правомерность отнесения затрат на эти статьи Распределение расходов между отдельными видами изделий

- 1) закрепление затрат в соответствии с функциями и производственными возможностями центра затрат;
- 2) выбор путей выполнения заданий;
- 3) учет и контроль деятельности центров затрат, сопоставление фактических затрат с плановыми и нормативными;
- 4) ответственность за упущения в деятельности;
- 5) экономическое стимулирование [9].

В табл. 4 нами показана практическая возможность использования данных принципов управленческого контроля в работе центров затрат завода по производству железобетонных изделий.

Анализируя данные табл. 4, можно сделать вывод, что в основных центрах затрат завода используются все вышеперечисленные принципы управленческого контроля по центрам затрат. Что касается обслуживающих центров затрат, то здесь выделены два принципа, которые не используются в некоторых подразделениях организации. Так, пла-

Таблица 3. Субъекты управленческого контроля по центрам затрат завода по производству железобетонных изделий

Типы субъектов контроля	Ответственное лицо	Объем охвата объектов процессом контроля	Круг контактов
1. Формовочный цех	Начальник цеха	В части своей ответственности	Руководители и ответственные исполнители
2. Арматурный цех	Начальник цеха	В части своей ответственности	Руководители и ответственные исполнители
3. Бетоносмесительный цех	Начальник цеха	В части своей ответственности	Руководители и ответственные исполнители
4. Производственно-технический отдел	Начальник цеха	Полный	Руководители и ответственные исполнители
5. Отдел снабжения	Начальник цеха	Полный	Руководители и ответственные исполнители
6. Отдел сбыта	Начальник цеха	В части своей ответственности	В части необходимых для решения задач
7. Транспортный цех со складом готовой продукции	Заведующий складом	В части своей ответственности	Руководители и ответственные исполнители
8. Планово-экономический отдел	Начальник отдела, ведущий экономист	Полный	Полный
9. Отдел организации труда и заработной платы	Начальник отдела	В части своей ответственности	В части необходимых для решения задач
10. Финансовый отдел	Начальник отдела	В части своей ответственности	В части необходимых для решения задач
11. Конструкторско-технологический отдел	Начальник отдела	В части своей ответственности	Руководители и ответственные исполнители
12. Отдел главного механика	Главный механик	В части своей ответственности	Руководители и ответственные исполнители
13. Отдел главного энергетика	Главный энергетик	В части своей ответственности	Руководители и ответственные исполнители
14. Административно-хозяйственный отдел	Начальник отдела	Полный	Руководители и ответственные исполнители
15. Охрана	Начальник службы охраны	В части своей ответственности	Руководители и ответственные исполнители
16. Бухгалтерия	Главный бухгалтер	В части своей ответственности	Руководители и ответственные исполнители
17. Отдел кадров	Начальник отдела	В части своей ответственности	В части необходимых для решения задач

ново-экономический отдел (ЦЗ № 8), отдел организации труда и заработной платы (ЦЗ № 9), финансовый отдел (ЦЗ № 10), административно-хозяйственный отдел (ЦЗ № 14), охрана (ЦЗ № 15), бухгалтерия (ЦЗ № 16), отдел кадров (ЦЗ № 17) не используют второй и третий принципы, представленные в табл. 4.

В каждом центре затрат организации должны быть разработаны и утверждены стандарты, инструкции и положения для каждого субъекта контроля, которых указаны области полномочий и ответственности, установлен круг обязанностей, описаны необходимые контрольные процедуры. В них также должны быть раскрыты вопросы, касающиеся целей, задач и предметов контроля, проводимого конкретным субъектом, порядок его осуществления, формы представления отчетов о результатах работы.

Таблица 4. Возможность использования принципов управленческого контроля в работе центров затрат завода по производству железобетонных изделий

Принципы управленческого контроля центров затрат	Центры затрат																
	Номера основных центров затрат							Номера обслуживающих центров затрат									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Закрепление затрат в соответствии с функциями и производственными возможностями центра затрат	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Выбор путей выполнения заданий	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-
Учет и контроль деятельности центров затрат, сопоставление фактических затрат с плановыми и нормативными	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-
Ответственность за упущения в деятельности	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Экономическое стимулирование	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Ведение предварительного, текущего и последующего контроля по центрам затрат позитивно сказывается на формировании экономических результатов, составляющих одну из основных целей системы внутреннего управленческого контроля в организации [10]. Нами предлагается принципиальная схема проведения комплексного управленческого контроля центров затрат, представленная на рисунке.

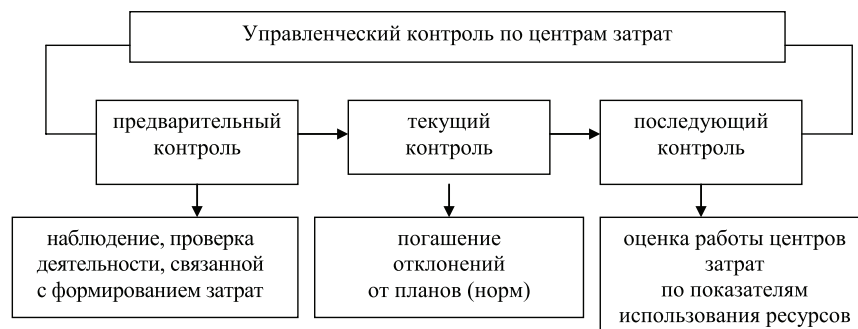


Схема проведения комплексного управленческого контроля по центрам затрат [9].

Важную роль играет предварительный контроль, который позволяет предотвратить незаконные и экономически нецелесообразные операции и тем самым повысить вероятность получения необходимых количественных и качественных результатов. Он осуществляется в основном экономическими и функциональными подразделениями в процессе наблюдения и проверок деятельности, связанной с формированием затрат, и носит периодический, выборочный характер.

В процессе текущего контроля удается либо совсем погасить возникшие отклонения от планов, норм, нормативов, отрицательно влияющих на промежуточные и конечные

результаты, либо снизить их величину и, таким образом, ослабить действие этого фактора. Такой контроль затрат должен быть приближен к местам формирования затрат.

Наконец, с помощью последующего контроля достигается оценка работы центров затрат по показателям использования ресурсов. Такой контроль способствует устранению различного рода недостатков, связанных с несвоевременным доведением до центров затрат плановых заданий, необоснованной корректировкой планов, формальной оценкой работы подразделений, действием устаревших условий стимулирования работников и т. д.

Для управленческого контроля деятельности центров затрат мы применяли следующие методы, которые могут использовать ответственные лица подразделения:

- документальный контроль:
 - экономический анализ работы центра затрат, который позволяет выявить положительные и отрицательные стороны деятельности центра, т.е. установить, по каким именно калькуляционным статьям или экономическим элементам затрат произошли значительные колебания по периодам, а также изучить показатели, характеризующие непроизводительные расходы, потери, растраты, недостачи и хищения, потери от брака и простоев и т. д.;
 - технико-экономические расчеты, позволяющие определить обоснованность норм расходования затрат;
 - нормативная проверка, которая применяется для выявления отклонений фактических затрат от плановых или нормативных;
 - формальная проверка, посредством которой устанавливается наличие правильно и неправильно заполненных документов;
- 2) фактический контроль:
- проверка реализуемых операций центра затрат;
 - обследование на месте проверяемой операции центра затрат;
 - проверка исполнения принятых решений [11].

В основе контроля деятельности центров затрат лежит применение критерия контролируемости, что означает включение в зону ответственности менеджера конкретного центра только тех участков, на которые он может реально влиять.

Критерий контролируемости обеспечивают либо путем устранения из отчета центра затрат неконтролируемых статей и уточнения сферы, за которую отвечает менеджер, либо вычислением влияния неконтролируемых участков, чтобы показать в отчетах разницу между контролируемыми и неконтролируемыми статьями.

На практике применение критерия контролируемости осуществлять трудно, поскольку многие области не могут быть строго подразделены на контролируемые и неконтролируемые участки. Они, как правило, являются частично контролируемыми. Например, даже тогда, когда на результат способны повлиять события, лежащие вне пределов контроля менеджера – действия конкурентов, изменение цены, нехватка поставляемых материалов – менеджеры могут предпринять некоторые действия, чтобы снизить негативное влияние указанных и им подобных факторов. Они могут, например, заменить недостающий материал другим, если цена на первоначально применявшийся материал очень сильно повысится, или могут отслеживать действия конкурентов и своевременно на них реагировать. Если подобные факторы строго отнести к категории неконтролируемых, то менеджеры могут вообще не стараться как-то реагировать на них и тем самым хотя бы

косвенно влиять. Еще одна проблема связана с тем, что когда какой-то фактор действительно является полностью неконтролируемым, его влияние на конечные результаты деятельности трудно выделить и измерить.

Таким образом, определение контролируемых статей – ключевая задача при внедрении в организации системы контроля по центрам затрат.

Качество работы центров затрат в системе управленческого контроля оценивается в основном такими показателями, как результативность и эффективность.

Результативность – это степень достижения центром затрат поставленной цели. Как правило, она характеризуется качественными показателями: насколько хорошо выполняет свою работу центр затрат, в какой мере ему удастся добиться желаемых результатов, насколько эти результаты соответствуют целям всей организации.

Под эффективной деятельностью понимается выполнение заданного объема работ при минимальном использовании производственных ресурсов либо максимальное выполнение объема работ при заданном размере ресурсов. Эффективным будет признано то подразделение, которое выпускает больший объем продукции с наименьшими затратами. Если результаты деятельности центра затрат не отвечают интересам организации, его деятельность нерезультативна (но может быть при этом эффективной) [12].

Эффективность работы центров затрат может измеряться различными способами, выбор которых зависит:

- от задачи поддержания эффективности деятельности всей организации;
- сложившегося разделения задач между подразделениями.

При определении количества показателей для центра затрат часто возникает конфликт интересов между руководством организации и руководителем центра затрат. Руководитель центра затрат, как правило, заинтересован в минимизации количества показателей, а с точки зрения организации – зачастую необходима более детальная оценка. Кроме того, к минимизации количества показателей толкает и требование минимизации расходов на учетно-экономическую деятельность. В результате формулируется принцип минимально необходимого и достаточного для оценки центра затрат количества показателей.

Для оценки деятельности центров затрат можно выделить еще две группы показателей, которые позволяют обеспечить руководителя подразделения (организации) информацией об эффективности работы центра затрат:

- группа финансовых показателей, характеризующих результаты деятельности центра затрат (например, величины затрат по отдельным статьям);
- группа преимущественно нефинансовых показателей, которые необходимо передать центрам затрат для контроля за работой подразделения (качество закупаемых материалов, уровень квалификации персонала и т. д.) [13].

С точки зрения контроля за величиной и экономичностью затрат подразделений внутри организации различают метод бюджетирования затрат и метод сопоставления затрат и производительности.

В первом случае для каждого места возникновения затрат или центра затрат составляют бюджет (смету) затрат и по данным учета их фактической величины контролируют его соблюдение. Смета является главным инструментом управленческого контроля, позволяющим контролировать деятельность центра затрат. Это формализованный письменный регистр, содержащий плановые стоимостные (иногда употребляют термин «финан-

совые») показатели. В отличие от смет планы (как более общее понятие) могут включать в себя информацию, непосредственно не выражаемую в денежных единицах: например, стратегические планы высшего управления относительно стремления завоевать или удержать долю рынка, повысить качество продукции, освоить новую технологию или новый вид продукции, вести фундаментальные исследования, повысить конкурентоспособность товаров. Таким образом, под сметой подразумевается внутрифирменный финансовый план.

Смета для центра затрат должна содержать информацию об ожидаемых затратах, основанную на планах управления и концепции контролируемых затрат. Сметы, разрабатываемые для центров затрат, иногда называют сметами учета по ответственности. Чтобы обеспечить внутри организации кооперацию (взаимодействие) менеджеров различных уровней и направлений деятельности и быть уверенными в обоснованности отраженных в смете целей, необходимо каждого менеджера активно вовлекать в подготовку сметы его подразделения.

Широкое распространение получили гибкие сметы, позволяющие пересчитывать ожидаемые затраты на фактический объем производства. Суть пересчета заключается в четком разделении всех учитываемых статей затрат на переменные (то есть прямо пропорциональные динамике объемных показателей) и постоянные, а также в корректировке ожидаемых переменных затрат на коэффициент фактического изменения объема производства. Это позволяет исключить неконтролируемое изменение затрат, поскольку объем производства не контролируется центрами затрат. Результат процедуры управленческого учета, в ходе которой фактические результаты сравниваются с запланированными величинами, называется отчетом об исполнении сметы. Отклонения между сметой и фактической величиной характеризуют изменение уровня затрат соответствующего места и центра по сравнению с нормативами, на основе которых проводился сметный расчет.

Сопоставляя затраты и производительность (объемы производства продукции, полуфабрикатов, работ, услуг) в разрезе каждого подразделения организации выявляют отклонения, вызванные изменением величины производительности или степени загрузки производственных мощностей и уровня затрат центра. Методика расчета и анализа отклонений зависит от применяемого варианта нормативного учета фактических затрат, то есть от того, ведется ли он по полной или сокращенной себестоимости. Первый метод приемлем для центров затрат, не имеющих четко определенного измерителя объема деятельности (отделы заводоуправления, рекламная деятельность, здравпункт, столовая и другие социальные службы); второй – используется, главным образом, в производственных подразделениях, деятельность которых может быть измерена в натуральных или стоимостных единицах [14].

Руководство не может непосредственно контролировать товар или затраты на его производство, оно лишь влияет на действия людей, ответственных за возникновение этих затрат. При оценке центра затрат необходимо найти справедливую базу оценки работы его руководства. Наличие технических средств учета и контроля затрат в организации оказывают существенное влияние на проведение оценки, анализа и контроля деятельности центров затрат. Контроль деятельности центров затрат необходимо строить не только на совершенствовании «бумажного» учета, но и на основе инженерного обеспечения, то есть данных технических средств.

Таким образом, система управленческого контроля по центрам затрат – это совокупность механизмов планирования, учета, экономического анализа и воздействия, направленная на контроль деятельности структурных подразделений организации (центров затрат) и в результате – повышение эффективности деятельности организации в целом.

Функционирование предложенной системы управленческого контроля по центрам затрат позволяет реализовать в организации следующие функции:

- увеличить количество и уровни самоорганизации менеджеров подразделений;
- предоставить руководству организации дополнительные функции управления и организации эффективной обратной связи;
- повысить объективную оценку деятельности каждого центра затрат;
- реализовать функции информационного обеспечения управления организацией.

Правильное построение управленческого учета и проведение контроля по центрам затрат помогает получить полное представление о положении дел на предприятии в разрезе прошлого, настоящего и прогнозируемого будущего. Чтобы собрать в единую базу, должным образом интерпретировать и проанализировать все данные, необходимые для принятия управленческих решений, нужна система автоматизации.

В настоящее время можно выделить пять групп программ, которые позволяют автоматизировать управленческий учет по центрам затрат и формировать управленческую отчетность (табл. 5):

1. Электронные таблицы (Excel, Lotus и т. д.).
2. Программы бухгалтерского учета с возможностью ведения в них управленческого учета («1С: Управляющий 8. Стандарт», «1С: Управление торговлей 8», «1С: Управляющий 8 ПРОФ» «1С: Консолидация 8», «1С: Управление производственным предприятием 8»).
3. Программы, написанные собственными силами (макросы в Excel, SQL Server и т. д.).
4. Профильные программы для управленческого учета.
5. ERP-системы, в рамках которых используется блок по ведению управленческого учета.

Как правило, предприятие начинает вести учет по центрам затрат и формировать различные виды отчетов в Excel. Этот выбор обусловлен широким распространением данной программы, достаточно большим набором инструментов и функций для построения отчетов.

С ростом предприятия появляется необходимость в более сложной системе учета, в которой участвует большое количество людей. Старая система перестает уже удовлетворять требованиям предприятия, так как резко возрастает количество финансовых операций, и не представляется возможным оперативно получать необходимые отчеты. В результате организации пытаются совместить данные бухгалтерского учета с управленческим. В этом случае преследуется главная цель – разгрузить финансовых менеджеров и возложить часть работы по формированию финансовой отчетности на бухгалтеров. Однако при этом обычно появляются дополнительные проблемы по обслуживанию и поддержанию системы в рабочем состоянии. Конечно же, управленческий учет наиболее удобно вести с помощью того же программного обеспечения, что и бухгалтерский. Версии отечественных бухгалтерских систем, используемые большинством российских хозяйствующих субъектов, обладают такими возможностями.

Таким образом, три уровня аналитики, предусмотренные одним из популярных программных комплексов, в сочетании с многоуровневыми справочниками позволяют по-

Таблица 5. Программное обеспечение ведения управленческого учета по центрам затрат

Вид программного продукта	Положительные стороны при применении	Отрицательные стороны при применении
Электронные таблицы Excel	Не требует затрат на приобретение ПО (входит в пакет программ Microsoft Office), нет необходимости в обучении персонала работе на данном ПО, широкие возможности форматирования отчетов.	Большая вероятность появления в расчетах ошибок, произвольного удаления данных. «Полуавтоматизированный» режим работы. Заложённая архитектура в файлах Excel не позволяет получать отчеты за любой период времени.
Программы бухгалтерского учета, совмещающие в себе функции по ведению управленческого учета по центрам затрат	При удачной настройке позволяет сэкономить достаточно много времени на ввод операций, так как данные, внесенные бухгалтером, попадают и в управленческую отчетность.	Несовместимость бухгалтерских данных с данными управленческой отчетности. Сложность во внедрении данной системы и техническом сопровождении. Большие затраты ресурсов при необходимости изменения структуры программы.
Собственные разработки	При достаточно высокой квалификации специалистов велика вероятность получения программы автоматизации управленческого учета по центрам затрат, отвечающая всем необходимым требованиям. Возможность безболезненного изменения структуры системы.	Необходимо время для разработки данного программного продукта. Необходимость постоянного поддержания и настройки программного продукта. Велика вероятность появления ошибок в создаваемой программе.
Специализированные программы управленческого учета	Невысокая цена, внедрение программы за короткий промежуток времени.	Необходимость привлечения сторонних специалистов для существенного изменения структуры системы.
ERP-системы	Широкие возможности автоматизации всех процессов предприятия.	Дороговизна системы, долгий срок внедрения, большие сложности в изменении внедренной архитектуры системы.

лучать управленческие отчеты практически по любым аналитическим срезам, причем возможны два основных варианта организации управленческого учета по центрам затрат. Для их осуществления необходимо наличие на предприятии группы квалифицированных бухгалтеров, разбирающихся в управленческом и в бухгалтерском учете. Различия вариантов лишь в том, какое место занимают эти сотрудники в технологической цепочке прохождения документов. Первый вариант предусматривает, что все учетные документы поступают к бухгалтеру (или к группе бухгалтеров), ведущим управленческий учет по центрам затрат. Второй вариант организации управленческого учета по центрам затрат подразумевает, что в управленческую базу данных информация вносится уже после того, как она была отражена в базе данных бухгалтерского учета. Другими словами, ведутся две параллельные базы данных.

При создании программного продукта автоматизации управленческого учета по центрам затрат собственными силами представители финансового отдела или отдела управленческого учета чаще всего участвуют в написании рабочего задания на создание программного обеспечения. Если предприятие представляет собой средний бизнес, то его оказывается вполне достаточно, чтобы полностью удовлетворить потребности руководителей отделов и учредителей в получении управленческой отчетности.

Приобретение специализированного программного продукта по управленческому

учету также является одним из вариантов автоматизации управленческого учета по центрам затрат на предприятии. Такие программы, создаются под конкретную организацию для ведения управленческого учета.

Внедрение ERP-системы – достаточно продолжительная и дорогостоящая операция, которая при удачном внедрении позволяет автоматизировать не только ведение управленческого учета по центрам затрат, но и автоматизацию процесса управления закупками, запасами, делопроизводством и т. д. Нельзя не отметить, что руководителей организаций останавливает слишком высокая цена программного продукта, услуг по внедрению и слишком высокая вероятность неудачного внедрения.

В то же время любое предприятие в период своего существования подвержено различным изменениям в организационной, финансовой структуре, изменениям в направлениях деятельности, сбыта и т. д., следовательно, меняется структура его системы управленческого учета. Поэтому нельзя однозначно определить, в какой программе будет легче произвести текущие изменения, не нарушив при этом логики расчетов. Стоит учесть, однако, что в большинстве случаев намного проще и, самое главное, дешевле вносить изменения в программы, созданные собственными силами, т.е. специализированные программы по управленческому учету.

Таким образом, нами проанализирована информационная база и определены субъекты и объекты управленческого контроля деятельности центров затрат. Обозначены основные принципы управленческого контроля центров затрат. Представлена схема проведения комплексного управленческого контроля по центрам затрат, включающая порядок осуществления предварительного, текущего и последующего контроля. Предложены методы управленческого контроля деятельности центров затрат, которые могут использовать ответственные лица подразделения. Представлено возможное программное обеспечение по автоматизации управленческого учета центров затрат организации. Результаты проведенного исследования могут быть рекомендованы при разработке методики управленческого контроля затрат в организациях, производящих железобетонную продукцию.

Литература:

1. Булгакова С.В. Управленческий учет: проблемы теории. Воронеж: Изд-во Воронежского государственного университета, 2006. 160 с.
2. Карпова Т.П. Управленческий учет. М.: Аудит: ЮНИТИ, 2015. 350 с.
3. Валуев Б.И. Контроль в системе внутрипроизводственного хозрасчета. М.: Финансы и статистика, 1987. 241 с.
4. Энтони Р., Рис Дж. Учет: ситуации и примеры : пер. с англ. / под ред. и с предисл. А.М. Петрачкова. – Ч. 2: Управленческий учет. М.: Финансы и статистика, 1993. 560 с.
5. Вахрушина М.А. Управленческий анализ. М.: Омега-Л, 2014. 432 с.
6. Вахрушина М.А. Бухгалтерский управленческий учет: учеб. пособие (ВЗФЭИ). М.: Финстатинформ, 2002. 359 с.
7. Мишин Ю.А. Управленческий учет: управление затратами и результатами производственной деятельности. – М.: Дело и сервис, 2012. 176 с.
8. Черных И.Н., Хамидуллина З.Ч. Организация учета затрат по центрам ответственности. М.: Кнорус, 2016. 160 с.

9. Черных И.Н. Организационно-методологические основы учета, контроля и анализа деятельности центров затрат железобетонного завода // Экономика и предпринимательство. 2016. № 3 (ч. 1). С. 1136–1140.
10. Керимов В.Э. Управленческий учет. М.: Дашков и Ко, 2013. 416 с.
11. Черных И.Н. Возникновение и развитие учета по центрам ответственности в России и за рубежом // Экономика и предпринимательство. 2016. № 3 (ч. 2). С. 644–646.
12. Палий В.Ф. Организация управленческого учета. М.: Бератор-Пресс, 2013. 224 с.
13. Ластовецкий В.Е. Учет затрат по факторам производства и центрам ответственности. М.: Финансы и статистика, 1988. 165 с.
14. Яругова А. Управленческий учет. Опыт экономически развитых стран : пер. с польского С.Н. Родиной, Г.И. Лебедевой. М.: Финансы и статистика, 1991. 270 с.

УДК 37; 378.09; 378.3; 378.11

**РОЛЬ ГОСУДАРСТВА В СТАНОВЛЕНИИ ТЕХНИЧЕСКОГО
ОБРАЗОВАНИЯ И НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ УЧРЕЖДЕНИЙ
В РОССИИ**

Е.В. Бодрова[@], заведующий кафедрой «История»

В.Н. Красивская, магистрант

Московский технологический университет, Москва, 119454 Россия

[@]Автор для переписки, e-mail: evbodrova@mail.ru

В статье рассмотрена проблема становления системы технического образования и научно-технических учреждений в России во второй половине XIX – начале XX вв., выявлены факторы, обеспечившие специфику и результативность этого процесса: привлечение научного сообщества к определению основных направлений развития научно-технической сферы, разработке общей стратегии модернизации страны; объединение усилий государства, ученых и предпринимателей с целью формирования и развития одной из лучших в мире систем инженерного образования, создания сети научных обществ и научных школ мирового уровня, активной пропаганды научно-технических достижений, позволившей вовлечь значительную часть общества в процессы модернизации.

Ключевые слова: научно-техническая политика, модернизация, техническое образование, научно-технические учреждения.

**THE ROLE OF THE STATE IN THE DEVELOPMENT
OF TECHNICAL EDUCATION AND SCIENTIFIC
AND TECHNICAL INSTITUTIONS IN THE RUSSIAN EMPIRE**

E.V. Bodrova[@],

V.N. Krasivskaya

Moscow Technological University, Moscow, 119454 Russia

[@]Corresponding author e-mail: evbodrova@mail.ru

The article considers the problem of formation of the system of technical education and scientific and technical institutions in the second half of XIX – beginning of XX centuries, identified the factors contributing to the specificity and efficiency of this process: the involvement of the scientific community to the definition of the main directions of development of scientific and technical sphere, the development of a General strategy of modernization of the country; the joint efforts of government, scientists and entrepreneurs with the purpose of formation and development of one of the world's best systems engineering education, creating a network of scientific societies and scientific schools of world level, the active promotion of scientific and technical achievements, allowing to involve a significant part of society in modernization processes.

Keywords: science and technology policy, modernization, technical education, science and technology institutions.

Необходимость обеспечения экономического роста, импортозамещения, технологического рывка обуславливает значимость разработки научно обоснованной, с четким выбором приоритетов и механизмов государственной научно-технической политики (ГНТП) Российской Федерации. Изучение исторического опыта формирования ее концептуальных основ, определения приоритетных направлений, форм и методов реализации на разных этапах отечественной истории позволяет оценить эффективность деятельности государственных органов в этой сфере, выявить как достижения, так и противоречия, аккумулировать все самое позитивное, извлечь уроки. В условиях, когда национальным приоритетом должна стать успешная модернизация России, представляется важным определить особенности становления ГНТП в контексте трансформационных процессов, протекавших в нашей стране во второй половине XIX – нач. XX вв., выявить роль ученых и предпринимателей в определении вектора дальнейшего развития.

К настоящему времени изучены лишь отдельные аспекты интересующей нас проблемы. Так, предметом научного анализа исследователей по истории государства и права, правоведов стали проблемы защиты интеллектуальной собственности, нормативно-правовой базы государственной научно-технической политики [1–3]. Дискуссии, развернувшиеся в периодике в середине XIX в. относительно реорганизации патентной системы России, свидетельствуют о всё большем стремлении научного сообщества и литераторов защитить национальные интересы, права изобретателей и одновременно поощрять их к внедрению в производство своих проектов. В последние годы появились работы, где значительное внимание уделено такому важному направлению ГНТП, как пропаганда научно-технических знаний. В частности, в ряде работ рассмотрены проблемы участия государства и научных обществ в организации научно-промышленных выставок [4–8]. Однако целый ряд существенных аспектов исследуемой нами проблемы нуждается в переосмыслении и дальнейшем изучении.

Начало становления государственной научно-технической политики России правомерно связывать с периодом петровской модернизации, носившей во многом заимствующий, догоняющий, мобилизационный, избирательный, фрагментарный, с огромными издержками для населения характер. Эти особенности определили не только основные направления, формы и методы внутренней и внешней политики этого периода, но и специфику российской модели модернизации в целом, вектор преобразований, в частности, в научно-технической сфере. Со времен Петра важнейшими отличиями государственной научно-технической политики Российской империи явились активное государственное регулирование, инициатива преобразований «сверху» в условиях ограниченности средств, выбор приоритетных и поддерживаемых государством направлений в сфере науки и техники, исходя из «великодержавных» интересов. Величайшая заслуга Петра – создание системы государственного попечительства промышленности. Но если он определил специфику и традиции российской модернизации, новые тенденции развития науки и образования в первой четверти XVIII в., то М.В. Ломоносов продолжил формирование системы отечественного национального образования с выраженной патриотической и культурно-исторической направленностью, приданием ей универсального и фундаментального характера. Он обеспечил не только соединение западного и российского дискурсов развития просвещения и образования, но и интеграцию образования, науки и промышленности.

Исследование показало, что во второй половине XIX – нач. XX вв. к формированию концептуальных основ государственной научно-технической политики, выбору приоритетных направлений социально-экономического развития России весьма активно привлекалось научное сообщество. Практика участия ученых в государственных делах сложилась в 70–90-е гг. XIX в. Из университетских профессоров вышли влиятельные министры финансов – Н.Х. Бунге и А.И. Вышнеградский. С 1894 г. усилиями С.Ю. Витте ведомствам было предоставлено особое право принимать на службу специалистов, «не имевших необходимых чинов и даже прав на государственную службу». Сам С.Ю. Витте использовал профессиональную экспертизу при осуществлении денежной реформы (среди его экспертов был профессор И.И. Кауфман, А.Н. Миклашевский, П.П. Цитович) [9]. Целью С.Ю. Витте, как известно, стало создание самостоятельной национальной индустрии, защищенной на первых порах от иностранной конкуренции таможенным барьером, с сильной регулирующей ролью государства, что должно было укрепить экономическое и политическое положение России на международной арене.

Великим ученым Д.И. Менделеевым были определены основные направления государственной поддержки научно-технической сферы, в частности, предложен проект реорганизации Академии наук, где он требовал самым решительным образом изменить «всё направление ее деятельности и всю ее структуру». Насильственно-бюрократическому навязыванию правительством своих установок Менделеев противопоставил девиз: «Наука есть дело вольное и совершенно свободное». Он предлагал значительно расширить состав Академии, потому что теперь «движение науки усилиями единичных лиц заменилось таким, в котором общие усилия многих превосходят по результату усилия даже так называемых гениальных людей» [10]. Д.И. Менделеевым были обозначены и важнейшие направления реорганизации системы образования: фундаментализация, государственная поддержка, но не огосударствление; создание технических университетов, разделение инженерных вузов на технические вузы и инженерные школы. Великий ученый выступал за создание такой системы образования, которая сочетала бы духовное и естественнонаучное начала [11].

Полагая, что патриотизм, любовь к Отечеству является одним из главных отличий между развитой общественной системой и «полуживотным» существованием, Менделеев активно участвовал в разработке промышленной и таможенной политики. В 1862 г. он выступил на съезде промышленников с докладом «Об условиях развития заводского дела в России», в котором утверждал, что ориентация России на одно только земледелие равнозначна ориентации на бедность, на экономическую зависимость, на систематическое отставание, на утрату исторического лица [12]. В своих работах «Толковый тариф, или исследование о развитии промышленности России в связи с ее общим таможенным тарифом 1891 г.», «Учение о промышленности» и многих других ученый писал о важнейших направлениях развития российской промышленности, способах ее модернизации. В 1889 г. он вошел в функционирующий при Министерстве финансов Совет торговли и мануфактур. С 1882 г. настаивал на учреждении Министерства промышленности и торговли, которое и было создано в 1905 г. не без значительного его влияния.

Чрезвычайно актуальным представляется призыв Менделеева: «...ограниченный рост промышленности совершенно не пригоден нашему краю и не приличен нашему народу... Идя помаленьку, мы никогда не догоним соседей, а надо не только догнать, но

и перегнуть... Ведь только независимость экономическая есть независимость настоящая, всякая прочая – фиктивная... Мы живем в эпоху, когда богатство и сила народов определяются преимущественно индустрией, а наши дети и внуки, вероятно, доживут до того, что богатства и вся сила народная будут определяться умелым сочетанием индустрии с сельским хозяйством» [13]. «За будущее ручаться нельзя даже с миллионами солдат, – писал Д.И. Менделеев, – потому что по обе стороны от нас – теснее жить, чем у нас, а в почве и в стране нашей много завидного, всем людям надобного. И если мы сами не пустим его в мировой оборот – позарятся, пожалуй» [14].

Огромную роль в научном и экономическом развитии страны сыграл В.И. Вернадский. Он рассуждал об ответственности ученых за применение научных открытий, рассматривал науку в качестве средства развития человечества, ставил задачу распространения научного знания на все мировое сообщество. «Разве мыслимо ослаблять государственную деятельность в области научного искания и научного исследования в XX в., когда на мировой арене с каждым годом все больше и больше значения приобретает научное знание, когда в этой борьбе государств и рас побеждает тот, кто является более образованным, более владеющим научной техникой и научной мыслью нашего времени?» [15], – писал ученый. В.И. Вернадский утверждал, что грань между прикладной и «чистой наукой» исчезла, «техника все глубже охватывается чистым знанием, а теория все сильнее облекает задачи практической жизни. И было бы величайшей ошибкой для всякого народного правительства, вырывая из науки ее часть, давать народу полужнание как раз в тот момент, когда можно дать ему полное знание» [16]. Отстаивая автономию и самоуправление высшей школы, В.И. Вернадский сформулировал важнейшие ее задачи: приучать подрастающее поколение «научно мыслить и научно работать», быть «носителем просвещения в обществе и народе», «распространять новые знания, новые приемы и мышления» [17].

В разработке основ ГНТП на рубеже XIX–XX вв. принимали также участие Н.А. Умов, К.Э. Циолковский, С.Ф. Ольденбург, К.А. Тимирязев и др. Однако успех осуществления очередного этапа российской модернизации зависел не только от разработок, формулируемых учеными, высшей бюрократией, но и от умения воплощать теорию в практику повседневной жизни с учетом интересов различных слоев российского общества и, одновременно, руководствуясь приоритетной целью сохранения статуса великой державы. Индустриализация, ориентированная на достижение этой цели, могла быть реализована лишь в случае сбалансированной, последовательной социально-экономической политики, учитывающей особенности исторического развития страны, факторы, обусловившие эту специфику, политики, обеспечивающей стабильность и динамизм одновременно. В реальности добиться этого не удалось, но многие разработанные тогда концепции явились фундаментом российской индустриализации.

Одним из важнейших направлений ГНТП исследуемого периода являлось создание условий для экономического роста и преодоление таких проблем, как дефицит квалифицированных кадров. Открывшееся в Москве в 1830 г. Ремесленное училище (ныне – МГТУ им. Н.Э. Баумана), именуясь таким образом, пошло не западным, а российским путем, отказавшись от сугубо практического образования. Первоначально выпускники училища должны были овладеть навыками «искусных мастеров с теоретическими сведениями». В 1868 г. училище получило звание «Императорского». Со временем оно прославилось великолепной научно-методической школой, сотрудничеством с Московским

университетом, превратившись в подлинно элитный технический университет. 545 выпускников со званием мастера было подготовлено за период с 1839 по 1867 гг. Впоследствии многие из них заняли посты руководителей в промышленности России [18].

Дефицит инженеров, требование все большей дифференциации специализаций обусловило значительное внимание государства и научного сообщества к становлению системы высшего технического образования, которая сформировалась во второй половине XIX в. Были открыты Горный Институт, Технологический Институт в Санкт-Петербурге, Харьковский технологический институт, Рижский политехнический институт, Императорское московское техническое училище, Томский технологический институт, Императорское московское инженерное училище, Варшавский технологический институт. Высшие технические учебные заведения были созданы раньше средних и низших технических училищ, в качестве основной задачи определяли подготовку опытных инженеров – руководителей в технических и промышленных предприятиях, обучение контингента лиц, необходимых для замещения правительственных технических должностей [19]. Осуществлялась государственная поддержка и в сфере развития среднего технического образования. Средние технические заведения давали общее и среднее специальное образование, срок обучения составлял от 6 до 8 лет [20], часть из них предоставляла возможность затем поступать в высшие специальные (технические) учебные заведения. В их ряду: ремесленное училище в городе Лодзи, Иркутское техническое училище, Комиссаровское техническое училище в Москве [19]. Так называемые низшие технические учебные заведения готовили младший технический персонал – мастеров, механиков, машинистов и т.д. К ним относились низшие технические училища, железнодорожные, мореходные, горные училища, художественно-промышленные школы, промышленные школы. Ремесленные учебные заведения осуществляли подготовку квалифицированных рабочих, ремесленников [21].

Трудно переоценить в этой связи роль ряда российских ученых и государственных деятелей, прежде всего, министра финансов С.Ю. Витте, инициировавших создание сети политехнических вузов для подготовки инженеров узкоспециального профиля по образцу немецких высших технических школ (политехникумов). В разработке этого проекта принимали участие также Д.И. Менделеев, А.Н. Крылов, А.С. Попов, Д.К. Чернов, Н. Попов и др. Несмотря на появление новых учебных заведений технического профиля, в течение всего XIX в. и в начале XX в. продолжала ощущаться острая нехватка национальных инженерных кадров. В начале XX в. только 4 тыс. чел. из 200 тыс. выпускников вузов имели диплом о техническом образовании. Лишь 5% от всего количества студентов учились на физико-математических и инженерных факультетах [22]. Но это были отечественные специалисты, которые имели высокий социальный статус и отличались не только блестящей профессиональной подготовкой, но и поистине одержимым стремлением превратить страну в великую индустриальную державу. Инженер А. Фенин писал: «В каком-то смысле мы были действительно «новыми» для современного русского общества людьми. Мы, не наследственные профессионалы – промышленники, а представители разных слоев русской интеллигенции, может быть, одними из первых, в историческом ходе развития нашей интеллигенции, нашли пафос в хозяйственном созидательном труде» [23].

Особенностями российского инженерного образования того периода явилось его тесное взаимодействие с наукой, высокий уровень профессиональной подготовки. Это

направление государственной научно-технической политики оказалось одним из самых эффективных, обеспечивших, в немалой степени, бурный экономический рост и технический прогресс России в исследуемый и последующие периоды. Факторами успехов отечественной высшей технической школы, признанных в то время и в мировом сообществе, являлись государственная поддержка в процессе ее становления, научно обоснованная и последовательно реализуемая программа ее развития. В разработке программы, методических рекомендаций и учебной литературы самое активное участие принимали члены Русского технического общества.

Организация в 1866 г. Русского технического общества (РТО), которое внесло огромный вклад и в промышленное, и в научно-техническое развитие страны, в формирование средней и высшей технической школы, в вовлечение всего общества в модернизационный процесс, явилось поистине рубежным событием в эволюции ГНТП всего исследуемого периода. РТО было первой и ведущей крупной научно-технической общественной организацией, созданной в России по инициативе одиннадцати лиц, признаваемых его учредителями: профессора Петербургского Лесного института Е.Н. Андреева, ставшего его первым секретарем, инженера-строителя М.Н. Герсеванова, архитектора П.П. Мижужева, кораблестроителя М.М. Окунева, члена корпуса горных инженеров П.Н. Алексеева, промышленника И.П. Балабина, артиллериста В.Н. Бестужева-Рюмина, офицера флота Н.И. Казнакова, фотографа А.В. Фрибеса, инженера А.А. Корнилова, члена Конференции Николаевской инженерной академии, основателя и в течение 52 лет редактора первого в России периодического научно-технического издания «Инженерный журнал» инженер-генерала А.А. Савурского. В 1864 г. ими был подготовлен и подан на рассмотрение в правительственные органы проект Устава общества, который после согласования с министрами финансов и внутренних дел 12 апреля 1866 г. рассматривался Комитетом министров, а 22 апреля 1866 г. – получил «высочайшее соизволение» Императора. Ко времени проведения первого собрания Общество состояло из 322 чел. К 1917 г. оно насчитывало в своих рядах около 3000 человек, а вместе с периферийными отделениями – свыше 10 тыс. [24].

Торжественное открытие РТО состоялось 20 ноября 1866 года [25]. Целью его создания, как было заявлено в §1 Устава от 22 апреля 1866 г., явилось «содействие развитию техники и технической промышленности в России» и «распространение знания о ней». В 1874 г. за особые заслуги Общество получило звание «Императорского» (ИРТО). РТО проводило исследовательскую, научно-техническую работу в специально созданных отделах общества, оказывало консультационную помощь промышленникам и инженерам, занималось проведением съездов, организацией публичных чтений и лекций с целью популяризации технических знаний, изданием технических журналов, справочников и словарей, поддержкой технического образования: открытием училищ, школ, классов и мастерских для детей и взрослых. РТО имело свой технический музей, публичную техническую библиотеку, лабораторию для проведения исследований и испытаний, а также собственный воздушный шар. РТО оказывало помощь в научных изысканиях, изобретениях, премировало лучшие научные и технические работы, создавало сеть технических библиотек, организовывало выставки, выступало в качестве посредника между техниками и заказчиками, ходатайствовало перед правительством о развитии технического дела. РТО стало местом для дискуссий относительно важнейших приоритетов НТП, экономической политики в целом, форм поддержки изобретателей и охраны их прав [26].

Следует отметить, что Фонд РТО в Российском Государственном Историческом Архиве пострадал во время пожара, вызванного попаданием вражеского снаряда в здание Сената в 1941 г. Тем не менее, сохранившиеся документы позволили исследовать различные направления деятельности РТО, которое объединяло 16 отделов, около 40 местных отделений по всей стране, 60 школ и училищ под своим протекторатом. В советское время РТО было ликвидировано по решению коллегии Ленинградского областного отдела рабоче-крестьянской инспекции от 20 июня 1929 г. В 1931 г. вместо него была создана сеть инженерно-технических обществ [27].

РТО состояло из действительных членов, почетных членов, членов-соревнователей и членов-корреспондентов. В ряду почетных членов – изобретатель электрической лампочки Т.А. Эдисон, создатель Эйфелевой башни и Статуи Свободы Л.Г. Эйфель. С лекциями и докладами на заседании общества выступали выдающиеся деятели науки и техники России: Д.И. Менделеев, А.М. Бутлеров, К.Э. Циолковский, Н.Е. Жуковский, А.С. Попов, П.Н. Яблочков, Д.К. Чернов, И.А. Вышнеградский, А.Н. Крылов, А.П. Бородин, Н.П. Петров, Л.А. Белелюбский, М.А. Павлов. В ряду действительных членов в разные периоды его деятельности состояли русские промышленники: Л.Э. Нобель, С.И. Мальцев, Н.И. Путилов, Д.П. Шипов, Н.С. Авдаков, П.И. Губонин, С.С. Поляков, А.Н. Неустроев и др.; ученые и инженеры зарубежных стран: Л. Блерио, Я. Ачессон, П. Дековиль, Х. Генри, В. Контамен и др.; представители высших слоев российской бюрократии: И.А. Вышнеградский, А.И. Дельвиг, В.И. Ковалевский, Ф.П. Литке, К.П. Посьет и др. По социальному составу в РТО численно преобладала техническая интеллигенция (инженеры и техники разных специальностей – свыше 60%), сравнительно меньшее число составляли служащие государственного аппарата и аппарата управления хозяйством (10%), крупные военные (9%) и гражданские чиновники (4.5%), промышленники (8.1%); одиночные представители рабочих профессий являлись в основном лицами иностранного происхождения [24].

Годовой доход РТО в 1913 г. составлял 270 тыс. руб. Источники его доходов – императорский вклад (25 тыс. руб.); государственные субсидии на проекты; членские взносы; поддержка промышленников и меценатов; эксплуатация собственности; доходы от издательства, чтения лекций, выставок.

С 1867 г. общество стало издавать «Записки Русского Технического общества» (с 1874 г. «Записки Императорского Русского Технического Общества»). Отделы общества выпускали журналы: «Железнодорожное дело» (издавался с 1882 по 1917 гг.); «Труды Бакинского отделения Императорского Русского Технического Общества» (издавался в Баку с 1886 по 1917 гг.); «Техника воздухоплавания»; «Техническое образование»; «Фотограф»; «Химический вестник»; «Электричество». Местные отделения публиковали «Труды», «Вестник» и «Записки». Издавались также труды съездов, организуемых РТО, комиссий, сборники статей, бюллетени, вестники, указатели, справочники, монографии. За издание учебной и научно-популярной литературы, учебники для профессиональных школ в 1890 г. были учреждены премии Государственного Совета [28].

Важным вкладом ИРТО в техническое перевооружение промышленности стало проведение различных конкурсов на то или иное изобретение. Руководство Общества пыталось заинтересовать те или иные государственные органы в поддержке подобных конкурсов с целью материального поощрения ими изобретателей. Экспертиза была очень

строгой. Так, за 1887–1889 гг. ИРТО было проведено 2 конкурса на соискание премии Военного Министерства за лучший тип нефтяной печи или топки, но они дали отрицательные результаты, так как ни один из представленных приборов не удовлетворял условиям конкурса [30].

15 мая 1868 г. в РТО была учреждена особая Постоянная комиссия по техническому образованию, которая печатала свои труды под наименованием сначала «Труды комиссии», а затем «Техническое образование» [24]. Основными направлениями деятельности этой комиссии являлись: административное – устройство и ведение училищ, школ, курсов и т.п., деятельность по распространению технического образования; разработка теоретических вопросов технического образования; разработка и совершенствование методик преподавания, введение новых предметов и пр. [31]. Более 100 лет назад его членами были определены как наиболее значимые составляющие высшего технического образования: фундаментальность подготовки, дающая возможность выпускникам заниматься не только инженерной, но и научно-технической деятельностью; непрерывность образования, регулярное повышение квалификации [32]. Постоянная комиссия РТО по техническому образованию превратилась в крупный научно-педагогический и организационный центр технического и профессионального образования, активно участвовала в разработке единой политики в области подготовки рабочих и специалистов среднего и высшего звена.

ИРТО обладало правом создания при фабриках и заводах учебных заведений с низкой платой или бесплатным обучением и обеспечением учебными пособиями. В них осуществлялась подготовка мастеров, машинистов, чертежников, рабочих по различным ремеслам для заводов, фабрик, железных дорог, строительного дела. Учебные заведения РТО возникли как общественные. В 1876 г. они стали общественно-государственными и в этом качестве вошли в систему образования России. Первое техническое училище РТО было создано в 1869 г. в Петербурге [29]. В 1874 г. насчитывалось 13 подобных учебных заведений (623 учащихся), в 1880-е гг. – 32 (2,5 тыс. учащихся), к 1917 г. – 60 (8 тыс. учащихся и 500 педагогов, часть которых работала бесплатно). Для взрослых рабочих читались лекции по отдельным предметам. Были созданы также временные ремесленные курсы для народных учителей: зимние – для преподавателей естествознания, классы для служащих ремесленных и торговых заведений и т.п. Они финансировались из средств РТО, отдельных государственных ведомств (в том числе Министерства путей сообщения, инженерных и артиллерийских управлений и др.), земств и городских бюджетов, частных пожертвований, предпринимателей (Н.А. Варгунина, И.С. Мальцова, К.Ф. фон Мекка, Э. Нобеля и др.).

Российский общественный деятель, меценат, в течение долгого времени глава Иркутска В.П. Сукачёв назвал время деятельности Восточно-Сибирского отделения РТО (ВСОИРТО) (1868–1878 гг.) лучшими годами XIX столетия: «В Иркутске устраиваются мужские и женские воскресные школы, женское училище, преобразованное потом в женскую гимназию, составляется общество, учреждающее публичную библиотеку, при ней открываются литературно-разговорные вечера, на которых читаются рефераты, обсуждаются общественные вопросы, юридические вечера, посвященные обсуждению положения готовившейся тогда судебной реформы, основываются сперва вечерние собрания, затем общество врачей, читаются публичные лекции, развивают свою деятельность и

тюремные, и статистический комитеты, губернские ведомости настойчиво наводят на мысль о необходимости иметь свой университет» [33]. ВСОИРТО организовывало выставки, способствовало развитию технического образования. Так, в Иркутске была открыта реальная прогимназия, где преподавали члены ВСОИРГО (Российского географического общества) и ВСОИРТО. Такое учебное заведение, позволившее восполнить дефицит специалистов со знанием математики, естественных и технических наук, получило поддержку властей, городской общественности и промышленного капитала. Городское общество пожертвовало на него 9200 руб., а золотопромышленники и частные лица – 6800 руб. [34]. В гимназии функционировали музеи, библиотека, физический, метеорологический и химический кабинеты. Именно члены ВСОИРТО, заручившись поддержкой Великого князя Алексея Александровича, способствовали превращению гимназии в техническое училище, основным контингентом обучающихся которого были дети мещан и чиновников [35].

Ученые, инженеры, предприниматели, просвещенные бюрократы, всемерно пропагандируя научно-технические знания в обществе, способствовали его нацеленности на обеспечение технологического рывка, стадию «взлета», без которой, согласно теории модернизации, она обречена на неуспех.

Одним из тех, кто поддержал создание Императорского Русского технического общества, был Людвиг Нобель, принимавший активное участие в его деятельности и на протяжении многих лет жертвовавший значительные суммы на научные исследования. Являясь Почетным членом постоянной комиссии по техническому образованию ИРТО с 1884 по 1888 гг., Л. Нобель скрытно (через академика А.В. Гадолина) вносил в ИРТО по 5000 руб. на различные технические разработки, которые позволили Обществу осуществить значительное число научных исследований, в том числе и разработку мер по введению в России метрической системы [36].

Велика заслуга ИРТО в деле увековечения памяти самого Людвиг Нобеля, одного из учредителей ИРТО и его активнейшего члена. В июле 1888 г. фирма «Бранобель» приняла решение об учреждении премии и Золотой медали им. Людвиг Нобеля, выделив для Императорского русского технического общества капитал в 6000 руб. В 1889 г. Совет Общества и «Товарищества нефтяного производства бр. Нобель» разработали Перечень главных оснований для Положения о премии. В частности, было принято решение, что премия и медаль вручаются за «лучшее сочинение или исследование по металлургии или нефтепромышленности или за какие-либо выдающиеся изобретения и усовершенствования техники этих же производств» [37].

После создания РТО в России были образованы и другие научно-технические общества уже по отдельным отраслям знаний. В их ряду: Русское химическое общество (1868 г.), Лесное общество (1869 г.), Русское металлургическое общество (1910 г.), общества при высших учебных заведениях: Политехническое общество при Московском техническом училище (1878 г.), Общество технологов при Технологическом институте в Петербурге (1884 г.), Общество горных инженеров (1887 г.), Общество гражданских инженеров (1894 г.), Общество инженеров-электриков при Электротехническом институте (1892 г.) [24]. Значимый вклад в развитие научно-технической сферы России внесли такие организации, как Всероссийский союз инженеров, Санкт-Петербургское собрание

инженеров путей сообщения, горных инженеров, гражданских инженеров, Политехническое общество при Московском техническом училище, Южнорусское общество технологов при Харьковском технологическом институте, Русское физико-химическое общество, Московское математическое общество и др. Всего в конце 70-х гг. XIX в. в России функционировало 350 научных обществ [38]. Они выступали инициаторами разработок определенных научных проблем и были своеобразными методическими центрами.

Одним из важнейших направлений ГНТП в исследуемый период явилась также поддержка со стороны власти участия российских ученых и предпринимателей во всемирных выставках и организация политехнических выставок, сыгравших значительную роль в популяризации научно-технических знаний, в стимулировании внедрения в производство новейших достижений. Государство достаточно много средств вкладывало в организацию подобных выставок, фактически не получая от них доходов [8]. Так, Председатель ИРТО П.А. Кочубей обратился 26 декабря 1886 г. к Министру Государственных Имуществ М.Н. Островскому с просьбой о выделении дополнительных средств для вручения премий победителям проводимых обществом конкурсов, одновременно обращая его внимание на необходимость проведения специальной выставки с целью распространения в стране нефтегазового освещения. «Нельзя, – писал он, – чтобы пропадали нефтяные остатки. Для этого нужна выставка, способная показать, как их использовать, какие есть способы и аппараты» [39].

Таким образом, исследование показало, что во второй половине XIX в. шел процесс становления ГНТП Российской империи, намечались приоритетные направления, механизмы их осуществления. В качестве важнейших направлений нами определены формирование системы высшего технического образования и научно-технических учреждений. Особенности этого процесса явились: активное участие научного сообщества в разработке ГНТП; объединение усилий государства, научного сообщества и предпринимателей для развития отечественного инженерного образования, отличавшегося высоким уровнем, фундаментальностью и ориентацией на практическую деятельность одновременно. Результатом конструктивного диалога ведущих ученых и власти явилось также создание сети научных обществ и научных школ мирового уровня, активная пропаганда научно-технических знаний. Была разработана стратегия экономического развития страны. Анализ трудов и дискуссий, ведущихся в научной среде и периодике, изучение программных документов, разрабатываемых государственными органами при участии ведущих ученых, позволяют утверждать, что в процессе формирования концептуальных основ ГНТП в полной мере учитывались такие факторы, как проведение индустриализации в условиях «догоняющей модернизации»; технологическое отставание; возрастание роли государства в хозяйственных процессах; обширность и разнородность территорий; традиционное преобладание административных методов управления над экономическими; низкий образовательный уровень населения, дефицит квалифицированных специалистов и др. Слепое копирование западных образцов исключалось.

При всех неоднозначных оценках результатов российской индустриализации того периода удалось добиться высоких темпов экономического роста, сформировать слой инженерно-технической интеллигенции, представители которой имели высокую квалификацию и внесли огромный вклад в развитие науки и техники, определили специфику инженерной деятельности в дальнейшем.

Литература:

1. Афанасьева В.И. Привилегия как источник исключительного права в процессе становления и развития патентного права России X–XIX вв. (историко-правовое исследование): автореф. дис. . . . д-ра юрид. наук. М., 2007. 39 с.
2. Евстифеев А.А. Становление российского патентного права: дис. . . . д-ра юрид. наук. Екатеринбург, 1999. 325 с.
3. Перчик А.И. История нефтяного законодательства в России [Электронный ресурс] // URL: http://www.oil-industry.ru/Hist_Journ/index.php?ELEMENT_ID=179465 (дата обращения 20.02.2016)
4. Фукс И.Г., Матвейчук А.А. Технологическая сага: «Товарищество нефтяного производства братьев Нобель» на всемирных и российских выставках. М.: Древлехранилище, 2009. 336 с.
5. Шпаков В.Н. История всемирных выставок. М.: АСТ: Зебра Е, 2008. 384 с.
6. Семёнова О.В. Политехническая выставка 1872 года [Электронный ресурс]. URL: <http://rus-istoria.ru/component/k2/item/145-politehnicheskaya-vystavka-1872-goda>
7. Никитин Ю. Праздник российской промышленности и науки // Мир выставок. 2011. 21 декабря 2011 г. Исторические страницы.
8. Корепанова С.А. Выставочная деятельность в России в XIX веке (промышленные и научно-промышленные выставки): дис. . . . канд. ист. наук. Екатеринбург: Урал. гос. ун-т им. А.М. Горького, 2005. 26 с.
9. Алексеев В.В., Сапоговская Л.В. Исторический опыт промышленной политики в России (краткий научно-практический опыт). Екатеринбург: Академкнига, 2000. С. 5–15, 34–36.
10. Д.И. Менделеев: биография // [Электронный ресурс] URL: <http://webelements.parod.ru/elements/Mendeleev/biography.html> (дата обращения: 24.10.2011).
11. От химии к политической экономии: Д.И. Менделеев как обществовед // Исследователь. Научно-методический журнал. 2009. №1 (1) [Электронный ресурс] URL: http://ir.redu.ru/article/Lyudi_nauchnogo_poiska/21 (дата обращения: 24.10.2011).
12. Лебедев Н.А. Русские экономисты XIX века о протекционизме и свободе торговли. М.: Ин-т экономики РАН, 2000. С. 226.
13. Овчинников Ю.А. Жизнь и деятельность Д. И. Менделеева [Электронный ресурс] URL: <http://www.ras.ru/FStorage/download.aspx?id=c30180d6-85d8-4140-b50a-eac1800bf19b> (дата обращения: 06.09.2016).
14. Менделеев Д.И. Соч. Т. XXIII. Л.- М.: Изд-во АН ССР, 1952. С. 94.
15. Вернадский В.И. Перед грозой // Публицистические статьи. М.: Наука, 1995. С. 173.
16. Вернадский В.И. О сохранении Таврического университета // О науке. Научная деятельность – Научное образование. СПб.: Изд-во РХГИ, 2002. Т. II. С. 263.
17. Вернадский В.И. Академическая жизнь // Публицистические статьи. М.: Наука, 1995. С. 164.
18. МВТУ им. Н.Э. Баумана 1830–1980. М.: Высшая школа, 1980. С. 5.
19. Энциклопедический словарь (Ф.А. Брокгауз, И.А. Эфрон). Том XXXIII. СПб.: Издательское дело, 1901. С. 128.
20. Кузьмин Н.Н. Низшее и среднее специальное образование в дореволюционной России. Челябинск: Южно-Уральское книжное отделение, 1971. С. 57–58.

21. Веселов А.Н. Низшее профессионально-техническое образование в России: очерк по истории профессионально-технического образования в дореволюционной России. М.: ПТИ, 1955. 325 с.
22. Там же. С. 168.
23. Фенин А.И. Воспоминания инженера. Прага: Русский институт в Праге, 1938. С. 143.
24. Иванов Б.И. 140 лет Русскому техническому обществу [Электронный ресурс] URL: <http://www.emitent-spb.ru/anniversary/03/>(дата обращения 13.02.2016).
25. Записки Русского Технического Образования и свод правил, выдаваемых по департаменту торговли и мануфактур. СПб., 1867–1917 гг. С. 27.
26. РГИА. Ф. 90. Оп. 1. Дд.272, 326, 197, 321,155, 635 и др.
27. РГИА. Ф. 90. Историческая справка.
28. Бодрова Е.В., Гусарова М.Н., Калинов В.В., Калинова К.В., Сергеев С.В. Государственная научно-техническая политика в модернизационной стратегии России: монография. М.: Изд-во Московского гуманитарного университета, 2013. 315 с.
29. Карелин В.А. Школы Русского технического общества для рабочих и их детей // Советская педагогика. 1990. № 2. С. 114–120.
30. РГИА. Ф. 90. Оп. 1. Д. 326. Л. 38.
31. Корольков Н.М. Краткий обзор деятельности постоянной комиссии по техническому образованию. СПб., 1912. С. 10.
32. Какова должна быть высшая техническая школа. 1-ое заседание Комиссии по вопросу о высших технических учебных заведениях 12 октября 1897 года // Записки Русского Технического Общества. СПб. 1897. № 11. С. 17–28.
33. Иркутск. Его место и значение в истории и культурном развитии Восточной Сибири / под ред. В.П. Сукачева. М.: Типо-литография Высочайше утвержденного Товарищества И.Н. Кушнерев и Ко, 1891. 270 с.
34. Горощенова О.А. От навигацкой школы к техническому университету: монография. Ч. 1. (1754–1917) / науч. ред. С.Н. Полторац; редкол. И.М. Головных и др. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2009. 217 с.
35. Восточно-Сибирское отделение Императорского русского технического общества (ВСОИРТО) [Электронный ресурс] URL: http://irkipedia.ru/content/vostochno_sibirskoe_otdelenie_imperatorskogo_russkogo_tehnicheskogo_obshchestva_vsoirto(дата обращения 13.02.2016)
36. Мир-Бабаев М.Ф. Краткая история азербайджанской нефти. Баку, 2010. С. 43.
37. РГИА. Ф. 90. Оп. 1. Д. 321. Л. 4.
38. Проскуракова Н.А. Россия в XIX веке. / Образование. Наука. Культура: учебн. пособие. М.: Дрофа, 2010. С. 52.
39. РГИА. Ф. 37. Оп. 31. Д. 379. Л. 3.

УДК 17.02

**РАССМОТРЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ВОПРОСА
С НРАВСТВЕННОЙ ТОЧКИ ЗРЕНИЯ
В РУССКОЙ ФИЛОСОФИИ НА РУБЕЖЕ XIX И XX ВЕКОВ**

О.А. Вольнякова, к. филос. н., профессор

Московский технологический университет, Москва, 119571 Россия

@Автор для переписки, e-mail: volya4@mail.ru

В статье поднимается проблема соотношения экономики и нравственности. Начало обсуждения этого вопроса с философской точки зрения относится к рубежу XIX и XX веков и связано с именами русских религиозных мыслителей В.С. Соловьёва и С.Н. Булгакова. На волне бурного развития экономических теорий XIX века в духе экономизма в них обнаружился односторонний подход к экономической деятельности людей. В статье проанализированы главы из книги русского философа В.С. Соловьёва «Оправдание добра», в которой он рассматривает экономический вопрос с нравственной точки зрения, а также показан подход С.Н. Булгакова к пониманию политической экономии. Подробно исследована критика разрыва экономической деятельности человека и его нравственной сущности. Особое внимание уделено рассмотрению В.С. Соловьёвым с позиции его «философии всеединства» экономических отношений... и нравственности. Показано, что труд имеет двойственную природу в обществе: с одной стороны, он необходим для удовлетворения потребностей человека, а с другой – должен быть направлен к общему благу. В таком сочетании эгоизма и альтруизма лежит путь к построению справедливого общества. Отмечены взгляды философа на то, что источником собственности является труд, а обмен не должен становиться обманом. Главный же философский вывод заключается в необходимости понимания диалектической взаимосвязи материальной, экономической и нравственной, духовной сторон человеческой деятельности. Показана важность и актуальность данной проблемы.

Ключевые слова: В.С. Соловьёв, С.Н. Булгаков, экономика, нравственность, добро, труд, собственность, обмен.

**CONSIDERATION OF ECONOMICAL PROBLEM IN RUSSIAN
PHILOSOPHY FROM MORAL POINT OF VIEW
AT THE TURN OF XXth CENTURY**

O.A. Volnyakova

Moscow Technological University, Moscow, 119571, Russia

@Corresponding author e-mail: volya4@mail.ru

The problem of correlation between economics and morality is risen in the article. Start of discussion of this problem from philosophical point of view dates from to the turn of XXth century and connected to the names of Russian religious thinkers V.S. Solovyov and S.N. Bulgakov. On the wave of tremendous development of economical theories of XIX century in the spirit of economism one-sided approach to human economical activity was found out in

them. Chapters from the book of Russian philosopher V.S. Solovyov "Explanation of kindness" in which he considers economical question from moral point of view are analyzed in the article and S.N. Bulgakov's approach to rendering of political economy is shown. Critics of break of human economical activity and his moral substance is researched in details. Special attention is paid to consideration of human economic relations (work, property, exchange) in their correlation with morality from Solovyov's philosophy of unitotality. The fact that work has dual nature in society is shown : on the one hand it is necessary for satisfying human exigencies, on the other hand it must be directed to commonwealth, in such combination of egoism and altruism the way to building just society is paved. Views of philosopher to the fact that the source of property is work and exchange mustn't become a deceit are notched. The main philosophical conclusion is in the necessity of understanding of dialectical connection of material, economical and moral sides of human activity. The importance and actuality of given problem is shown.

Keywords: V.S. Solovyov, S.N. Bulgakov, economics, morality, kindness, work, property, exchange.

Мировые тенденции общественного развития за последние полвека привели к формированию в развитых странах общества потребления, которое характеризуется массовым потреблением материальных благ и формированием соответствующих ценностей. Наряду с экономическими преимуществами этого процесса, уже в XX веке стали очевидны его отрицательные последствия для развития человека и природы. Эта проблема волновала многих философов, да и сам термин «общество потребления» был введен Эрихом Фроммом. В этом же русле развивается постсоветская Россия. Культ потребления проник, в том числе, и в систему образования, за которой закрепилось ее понимание как сферы услуг, а главной задачей стало формирование качественного потребителя. Тревожные тенденции вымывания духовности, падения нравственности были замечены и осмыслены философами задолго до того, как они стали современной реальностью.

Экономические теории XIX века в основном развивались в духе экономизма, в соответствии с которым преобладала такая точка зрения, что у человека имеются только материальные потребности, и их удовлетворение автоматически ведет к удовлетворению всех других потребностей, а, следовательно, и к счастью. Русские философы XIX и XX веков обращаются к различным экономическим учениям, в том числе, к марксистской политэкономии, и приходят к их осмыслению с точки зрения нравственности. Примерно в одно время – в конце XIX – начале XX веков данную проблему рассматривают два русских религиозных философа: В.С. Соловьёв (в конце своей жизни) и С.Н. Булгаков (в начале своей творческой деятельности). Рассматривая современные им экономические теории, они приходят к выводу о том, что эти учения представляют и абсолютизируют только одну, материальную, сторону человеческой деятельности в процессе производства, распределения, обмена материальных благ и упускают из виду духовную составляющую человеческой сущности. В этом их взгляды сходны.

Политэкономия с самого начала строилась по подобию с естественнонаучным знанием, шла по пути объективности. Отсюда возникло много вопросов с точки зрения ее взаимосвязи с другими областями социального знания и реализации общественного идеала. Большинство русских экономистов и философов того времени признавали возможность и реальность объединения политэкономии и этики. Такой подход вызван, с точки зрения

Булгакова, не теоретическими, а этическими запросами современного человечества. Отсюда вытекает и его взгляд на политическую экономию как на прикладную этику, именно этику экономической жизни. Здесь особый интерес вызывает даже не проблема разделения экономического знания и не содержание его теоретической части, а вопрос о смысле и нравственном основании того, что выходит за пределы «чистой» теории.

В прочитанной Булгаковым в 1903 году вступительной лекции «К курсу политической экономии», названной им «Об экономическом идеале», он выделяет две проблемы, которые дают жизнь политической экономии: производство и распределение. Первая из них – вопрос экономический, вторая – социальный. Это и есть два идеала, к которым стремится общество. Ссылаясь на Адама Смита, русский философ пишет, что человек выступает, как известно, по двум различным ведомствам с совершенно противоположными чертами: по ведомству этики он наделен одним альтруизмом, а по ведомству политической экономии – одним эгоизмом. Абсолютизация второй стороны привела к тому, что в теории закрепилось понятие «экономический человек», которого отождествляли с человеком вообще, и утверждали, что по своей природе он есть хозяйственный эгоист [1].

Такой односторонний подход, господствовавший в то время в политэкономии, С.Н. Булгаков связывал с мировоззренческими взглядами экономистов, с позитивистской направленностью их идей, что мешало им критически отнестись к развитию экономической науки. Поэтому, по мнению философа, пора обратиться к социальному идеалу и поднять вопрос о богатстве с точки зрения общечеловеческих ценностей и этической науки. Проведя свой анализ этой проблемы, Булгаков приходит к выводу, что экономический идеал не есть абсолютное благо для человека, поэтому необходимо постоянно обращаться к его социальной природе и на первый план ставить духовную сущность людей в их экономической, хозяйственной деятельности.

В такой связи поражает удивительная прозорливость выдающегося русского философа Владимира Соловьёва, чей главный труд в области нравственной философии «Оправдание добра» был издан за несколько лет до окончания XIX века. Глубокий философский анализ общественной жизни своего времени позволил ему прийти к выводам, которые являются крайне важными и актуальными в наши дни.

Нравственная философия определяется Соловьёвым как полное знание о добре, которое является высшей категорией его этики. Добро – это образующее и направляющее начало всей истории, имеющее безусловный характер. Русский философ считает, что всякая общественная организация интересна и желательна лишь постольку, поскольку ею оправдывается добро, поскольку в ней воплощается нравственное начало, которое является определяющим для экономических, политических, правовых и других общественных отношений. В своей работе «Оправдание добра» одну из глав он посвящает рассмотрению экономического вопроса с нравственной точки зрения.

В.С. Соловьёв был ярким приверженцем целостного мировосприятия и миропонимания, он рассматривал всю действительность как целое, исходя из принципа единства мира. Его всеединство обуславливает полноту нравственных норм для всех основных отношений практической жизни. К ним он относит, в том числе, сферу экономической деятельности, которая как причина часто лежит в основе и вражды народов, и личной преступности. Философ уверен, что сам факт экономических бедствий свидетельствует о том, что экономические отношения не организованы нравственно.

Прежде всего, его критике подвергаются те теории, которые или отрицают этические начала в сфере экономических отношений, или допускают между этими двумя областями полное смешение. Исходя из своей идеи всеединства, Соловьёв утверждает, что всякое практическое утверждение чего-нибудь вне его должной связи или соотношения со всем в теории ложно, а на деле безнравственно. Он пишет: «Признавать в человеке только деятеля экономического – производителя, собственника и потребителя вещественных благ – есть точка зрения ложная и безнравственная» [2, с. 407]. Это абсолютизация только одной стороны человека, которая не выражает существа и достоинства личности, и здесь важно понять, как и для чего действует человек в определенной области. «В живом, развивающемся организме хозяйственные элементы связаны с нравственными целями, а свободная игра экономических факторов и законов возможна только в мертвом и разлагающемся обществе», – считает философ.

Соловьёв, безусловно признавая закономерности человеческой деятельности, считает, что нет самостоятельных экономических законов, независимых от психологической и нравственной мотивации людей. Если надо что-то отрегулировать, в стране принимаются государственные законы, которые ограничивают, например, своекорыстие, цены на товары и т.д. В этом смысле, будучи обязательными к исполнению, они даже ближе к законам природы, чем экономические, регулируемые государственным воздействием в силу недостатка нравственных побуждений участников экономической деятельности. Следовательно, по мнению философа, экономические законы не выражают естественной необходимости, потому что могут быть нарушены и отменены нравственной волей человека.

Явления хозяйственного порядка возможны как деятельность человека – существа нравственного, поэтому и закон для человека только один – нравственный. Особенность и самостоятельность экономической сферы состоит в том, что она представляет поприще для применения нравственного закона. Значение человека и человеческого общества не определяется по существу экономическими отношениями, человек не есть, прежде всего, производитель «материальных полезностей или рыночных ценностей», а нечто гораздо более важное. «Отчуждение от высших, духовных интересов становится необходимым, как только признается за материальною стороною жизни человеческой особое, самостоятельное и принципиальное значение. Нельзя служить двум господам...», – утверждает Соловьёв [2, с. 413].

Труд и нравственность. Область экономических отношений исчерпывается понятиями производства (труда и капитала), распределения собственности и обмена ценностей. Соловьёв рассматривает их с точки зрения нравственной, начиная с понятия труда. В основе экономической деятельности лежит необходимость труда для поддержания своего существования. Этот фактор не зависит от человека, но понуждает его к деятельности, дальнейший ход которой определяется причинами психологического и этического, а не экономического свойства.

На самых элементарных ступенях нравственного состояния труд осуществлялся, прежде всего, для себя и своих ближних (со временем круг ближних расширяется в своем объеме). Человек как нравственное существо должен не только трудиться для всех, участвовать в общем деле, но еще и хотеть такого участия. Поэтому недостаточно только естественной связи экономических отношений, а необходимо «*сознательное направление их к общему благу*». Если своекорыстие и личный интерес рассматривать как побуждение труда, а материальный интерес как цель труда, мы приходим не к общему благу,

а к общему раздору, разрушению и экономическому краху, виновниками и одновременно жертвами которого становятся те, кто трудится только для себя.

Соловьёв считает бесосновательными требования уравнивания имущества: частное богатство не есть зло само по себе, но необходимо, чтобы богатство как относительное благо было согласовано с общим благом в смысле безусловного нравственного начала. Надо сохранить имущественное превосходство за теми, кто его имеет, но признать за всеми право на необходимые средства для достойного человеческого существования, а также право на то, чтобы человек имел достаточный физический отдых и мог пользоваться досугом для своего духовного совершенствования.

Таким образом, философ определяет два условия, при которых общественные отношения в области материального труда становятся нравственными: первое – не признавать вещественное богатство самостоятельным благом и окончательной целью человеческой деятельности; второе – производство не должно совершаться за счет человеческого достоинства, люди не могут становиться орудием производства и должны быть обеспечены средствами к достойному существованию.

Наряду с этим, Соловьёв вводит третий принцип, отмечая, что никто ранее не обращал на него внимание. Это отношение к природе. Он подчеркивает, что не только люди, но и природа не могут быть орудием экономического производства. Природа или земля это не вещь, а овеществленная сущность. Цель труда по отношению к материальной природе – не добывание вещей и денег, а совершенствование ее самой. При возделывании земли нельзя злоупотреблять ею, истощать и разрушать ее. Надо любить природу и улучшать ее, без чего невозможно осуществить нравственную организацию материальной жизни.

Соловьёв пишет, что возможно троякое отношение человека к природе:

1. Страдательное подчинение ей в том виде, в котором она существует. Это несправедливо как по отношению к человеку, так и к природе: оно отнимает у человека духовное достоинство, делая его рабом материи, а у природы, подчиняясь ей, человек отнимает надежду совершенства.

2. Деятельная борьба с природой и покорение ее, пользование ею как безличным орудием. Такое отношение может быть временно признано как отрицательное, но нормальное на переходный период.

3. Утверждение идеального состояния природы, того, чем она должна стать через человека. Это нормальное, окончательное, положительное отношение, когда человек пользуется превосходством над природой не только для своего возвышения, но и для ее улучшения.

Такая диалектика нравственного отношения людей к природе способствует духовному росту человека и совершенствованию самой природы. Завершая рассмотрение труда как одной из составляющих экономической деятельности человека, Соловьёв выделяет сущность труда и дает его определение, расширяющее принятое в политэкономии понятие. Он пишет: «А с точки зрения нравственной *труд есть взаимодействие людей в области материальной, которое, в согласии с нравственными требованиями, должно обеспечивать всем и каждому необходимые средства к достойному существованию и всестороннему совершенствованию, а в окончательном своем назначении должно преобразовать и одухотворить материальную природу*» [2, с. 429].

Собственность и нравственность. Ошибочность обособления экономических явлений в самостоятельную сферу связана также с понятием собственности, которое больше

принадлежит к области права, нравственности и психологии, чем экономики. Неотъемлемые основания собственности лежат в самом существе человеческой личности. Соловьёв подтверждает это наличием естественной, произвольно существующей собственности человека на его тело и принадлежащие ему душевные состояния. Он отличает эту личную принадлежность от собственности на внешние вещи, основания которой требуют объяснения. Например, платье, надетое в данную минуту на человека, может ему не принадлежать, а недвижимое имущество, которого человек не видел и не увидит (житель Петербурга или Лондона может иметь собственность в Восточной Сибири), является его собственностью. Соловьёв пишет: «По общепринятому философскому определению, собственность есть идеальное продолжение личности в вещах, или ее перенесение на вещи» [2, с. 432]. Но как это другое становится своим? Создается оно двумя путями: завладением или трудом. «Завладение – редкий случай захвата того, что никому не принадлежит», – считает философ.

Поэтому существенным основанием собственности остается труд. Здесь выявляется противоречие: предметом собственности могут быть вещи, а основанием собственности – труд. Однако труд никаких вещей не производит, а производит только *полезности* в вещах, а это есть отношения, которые не могут быть предметом собственности. Производство некоторых частных, неотделимых от целой вещи свойств, их улучшение не дает права на собственность и не может быть ее реальным основанием. Поэтому Соловьёв считает, что необходимо обратиться к идеальным отношениям, при которых, с одной стороны, всякий человек имеет обеспеченное обществом право на средства для достойного существования, а с другой – должен исполнять свою обязанность перед обществом – быть ему полезным и трудиться для общего блага. Только в таком случае труд может быть источником собственности на то, что заработано.

Обмен и нравственность. Обмен как важная область материально-человеческих отношений является предметом политэкономии, финансового и торгового права; исследованию же в нравственной философии он подвергается тогда, когда *обмен становится обманом*. Позиция, согласно которой деньги есть зло, неверная, они безразличны в нравственном отношении, а становятся такими, когда служат корыстному обману. Отказываясь от денег, можно было бы, например, отказаться также от дара речи, которым многие пользуются для сквернословия, или от огня из-за пожаров. Корень зла – в превращении денег из средства в цель. Общество должно противодействовать разрастанию «безмерного корыстолюбия», иначе это вредит и бедным людям, и самим корыстолюбцам, которые в таком общественном попустительстве могут видеть оправдание и поощрение своей безнравственности.

Завершая рассмотрение экономического вопроса с нравственной точки зрения, Соловьёв подчеркивает, что, говоря об экономических отношениях в области труда, собственности и обмена, мы обращались к понятию справедливости, которое выражает чисто нравственное требование и принадлежит, прежде всего, к области этической, а потом уже к правовой и экономической. В работе «Оправдание добра» Соловьёв исследует категорию справедливости и проводит различие в ее понимании с нравственной точки зрения и с правовой. При этом он утверждает, что право внутренне обусловлено нравственностью. С позиций нравственности философ связывает справедливость с таким природным чувством человека, как альтруизм. К этому пониманию он приходит через анализ двух

психологических, естественных качеств человека – эгоизма и альтруизма. Первый он рассматривает как источник аморальной деятельности, а второй – как моральный факт человеческой природы. Жалость и сострадание – основа альтруизма, их отсутствие приводит к эгоизму. Обращаясь к понятию альтруизма, Соловьёв отмечает, что термин введен Огюстом Контом как противоположность понятию эгоизм: альтруизм – от *alter, другой*, эгоизм от *ego, я*.

От понятия он переходит к общему правилу альтруизма, разделяя его сначала на две части – отрицательную и положительную: «1) *не делай другому ничего такого, чего себе не хочешь от других*, и 2) *делай другому все то, чего сам хотел бы от других*» [2, с. 168]. Первое называется правилом справедливости, второе – милосердия. Здесь есть различие, которое имеет лишь условное значение, но между ними не может быть противоположности, противоречия. Это только различные стороны одного и того же: милосердие предполагает справедливость, а справедливость требует милосердия. Далее он их соединяет в одно правило: «никого не обижай и всем, насколько можешь, помогай». Тем самым Соловьёв утверждает нравственный характер справедливости, сводя его к золотому правилу нравственности: *поступай с другими так, как ты хочешь, чтобы они поступали с тобой*.

Обращаясь к текстам, написанным в конце XIX – начале XX века, безусловно, нужно понимать, что с тех пор расширились формы и виды экономической деятельности, усложнились экономические отношения в обществе. Но главный смысл рассмотренных подходов В.С. Соловьёва и С.Н. Булгакова заключается в философском осмыслении ими социальных процессов и на этой основе – в предвидении будущего, что лишь доказывает общезначимость философских истин и вечность философских проблем. Русские философы на рубеже XIX и XX веков, исследуя новейшие экономические учения, впервые ставят вопрос о соотношении экономики и нравственности, а также об их единстве, акцентируя внимание на том, что экономическую деятельность осуществляют люди, а, следовательно, и закон для них, прежде всего – нравственный. Современная философия экономики опирается на антропологический подход, рассматривает ключевую роль человека в функционировании и развитии экономики. В.С. Соловьёв уже в свое время показал исключительную важность принципа гуманизма по отношению к человеку, участнику трудовой деятельности. Крайне актуальной представляется передовая для конца XIX века, но вставшая в полный рост проблема бережного, даже духовного отношения к природе, игнорирование которой привело к тому, что разрушение природы стало глобальной проблемой современности. Важнейшим во все времена является обоснование базового нравственного принципа и настойчивое напоминание Соловьёва о том, что богатство не есть абсолютное благо, а деньги не могут быть самостоятельной целью и смыслом жизни человека. Главный же философский вывод заключается в том, что русские философы того времени показали необходимость диалектической взаимосвязи материальной, экономической и нравственной, духовной сторон человеческой деятельности. В.С. Соловьёв утверждает, что только в их единстве возможен путь к организации справедливого общества, а нравственное упорядочение экономических отношений было бы вместе с тем и экономическим прогрессом.

Литература:

1. Булгаков С.Н. Об экономическом идеале // Научное слово. 1903. № 5. С. 102–125.
2. Соловьёв В.С. Оправдание добра / Сочинения в 2-х т. Т. 1. М.: Мысль, 1990. С. 47–581.