

научно-практический журнал

№9 2014  
сентябрь

# ЭЛЕКТРОНИКА ИНФО

СОЮЗНАЯ  
МИКРОЭЛЕКТРОНИКА  
ВЫХОДИТ  
на новый уровень

## Закон Мура ПРОТИВ нанометров

ЭЛЕКТРОНИКАинфо сентябрь №9  
СЛАВНЫЕ ИМЕНА • ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ • НАШИ ИНТЕРВЬЮ • ТЕХНОЛОГИИ • РЫНОК • РЕЦЕНЗИРУЕМЫЕ СТАТЬИ • НОВОСТИ КОМПАНИЙ

Познакомьтесь с другими продуктами линейки Altistart



Altistart 01  
0,37-15 кВт

Altistart 48  
3-900 кВт




**Альфа**  
ИП ЛТД

*Новые возможности ваших идей*

- Средства автоматизации
- Электронные компоненты
- Датчики
- Сексоры
- Устройства индикации
- Светодиоды

ПЕРВЫЕ ПОСТАВКИ ОТ МИРОВОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЯ  
РАЗРАБОТКА И ТЕХНИЧЕСКАЯ ПОДДЕРЖКА НОВЫХ ПРОЕКТОВ



**RAINBOW**  
ELECTRONICS

КОМПОНЕНТЫ И РЕШЕНИЯ



ISSN 1999-7515

9 177 1999 751006 1 4009





## ВСЁ НЕОБХОДИМОЕ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ВСТРАИВАЕМЫХ СИСТЕМ

Группа компаний **ЭЛТИКОН**

- Промышленные компьютеры, серверы, центры обработки и хранения данных;
- Встраиваемые и бортовые вычислительные системы, в т.ч. для жестких условий эксплуатации;
- ПЛК и микроконтроллеры, распределенные системы управления и сбора данных;
- Средства операторского интерфейса: мониторы, панели оператора, консоли управления, клавиатуры, трекболы, указательные устройства, информационные табло и мониторы для уличных применений;
- Устройства локального и удаленного ввода-вывода сигналов, АЦП, ЦАП, решения для управления движением, нормализаторы сигналов;
- Сетевое и коммуникационное оборудование для различных сетей, шлюзы данных, коммутаторы Ethernet, медиа-конвертеры, сетевые контроллеры, модемы, удлинители сетей, преобразователи интерфейсов, протоколов и т.п.;
- Датчики для различных применений;
- Источники вторичного электропитания для промышленных, медицинских, бортовых и специальных применений, инверторы электропитания, программируемые источники питания;
- Решения на основе полупроводниковых источников света для уличного освещения и архитектурной подсветки;
- Специализированные датчики, контроллеры и устройства для «умного дома»
- Корпуса, конструктивы, субблоки в стандарте евромеханика, шкафы, стойки, компьютерные корпуса;
- Крепежные элементы, клеммы, монтажный инструмент, провода и кабели, кабельные вводы, соединители;
- Программное обеспечение всех уровней АСУТП, SCADA-система Genesis, OPC-серверы и средства их разработки

**ADVANTECH**

**ADLINK**  
TECHNOLOGY INC.

**XP**

**PROSOFT**  
АВТОРИЗОВАННЫЙ ДИЛЕР

**Akiwa Technology, Inc.**  
SUBSIDIARY OF GUANGSHENG INDUSTRIAL - TAIWAN

**iKey**

**ICONICS**

**LITEMAX**

**OCTAGON**  
SYSTEMS

**Getac**

**APC**  
by Schneider Electric

**iBASE**

**BELDEN**  
SENDING ALL THE RIGHT SIGNALS

**TDK-Lambda**

**PEPPERL+FUCHS**  
**ELCON**

**IEE**

**Transcend**

**WEINTEK**

**EtherWAN**

**rtcd**

**SCAIME**  
ENVIRONMENT PRECISE INTENSIVE PRESSION

**INNO-DISK**  
Beyond your imagination

**Schroff**

**GENCOP**

ifm electronic

**WAGO**

**PLANAR**

**XLight**  
ЛЮМИНАЙТ

**Fastwel**

**DATAFORTH**

**men**  
mikro elektronik  
gmbh - nuernberg

**VIPA**  
art of automation

**InduKey**  
Industrial Input Devices

**TRI-M**  
ENGINEERING

- ✓ Более 50 вендоров в программе поставок
- ✓ Широкий диапазон продукции "из одних рук"
- ✓ Сервисный центр и послегарантийное обслуживание продукции

- ✓ Компетентный анализ технических решений с гарантией совместимости и работоспособности конфигурации
- ✓ Наличие сертификатов и ГТД

- ✓ Развитая система логистики, нестандартные схемы поставок, склады в Минске, Москве и Гамбурге
- ✓ Производство промышленных компьютеров, шкафов автоматизации, сборка телекоммуникационных шкафов

ЖУРНАЛ ИЗДАЕТСЯ ПРИ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКЕ  
ФАКУЛЬТЕТА РАДИОФИЗИКИ И КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ БЕЛГОСУНИВЕРСИТЕТА.  
ЖУРНАЛ ВКЛЮЧЕН В СПИСОК НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДАНИЙ ВАК РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ



International magazine  
of amateur and professional electronics

**№9 (111) сентябрь 2014**

Зарегистрирован  
Министерством информации  
Республики Беларусь  
Регистрационный №71  
от 19 августа 2014 года

**Главный редактор:**  
Асмоловская Ирина Михайловна  
i.asmalouskaya@electronica.by

**Редактор технический:**  
Бортник Ольга Викторовна

**Редакционная коллегия:**

**Председатель:**  
Чернявский Александр Федорович  
академик НАН Беларуси, д.т.н.

**Секретарь:**  
Садов Василий Сергеевич, к.т.н.  
e-mail: sadov@bsu.by

**Члены редакционной коллегии:**  
Беляев Борис Илларионович, д.ф.-м.н.  
Борздов Владимир Михайлович, д.ф.-м.н.  
Голенков Владимир Васильевич, д.т.н.  
Гончаров Виктор Константинович, д.ф.-м.н.  
Есман Александр Константинович, д.ф.-м.н.  
Ильин Виктор Николаевич, д.т.н.  
Кугейко Михаил Михайлович, д.ф.-м.н.  
Кучинский Петр Васильевич, д.ф.-м.н.  
Мулярчик Степан Григорьевич, д.т.н.  
Петровский Александр Александрович, д.т.н.  
Попечиц Владимир Иванович, д.ф.-м.н.  
Рудницкий Антон Сергеевич, д.ф.-м.н.

**Отдел рекламы и распространения:**  
Антоневич Светлана Геннадьевна  
тел./факс. +375 (17) 388-44-71  
e-mail: s.antonevich@electronica.by

**Учредитель:**  
ЗАО «Финансово-аналитическое агентство  
«Эф энд Ка»  
220018, Республика Беларусь,  
г. Минск, ул. Одоевского,  
д. 131, пом. 9, каб. 15,  
тел./факс: +375 (17) 388-44-71

© Перепечатка материалов, опубликованных  
в журнале «Электроника инфо», допускается  
с разрешения редакции

За содержание рекламных материалов редакция  
ответственности не несет

Подписной индекс в РБ:  
**00822** (индивидуальная),  
**008222** (ведомственная)

Цена свободная

**Подготовка, печать:**  
250 экз. отпечатано  
тип. ООО «Полиграфт»  
г. Минск, ул. Кнорина, 50/4-401А  
Лицензия №02330/466 от 21.04.2014 г.  
Подписано в печать 25.09.2014 г.  
Заказ №

**СЛАВНЫЕ ИМЕНА**

ЧТО ТАКОЕ ЗАКОН МУРА?.....2

**ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ**

МИКРОЭЛЕКТРОНИКА. КАК ВСЕ НАЧИНАЛОСЬ. ЗАКОН МУРА ПРОТИВ НАНОМЕТРОВ.....4

**НАШИ ИНТЕРВЬЮ**

МИКРОЭЛЕКТРОНИКА ДЛЯ «ЧАЙНИКОВ»: ДИЗАЙН ЧИПОВ – ТВОРЧЕСТВО, НАУКА, ЭКОНОМИКА  
А.Эрлих.....12

**ТЕХНОЛОГИИ**

СОЮЗНАЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКА ВЫХОДИТ НА НОВЫЙ УРОВЕНЬ.....17

**РЫНОК**

КОНСЕРВАЦИЯ ИЛИ ВЫНУЖДЕННАЯ ПЕРЕЗАГРУЗКА 3.0.  
ЧТО ЖДЕТ МИКРОЭЛЕКТРОНИКУ РОССИИ?  
Д.Боднар.....19

**ЦИФРОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА**

ТЕХНОЛОГИЯ ИНТЕРАКТИВНОГО ОБУЧЕНИЯ ОСНОВАМ ЦИФРОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ  
М.С. Долинский.....23

**КОМПОНЕНТЫ ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

СЕТЕВЫЕ ХРАНИЛИЩА ДАННЫХ ДЛЯ «ОБЛАЧНОЙ»  
ИНФОРМАЦИОННО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ  
И.С. Жук.....29

**РЕЦЕНЗИРУЕМЫЕ СТАТЬИ**.....37-55

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ КРОССОВОГО КОММУТАТОРА  
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ  
Н.А. Коротаев, В.И. Попечиц.....37

СТЕГАНОГРАФИЧЕСКАЯ СИСТЕМА НА ОСНОВЕ ДЕТЕРМИНИРОВАННОГО ХАОСА  
Е.А. Дрыбин, В.С. Садов, О.М. Демиденко.....41

МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ ИЗМЕНЕНИЙ ДИСКОНТИРОВАННОЙ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ПРИБЫЛИ  
ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ТРЕНАЖЕРЕ «ПРОМЫШЛЕННИК»  
И.Н. Сьюлжин, Т.Г. Протыко, Е.В. Шабинская, Ю.А. Чернявский.....47

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМ БАЛАНСИРОВАНИЯ СУТОЧНОГО РАЦИОНА КОРМЛЕНИЯ  
КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА В СИСТЕМАХ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ  
А.Г. Сеньков, Е.В. Галушко, К.М. Шестаков, А.П. Мириленко, А.И. Саханчук.....53

**ДАТЧИКИ**

ДАТЧИКИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ: КЛЮЧЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И НОВЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ.  
ЧАСТЬ 1. ДАТЧИКИ ХОЛЛА  
С. Сысоева.....56

**НОВОСТИ КОМПАНИЙ**

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЧАСТОТЫ.....61  
ВЫПРЯМИТЕЛИ СЕРИИ В-ТППТ.....63

**ПРАЙС-ЛИСТ**.....64

**СПИСОК РЕКЛАМОДАТЕЛЕЙ**

«Алнар».....64  
«Альфалидер групп».....64  
«БелПлата».....55  
«БЭК-эксперт».....22  
«Вектор Технологий».....52  
«ГорнТрейд».....28  
«Интеграл».....63  
«Минский часовой завод».....18  
«Нанотех».....16  
«Полдень Плюс».....28  
«Приборостроительная компания».....64  
«Промтехсервисснаб».....16  
«РИФТЭК-СМТ».....36  
«СветЛед решения».....64  
«Тиком».....46  
«ФЭК».....64

«Чип электроник».....64  
«Элконтракт».....21  
**Обложки, цветные вставки**  
Microchip..... V вст.  
Schneider Electric Industries S.A.S..... II вст.  
«Альфачип ЛТД»..... VII вст.  
«БЭК-эксперт»..... III вст.  
«Профессиональные сетевые  
системы»..... IV обл.  
«Радиоаптека»..... II обл.  
«Рейнбоу»..... III обл.  
«Радэл»..... VIII вст.  
«Фаворит-ЭК»..... IV вст.  
«ФЭК»..... I вст.  
«Элтикон»..... II обл.  
«Энерджи-Экспо»..... VI вст.





## ЧТО ТАКОЕ ЗАКОН МУРА?

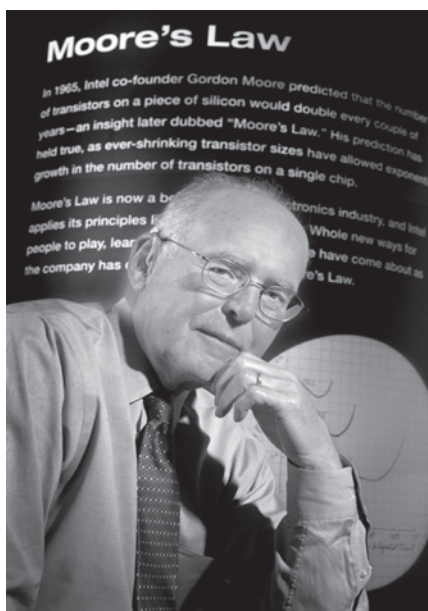
*По закону Мура, каждое следующее поколение компьютеров работает в 2,5 раза быстрее, а каждая последующая версия ОС Microsoft Windows в 1,5 раза медленнее.*

*Вопрос: с какой скоростью корпорация Microsoft должна выпускать свои продукты, чтобы пользователи не заметили действия закона Мура?*

19 апреля 1965 года, в журнале Electronics (vol. 39, № 8) в рубрике «Эксперты смотрят в будущее» вышла ныне всемирно знаменитая статья Гордона Мура (Gordon Moore) «Cramming more components onto integrated circuits» («Объединение большего количества компонентов в интегральных схемах»). В этой статье Мур (будущий сооснователь корпорации Intel), работавший тогда директором отдела разработок компании Fairchild Semiconductors, дал прогноз развития микроэлектроники на ближайшие десять лет на основании анализа шестилетнего развития микроэлектроники, предсказав, что количество элементов на кристаллах электронных микросхем будет и далее удваиваться каждый год.

Вскоре после выхода статьи эта эмпирически подмеченная закономерность получила название закона Мура (Moore's Law) и стала, пожалуй, самым знаменитым законом в IT-сфере и полупроводниковой индустрии, задав некий фундаментальный вектор развития технологии, которому разработчики микропроцессоров невольно стараются следовать вот уже более сорока лет! И хотя, строго говоря, закон Мура не принадлежит к числу научных – физических или математических – законов, на базе которых строятся наши современные представления о природе и протекающих в ней процессах, а является просто метко подмеченным эмпирическим правилом, отражающим экспоненциальный характер развития одной из многочисленных тенденций в современном человеческом обществе (в этом смысле закон Мура – скорее «социологический», чем «компьютерный»), он оказался очень удобным для описания определенных вещей и весьма полезным для прогнозирования деятельности компаний в этой области. Именно поэтому его так полюбили многие маркетологи и директора микроэлектронных предприятий, превратив в своеобразный фетиш.

Когда было сделано предсказание Мура, микроэлектроника пребывала в зачаточной фазе своего развития. Первый транзистор был создан в 1947 году (а в 1956 г. за его открытие Бардину, Браттейну и Шокли вручили Нобелевскую премию по физике). Первая микросхема заработала 12 сентября 1958 года в компании Texas Instruments (за ее изобретение Нобелевскую премию по физике присудили лишь в 2000 г.). «Первооткрывателями» микросхемы (то есть отцами современной микроэлектроники) считаются Джек Килби и один из основателей Intel Роберт Нойс. Физики, как таковой, при создании микросхемы было немного, но Килби и Нойс «всего-навсего» придумали технологию, которая совершила полный переворот в электронной промышленности. Кстати, к 1965 году в самой сложной микросхеме компании Fairchild было всего лишь 64 транзистора, и о каких-либо достоверных статистических



данных в этой отрасли не приходилось и говорить. Поэтому остается лишь поражаться, как в таких обстоятельствах Гордон Мур сумел предугадать фантастические темпы развития всей отрасли на несколько десятилетий вперед.

Выступая в 1975 году на конференции International Electron Devices, Гордон Мур отметил, что за прошедшее десятилетие количество элементов на кристаллах действительно удваивалось каждый год, однако, в будущем, когда сложность чипов возрастет, удвоение числа транзисторов в микросхемах будет происходить несколько медленнее каждые два года. Это новое предсказание также сбылось, и закон Мура продолжает в этом виде (удвоение за два года) действовать поныне (то есть в течение почти тридцати лет!), в последнее время немного ускорившись до удвоения за 18 месяцев, что

можно наглядно проследить на примере деятельности лидера современной полупроводниковой индустрии корпорации Intel.

### О названии

Само название «закон Мура» впервые было дано утверждению Мура Карвером Мидом. Закон Мура настолько разрекламирован, что кажется незыблемой истиной. Популярность закона Мура выгодна и самим производителям микропроцессоров, т.к. спекуляции на этом законе позволяют сделать хорошую рекламу – именно так сейчас Intel преподносит его на своем сайте: «Инновации Intel продолжают воплощать закон Мура в жизнь!».

Существует несколько интерпретаций закона Мура:

- наиболее выгодное число транзисторов на кристалле удваивается каждый год;
- число транзисторов в производимых чипах удваивается каждые два года;
- технологически возможное число транзисторов на кристалле микропроцессора удваивается каждые два года;
- производительность микропроцессоров удваивается каждые 18 мес.;
- тактовая частота микропроцессоров удваивается каждые 18 мес.;
- вычислительная мощность компьютера удваивается каждые 18 мес.;
- доступная вычислительная мощность удваивается каждые 18 мес.;
- плотность транзисторов на чипе удваивается каждые 18 мес.;
- вычислительная мощность, доступная за 1 долл. США, удваивается каждые 18 мес.;
- стоимость чипа падает вдвое каждые 18 мес.



Таблица – «Рост» числа транзисторов на одном кристалле микропроцессора

Микропроцессор	Год выпуска	Число транзисторов
4004	1971	2.300
8008	1972	2.500
8080	1974	5.000
8086	1978	29.000
286	1982	120.000
386	1985	275.000
486	1989	1.180.000
Pentium	1993	3.100.000
Pentium II	1997	7.500.000
Pentium III	1999	24.000.000
Pentium IV	2000	42.000.000
Itanium	2002	220.000.000
Itanium 2	2003	410.000.000
Itanium (Montecito)	2005	1.720.000.000
Tukwila	2008	более 2 млрд
...	...	...

**Кто такой Гордон Мур?**

Известный миллиардер и предприниматель Гордон Мур родился в Калифорнии, в Сан-Франциско. В 1950-ом году он окончил Университет Беркли и был удостоен степени бакалавра в области химии. После Мур получил степень доктора в химической и физической областях (по окончании Технологического Института в Калифорнии). Кстати, помимо всего прочего, Гордон успел отучиться в университете Сан-Хосе, в котором познакомился со своей будущей супругой.



В 1968-ом году Гордон основал корпорацию Intel, в которой некоторое время исполнял обязанности вице-президента. В 1975-ом году ему предложили пост президента и одновременно исполнительного директора. Мур согласился и занимал эти должности вплоть до апреля 1979-го года. Именно тогда его назначили председателем совета директоров компании, а также главным исполнительным директором. Руководящая деятельность Гордона Мура продолжалась до 1987-го года.

*...В 2003 году Гордон Мур подсчитал, что количество транзисторов, ежегодно поставляемых на рынок в мире, достигло 10.000.000.000.000.000 (10<sup>19</sup>). Это в сто раз больше, чем количество муравьев на Земле...*

В 1997-ом году Мур был удостоен звания почетного председателя совета директоров (на тот момент времени Гордон уже достиг пенсионного возраста).

Популярным Гордон Мур стал еще в апреле 1965-го года, когда вышла в свет его печатная работа «Закон Мура», затрагивающая область полупроводников. Через тридцать лет Мур внес существенные изменения в собственный закон, который вскоре стал основополагающим в полупроводниковой области.

Гордон Мур по праву заслужил общественное одобрение и был награжден множеством премий. Например, в 1990-ом году ему вручили медаль за значительные успехи в области технологий.

В настоящее время Гордон – член Национальной Академии Технических Наук, а также почетный член Института инженеров и председатель совета попечителей Технологического Института в Калифорнии. Кроме того, именем семьи Мур (Гордона и его супруги) названа одна из библиотек в Кембридже.



Одновременно Гордон Мур является и известным благотворителем. В 2001-ом году семейство Мура оказали значительную финансовую поддержку Технологическому Институту в Калифорнии и пожертвовали заведению 600 млн долл. Кстати, столь щедрый подарок оказался самым крупным пожертвованием ВУЗу в истории когда-либо сделанных. Цель Гордона состояла в том, чтобы поддержать ход передовых исследований.

Журнал Форбс (в 2004-ом году) назвал Мура одной из самых богатых персон планеты и поместил его имя на 75-ое место. Согласно информации, представленной изданием на тот период времени, собственный капитал Гордона оценивался приблизительно в 6 млрд долл.

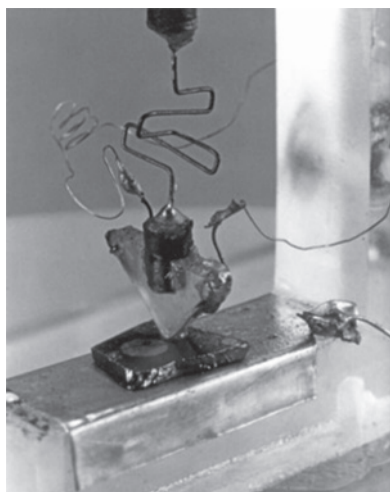
**Заключение**

Справедливости ради, следует признать, что так называемый закон Мура не выполняется с точностью, достаточной для того, чтобы считать его не только законом, но и эмпирической зависимостью. Возможно, что шумиха вокруг закона Мура – это ловкий маркетинговый ход корпорации Intel. Но, так или иначе, этот закон был подхвачен всеми и пришелся по душе компьютерным обывателям. Многие ученые считают, что закон Мура стал популярен потому, что в простой и очень доступной форме определяет фантастические (пока недоступные ни одной другой отрасли экономики!) темпы развития полупроводниковой индустрии.

## МИКРОЭЛЕКТРОНИКА. КАК ВСЕ НАЧИНАЛОСЬ. ЗАКОН МУРА ПРОТИВ НАНОМЕТРОВ

### 1940-50-е

Давным-давно, в 1945 году, когда вычислительная техника уже была электронной, но еще релейно-ламповой (хотя британцы уже во Второй мировой войне использовали германиевые диоды), руководство американской компании Bell Labs основало группу под руководством Уильяма Шокли по исследованию полупроводниковой замены вакуумным лампам, что и произошло через 2 года с изобретением транзистора. А в 1948 году «transistron» был независимо изобретен работающими во Франции двумя немецкими физиками – Хэрбертом Матаре и Хайнрихом Велкером.



Точечный транзистор

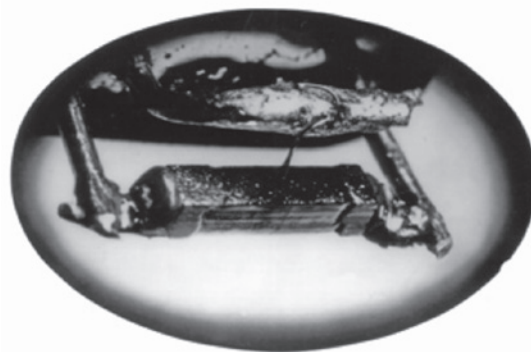
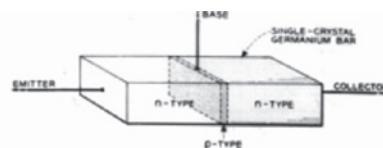
Правда, оба прибора были с неудобным в производстве точечным контактом к полупроводнику. В 1951 году Шокли изобрел биполярный транзистор с двумя p-n-переходами, полностью заменивший точечные уже к середине 50-х. К 1954 году транзисторы уже стали обязательными компонентами в телефонных станциях и аппаратах фирмы Bell. Мудрейшим шагом компании было решение 1952 года



«Транзистрон» на просвет в рентгене

о продаже (за 25 000 долл. США) лицензий на выпуск биполярных транзисторов 26 другим фирмам. Уже через 2 года появились транзисторные радиоприемники, на время ставшие сутью самого слова «транзистор» в массовом сознании. В 1956 году за открытие транзисторного эффекта Уильям Шокли и его помощники Джон Бэрдин и Уолтер Брэттэйн получили Нобелевскую премию по физике.

После изобретения транзистора Шокли в 1956 году основал компанию Shockley Semiconductor Laboratory, где изобрел еще один полупроводниковый прибор, названный им «диод Шокли». В отличие от транзистора, тут не 3, а 4 слоя полупроводника, что дало возможность блокировать прибор в открытом или закрытом состоянии без поддерживающего напряжения. Шокли был уверен, что это открытие не менее важно, чем транзистор, но на этот раз держал все в секрете даже от своих сотрудников, что привело его к почти параноидальному поведению. В довершение, нерешительность Шокли при управлении проектами не давала возможность немедленно пустить идею в производство. Это так расстроило его коллег, что 8 наиболее молодых из них потребовали сменить главу компании. Когда стало ясно, что навстречу им не пойдут, «вероломная восьмерка», как прозвала их жена Шокли, сама покинула компанию и в 1957 году основала Fairchild Semiconductor для производства полупроводниковых транзисторов.



Один из первых биполярных транзисторов

На тот момент, под полупроводником электронщики понимали, прежде всего, германий. Транзисторы из него получались хорошие, но p-n-переходы были термически нестабильны (притом, что прибор заметно грелся), а дороговизна затрудняла распространение. Однако в 1952 году впервые получен кристаллический кремний, а через 2 года Texas Instruments (TI) применила его в транзисторе. В 1955 году все в той же Bell Labs изобрели (точнее, впервые использовали



для производственных целей) почти все основные технологические операции микроэлектроники: осаждение изолятора, фотолитографию с масками (для деталей в 200 микрон!), травление и диффузию. Тогда же сделали и первые полевые транзисторы – именно такие (в миллиардных количествах) находятся в современных чипах. И еще одно малоизвестное, но совершенно революционное открытие: в 1954 году Чарлз Ли из Bell Labs изготовил транзистор с базой, толщиной всего в 1 микрон, и обнаружил, что он может работать на частоте до 170 МГц, что в десять раз быстрее тогдашних аналогов...

ботанный отпуск. 24 июля 1958 года Килби написал в своей записной книжке, что если элементы электрической схемы (резисторы, конденсаторы и транзисторы) сделать из одного материала, то они могут быть помещены на общую пластинку (на сленге – «вафлю», причем в оригинале говорится только так: wafer). А 12 сентября Килби построил первую ИС из пяти элементов, выполняющую роль генератора, хотя она еще не была однокристальной. Странно, что Нобелевской премии за это достижение надо было ждать до 2000 года...

Изобретение Килби имело большой недостаток – компоненты схемы соединялись золотыми проводками, что делало технологию малопригодной к дальнейшему уменьшению, усложнению и массовому производству. Однако к концу этого же 1958 года Жан Эрнэ из Fairchild продемонстрировал размещение в кремнии областей с избытком электронов и дырок, вместе составляющих *p-n*-переход, над которым располагался изолятор из диоксида кремния. В изоляторе протравлено отверстие, которое заполняется алюминием, образующим контакт. А чешский физик Курт Леховец из калифорнийской компании Sprague Electric догадался использовать *p-n*-переход как изолятор. Наконец, в 1959 году Роберт Нойс из Fairchild объединил обе идеи с возможностью напылять тонкий слой металла на схему. Этот слой потом выборочно вытравливался, получая одновременно все необходимые межсоединения, что сделало возможным изготовление более сложной схемы за несколько шагов. Так был изобретен планарный технологический процесс.

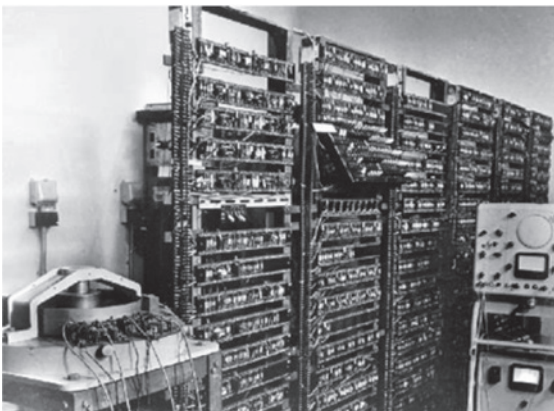


Прототип транзисторного радио на выставке в Дюссельдорфе (1953 г.)

В 1952 году британский электронщик Джэффри Даммер опубликовал идею об интегральной схеме (ИС), как о «твердом бруске без соединяющих проводов». В 1956 году Даммер попытался сделать первую микросхему, но неудачно. Через 2 года недавно принятый в TI молодой инженер Джэк Килби почти в одиночку сидел все лето в лаборатории миниатюризации, т.к. компания не отпустила его в пока еще не зара-



Первый вытравленный рисунок был вовсе не частью транзистора, а надписью «Конец». Но оказалось все наоборот...



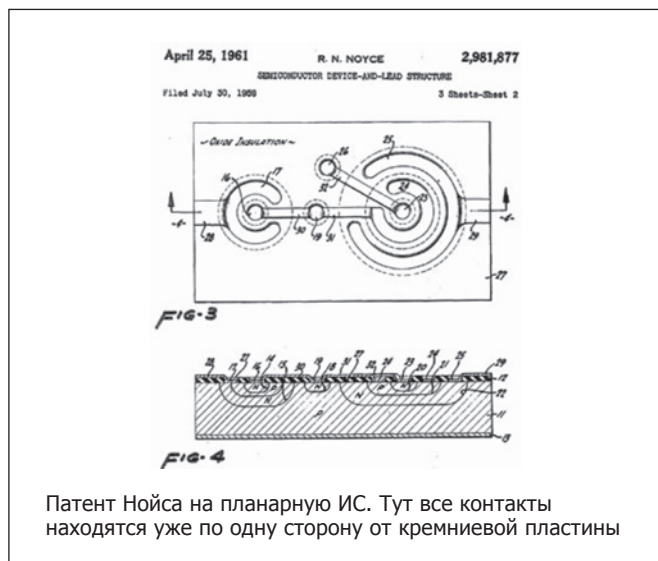
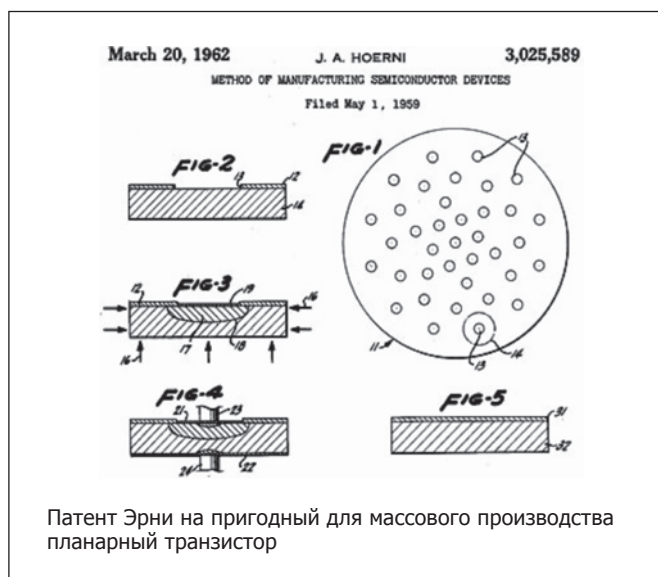
Прототип транзисторного компьютера в университете Манчестера «Manchester TC» (1953 г.)



5-кристалльный осциллятор Килби

Правда, пока этот процесс подходил лишь для изготовления отдельных кристаллов. Но уже тогда стало ясно, что микросхем понадобится не меньше, чем дискретных элементов, а значит, их производство должно быть более массовым. К счастью, в 1958 году Джэй Лэст и Роберт Нойс построили один из первых фотоповторителей, позволявших на одну пластину проецировать множество копий маски. А в 1961 году выпущены первые промышленные фотоповторители с уменьшением изображения – теперь маску можно сделать в 5–10 раз больше, что упрощало процесс ее подготовки. Маски изготавливались переносом выполненных на прозрачной пленке чертежей на лист рубилита, в рубиновом слое которого координатограф полуручным способом гравировал оттиск. Сами чипы изготавливались из пластин диаметром всего  $13\frac{1}{3}$  мм, введенных в 1960 году. Право называться первой коммерческой оспаривают микросхемы Fairchild и Texas Instruments. Кстати, Уильям Шокли также достиг массового производства своего диода, но так и не добился успеха, потому что появились микросхемы, где 3–6 транзисторов могли заменить такой диод.

Впрочем, все микросхемы пока делались с биполярными транзисторами, и если бы так оставалось и впредь – не видать бы нам никаких персональных компьютеров и мобильных телефонов. Но в 1959 году Джон Аталла и Дэвон Канг из Bell Labs изготовили полевой транзистор с изолированным затвором, чего не могли добиться с 1926 года, когда был открыт полевой эффект и указан его недостаток – поверхностные волны в металле не позволяли проникать полю затвора в канал. Получился всем сегодня известный «бутерброд»: металлический (Al) затвор, подзатворный оксид (SiO<sub>2</sub>) и канал-полупроводник (Si). И хотя первые два элемента уже давно делаются из других материалов, мы все еще называем это МОП-транзисторами. А в 1960 году в Bell Labs изобрели еще один нужный для массового производства процесс – эпитаксиальное осаждение тонкого слоя на кристаллической подложке, снова обнаружив, что малая толщина базы ускоряет биполярный транзистор.



В 1958 году инженер Сеймур Крэй (уже тогда прославившийся экспертом по компьютерам) устроился в компанию Control Data Corporation (CDC) на должность главного разработчика и сразу попросил фирму General Transistor изготовить быстрый германиевый транзистор для своей машины CDC 1604, ставшей в 1960 году одним из первых коммерчески успешных диодно-транзисторных компьютеров (после моделей IBM 1401 и 7090). Далее Крэй задался целью построить самый быстрый в мире компьютер (будущий CDC 6600), для чего ему нужен был транзистор со временем переключения менее 3 нс и способностью выдерживать перегрев (ибо высокоплотный монтаж в электронике – тоже не сегодняшнее изобретение). P-канальные полевые транзисторы (в большинстве из них канал между истоком и стоком открыт при отрицательном напряжении на затворе относительно истока) в то время получались медленнее биполярных, а производили их просто потому, что они получались дешевле. Более быстрые n-канальные (канал открыт при положительном напряжении на затворе) появились только в 1964 году, Крэй заплатил фирме Fairchild 500 000 долл., и в 1961 году Жан Эрни, используя



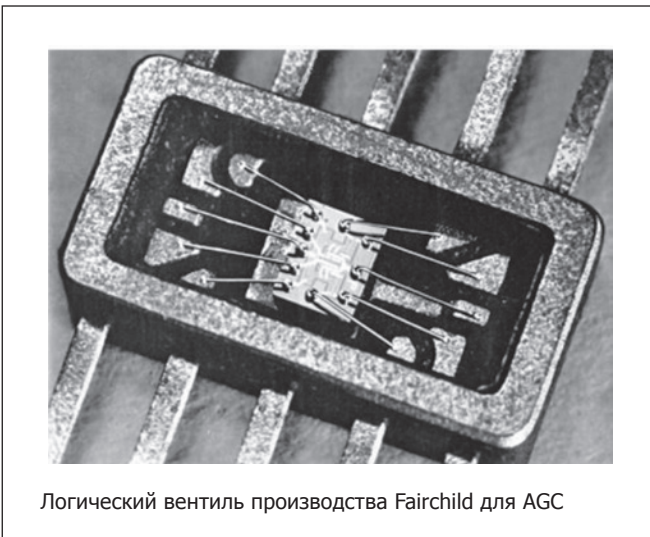
легирование золотом и эпитаксиальное осаждение, получил кремниевый биполярный транзистор, работающий быстрее германиевых.



Ручная нарезка маски из рубилита применялась до 70-х годов

**1960-е**

По микроэлектронной части роль главного героя отводилась навигационному компьютеру для Аполлонов (Apollo Guidance Computer, AGC). До того момента первые чипы были относительно медленные и продавались по цене в несколько раз больше аналогичного набора дискретных элементов. И только в авиакосмических применениях миниатюрность и энергоэффективность оказались важнее недостатков, хотя ИС содержали лишь несколько компонентов. Уже в 1961 году коллега Килби Харви Крэгон сделал демонстрационный «Молекулярный электронный компьютер» для ВВС США, в котором 587 ИС производства TI заменяли 8500 отдельных деталей. В этом же году чипы Fairchild уже применялись в простых компьютерах.



Логический вентиль производства Fairchild для AGC

AGC оказался намного сложнее, требуя около 4000 логических вентилях по 20–30 долл. США каждый. До 1965 года AGC оставался самым большим потребителем чипов как по количеству (200 000), так и по общей цене.

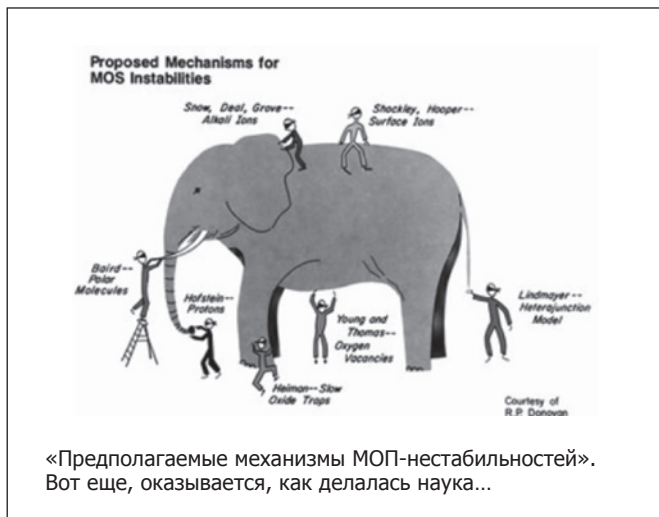
Боб Кук из TI изготовил первые экономные ИС для блока астронавигации. Одновременно (в 1962 г.) TI выиграла контракт на изготовление 22 видов заказных микросхем для системы наведения ракет Minuteman II. К этой же задаче присоединились и другие компании, так что в 1965 году ракетчики стали главными заказчиками ИС в США. Кстати, еще в 1961 году британская Ferranti Semiconductor стала производить одно из первых в Европе семейств цифровой логики для миниатюризации бортовых систем в британских ВМС. В этом же году Стивен Хофстайн из RCA сделал самую сложную на тот момент 16-транзисторную ИС, но лишь для лабораторных исследований.



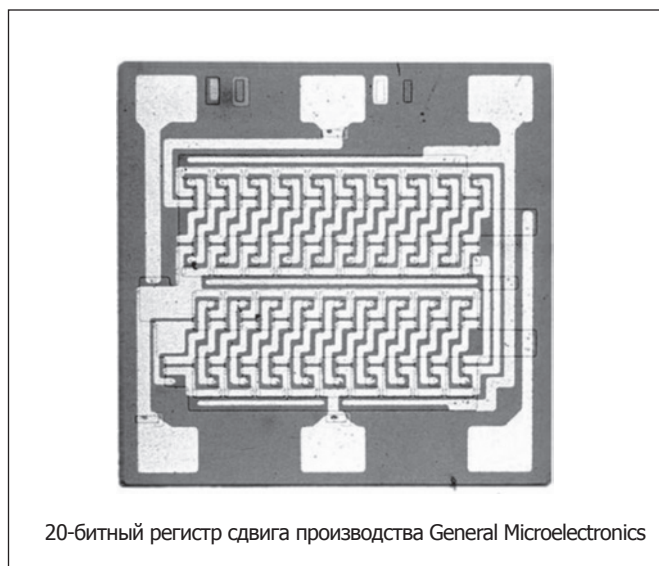
Модуль AGC производства Raytheon: корпус, плата и десятки ИС

В 1963 году вышли первые ТТЛ-чипы (транзисторно-транзисторная логика – самая популярная до конца 70-х), но главное – Фрэнк Уанласс из Fairchild показал, что симметричное спаривание p- и n-канальных МОП-транзисторов уменьшает потребление энергии при простое (когда транзисторы не переключаются) в миллион раз, назвав этот вид логики «комплементарная (структура) МОП» (КМОП). Впервые изготовленная через 2 года, она сразу стала использоваться в авиации и космосе, но быстро добралась и до коммерческих устройств. Из-за использования медленных p-МОП-транзисторов на рекорды скорости поначалу такая логика не претендовала.

Когда массовое производство ИС стало исчисляться уже миллионами, оказалось, что с применением пластин большего диаметра себестоимость чипов падает, а массовость растет – и в 1964 году введены 25 мм пластины, а через 2 года – на 38 мм. Однако уменьшать интегральные МОП-транзисторы оказалось труднее, чем биполярные, из-за производственных сложностей и падения надежности. Причем эксперты чуть ли не соревновались по добавлению очередного аргумента в ряд «почему оно не будет работать» – так что это даже вылилось в пародию на известную индийскую притчу о слепцах, ощупывающих слона по частям, чтобы изучить его. В течение 1963–66 годов специалисты из американских, европейских и японских компаний (в сотрудничестве и конкуренции) исследовали и решили большую часть вопросов надежности МОП-схем.

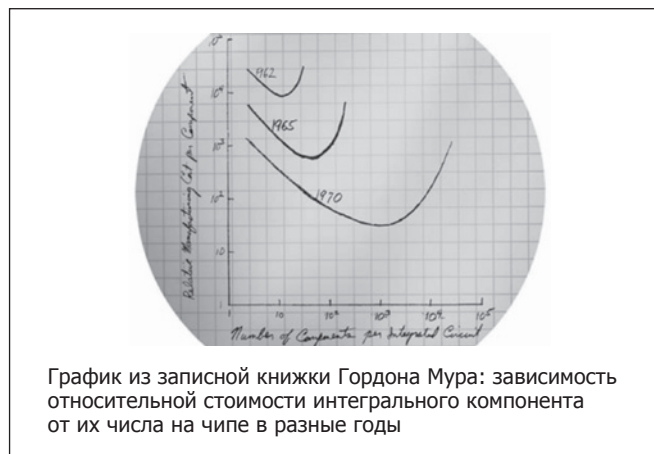


В 1964 году General Microelectronics выпустила первый коммерческий р-МОП-чип – 120-транзисторный 20-битный регистр сдвига. Через год сделаны еще 23 заказных вида микросхем для первого настольного калькулятора на МОП-ИС (Victor Comptometer EC-3900), включая 600-транзисторный 100-битный регистр. К 1969 году фирме Rockwell удалось сократить число калькуляторных чипов до 4, что позволило сделать портативные машины. В 1971 году Mostek и TI представили однокристалльные калькуляторные ИС (не считая внешнего контроллера экрана). До этого, в 1968 году RCA показала чип статической памяти (СОЗУ) на 288 бит (почти 2000 транзисторов) и первое семейство простой КМОП-логики общего назначения. Таким образом, помимо военных заказов, во второй половине 60-х одним из локомотивов микроэлектроники стали простые настольные ЭВМ. Их было гораздо больше мэйнфреймов, хотя в последних ИС применялись тысячами.

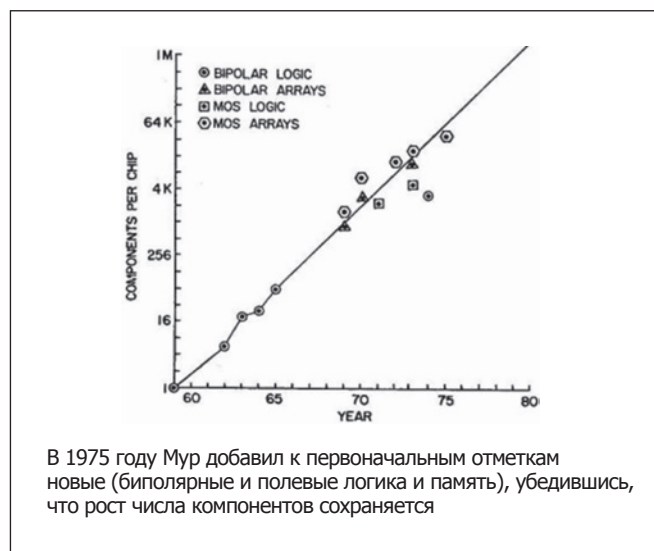


Но главное, в течение 60-х годов улучшения литографии позволяли увеличивать число транзисторов экспоненциальными темпами. Это заметил химик Гордон Мур, работавший тогда директором по НИОКР в Fairchild. В 1965 году он на-

писал внутренний доклад «Будущее интегральной электроники» с графиком, соединяющим 5 точек и связывающим число компонентов ИС и их минимальную цену для периода 1959–1964, и предсказанием развития на следующие 10 лет. Последнее основывалось на том, что число компонентов на чипе будет продолжать удваиваться каждый год. Чуть позже отредактированная версия появилась в виде статьи в журнале Electronics 19 апреля 1965 года.

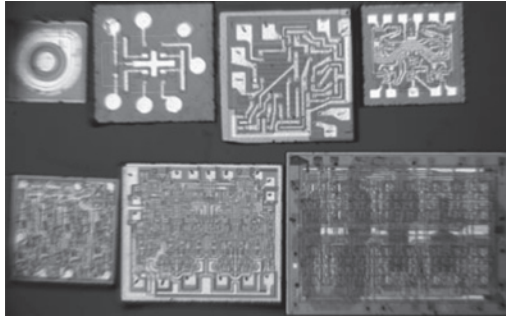


Интересно, что в 1975 году на ежегодной встрече Международной Организации Инженеров-Электронщиков (IEEE) Мур (уже как президент и исполнительный директор Intel) указал, что увеличение диаметра пластин, успехи в технологических процессах и «поумнение схем и устройств» позволило продолжиться прогнозу. Впрочем, Мур скорректировал свою закономерность до удвоения каждые 2 года, добавив в последние данные большую долю микропроцессоров как наиболее сложных логических (т.е. нерегулярных) схем. Предсказание оказалось самоподдерживающимся: теперь Гордон Мур уже не наносит на свой график очередные достижения, зато многочисленные фирмы (и, конечно, сама Intel) до сих пор стараются идти в ногу с прогрессией. Кстати, титул закона ей дал известный информатик Карвер Мид в 1980 году. Еще раз публично проверяя свое предсказание в 1995 году, Мур сделал вывод, что оно «не скоро остановится».



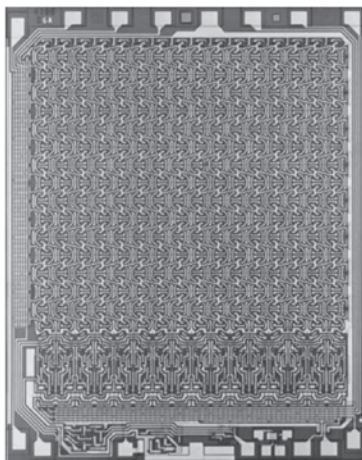


Поясним, почему делается разделение между регулярными и нерегулярными дизайнами (чаще всего под ними понимают память и процессоры, соответственно). Регулярный чип имеет в 5–10 раз большую плотность размещения транзисторов, чем в логических схемах, где относительно мало повторяющихся элементов. Однако прогресс последних более сложен и приносит больше пользы. Проще говоря, если вам мало памяти, то можно ее набрать большим числом микросхем имеющегося объема. А вот с недостатком производительности ЦП так просто не сделаешь.



Эти чипы Мур использовал как доказательство геометрической прогрессии в микроэлектронике

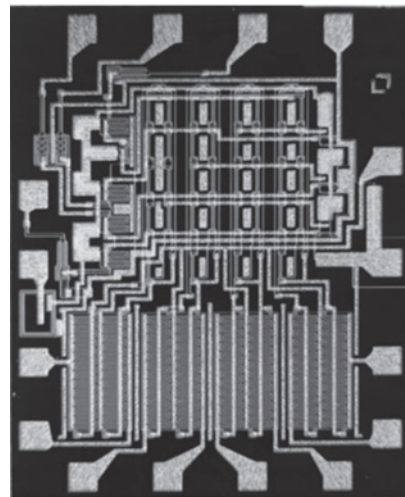
В 1963 году Роберт Нормэн из Fairchild запатентовал то, что позже получило название статического ОЗУ (СОЗУ). Через 2 года кооперация фирм Scientific Data Systems и Signetics изготовила первый 8-битный биполярный чип памяти. В 1966 году команда Тома Лонго из Transitron сделала свою версию 16-битного ОЗУ для миниЭВМ Honeywell Model 4200, что стало первым применением интегральной полупроводниковой памяти в коммерческих компьютерах. 64-битные чипы появились в 1968 году в IBM (для первого в мире кэша), Fairchild, Intel и TI. В 1969 году IBM представила 128-битную схему уже



Кристалл 256-битной ТТЛ-памяти для процессора суперкомпьютера Illiac IV – двумерная регулярность топологии очевидна

для основного ОЗУ, выпущенного через 2 года компьютера System/370 модели 145. В 1970 году 256-битный чип Fairchild использован в машине Burroughs Illiac IV. А суперкомпьютер Cray 1 в 1976 году имел 65 536 килобитных ИС от Fairchild. Из этой прогрессии ясно, почему Муру поначалу казалось, что удвоение транзисторов будет ежегодным – для памяти это оказалось проще.

В 1968 году сделан настолько важный прорыв, что за следующие 35 лет ничего подобного с транзистором не случилось: Роберт Кервин, Доналд Кляйн и Джон Сэрэс из Bell Labs сменили материал затвора с алюминия на поликремний (поликристаллическая форма кремния, сильно легированная проводящими примесями). Несмотря на то, что его сопротивление больше, чем у металла (и потому контакт к затвору по-прежнему металлический), осаждение и выборочное вытравливание кремния для затвора позволило использовать его в качестве маски для формирования истока и стока, идеально подогнанных к его краям, поэтому поликремневый затвор называется самосовмещенным (self-aligned). Это резко снижает разброс характеристик, вызванный неидеальным наложением масок при литографическом формировании истока и стока. Меньший разброс улучшает надежность работы, а расположенные тесней части транзистора увеличивают скорость и плотность размещения самих транзисторов.



Fairchild 3708 – первая коммерческая ИС с поликремниевыми затворами, 1968 год

Некоторые микроэлектронные фабрики до сих пор готовят чипы с почти тем же вариантом МОП-транзистора, что был изобретен в конце 60-х. В том же 1968 году Федерико Фэггин и Том Кляйн из Fairchild переделали имеющуюся микросхему (8-канальный аналоговый мультиплексор) под новые транзисторы. Как часто бывает, не обошлось без обиженных: в 1965 году Бойд Ваткинс представил почти такую же структуру на конференции General Microelectronics, но регистрация его патента почему-то задержалась до 1969 года.

Конец 60-х родил еще две «революции», одна из которых вам наверняка нравится, а вторая – наверняка нет... Восьмерка «молодых и дерзких» в 1968 году ушла из Fairchild, и каждый основал свою компанию. В частности, Гордон Мур и



«Вероломная восьмерка», 1958 год (через год после основания Fairchild)

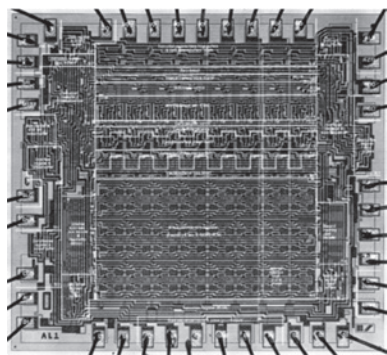
Роберт Нойс основали Intel, а через год еще 5 «fairchildren» («прекрасных детей», еще одна кличка) основали AMD. Вообще, за 20 лет перебежчики из Fairchild создали 65 разных компаний, но далеко не все оказались известными. После основания Intel сразу занялась производством памяти. Оказалось, что поликремниевый затвор ускоряет доступ в 3–5 раз и уменьшает наполовину площадь, по сравнению с обычным МОП-чипом той же емкости. Так что первой микросхемой Intel была i1101 – 256-битное ОЗУ (1969 г.).

**1970-е**

Это десятилетие ознаменовалось, прежде всего, взлетом микропроцессоров. Конечно, активно продвигалась и память, в частности, динамическое ОЗУ (ДОЗУ, DRAM) стало не только более емкой и надежной, но и дешевле памяти на магнитных кольцах. Но именно в дизайне логических микросхем произошел прорыв: за 10 лет процессоры из 4-битных стали 32-битными, и для многих применений этого хватает до сих пор. Рассматривать все «первые» мы не будем, но лучших претендентов упомянем.

**Кто первым начал?**

«Центральный обработчик (компьютер) аэроданных» (Central Air Data Computer, CADC) – интегрированная система управления полетом для первых версий истребителя

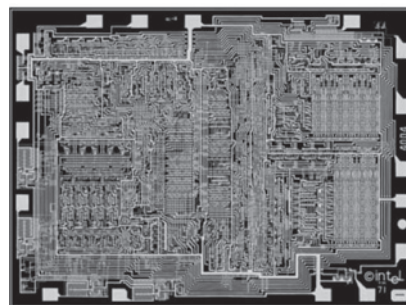


8-битный ЦП AL-1 от Four-Phase Systems

F-14 Tomcat. Ее МОП-ИС MP944 – первый в мире многокристальный процессор. Система конструировалась командой Стива Геллера и Рэя Холта из Garrett AiResearch с 1968 по 1970 годы. CADC состоит из 20-битного аналого-цифрового преобразователя, ЦП и еще нескольких отдельных деталей. Процессор состоял из микросхем шести разных видов: параллельный умножитель, параллельный делитель, логика спецфункций, логика управления (до 3 штук), ОЗУ (до 3) и ПЗУ (до 19). Холт написал об этом ЦП в журнале Computer Design в 1971 году, но ВВС США засекретило статью до 1998 года. Фото чипов недоступны до сих пор...

В 1967 году Ли Бойсел из Fairchild высказал идею, что весь компьютер может быть сделан на микросхемах. Компания наградила его должностью главы отдела разработки МОП-ИС, чтобы его идея стала явью. Но в 1968 году Бойсел (с двумя коллегами) покинул Fairchild и основал фирму Four-Phase Systems. Их компьютер с первым в мире коммерческим однокристальным микропроцессором был показан в 1970 году на конференции Fall Joint (сам ЦП был готов годом ранее). За год удалось продать 4 системы, еще за два – 347. Постоянно наращивая продажи, компания, в конце концов, была куплена корпорацией Motorola за 253 млн долл. США в 1982 году.

ЦП компьютера являлся 24-битным и состоял из трех чипов AL1, обрабатывающих по 8 бит с учетом переноса, являясь таким образом еще и первым наращиваемым или «бит-слайсовым» ЦП. Сам AL1 имел лишь АЛУ и 8 регистров, на что ушло, предположительно, более 4000 транзисторов. Впрочем, AL1 не называли микропроцессором и не продавали отдельно от «родного» компьютера. Однако когда в 1990 году TI заявила, что именно она запатентовала 1-кристальный ЦП, Ли Бойсел собрал плату с одним AL1 (а не тремя) и принес ее прямо в зал суда для демонстрации работы.



4-битный ЦП Intel i4004

Всемирно известный Intel i4004 являлся первым 1-кристальным коммерчески доступным ЦП, продававшимся в т.ч. отдельно (в отличие от AL1), хотя разработан был для конкретной модели калькулятора. Дизайнеры чипа – Федерико Фэггин и Тед Хофф из Intel и Масатоши Шима из Busicom. Этот 4-битный ЦП не умел наращивать разрядность, зато обошелся всего в 2300 транзисторов. Тем не менее, Фэггину пришлось применить разнообразные ухищрения, чтобы уместить чип в размерах, приемлемых для рентабельного производства и узкого 16-выводного корпуса.

Пока десяток фирм упражнялись в попытках уместить на микросхеме все большее, IBM еще с 1970 года пыталась решить не менее важную проблему – уменьшение удельной

цены чипов памяти (на каждый бит), чтобы они вытеснили магнитную память. Первая микросхема динамического ОЗУ Intel i1102 в 1970 году стоила 21 долл. США (позже подешевев вдвое), а емкость имела всего 1 килобит. Группа Дэйла Критчлоу в IBM пыталась достичь цены в 1 миллицент/бит. Для этого, другой группе под руководством Боба Деннара (изобретателя самой компактной и до сих пор применяемой во всех чипах ДОЗУ 1-транзисторной ячейки) поручили сделать исследование, из которого оказалось, что самый верный способ — уменьшить площадь ячейки уменьшением не числа транзисторов, как было до сих пор (ДОЗУ начинались с 3 транзисторов/бит), а самих транзисторов. Ведь еще в 1962 году Томас Стэнли из RCA опубликовал аналитический доклад о том, что уменьшение особенно благотворно для МОП-структур, т.к. затвор, длина которого ограничивает скорость, лежит вдоль прибора, а не поперек.

На тот момент, самый передовой техпроцесс имел норму в 5 мк. Критчлоу и Деннар пропорционально уменьшили все части транзисторов в 5 раз, обнаружив почти линейную зависимость основных параметров — скорости и потребления (помимо очевидного уменьшения площади). Результаты этих опытов были представлены на IEDM (International Electron Devices Meeting — международная встреча [разработчиков] электронных устройств, крупнейшая ежегодная конференция электронщиков) в 1972 году; в этом же году похожую работу опубликовали Карвэр Мид и Брюс Хенейсен из Калифорнийского Института Технологий.

В течение еще двух лет были проведены дополнительные исследования, и в 1974 году родилась ставшая классикой работа «Устройство ионно-имплантированных МОП-транзисторов очень малых физических размеров». Хотя тогда это еще не все поняли, но предложенная теория масштабирования (по сути, научное подтверждение до тех пор эмпирической закономерности Мура) поставила окончательный крест на биполярных транзисторах, все еще применявшихся в самых быстрых логических чипах типа ЭСЛ (эммиттерно-связанная логика) — так что в 80-е уже и суперкомпьютеры перешли на МОП-ИС. А все потому, что биполярные транзисторы не масштабируют свои параметры также хорошо, как полевые, с уменьшением своих размеров.

Но чтобы всемирная борьба за микроны (а позже и нанометры) началась, не хватало еще одного: надо соответственно улучшить и параметры производящего оборудования. Ведь до тех пор все микросхемы делались контактным способом, когда маска буквально впечатывалась в пластину и только после этого облучалась. Это порождало большое число осколков и пыли, выбиваемых с поверхности и загрязнявших пластину. Но в 1973 году фирма Perkin Elmer (теперь это SVG Lithography) представила проекционный принтер — первый пример массовой фотолитографии. Применяя его с положительным фоторезистом (фоточувствительным материалом, растворяющимся после освещения), удалось добиться революционного прорыва в выходе годных (доля рабочих чипов среди изготовленных — важная характеристика реализации техпроцесса на конкретном фабе): плотность дефектов на единицу площади резко уменьшилась, т.к. физического контакта маски с пластиной больше нет. Сама маска теперь — кварцевая пластина с хромовым слоем, содержащим нужный рисунок.

Дополнительно к этому фабрики не забывали еще одну гонку — по уменьшению себестоимости пластины, что достигалось

увеличением их массовости и диаметра. Последний вторую половину 60-х был на уровне 38 мм, но в 1970 году внедрены пластины на 57 мм, в 1973 — на 76, в 1975 — на 100, а в 1979 — на 125 мм. Т.е. за 10 лет площадь пластин увеличилась в 5–7 раз, что сказалось и на числе производимых микросхем (как все это время росла средняя площадь самих чипов, покажем чуть позже). Таким образом, у мировой микроэлектронной промышленности появилась возможность следовать закону Мура не в ущерб себе, а как раз наоборот, с коммерческой выгодой.

### 1980-е

Наверное, одно из самых больших событий в мировой микроэлектронике произошло в 1980 году, когда IBM, рассматривая ЦП Motorola и Intel, выбрала i8088 для выходящего через год IBM PC. Возможно, конкурент — 32-битный MC68000 — был слишком дорог (имея около 70 000 транзисторов против 29 300) или не был приспособлен для относительно дешевых систем (имея 16-битную шину данных). Intel же к тому времени переделала 16-битный i8086 для 8-битных чипсетов в виде i8088. В 1982 году Motorola также выпустила урезанную версию с 8-битной шиной (MC68008), но было уже поздно. Неясно, как бы развивалась микроэлектроника, если бы IBM не стала экономить и выбрала куда более прогрессивную архитектуру MC68000. Тем более, что Apple в 1984 году выбрала ее же для своих первых Макинтошей. Возможно, Intel по-прежнему бы выпускала микросхемы памяти и простые 8-битные контроллеры. Особенно после провала своего первого (и заранее широко разрекламированного) 32-битного ЦП iAPX432, который должен был заменить архитектуру x86.

Однако ажиотажный успех первых PC (неожиданный даже для самой IBM, где к проекту относились с сомнением и считали его экспериментальным) поставил все на свои места: в Intel поняли, что миру будет нужно много «персональных процессоров», причем с регулярной сменой поколений. Непрофильные микросхемы постепенно отходили в сторону, уступая место процессорам x86. Интересно, что еще до успеха PC Intel успела продать несколько лицензий на производство аналогов i8086 другим компаниям; AMD свою получила уже в 1982 году, по распространенному заблуждению — из-за политики IBM иметь нескольких поставщиков каждого важного компонента, чему Intel, якобы, вынужденно подчинилась. Так или иначе, потребовалось быстро обойти собственноручно созданных конкурентов, для чего выбрали улучшение не только микроархитектур ЦП, но и технологических процессов для их выпуска. Для Intel это не менее важно до сих пор, хотя большинство компаний (включая главного конкурента) давно перешли на модель «fabless + foundry», т.е. бесфабричного разработчика и контрактного завода-производителя.

Вроде бы, все это должно было дать новый поток принципиальных достижений, продвигающих интегральную технику. Однако за следующие 10 лет таковых оказалось гораздо меньше, чем даже за 70-е, хотя количественный прогресс, диктуемый законом Мура, продолжался. Возможно, уже открытого хватало, чтобы двигаться вперед с обновлениями, прежде всего, технормы и числа слоев межсоединений. Помимо этого, промышленность не забывала наращивать и диаметр пластин: в 1981 году — 150 мм, в 1985 — 200 и в 1996 — 300. Переход на пластины 450 мм сильно затянулся из-за чрезвычайной дороговизны оборудования, покупку которого до 2020 года смогут потянуть лишь 5-6 компаний в мире.

**Источник: [ixbt.com](http://ixbt.com), [rutracker.org](http://rutracker.org)**



## МИКРОЭЛЕКТРОНИКА ДЛЯ «ЧАЙНИКОВ»: ДИЗАЙН ЧИПОВ – ТВОРЧЕСТВО, НАУКА, ЭКОНОМИКА

*О дизайне чипов, о творческой, научной и рыночной составляющих этого процесса – в беседе с заместителем главного конструктора завода «Микрон» Григорием Хреновым.*

**– Если дизайн чипов подразумевает под собой некое творчество, то самое важное в любом творчестве – люди. Разработчики чипов, дизайнеры на «Микроне» – что это за люди, откуда они берутся?**

– Мы стараемся подбирать себе лучшие кадры, которые только может нам предоставить российская и не только действительность. Во-первых, мы опираемся на тот костяк опытных разработчиков, которые работают в этой индустрии уже многие десятилетия. Во-вторых, мы используем молодые кадры. Здесь у нас большие связи с Московским Институтом Электронной Техники. Сейчас мы достаточно сильно омолодили свой кадровый состав – у нас работает очень много молодых талантливых ребят. Большинство – выпускники МИЭТа. Есть и сотрудники, которые, уже работая на «Микроне», прошли стажировку в иностранных компаниях, в частности, у нашего технологического партнера (французской компании STMicroelectronics). Есть ряд сотрудников, у которых за плечами опыт работы в ведущих иностранных компаниях микроэлектронной индустрии – в американских, европейских. Так что кадровый потенциал у нас очень мощный, разносторонний. Много очень перспективных молодых ребят, что особо радует.

**– Вот есть студент МИЭТа, который учится на эту специальность. Как можно сказать, подходит он или нет? Какие у него должны быть черты характера, качества души, по которым можно определить – «да, из него получится хороший дизайнер»?**

– Это, скорее, не качества, а, прежде всего, желание. Научить можно практически любого человека. Но если нет желания, то хорошо и творчески – как сейчас говорят «креативно» – он это делать не будет. Поэтому человек должен сам для себя решить хочет ли он связать свою судьбу с микроэлектроникой, разработкой, проектированием. Это фантастически удивительный мир, в котором можно реализовывать себя каждый день, находя что-то новое, выигрывая сражения не с другим человеком, а с материальным миром. Это очень жесткий мир, его законы нарушать нельзя, с ним нельзя «договориться».

**– Дизайнер заставляет мир прогнуться под потребности заказчика, можно так сказать?**

– Да. Если тебе нравится эта жизнь, если это твое, то люди остаются в индустрии раз и навсегда. Но сказать заранее, все-таки, нельзя. Нет таких специфических особенностей человеческого характера, которые были бы свойственны разработчикам интегральных схем, но не свойственны разработчику самолетов. Инженерная практика, с точки зрения человеческих качеств, если отвлечься от знаний и навыков, всегда требует некоторой скрупулезности, дотошности. Ну и ответственности за то, что ты делаешь.

Потому что за тобой проверять уже, как правило, никто не будет – все считают, что все сделано как надо. Эта ответственность должна воспитываться с молодых лет, чтобы человек чувствовал, что это не только его труд. Особенно сейчас, когда над разработкой сложных современных изделий работают большие коллективы. Если ты не будешь скрупулезен, дотошен, то ты подведешь не только себя, а всех, в конечном счете. Люди, которые хотят связать свою жизнь с разработкой схем, должны себе представлять, что есть такое требование – склонность к скрупулезности, аккуратность.

**– Вы сказали, что есть старый костяк и есть молодое пополнение, например, из МИЭТа. Есть, наверное, люди, которые работали еще в микроэлектронной промышленности Советского Союза, но затем уехали за рубеж. Они сейчас возвращаются?**

– Я сам много лет проработал за рубежом, и в Японии – профессором в университете, и в американских компаниях. Вернулся и совершенно не жалею об этом. Просто были сложные годы, сейчас их принято называть «лихие 90-е», «мрачные 90-е». Перспективы были непонятны, тяжело было оставаться в профессии и работать здесь. А начиная с 2000-х годов стал восстанавливаться интерес к индустрии высоких технологий. Это касается не только микроэлектроники, но и многих производств, которые всегда были хорошо развиты. Государство стало проявлять интерес, частный бизнес стал чувствовать поддержку государства и вкладываться – риски, все-таки, меньше, раз поддержка есть.

Другое дело, что мобильность людей разная. Кто-то легко принимает такие решения и возвращается, а кто-то уже привык. Но я считаю, что возможности, которые открываются сегодня здесь для людей, кому интересно работать, – очень большие. Долгие годы мы не имели возможности заниматься разработкой микроэлектронных изделий современного уровня, а сейчас она появилась. Да, у нас есть какие-то чисто методологические проблемы, которые надо преодолевать. Но это интересно, я так считаю. Это «вызовы». Или, как говорят американцы, challenge.

**– Есть ли дефицит дизайнерских кадров? Я знаю, что в стране дизайн-центров не хватает. Говорят, на один большой фаб в мире приходится сотни дизайн-центров. У нас их, наверное, в несколько раз меньше. Это связано с тем, что они не востребованы на рынке или с нехваткой квалифицированных кадров?**

– В советские времена подготовка разработчиков велась во многих университетах, институтах. Во многих случаях эти университеты и направления их педагогической деятельности остались, и кадры даже остались. Скорее, это было связано с невостребованностью этих специальностей на рынке. Когда люди, выходя в жизнь в качестве разработчика, обнаруживали, что работать им негде. Одна из самых емких индустрий была программирование, IT-технологии. Люди, имея хорошее инженерное образование, уходили в эту сферу. Вспоминая прошлое, я могу сказать так. Кстати,

многие из моих однокашников, которые уехали работать в США, уехали работать не в микроэлектронику, а в тогда быстроразвивающуюся область IT.

Я не могу вспомнить никого из тех, с кем я учился когда-то, кто работал бы именно в электронике. Те, кто живут в Штатах, в основном, работают в IT. Многие выпускники, не видя себе применения, уходили в IT и другие более доходные и перспективные сферы бизнеса. Произошла такая ситуация, что какое-то время мы выпускали специалистов, а они, не будучи востребованными индустрией, уходили куда-то. Этот дефицит стал накапливаться. Сейчас мы достаточно мощно стартуем, пытаемся развиваться во всех направлениях, а подпитки теми ресурсами, которые были в свое время подготовлены, нет. Причем если посмотреть на кадровый состав, и не только у нас на «Микроне», а вообще в индустрии, то достаточно большое количество зрелых уже людей и очень много молодых. Есть провал в середине, и он фиксируется во всем хайтеке.

Это печальный факт. Я в свое время, работая в Академии Наук, обратил внимание, что у нас в институте людей моего возраста двое. Мне было тогда тридцать с небольшим лет. Двое! Люди среднего возраста, очень креативного, когда уже наработаны большие знания и в то же время ты еще молод и энергичен, амбициозен... Этот слой был вымыт. Эта дыра уходит сейчас, мне уже побольше лет, чем тогда, конечно. Но эта яма есть и будет еще сказываться. Но время идет – все зарастает.

**– Вы сказали, что специалистов готовит МИЭТ. А вообще МИЭТ в состоянии сейчас подготовить специалистов для современного производства? Именно в силу технологического отставания тех же «лихих 90-х» не было ли этого вакуума, ямы в научных знаниях?**

– Все-таки инжиниринг – вещь более практическая, чем фундаментальная наука. Я лично сейчас сотрудничаю с МИЭТом. Конечно, приходится адаптировать к современным реалиям, к современной микроэлектронике те знания, наработки, курсы которые были когда-то созданы. Надо сказать, что МИЭТ тоже двигается очень быстро, видя потенциальный рынок для своих выпускников. А профессура видит рынок для приложения своих научных идей, разработок. МИЭТ тоже очень быстро прогрессирует, и начал прогрессировать не вчера.

Современное проектирование в значительной степени опирается на мощные современные средства автоматизации. Это достаточно дорогостоящие программные продукты. Стоимость одной лицензии исчисляется сотнями тысяч долларов в год.

Специалист должен обязательно уметь работать с этими инструментами. Если он не умеет работать с инструментами такого класса, то он не интересен рынку. На рынке САПРов – систем автоматизированного проектирования – есть три больших игрока. Все они работают в партнерских отношениях с МИЭТом. Это Synopsys, Cadence Design Systems и Mentor Graphics. Все три больших игрока работают с МИЭТом, там совершенно замечательно поставлено это дело, я здесь не кривлю душой.

**– Может получиться универсальный студент, который умеет работать во всех трех системах?**

– Было бы желательно. Это разнородные системы, и каждая компания имеет в своей продуктовой линейке

сильный продукт и более слабые. Практически всегда при проектировании и западные, и наши компании используют набор продуктов разных фирм – микс. Я знаю лишь одну компанию, которая работает только с Cadence. Большая компания, я не буду ее называть, чтобы не рекламировать. И то она все равно немного использует продукты других компаний. В остальном, все работают на миксе. Что-то от Synopsys, что-то от Cadence, что-то от Mentor Graphics.

В этом смысле МИЭТ – уникальная площадка, где есть все основные продукты этих производителей. У студентов есть возможность с этим работать. Преподавательский состав готовит специальные курсы, которые позволяют изучать проектирование интегральных схем с использованием конкретных промышленных, индустриальных продуктов, что важно. То есть, это не какие-то там теоретические размышления о том, как можно было бы все это сделать. Нет, берете проект, вот инструментарий, пожалуйста, приступайте. В этом смысле они очень хорошо подготовлены, с точки зрения владения системными средствами САПР. Все, на самом деле, упирается в то, что в инжиниринге очень много зависит от личного опыта конкретного человека. Этому научить нельзя, он набирается, к сожалению, только с годами, с количеством удачно законченных проектов.

**– Насколько я понимаю, все проекты собираются из неких кусочков, из кусочков старых проектов, можно использовать какие-то наработки...**

– Я понимаю. То, что вы говорите, совершенно верно. Это немного по-другому называется в индустрии – это «reuse» предыдущего, накопленного богатства.

**– Существует такая общая база знаний?**

– Не только база знаний, но и база отдельных элементов, блоков. Это то, что принято называть IP-блоками. Это целая индустрия. В мире есть компании, которые живут тем, что разрабатывают и продают IP-блоки компаниям-разработчикам конечных изделий, схем, например. Для того, чтобы ваше знание было превращено в этот IP-блок, требуется достаточно большая работа. Но без учета времени проектирования вы не будете конкурентоспособны. Важен «time to market» – как быстро вы выходите на рынок. Вы можете сделать отличную разработку за пять лет, но через пять лет она никому не будет нужна. Она нужна через год-два. И вот вы видите, что можете разработать какой-то блок сами, но тогда это займет пять лет. Или вы можете купить готовое сертифицированное, проверенное решение у поставщиков IP и использовать в своем дизайне, сократив время разработки. Это практика, которой сейчас все пользуются. Весь мир теперь так устроен.

**– Вы уже сказали, что рынок накладывает некие ограничения на работу дизайнера вообще. Как происходит рождение чипа? Сначала появляется какая-то идея, потребность заказчика. Затем она поступает в дизайн-центр, к дизайнеру. И что он делает дальше? Его фантазию ограничивает рынок, технология, начальство, деньги, время?**

– Все. Родается все ровно так, как вы сказали. За редким исключением, когда дизайнеры сами что-то придумали и начали реализовывать – это стартап. Это когда дизайнеры сами инициируют процесс разработки. Люди поработали

в большой компании, узнали дефекты компании, не в том смысле, что она как-то плохо устроена, а что есть нишевой продукт, которым компания, например, не хочет заниматься, не видит перспективы, в силу, например, размера этой ниши или повышенной рискованности вложений. И зачастую люди уходят, создают маленькие стартапы, рождают этот проект. Знания о рынке к ним приходят после работы в предыдущей компании.

Дизайнеры внутри компаний – откуда они получают знания? Конечно, от маркетологов – от людей, которые исследуют рынки. Разговаривают со своими заказчиками, оптимально – поговорить еще с заказчиками вашего заказчика. Потому что ваш заказчик тоже может ошибаться. Вы сделали для него продукт, но если это не конечный продукт, а ваш заказчик ошибся и дальше развитие не пошло, то он перестанет у вас покупать. Все на этом кончится. Поэтому только после большой работы маркетинга в дело вступают дизайнеры.

Обычно это люди уровня архитекторов, которые делают первичный анализ – возможна ли реализация этого проекта. Маркетологи могут вам наговорить что угодно, причем поставить перед вами несовместимые требования. Они хотят, чтобы был вот такой функционал, чтобы по цене было вот столько и чтобы на маленькой батарейке работало год. Вы начинаете все складывать и говорите: «Нет, я могу сделать год, но он не будет показывать трек-файлы, потому что вычислительная сложность большая, потребление большое».

#### – Сначала идет притирка требований...

– Да, потому что маркет говорит, «меньше, дешевле, дольше времени работы». Все, что можете, отдайте. Но так не бывает – нужно найти компромисс. На следующем этапе эти «архитекторы» пытаются понять, что реально может быть достигнуто современной технологией, доступны ли эти технологические возможности. Потому что не для каждой компании-разработчика доступно все, что есть в мире. Есть технологии, которые используются только той компанией, которая ими владеет. Есть ли эта технология на рынке – своя или контрактная? Можно ли достичь и сколько примерно будет стоить процесс разработки? Только после этого executive stuff принимает решение, «маркет» говорит «да», чип-дизайнеры говорят «это можно сделать за разумные деньги». Будем принимать решение.

**– Кстати, по времени разработки. Допустим, если мы возьмем компьютерные процессоры, сколько человеко-часов требуется для разработки нового процессора у Intel?**

– Вы имеете в виду – тысяч человеко-лет? Это меряется такими единицами.

#### – То есть, тысяча человек делает год?

– Нет, я сказал, что это меряется в тысячах человеко-лет. Сколько точно – неизвестно. Intel – очень закрытая компания и крайне не любит рассказывать о том, как и что она делает, сколько это стоит.

Тут надо только понимать следующее. У Intel есть разные процессоры, один от другого может отличаться немного... А есть ключевые изделия, которые перевернули

все. Это когда компания переходила на новую архитектуру, например, на Pentium – абсолютно новое изделие, с новой архитектурой, с новыми подходами – все новое.

#### – Pentium разрабатывался тысячи человеко-лет?

– Да. Но это не так страшно, как вам может показаться. Возьмите популярный телефон iPhone. В нем стоит чип, в нем стоит девятиядерный процессор. Я не могу сказать, что все ядра разные, но многие из них отличаются друг от друга, там тоже большая работа. И серьезные процессоры, серьезные системы на кристаллах делают большие коллективы, это десятки человек всегда. Если что-то из разряда «супер» – это команда в несколько сотен, возможно, пятьсот человек, и они работают не один год над такими переломными в развитии изделиями. Практика показывает, что на разработку какого-то изделия требуется полтора – два с половиной года. При хорошей погоде – полтора года...

**– Вы сказали, компания из пятисот человек, естественно, это опытные разработчики, нормальное финансирование. Но у того же «Микрона» такой большой команды нет. Что вы можете создать теми разработчиками, которые есть сейчас?**

– Мы можем разрабатывать промышленные контроллеры, кристаллы для смарт-карт...

#### – Чип для ГЛОНАСС-приемника можете сделать?

– Чип для ГЛОНАСС мы могли бы сделать в кооперации. Тут нужно понимать, что современная система на кристалле – это не просто чип. Это смесь железа, то есть, микросхемной схемы и встроенного программного обеспечения. Сейчас практически всегда это так. Вообще, само решение о том, какие функции передать в программное обеспечение, а какие реализовать на уровне железа – это отдельная история. Это отдельные люди разбираются, как лучше, как хуже. Можно сделать разные решения с разной стоимостью, отдавая приоритет либо мощному процессору, либо софту.

#### – Это уже маркетологи решают?

– Не только, хотя и они тоже. В зависимости от выбранного вами решения по разделению между софтом и хардом будет разный размер кристалла, может быть, разная цена, потребительские свойства, понимаете? Вот в ГЛОНАСС есть специфическая математика, например. Лично я ею не владею, поэтому не понятно, как лучше реализовывать – софтом или железом. Если я не умею работать с этой математикой, значит надо скооперироваться с людьми, которые профессионально этим занимаются. Современный хайтек не очень любит дилетантизм.

**– А сколько таких компаний, как Intel, которые делают все сами, от идеи до массового производства?**

– Их несколько всего. Причем у Intel есть одна интересная особенность – он еще сам разрабатывает технологии. Многие компании, типа Qualcomm, используют контрактное производство, т.е. китайские, тайваньские фабрики для производства своих изделий, у них нет сво-



их заводов. Intel все, в основном, производит на своих заводах. То есть, ему нужно разрабатывать технологии, изделия, опережая всех остальных конкурентов.

**– Как вы считаете, будущее за такими вертикально-интегрированными компаниями, как Intel, у которых есть и разработка и производство, или за фаблесс-компаниями отдельно, и производствами отдельно?**

– Если бы вы меня спросили лет десять назад, когда тренд был совершенно очевидный, однонаправленный, что ли, происходило разделение производства и разработки, появлялись фаундри и фаблесс-компании, это было просто бурное развитие фаблессных компаний, тогда бы я вам точно сказал. Сейчас я был бы немножко более сдержан в оценках, потому что эти процессы разделения, где-то дошли до своего логического завершения.

Более того, контрактное производство, в основном, в юго-восточной Азии, это создает дополнительные риски. Я имею в виду не российскую экономику, а те экономики, которые ориентируются на это производство. Сейчас подрастают довольно интересные фаблесс-компании на Тайване, в Китае, и они планируют загрузить эти производственные мощности своими разработками. После этого, к сожалению, многим фаблесс-компаниям просто не будет места на массовом рынке. Сейчас говорят о том, что надо подумать, стоит ли все это до конца переводить в Азию или, может быть, что-то оставить себе.

**– Вы уже много говорили о том, что есть множество ограничений: размер, цена, энергопотребление и т.д. Все слышали о законе Мура, который говорит, что мы будем дальше расти, размеры будут уменьшаться, производительность расти... Понятно, что это не может быть до бесконечности. Когда и на чем мы остановимся?**

– Понятно, что меньше, чем размер атома, мы транзистор сделать не можем. Это будет что-то другое. Чтобы сделать транзистор требуется несколько атомных размеров. Совершенно понятно, где предел. Когда я был студентом – это был конец семидесятых годов – мне попался в руки журнал, и там была статья, которая называлась «О достижениях физических границ дальнейшей миниатюризации микроэлектроники». И там люди говорили, что все – век микроэлектроники заканчивается, разве можем мы себе представить транзистор, у которого затвор будет меньше микрона – это чума! Примерно тоже самое я читал в конце восьмидесятых годов – там уже было понятно, что с микроном мы разобрались, ушли гораздо дальше. Там свои ужасы возникали и так далее... Мне раз в десять лет обязательно попадают на глаза статьи достаточно серьезных людей о том, что закаты микроэлектроники будет завтра. А он все не наступает. Хотя есть совершенно понятные, очевидные пределы. Делались экспериментальные транзисторные структуры с длиной затвора порядка 10 нанометров. Сейчас самые топовые технологии – в районе 30.

**– 22?**

– Это еще вопрос. Это еще не массовая продукция, это пробы пера. Есть, куда расти. Но тут надо понимать одну интересную вещь – достаточно долго закон Мура исполнял-

ся так, что когда на смену одному технологическому поколению приходило следующее, оно, естественно, вытесняло полностью предыдущее. И так продолжалось, я даже не могу сейчас сходу сказать, до какого точно времени. Но то, что я наблюдал несколько лет назад, разговаривая с видными американскими специалистами, мы обсуждали тогда интересную вещь – одновременно на рынке присутствуют изделия нескольких технологических поколений. Причем многие из них были освоены как технологии массового производства того времени уже, дай Бог памяти, больше десяти лет назад. И все равно представляли собой массовое производство. Не происходит полного вытеснения новыми технологиями старых. Это связано с определенными физическими процессами, которые свойственны нанометровым структурам. Не для всех применений нужен очень маленький канал, затвор.

**– Мне кажется, это связано с экономикой, в первую очередь. Наверное, не имеет смысла билеты для метро делать по технологии 90 нанометров.**

– Совершенно верно. Во-первых, чисто экономика. Во-вторых, транзисторы с маленькими размерами обладают рядом эффектов, проявляют некие свойства, не очень хорошие для многих применений. На них не очень хорошо делать аналоговые приборы, совершенно невозможно делать, условно скажем, высоковольтные приборы. Когда учат студентов, говорят, что традиционная КМОПовская технология хороша тем, что в статическом режиме она не потребляет – только во время переключения. Когда размеры очень маленькие – 45 и дальше, 65 даже – то инверторы «текут». Он не переключается, а потребляет – это большая беда. И чем меньше мы делаем, тем эти процессы становятся более и более ощутимыми. А что такое потребляет? Высасывает батарейку моментально. А мы все любим, чтобы телефон работал долго, чтобы плеер играл долго, чтобы маленький нетбук работал долго. Мы хотим реже перезаряжать все это.

**– Получается, развитие для части продуктов уже остановилось, произошла дифференциация продуктов по технологиям?**

– Во-первых, произошла дифференциация. Часть изделий производится по другой технологии. Часть изделий производится по новейшим технологиям. Процессоры и память для компьютеров, графические процессоры – они бегут всегда немного впереди. Там нет выбора – нам нужна производительность и мы готовы заплатить чем-то. Это развивалось, и будет развиваться. Для каких-то применений мы говорим, что мы здесь не готовы платить много денег за разработку и производство этих схем, нам эти уникальные свойства не нужны. Во-вторых, мы знаем, как спроектировать в предыдущих поколениях, с точки зрения потребителя все будет точно так же, только дешевле.

Тем не менее, я вижу, как старые технологии уходят. Находятся приемы, продукты диффундируют, они все равно текут в сторону уменьшения. Просто есть продукты, которые идут на гребне первой волны внедрения новых технологий, а есть те, которые идут сзади. Но все равно тренд известен.

Плюс надо, конечно, заметить, что инженерное сообщество, чтобы преодолеть негативные физические явления, которые мы наблюдаем в нанометровых приборах, придума-

ло много не самых замысловатых приемов. Я всегда уважал людей, которые могут решить задачу изящными, простыми способами. Очень много изящных решений, честное слово. Я с большим уважением отношусь к людям, которые это придумали. Вместо того, чтобы насочинять, Бог знает что, они подумали и устранили какие-то причины, фундаментально лежащие в основе всего. Простенько, со вкусом, и это работает, это воспроизводится многими компаниями, которые заняты разработкой. Это не секрет.

**– Компания Plastic Logic, которая сейчас собирает-ся строить в Зеленограде завод, делает гибкие дисплеи на основе некремниевой электроники, полимеров. Может быть, сюда будет микроэлектроника идти?**

– Все может быть. Если посмотреть ретроспективно в прошлое электроники, были лампы и одним из основных достоинств, показателей качества вакуумных приборов была чистота вакуума, пытались создать как можно более чистый вакуум... Среда, в которой обрабатывалась информация, был вакуум. После этого мир перешел к приборам, к информационной среде совершенно противоположного свойства – к полупроводникам, материалам, кристаллическим структурам. Вместо пустоты, в которой перемещаются электронные пучки, мы перешли к плотно упакованным решеткам. Что будет следующей средой?

Сначала мы пытаемся сделать вакуум все чище и чище, а потом – бах! – и получаем твердое тело. Я думаю, и здесь будет какой-то очень качественный прорыв, что-то другое. Не обязательно, что мы вернемся к вакууму или перейдем, например, к жидкости. Может, это будут кристаллы. Но принципы построения систем обработки информации, а электроника – это, в основном, обработка какой-то информации, будут, наверное, другие. И чем быстрее мы дойдем до того физически понятного размера, где электроника, наверное, заканчивается, тем быстрее лучшие умы человечества озадачатся проблемой «Что же дальше?».

**– Если вернуться к дизайну, непосредственно работа дизайнера не изменится? Ведь все равно он будет пользоваться некими средствами проектирования. Сбирать те же самые схемы, которые будут что-то делать. В принципе, будет все тоже самое. Это такая вечная работа?**

– Да, совершенно верно. Вы хотели узнать, когда выпускники МИЭТа перестанут быть нужны? Отвечу – никогда. Это я могу вам точно сказать. Смотрите, вы правильно говорите, что сейчас самые передовые технологии – 20 с небольшим нанометров. Тем не менее, есть ряд компаний, которые основные доходы получают с технологий 0,6 микрона – 600 нанометров. Есть приложения в автомобильной, в высоковольтной электронике, где 28 нанометров не нужны, а 0,6 микрона – очень даже хорошо. Поэтому я говорю, что рынки есть всегда. Для всяких ниш, где удобно пользоваться не сверхновыми технологиями, а по разным причинам удобнее пользоваться старыми.

**– Я вас все пытаюсь столкнуть в какие-то абстрактные размышления о будущем, а вы меня все в экономику, в рыночные ниши.**

– Наверное, это уже практический взгляд человека средних, зрелых лет. Если говорить о перспективах, то развитие

всегда очень плохо предсказуемо. Я приведу пример: в 47-м году президент компании IBM где-то сказал, что совершенно понятно, что рынок компьютеров во всем мире будет исчисляться несколькими единицами...

**– А Билл Гейтс сказал, что 640 килобайт хватит всем.**

– Для всех и навсегда. А президент компании Digital Equipment Corporation, вторая после IBM компания, сказал: «Совершенно непонятно, куда мы будем продавать персональные компьютеры». Люди, вовлеченные в индустрию, знающие ее не понаслышке, принимающие в ней ответственные решения, делают, как бы сейчас сказали, безответственные заявления. Делают заявления, которые оказываются не пророческими, а прямо противоположными тому, что случилось. Потому что предсказать будущее очень сложно.

**– Предсказать будущее сложно, но дизайнеры будут нужны в любом случае.**

– Всегда. И смена материального носителя или способа обработки информации, среды, она изменит что-то, но многие вещи останутся такими же.

**Александр Эрлих**  
Zelenograd.ru

**НАНОТЕХ** ООО "Нанотех"  
г. Минск, ул. Седых 12А, пом. 2Н

- ☐ **Монтаж печатных плат**  
(автоматический и ручной)
- ☐ **Печатные платы**  
(одно-, двухсторонние, многослойные, на алюминии)
- ☐ **Трафареты для пасты**  
(лазерной резкой из нержавеющей стали)
- ☐ **Паяльные пасты**  
(безотмывочные, канифольные, водосмываемые, и др.)



pcb@pcb.by	тел:	+375 17 237 29 34
www.pcb.by	тел:	+375 17 237 29 35
	тел/факс:	+375 17 237 29 36
	тел/факс:	+375 17 281 35 36

**ПТСС ЗАО «Промтехсервисснаб»**

г. Минск, ул. Богдановича, 120 Б, ком. 6, Тел.: 266-23-94; 266-23-92,  
e-mail: uslugi@zapservis.by, моб.: (029) 676-02-56,  
www.zapservis.by моб.: (044) 773-72-04,  
факс: 266-23-94.

**Контрактное производство РЭА:**

- ✓ Автоматизированный монтаж SMD-компонентов любой сложности.
- ✓ Комбинированный монтаж с использованием компонентов DIP (выводных), а также SMD (планарных).
- ✓ Сборка корпусных деталей и узлов.
- ✓ Ультразвуковая отмывка печатных плат и узлов высококачественными импортными растворами.
- ✓ Нанесение влагозащитных покрытий.

*\*Высокотехническое импортное оборудование обеспечивает высокое качество производимой продукции.*

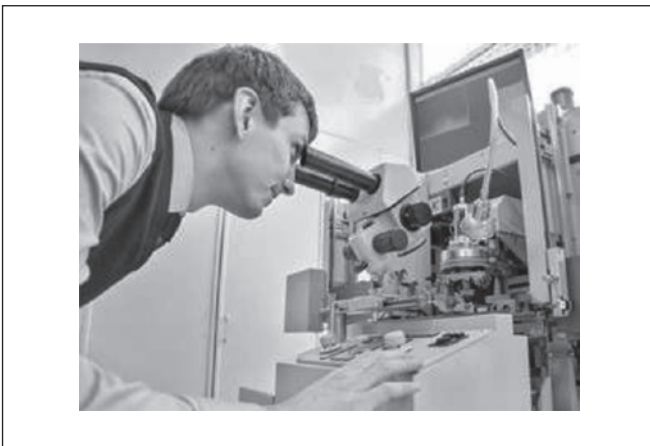
**Продажа неликвидов ПКИ для РЭА:**

- ✓ Резисторы, конденсаторы, транзисторы, микросхемы и т.д.

## СОЮЗНАЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКА ВЫХОДИТ НА НОВЫЙ УРОВЕНЬ

В этом году завершается союзная научно-техническая программа «Микросистемотехника», имеющая важнейшее значение для развития микроэлектроники Союзного государства. А это и бытовая техника, и автомобилестроение, и оборона. Главными в выполнении передовых исследований являются минское ГНПО «Планар» и Санкт-Петербургское ОАО «Авангард».

А каковы достижения белорусских партнеров? На днях специалисты «Планар» продемонстрировали часть уникального оборудования, созданного в ходе выполнения программы. Особенно впечатлил станок, предназначенный для монтажа алюминиевых выводов микросхем. Чтобы подробнее рассмотреть деталь величиной с половину спичечного коробка, надо класть ее на ладонь. Сверху несколько квадратиков микросхем, заменяющих тысячи обычных транзисторов. Снизу покалывают кожу те самые выводы-контакты, устанавливая которые и предназначена машина. Дело непростое: алюминиевый проводок, тоньше человеческого волоса, нужно вмонтировать очень точно.



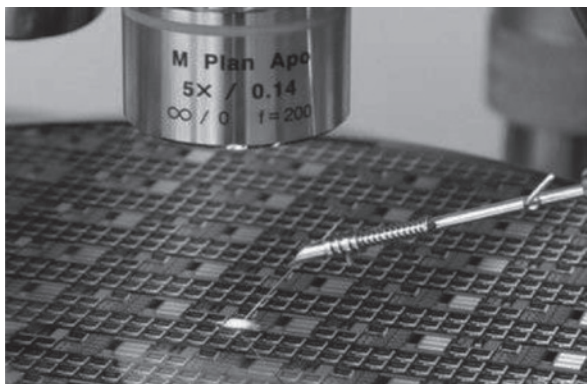
А всего контактов десятки. Просто удивительно, как техника справляется без непосредственного участия человека, одну за другой оснащая детали металлическими контактами.

Чтобы посмотреть, как идет процесс, не нужно заглядывать в нутро механизма – все отображается на мониторе. Игорь Пастухов, директор предприятия, где создан станок, поясняет, что оборудование оснащено не только электронным интеллектом, но даже техническим зрением. В ближайшее время его продемонстрируют на специализированной выставке в Москве, а затем отправят в Санкт-Петербург на «Авангард». Как и многое другое оборудование, увиденное на «Планаре». И каждое изделие – уникальное, высокоточное, даст фору любому Левше. Будь то установка для продельывания в микросхемах тончайших отверстий, либо для резки кремниевых пластин, либо для монтажа микроскопических золотых шариков, выполняющих в микросхеме роль контактов. Один из основателей белорусской школы точного электронного машиностроения, лауреат премии Совета Министров СССР, Святослав Школык поясняет:

– Всего в соответствии с союзной программой ведется создание 14 образцов принципиально нового технологического, контрольно-измерительного и метрологического оборудования, многие не имеют аналогов. Практически все основано на отечественных комплектующих. Эти установки не уступают продукции ведущих мировых фирм, а стоят в разы дешевле. За счет импортозамещения эффект союзной программы «Микросистемотехника» составит около 9 млн долл. «Планар» и «Авангард» объединены многолетним опытом сотрудничества в выполнении союзных программ. Более того, первый белорусско-российский проект, преобразованный впоследствии в программу «Победа», был начат именно здесь в 1996 году, еще до формального создания Союзного государства. Затем последовали программы «Победа-2000», «Победа-2». И вот с 2010 года два крупнейших на постсоветском пространстве предприятия в области микроэлектроники выполняют проект по созданию изделий микросистемотехники и оборудования для их производства. Для чего это нужно? Чтобы ответить на вопрос, читателю достаточно взглянуть на свой смартфон. В нем, пояснили специалисты, насчитывается до 18 устройств микросистемотехники – акселерометров, гироскопов, гибких литий-полимерных батарей.







Не обойтись без подобных устройств при создании современного автомобиля, так называемого умного дома, не говоря о самолете или космической ракете. И в перспективе потребность в таких устройствах будет расти опережающими темпами, по некоторым подсчетам, до нескольких триллионов в год. А цена, напротив, должна снизиться с нынешних 30–50 долл до одного за штуку. Так что нужно и производство наращивать, и себестоимость снижать. Скоро выпуск устройств микросистемотехники начнется в Санкт-Петербурге и Минске. Задача – удержать определенную долю мирового рынка. Еще одна важная сторона программы – обеспечить Союзное государство оборудованием для производства микроэлектроники двойного и оборонного назначения. Западные страны под разными предлогами отказываются продавать его. А покупать готовые микросхемы и другую электронику для ракет и самолетов – значит, фактически ставить их под зарубежный контроль, утверждают специалисты. В ситуации, когда Евросоюз и США грозят России санкциями, проблема, более чем актуальная. Но специалисты наших стран вполне могут и сами создать все необходимое. В этом также можно убедиться на «Планаре». Оборудование, которое здесь изготавливают, работает в ФРГ, Франции, Южной Корее, Польше... Оно предназначено для изготовления фотошаблонов – своего рода матриц для массового выпуска электронных микросхем. Комплект из 25 фотошаблонов для производства микроэлементов класса 65 микрон стоит 5 млн долл.



Можно представить, сколько стоит оборудование для их изготовления. Оно-то и держится в строжайшем секрете. Но наши специалисты создали свое.

– «Планар» освоил практически всю гамму оборудования для производства микросхем, – рассказывает главный инженер предприятия, профессор Владимир Матюшков. – В свое время обеспечивал им 250 предприятий микроэлектронной отрасли. Это гарантирует совместимость технологии, упрощает и удешевляет сервисное обслуживание. Предназначенное для изготовления фотошаблонов будет установлено в специализированном центре на «Планаре», а оборудование для изготовления непосредственно изделий микросистемотехники – на «Авангарде». Подобных центров нужно 8–9. Работы много, в том числе по союзным научно-техническим программам. Концепция очередного такого документа, как сообщил генеральный директор ГНПО «Планар» Геннадий Ковальчук, уже разрабатывается.

«Сегодня объем производства не превышает полпроцента в общих объемах мирового производства. Программа ставит задачу вывести его на уровень пяти-шести процентов. Это уже миллиарды долларов», – отметил главный специалист Государственного научно-производственного объединения точного машиностроения Николай Колядко.

Финансовая отдача – важный, но не главный плюс программы. Научная, техническая и экономическая независимость от иностранных поставщиков и самодостаточность в разработке и производстве электронных систем – это дают собственные разработки в сфере высоких технологий.

[sdelanounas.ru](http://sdelanounas.ru)

**Качество и компетентность в мире печатных плат**

**ОАО «Минский часовой завод»**

**ВАШ НАДЕЖНЫЙ ИЗГОТОВИТЕЛЬ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ**

220095, г. Минск, пр. Независимости, 95.  
т./ф. +375 (17) 280-49-55  
моб. +375 (29) 750-45-50  
bogdashich@mail.ru

**Типы плат**

- ДПП, МПП (до 24 слоев) любого класса точности
- Гибкие печатные платы
- Платы для ВЧ/СВЧ
- Платы на алюминиевой подложке
- Платы для смарт-карт

**Возможности**

- Проектирование плат
- Технологическая поддержка
- Покрытие: HASL, иммерсионное золото, иммерсионное олово, ПОС, Ni-B
- Формирование контура любой формы
- Материалы: FR-4, Rogers, Duroid, алюминий, лавсан

**Качество**

- Сертификат соответствия ВУ/112 05.01.0030030

**Срок изготовления от 2 дней до двух недель**

## КОНСЕРВАЦИЯ ИЛИ ВЫНУЖДЕННАЯ ПЕРЕЗАГРУЗКА 3.0 ЧТО ЖДЕТ МИКРОЭЛЕКТРОНИКУ РОССИИ?

Дмитрий Боднарь,  
к.т.н., генеральный директор ЗАО «Синтез Микроэлектроника»

**Март 2014 года настолько изменил политический ландшафт в России и в мире, что в случае экстремального развития событий это неминуемо затронет отечественную электронную отрасль. Экономические и политические санкции по отношению к России, несмотря на бравые выступления чиновников, могут привести к консервации технического обновления отрасли или к необходимости новой вынужденной перезагрузки микроэлектроники России. Только уже в условиях международной изоляции и возможной холодной войны.**

Так получается, что свои статьи я вынужден писать дома – в вечернее время, в выходные дни или в редких отпусках. Решил было взять тайм-аут, но происходящие события вокруг Украины и в России не оставляют такой возможности. Оценивая в недавней статье «Монопольная глобализация или глобальная монополизация. Что происходит в России?» возможные шаги по развитию рынка электроники в стране, я и представить не мог, что эти предложения окажутся не ко времени. Никто не ожидал, что за несколько мартовских дней мы можем оказаться отброшенными на 40 лет назад в 1970-е гг. Не оставили меня равнодушными и высказывания некоторых авторитетных руководителей крупных предприятий ВПК по поводу запрета США на поставку радиационно стойких электронных компонентов.

7 марта 2014 года в беседе с корреспондентом «Известий» генеральный директор ОАО «ИСС» им. М.Ф. Решетнева Николай Тестоедов прокомментировал запрет США на поставку радиационно стойких электронных компонентов для Роскосмоса. Прочитав его высказывание: «Мы демарш американцев парировали полностью, и это заняло у нас то количество времени, которое не повлияло на сроки выполнения программы. Мы где-то изменили системное решение, а где-то ушли на элементную базу других стран».

Другой источник в Роскосмосе сообщил, что в условиях конфликта вокруг Крыма Россия готова к любым действиям со стороны американцев. После отказа американской стороны недостающие комплектующие компоненты удалось, по его словам, купить в Европе. Но в случае, если на фоне украинских событий проблемы начнутся и с европейскими производителями, будет рассмотрен вариант импорта из Китая.

Сложно сказать, чего в этих высказываниях больше – желания успокоить общественность на фоне растущих опасений относительно введения санкций против России, «кампанейщины» или желания успокоить себя. Подавляющее большинство людей мало чего понимает в радиационно стойких компонентах и необходимости их использования в спутниках, поэтому вряд ли они нуждаются в подобных объяснениях. А вот у тех граждан, которые кое-что понимают в этом, возникают закономерные вопросы.

Во-первых, никакие системные решения не позволяют значительно снизить применение радиационно стойких



компонентов там, где они реально необходимы. Можно уменьшить их номенклатуру, можно количество или заменить одни компоненты на другие. Но в любом случае при такой замене все равно должны использоваться радиационно стойкие компоненты. Иначе, это приведет к снижению надежности системы.

С надежностью спутников у Роскосмоса в последние годы возникали большие проблемы, даже при относительной доступности радиационно стойких компонентов. И эти проблемы носили как технический, так и организационный характер. Злоупотребления российских поставщиков зарубежных электронных компонентов для спутников включали их подмену, перемаркировку, фальсификацию и даже извлечение чипов из зарубежных микросхем с попыткой их последующего рекорпусирования. Можно представить, чего можно ожидать в условиях зарубежного эмбарго на эти компоненты.

Во-вторых, европейские полупроводниковые компании никогда не выпускали полную необходимую номенклатуру не только радиационно стойких, но и military-компонентов. А те европейские компании, которые выпускали немногие сложные радиационно стойкие компоненты, использовали технические и материальные ресурсы американских компаний или аффилированных с ними партнеров, не исключая услуг по изготовлению чипов на американских предприятиях. А это означает, что эти европейцы закроют перед нами двери сразу после решения американцев, даже если им этого не хочется.

Крупные европейские полупроводниковые производители – NXP, Infineon и им подобные не работают в сфере радиационно стойких компонентов, поскольку они не являются для них коммерчески привлекательными. Только компания ST Microelectronics специализируется на производстве некоторых радиационно стойких простых логических, аналоговых интегральных схем и дискретных полупроводников для европейских космических и военных программ. К тому же, Франция, где базируется ST, выступает в первых рядах европейских сторонников санкций, поэтому европейский путь для Роскосмоса – бесперспективный.

В-третьих, в отличие от США, Китай не располагает аттестованными (это важно) радиационно стойкими электронными компонентами по всей номенклатуре космического применения. Они применяют систему много-

кратного резервирования для повышения надежности, как это делали в СССР. Если наши специалисты даже получают технические спецификации таких китайских изделий, они увидят большую разницу между китайскими и американскими продуктами. Количество гарантированных параметров и просто страниц такой спецификации в разы меньше американских.

В-четвертых, следует заметить, что надежность радиационно стойких электронных компонентов достигается как их конструкцией, так и воспроизводимостью и аттестацией технологии и 100 % испытаниями готового продукта на надежность. Такие испытания, аттестация технологии, производства и готовых изделий составляют основную долю стоимости изготовления радиационно стойких электронных компонентов. Процесс их изготовления в США предусматривает 100 % испытания этих компонентов на стойкость. Это означает, что кроме квалификационных и периодических испытаний процесса и изделия испытаниям подвергается каждая партия и все изделия в ней. Именно поэтому на моей памяти не было сведений об отказах американских спутниковых систем из-за ненадежности электронных компонентов, а отказы российских спутников по этой причине происходят часто. Информация об отказах, а тем более об их причинах, не столь многочисленных китайских спутников просто отсутствует. Эта информация закрыта, как это было ранее в СССР.

В Китае производство единичных стойких компонентов пока не позволяет гарантировать их высокой надежностью. Несмотря на то, что Китай с помощью зарубежных компаний уже располагает самыми современными полупроводниковыми технологиями вплоть до 28 нм, США все эти годы делали все возможное, чтобы Китай не получил радиационно стойких технологий. Китаю приходится разрабатывать их самостоятельно или пользоваться промышленным шпионажем. А практическая реализация обоих вариантов требует времени. Вероятно, что со временем по мере наращивания космической группировки Китая и увеличения объема выпуска радиационно стойкой электроники Китай сможет конкурировать с США. Но пока этого не произошло, и сильно рассчитывать на ресурсы Китая в радиационно стойких компонентах, мягко говоря, преждевременно. Как бы к нашим проблемам с фальсифицированной и несоответствующей продукцией не добавились проблемы с «надежностью» легальных китайских изделий, которые решат закупать.

Словом, все далеко не так безоблачно, как это пытаются представить чиновники в Роскосмосе. Иногда лучше промолчать. И с политической точки зрения им бы следовало не торопиться с такими высказываниями. Если все так благополучно, то как они будут оправдывать те спутниковые неудачи, которые могут последовать. Не стоит бежать впереди паровоза, особенно если есть проблемы с двигательным аппаратом.

К сожалению, мы со всей очевидностью подошли к тому, что при экстремальном развитии событий и применении санкций России в ближайшие годы придется полагаться только на свои силы в разработке и производстве не только радиационно стойких микросхем и полупроводниковых приборов для спутниковых систем, но и электронных компонентов для военного применения.

Сейчас более половины «начинки» электронных блоков составляют зарубежные микросхемы. Заменить их в настоящий момент и в ближайшие годы невозможно. Это потребует многих лет интенсивной работы и больших материальных затрат.

Чем реально может грозить электронной отрасли России введение жестких экономических санкций, которые, если будут приняты, неминуемо затронут и ее?

Любой, кто видел новое самое современное в России производство на заводе «Микрон», обратил внимание, что там практически нет отечественного оборудования, а большая часть применяемых компонентов и материалов – импортные. Все соответствующие лицензии по данной линии предоставлены европейской компанией ST Microelectronics. «Микрон» получил аттестованную современную технологию, на разработку которой в России пришлось бы потратить много времени и денег с непонятными шансами на успех. Оснастить подобное производство похожим отечественным оборудованием, как минимум, в ближайшие 5–10 лет, не представляется возможным, поскольку его разработка в России отсутствовала даже в проектах. Это означает, что у нас еще долго может не быть возможности самостоятельно построить новое подобное производство или модернизировать его на «Микроне». А если кто-то снова сообщит, что мы закупим китайское оборудование, то пусть посетит современные китайские полупроводниковые компании и убедится, что и там установлено импортное оборудование. Добавьте к этому полностью зарубежный «софт» для проектирования современных интегральных микросхем. Но даже если этот «софт» мы купили ранее, то, понятно, что он требует частого и регулярного обновления. Без него невозможно проектировать БИС в течение длительного времени. Если степень конфронтации с США и Европой достигнет максимума, то мы можем оказаться в гораздо худшем положении, чем СССР в период ограничений по поправке Джексона-Веника. Тогда в подавляющем большинстве мы вынуждены были использовать отечественное оборудование и материалы, а единичное импортное оборудование завозили нелегально в обход ограничений. Сейчас ситуация другая. Нелегально придется завозить все, что будет невозможно сделать самим.

А если заглянуть в ведомость комплектации в отделе материально-технического снабжения любого действующего российского полупроводникового предприятия, то можно обнаружить, что из нее давно исчезли многие российские комплектующие и материалы, их заменили импортными. Чтобы восстановить производство этих материалов в России, придется все начинать сначала, и простым импортозамещением не обойтись. В СССР на эти задачи работала гигантская государственная машина, большое количество предприятий, институтов, специалистов в разных отраслях науки и промышленности.

Конечно, европейские и американские деловые круги не заинтересованы в прекращении бизнеса с Россией. В течение недели после крымских событий с нашей компанией связались несколько руководителей наших европейских и американских компаний-партнеров и выразили обеспокоенность по поводу возможных ограничений для ведения бизнеса. Но, к сожалению, решение по санкциям принимают в других кабинетах.



Дают ли возможные зарубежные санкции шанс самостоятельной перезагрузки 3.0 для развития отечественной электронной промышленности? Охотно верю, что при наличии такого количества плодородных земель и при соответствующем финансировании и развитии частного предпринимательства наша страна способна минимизировать продовольственные проблемы от снижения поставок импортного продовольствия. Но не хлебом единым живет Россия. В наукоемких отраслях такими методами решить подобные проблемы нельзя. Думаю, что в условиях текущей экономической не только стагнации, но и рецессии в России, даже если многомиллиардные средства будут выделены немедленно, реализовать такую задачу в разумные сроки невозможно. Даже если эти деньги не разворуют, сейчас в России нет материальной базы, кадров, научных школ, которые были в СССР и работали на электронную промышленность. За счет этого мы и могли развивать микроэлектронику, максимально ориентируясь на свои ресурсы. За прошедшие десятилетия мир изменился, мировая экономика стала глобальной и интегрированной, а микроэлектроника перешагнула барьеры 1 и 0,1 мкм, а в ближайшие 2–3 года возьмет высоту 0,01 мкм. Но все это может проходить мимо нас и без нашего участия. А если кто-то в высоких правительственных кабинетах будет утверждать, что нужно много денег и они все быстро сделают, то, значит, нас ожидает очередной распил и воровство.

Кому-то покажется, что существующего технического уровня микроэлектроники нам хватит для поддержания военного потенциала. В мире есть одна страна – Северная Корея, которая «сидит» на атомной бомбе, отгородившись от всего мира, и она вообще обходится без национальной микроэлектроники. Она греется и

кормится периодическими ядерными угрозами миру, а ее вооруженные силы до сих пор используют советскую авиационную и сухопутную технику 40-50-летней давности. Россия же военную технику хорошо продавала все последние десятилетия именно благодаря современной электронике, в т.ч. импортной. Сомневаюсь, что кто-нибудь в России устроит «кимчениризация» страны и северокорейская перспектива. Разве что, только тех, кто не знает, что это такое.

Мы обречены в области микроэлектроники интегрироваться в мировую систему, что и делали в 2000-е гг. при слабой, но все-таки отраслевой перезагрузке 2.0. Если кто-нибудь может назвать хотя бы одну изолированную, самодостаточную национальную микроэлектронику, то пусть направит туда госчиновников для обмена опытом.

Сейчас лучше продолжать перезагрузку микроэлектроники 2.0, а не начинать в условиях международной изоляции вынужденную перезагрузку 3.0 с призрачными шансами на успех. Иначе, многие наши возможности будут законсервированы, утрачены или не родятся вообще.

*P.S. Уже после того как статья была отправлена в журнал, я получил сообщение от одного из наших партнеров, президента американской компании. Выражаясь жестким, но корректным языком в адрес правительств обеих стран по поводу того, что они «поливают друг друга грязью», он сообщил, что вынужден отложить запланированный на апрель визит в нашу компанию из-за неопределенности политической ситуации. Хотелось бы, чтобы это осталось максимальным ограничением и неудобством в наших отношениях.*

**Журнал «Электронные компоненты» № 4, 2014**

## Контрактное производство электроники



**Группа компаний Rainbow** состоит из нескольких компаний, расположенных в Российской Федерации, Украине и Республике Беларусь, имеющих огромный опыт разработки и производства электроники.

**Компания «Элконтракт»** входит в Rainbow Group of Companies, расположена в Беларуси, выполняет все основные технологические операции по контрактному производству электроники:

- ручной монтаж DIP-компонентов;
- поверхностный монтаж на системах для автоматической установки smd-компонентов;
- нанесение паяльной пасты с использованием специальных трафаретных установок;
- пайка плат с использованием полно-конвекционных конвейерных печей с электронным поддержанием температурных профилей пайки;
- оптический контроль готовых изделий после монтажа;
- отмывка печатных плат после монтажа при помощи УЗ-ванн с последующей сушкой или использование безотмывочных паяльных материалов;
- наладка и регулировка готовых изделий согласно программам и методикам заказчика;
- изготовление кабельной продукции;
- сборка изделий в корпуса;
- упаковка готовых изделий в соответствии с требованиями КД заказчиков в картонную гофротару.

**Комплексная подготовка производства электроники** производится нами на всех этапах, от технологического контроля КД, разработки техпроцессов изготовления изделий и до изготовления трафаретов и специальной оснастки. При необходимости мы готовы поставить комплектующие изделия для электронных плат, включая печатные платы, то есть полностью укомплектовать и изготовить изделие.

Опыт и современное оборудование позволяют нам давать безусловную гарантию на свои работы.

**rainbow.by, elcontract.com**

211440, Республика Беларусь, Витебская область, г. Новополоцк, проезд Заводской, д.24, оф.8, тел.: 8-0214-55-05-42, тел./факс: 8-0214-55-17-91, elcontract@gmail.com, smd@rainbow.by



тел./факс: +375 172 510 353; + 375 172 071 264; + 375 172 042 722;  
 моб.: +375 296 559 005;  
 e-mail: v.yatseiko@bek.by

Соединители и кабельная продукция для оборонно-промышленного комплекса	Провода	Кабельные сборки	Плоские шлейфы	Крепежные элементы	Термоусадочные трубки	Гофрированные трубки	Экранирующие оплетки	D-sub разъем (Micro, Nano)	Миниаторные цилиндрические	ВЧ разъемы	Разъемы MIL-DTL-38999	Байонетные разъемы MIL-C-26482	Силовые и сигнальные разъемы MIL-DTL-5015	Кожухи для цилиндрических	Разъемы для ВОЛС	Защищенные разъемы RJ45, USB	Слаботочные разъемы MIL-DTL-55116	Фильтры	Соединители MIL-STD-1760	Кожухи	Кнопки, переключатели	Реле	Межплатные соединители	Инструменты	Герметичные разъемы
Amphenol		*	*	*			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*				*	*
Axon' Cable	*	*	*	*			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*				*	*
Deutsch																								*	*
C&K Components								*													*				
Glenair	*	*				*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*				*	*
Essentra Components				*																*			*	*	
Molex	*	*					*		*	*					*				*		*		*	*	
TE Connectivity	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
NICOMATIC		*	*				*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Raychem	*	*	*		*		*																		
Schlemmer					*																				
Souriau						*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
ITT CANNON							*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Samtec	*						*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
SCHURTER				*														*	*	*	*	*	*	*	*
Marquardt																		*	*	*	*	*	*	*	*
Harting		*		*											*			*	*	*	*	*	*	*	*

Электронные компоненты для оборонно-промышленного комплекса	Дискретные активные компоненты	Аналоговые микросхемы	АЦП / ЦАП	Управление электропитанием	DSP	Микроконтроллеры	Микропроцессоры	ПЛИС	Компоненты для беспроводных решений	Интерфейсы	Синхронизация	Память	Компоненты для датчиков	Передача данных	Дисплеи и мониторы	ASIC	Системы на кристалле	Встраиваемые системы	Резисторы	Конденсаторы	Индуктивность	Оптические компоненты	Трансформаторы		
Actel								*								*	*								
Analog Devices		*	*	*	*	*	*		*	*	*		*	*											
Axiomtek															*			*							
AVX											*									*	*	*	*	*	
Bourms	*																		*		*	*	*	*	
Cirrus Logic		*	*		*					*	*		*	*			*					*	*	*	
Coilcraft																					*	*	*	*	
Cypress Semiconductor						*	*		*		*	*	*	*								*	*	*	
Diodes	*	*		*								*	*	*			*	*				*	*	*	
D3CI		*	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*			*	*				*	*	*	
E2V		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*								*	*	*	
EPCOS											*	*	*	*						*	*	*	*	*	
Freescall Semiconductor		*		*	*	*	*	*	*		*	*	*	*								*	*	*	
Finisar																						*	*	*	
GSI Technology												*	*	*								*	*	*	
Gigalight																						*	*	*	
Halo Electronics				*										*							*	*	*	*	
Infineon Technologies	*			*	*	*	*		*	*	*	*	*	*							*	*	*	*	
International Rectifier	*			*	*	*	*		*	*	*	*	*	*							*	*	*	*	
Intersil		*		*	*	*	*		*	*	*	*	*	*							*	*	*	*	
Maxim Integrated		*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
Microsemi	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
Microtips															*			*							
Murata				*																*	*	*	*	*	
NXP	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
ON Semiconductor	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
STMicroelectronics	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
Texas Instruments	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
Vishay											*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
Xilinx					*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	

# ТЕХНОЛОГИЯ ИНТЕРАКТИВНОГО ОБУЧЕНИЯ ОСНОВАМ ЦИФРОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

М.С. Долинский, ГГУ им. Ф. Скорины, г. Гомель

## Введение

На сегодня имеется достаточно оснований говорить о следующих, набирающих силу, тенденциях:

- резкая дифференциация студентов внутри одной группы по знаниям, умениям, навыкам и мотивации к занятиям;
- готовность значительной части студентов получать оценки без соответствующих знаний, используя все возможные средства обмана преподавателя;
- стремление существенной части студентов пропускать занятия в максимальном количестве;
- неготовность большинства студентов усваивать теоретический материал непосредственно на лекции;
- отсутствие почти у всех студентов навыков эффективной учебной работы на практических занятиях (поддержание тишины, самостоятельность в выполнении заданий, наличие тетрадки по предмету, ручки и пр.).

В таких условиях уже не срабатывают или срабатывают очень плохо стандартные методики обучения, как правило, ориентированные на хорошо подготовленных и мотивированных на обучение студентов.

Данная работа посвящена описанию модифицированной методики обучения, учитывающей описанные выше негативные тенденции. Отметим также, технической базой такого подхода к обучению являются комплексы программных средств, разработанных в ГГУ им. Скорины под руководством автора [1–7].

## Содержание обучения

Технология обучения ориентирована на недельные циклы. Каждая неделя начинается с теоретического занятия, затем одно или несколько практических обучающих занятий и в конце недели – контрольная работа. Далее представлена методика обучения.

Организация и функционирование ЭВМ.

Раздел 1. Элементная база вычислительной техники: введение в предмет; синтез комбинационных схем по таблицам истинности; минимизация булевых функций картами Карно; базовые комбинационные схемы: дешифратор, шифратор, мультиплексор, сумматор; базовые схемы памяти: триггер, регистр, счетчик, ОЗУ, ПЗУ.

Раздел 2. Микропроцессор: введение в ассемблер, простейшая обработка символьных строк, таблица команд Intel 8086, Форматы команд Intel 8086, дополнительные сведения об ассемблере.

Раздел 3. Микропрограммирование: Основные понятия, синтез операционного автомата, синтез управляющего автомата с жесткой логикой, синтез управляющего автомата с программируемой логикой.

Архитектура вычислительных систем.

Раздел 1. Введение в предмет: технология работы на практических занятиях; микропрограммирование на С-МПА; генерация схем по микропрограммам; разбор решений контрольной №1; архитектура вычислительных систем – основные понятия и тенденции развития; архитектура учебного процессора TCPU.

Раздел 2. Развитие архитектуры процессоров семейства Intel: архитектура микропроцессора Intel 8086, особенности архитектуры МП Intel 80286, 80386, 80486, Pentium, команды MMX, архитектура Sandy Bridge.

Раздел 3. Не-Inlel-овские архитектуры процессоров: процессоры цифровой обработки сигналов; транспьютеры, реляционные ассоциативные процессоры (процессоры баз данных); ЭВМ, управляемые потоками данных; супер-компьютеры.

## Теоретические занятия

Материал для занятий по каждой теме тщательно отобран по количеству и качеству. С одной стороны, он содержит все необходимые фундаментальные сведения, а с другой – рассчитан на усвоение в течение 20–30 минут лучшими (до трети) студентами. Высвободившееся время используется для работы над только что пройденным материалом в малых группах (2–3 человека) при решении специально подобранных задач нарастающей сложности на изучаемую тему.

Теоретические занятия проводятся в аудитории, снабженной проектором, разворачиваемым экраном, переносным компьютером лектора, точками беспроводного доступа в сеть университета, разводкой питания для переносных компьютеров студентов. Таким образом, на каждом столе (то есть практически перед каждым студентом) имеется персональный компьютер, который во время изложения преподавателем теоретического материала может использоваться для альтернативы или дополнения большого экрана, на который проецируется лекторский материал. После завершения лекционной части студенты могут использовать свои ПК для повторного просмотра теории, а затем задать возникшие вопросы преподавателю.

Для активизации познавательной деятельности студентов с первой минуты лекции (а еще точнее, с первой минуты перемены перед лекцией) студентам доступна командная олимпиада, в которой предложена серия задач возрастающей сложности на изучаемую тему. После завершения объяснения новой теории преподавателем, студенты, при необходимости совещаясь в рамках созданных команд по 2–3 человека, должны проектировать схемы/писать программы/отвечать на вопросы по теме лекции и отправлять на автоматическую проверку. В этот момент на экране отображается динамически изменяющаяся таблица результатов командной олимпиады. Одновременно, для наименее подготовленных студентов доступно обучение по данной теме, пройдя которое, можно решить некоторое количество начальных задач командной олимпиады. Задачи подобраны так, чтобы ни одна, даже самая сильная команда, не могла решить все предложенные задачи (иначе, задачи добавляются), и в то же время, ни одна команда не смогла бы не решить ни одной задачи (поскольку для первых задач предоставляется обучение).



### Практические занятия

Практические занятия бывают трех видов: обучение, контрольная работа, контрольные срезы. Важной особенностью обучения является предоставление студентам возможности выбора уровня сложности обучения: индивидуальные задания или обучение. Каждую неделю одно из практических занятий включает контрольную работу. В контрольной работе всем студентам предлагается 20–30 заданий разной сложности. Первая группа заданий включает задачи на тему, которая проходится на текущей неделе. Поскольку задания для всех студентов одни и те же, студенты могут обсуждать их решение после завершения контрольной работы.

Для борьбы с нечестными студентами, отсылающими чужие решения на контрольной работе или во время обучения, введены контрольные срезы. Контрольный срез включает 10 задач на изучаемые в течение семестра темы. Принципиальное отличие контрольных срезов – у каждого студента свой вариант, и свои задачи по каждой из тем. Таким образом, серьезно усложняется возможность посылать на контрольном срезе чужие решения. Важное отличие контрольных срезов заключается также и в том, что их, в отличие от контрольной работы, запрещено писать с собственных ноутбуков – только со стационарных машин в учебном компьютерном классе, под специальным аккаунтом. Кроме того, строгая типизация задач на контрольном срезе однозначно указывает на темы, которые изучены плохо студентом. Каждый студент имеет право писать контрольный срез от одного и более раз, пока его не устроит полученная оценка. Особое внимание во время проведения практических занятий всех видов (обучение, контрольная работа, контрольный срез) уделяется созданию рабочей атмосферы: тишина, наличие тетрадок по предмету и т.д.

### Система оценивания

Система оценивания выстроена таким образом, чтобы максимально способствовать достижению следующих целей:

- все студенты ходят на все теоретические и практические занятия;
- на каждом занятии каждую минуту работает каждый студент на пределе своих возможностей;
- минимизировать возможность получения незаработанной оценки.

Оценка выставляется как минимальная из оценки контрольного среза и средней за семестр. Средняя за семестр вычисляется как средняя по контролю теории, контролю практики, обучению, индивидуальным задачам, бонусам и пропускам. Бонусы используются преподавателем для поощрения добросовестного отношения к учебе и эффективной учебно-познавательной деятельности. Например, количество бонусов, заработанное командой на теоретическом занятии прямо пропорционально количеству решенных задач. Колонка «Пропуски» вычитает баллы, причем в геометрической прогрессии в зависимости от количества пропущенных занятий. Таким образом, неотработанный пропуск семи и более занятий делает невозможным получение положительной оценки даже самым лучшим студентом.

### Самостоятельная управляемая работа студентов

Вся работа по предмету ведется посредством сайта DL.GSU.BY. Это обеспечивает возможность эффективной самостоятельной работы студентов дома. В частности, они могут отрабатывать пропущенные занятия, решая индивидуальные задания или работая над задачами в обучении.

Существенную помощь в самостоятельной работе оказывает студентам форум, в котором можно задать вопрос по предмету и получить ответ от кого-то из студентов или преподавателей. Ссылки на содержательные вопросы и ответы систематизируются, и данный материал становится дополнительным мостиком для перехода от обучения к решению индивидуальных задач.

### Виды практических заданий

1. Проектирование цифровых устройств.

На рисунке 1 представлено задание, в котором студент должен разработать схему описанного устройства в среде HLCCAD [2] и отправить эту схему на тестирование. Полу-

Имя HLCCAD проекта: FError.PRD  
Входное устройство: FError

Название	Размерность	Тип
X	8	вход
Y	8	вход
POS	3	выход
S	4	выход
NE	1	выход

На входы X, Y подаются два 8-ми битных числа. Определить первый несовпадающий бит (POS) и указать сколько всего бит не совпадают в числах (S). Если числа разные, то NE = 0, иначе (если 2 числа идентичны) NE = 1, а POS и S равны 0.

**Пример:**  
X: 10010101  
Y: 10010101  
NE: 1  
POS: 0  
S: 0

Отправка решения:

Рисунок 1 – Задание на проектирование цифровых устройств

Тест № 1 / 10

English

Посмотреть ответ

Следующий тест

Отправить

Рисунок 2 – Задание на симуляцию стандартных цифровых узлов

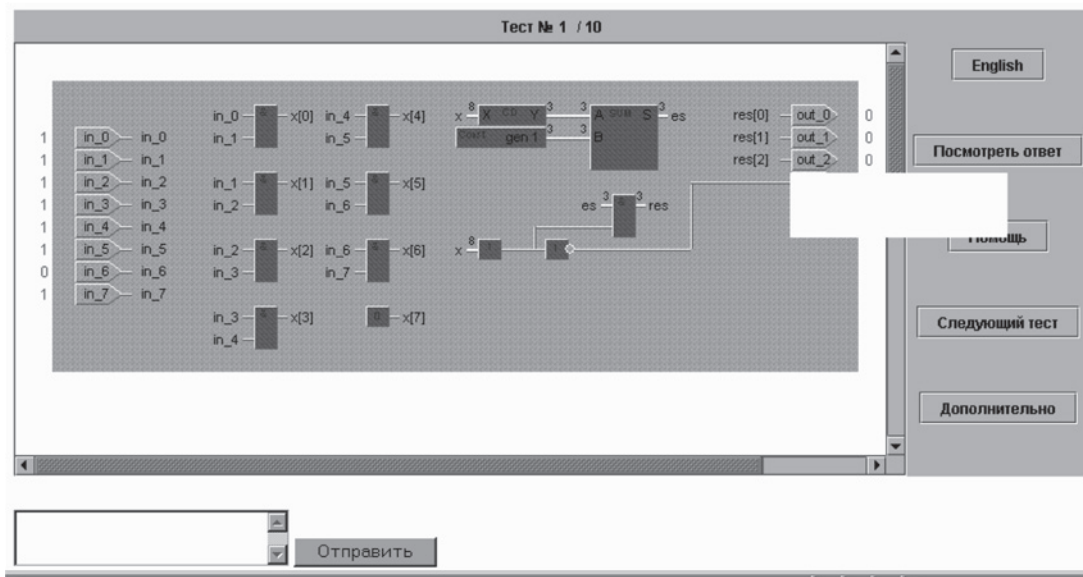


Рисунок 3 – Задание на симуляцию схем цифровых устройств

ченный проект запускается на симуляцию на заранее подготовленном множестве тестов. В случае обнаружения ошибок (несовпадение результатов на выходе симулируемой схемы с эталонными результатами), студент получает соответствующее сообщение с указанием контактов, содержащих ошибочные

значения и модельного времени ошибки. Студент также имеет возможность взять тест и просимулировать его на своем компьютере с целью диагностирования и исправления ошибки и последующей отсылки исправленного проекта на проверку.

2. Симуляция стандартных цифровых узлов.

На рисунке 2 представлено задание, в котором студенту предлагается условное графическое отображение стандартного элемента. Десять раз на его входах появляются случайные комбинации 0 и 1. Для каждой из них студент должен просчитать выход (изменив в случае необходимости значение на нужном выходе кликом мышки). Таким образом, формируется тестовый файл для системы HLCCAD (случайно сгенерированные входные данные и эталонные ответы, созданные студентом). В системе HLCCAD запускается моделирование эталонного устройства (схема которого представлена студенту на картинке) на полученном от студента тестовом файле. В случае несовпадения результатов моделирования и ответов студента, последнему выдается сообщение о времени и месте ошибки.

3. Симуляция схем цифровых устройств.

На рисунке 3 представлено задание, которое содержательно аналогично описанному выше. Отличие заключается в том, что студенту предлагается схема, состоящая из нескольких стандартных устройств. И для получения правильных ответов на выходных контактах студент должен уметь «просчитать схему вручную».

4. Проектирование цифровых устройств (по программе на ассемблере).

На рисунке 4 представлено задание, которое содержательно соответствует первому из описанных заданий. Отличие этого задания заключается в том, алгоритм работы устройства описан не словесно, как в первом случае, а определяется приведенным текстом

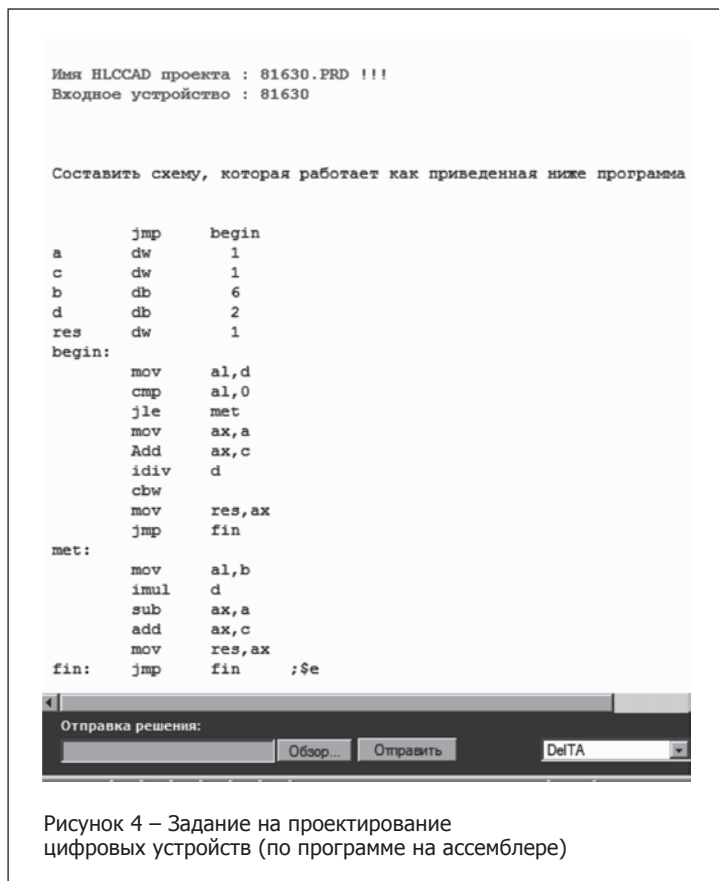


Рисунок 4 – Задание на проектирование цифровых устройств (по программе на ассемблере)

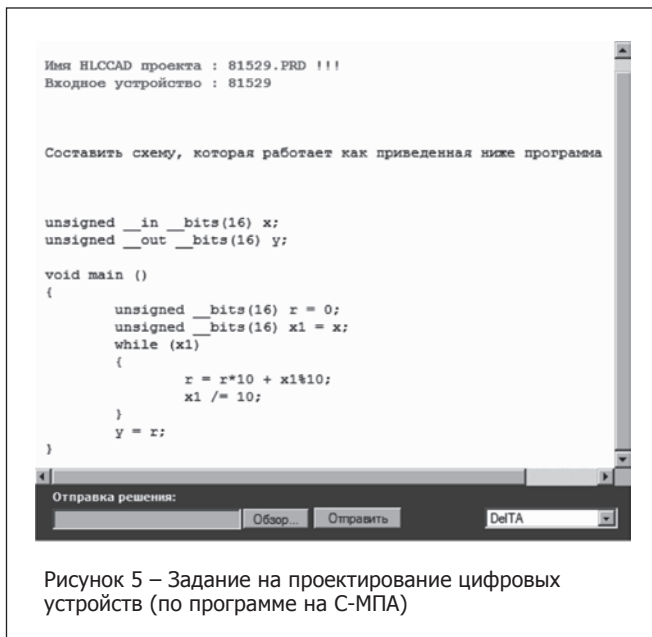


Рисунок 5 – Задание на проектирование цифровых устройств (по программе на С-МПА)

программы на ассемблере процессора Intel 8086. Для выполнения задания требуется проанализировать текст этой программы, понять, что она делает, переформулировать словесно/формульно условие задачи, а после этого разработать и отправить на проверку схему, которая делает аналогичную работу.

5. Проектирование цифровых устройств (по программе на С-МПА).

На рисунке 5 представлено задание, которое соответственно соответствует предыдущему заданию. Отличие этого задания заключается в том, что алгоритм работы устройства определяется приведенным текстом программы на языке микропрограммирования С-МПА. Для выполнения задания требуется проанализировать текст этой программы, понять, что она делает, переформулировать словесно/формульно условие задачи, а после этого разработать и отправить на проверку схему, которая делает аналогичную работу.

6. Разработка программы на ассемблере Intel 8086 (С-МПА).

На рисунке 6 представлено задание, в котором студент должен написать программу, в памяти которой объявлены соответствующие входные и выходные переменные и написать программу на языке ассемблера Intel 8086 (или языке микропрограммирования С-МПА), получающую результаты по исходным данным. Для разработки и отладки программы используется среда Winter [3]. После отсылки решение запускается на множестве эталонных тестов. Если при каких-то входных данных программа студента получает неправильный результат, об этом сообщается студенту и ему предоставляется возможность забрать все тесты и добиться работоспособности своей программы, найдя и исправив все ошибки в своей среде Winter.

7. Симуляция инструкций.

На рисунке 7 представлено задание, в котором студенту предлагается инструкция (на рисунке

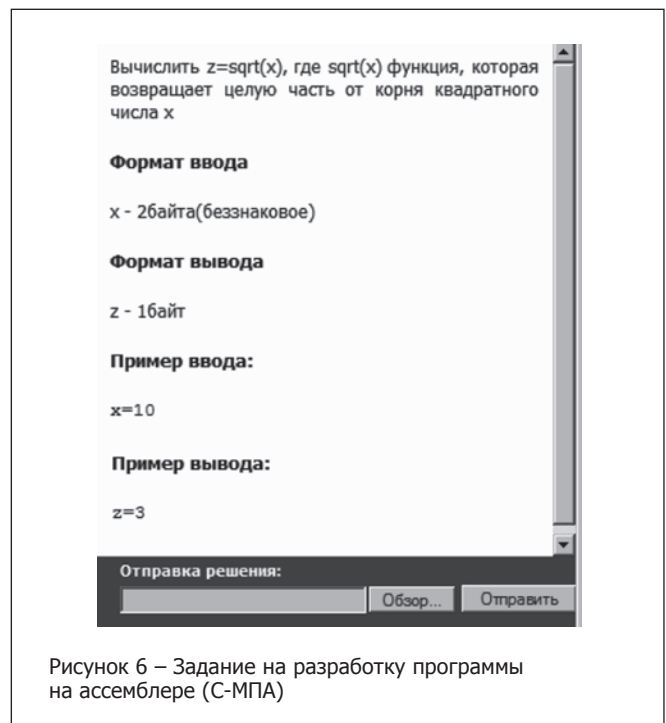


Рисунок 6 – Задание на разработку программы на ассемблере (С-МПА)

инструкция целочисленного деления IDIV), обрамленная несколькими инструкциями пересылки исходных данных и результатов. Исходные данные генерируются случайно и отображаются в верхней части экрана. Студент должен вычислить результат и ввести его в поле ввода. Количество подобных тестов определяется автором задания (на рисунке задание содержит 4 теста). По сгенерированным входным данным и ответам студента формируется тестовый файл, на котором запускается правильное решение этой задачи. Если оно выдает ответы, не совпадающие с ответами студента, последний получает соответствующую информацию.

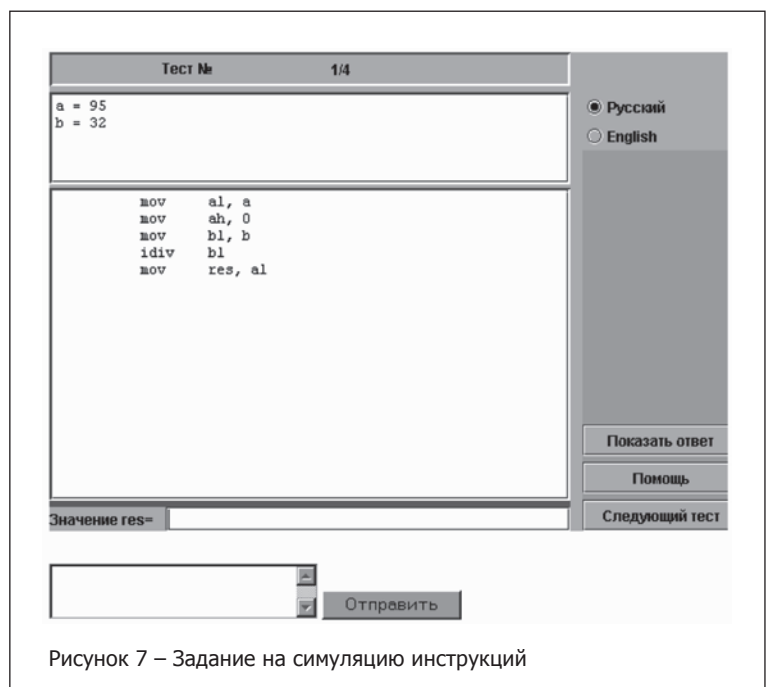


Рисунок 7 – Задание на симуляцию инструкций



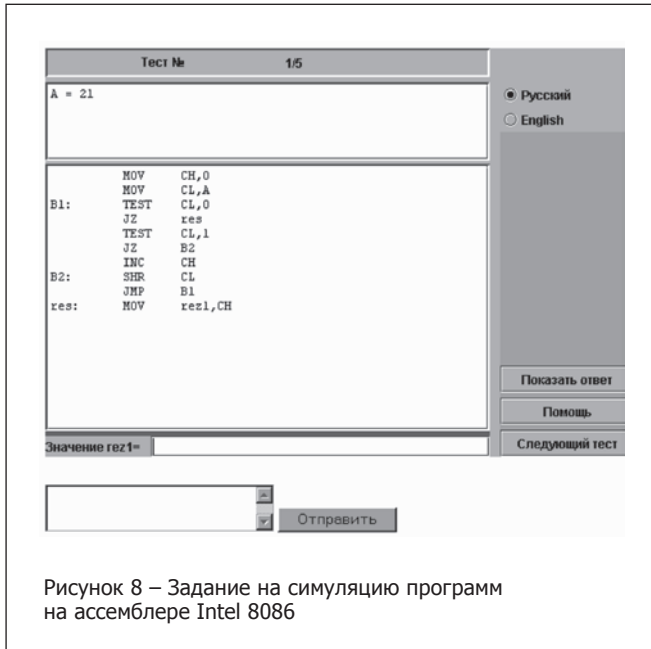


Рисунок 8 – Задание на симуляцию программ на ассемблере Intel 8086

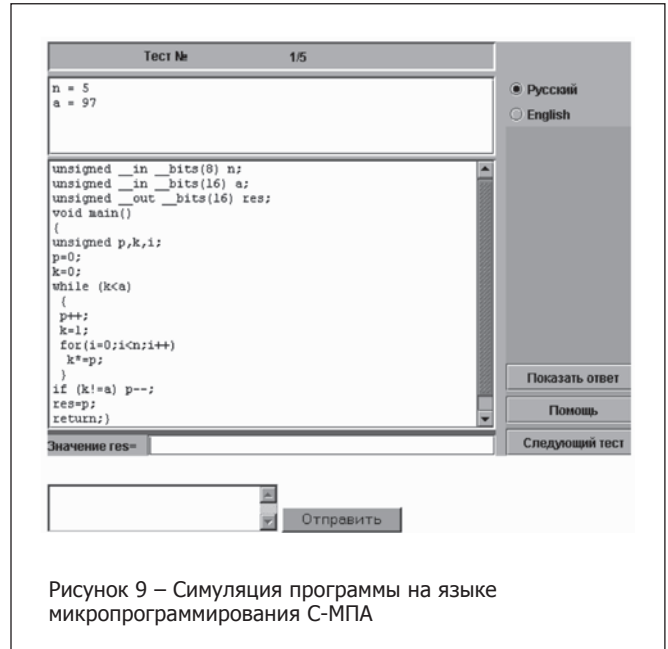


Рисунок 9 – Симуляция программы на языке микропрограммирования С-МПА

8. Симуляция программ на ассемблере Intel 8086.

На рисунке 8 представлено задание, отличие которого от предыдущего задания заключается в том, что студенту предлагается понять, что делает представленная программа на языке ассемблера Intel 8086, и для случайно сгенерированных входных данных вычислить правильные результаты.

9. Симуляция программы на языке микропрограммирования С-МПА.

На рисунке 9 представлено задание, отличие которого от предыдущего задания заключается в том, что для понимания студенту предъявляется программа, написанная на языке микропрограммирования С-МПА [4, 5].

10. Разработать программу по схеме.

На рисунке 10 представлено задание, в котором студенту предлагается понять, что делает схема и написать программу на ассемблере Intel 8086 (другой вид такого задания – на языке микропрограммирования С-МПА), которая выполняет ту же работу.

11. Тестирование программ.

На рисунке 11 представлено задание, в котором студенту предлагаются условие задачи и исходные тексты ее неправильных решений (эти решения получены из протокола тестирования данной задачи, то есть это реальные неправильные решения, выполненные студентами в разные годы). Студент должен придумать такие тесты, чтобы все неправильные решения выдали на этих тестах неверные результаты.

**Заключение**

В данной статье описана разработанная автором и многократно апробированная технология обучения, ориентированная на работу в группах обучаемых с принципиально различными уровнями мотивации и предварительной подготовки. Серьезной технической основой методики является разработанная инструментальная система дистанционного обучения (Distance Learning Belarus – <http://dl.gsu.by>). Внедрение данной технологии обучения с сентя-

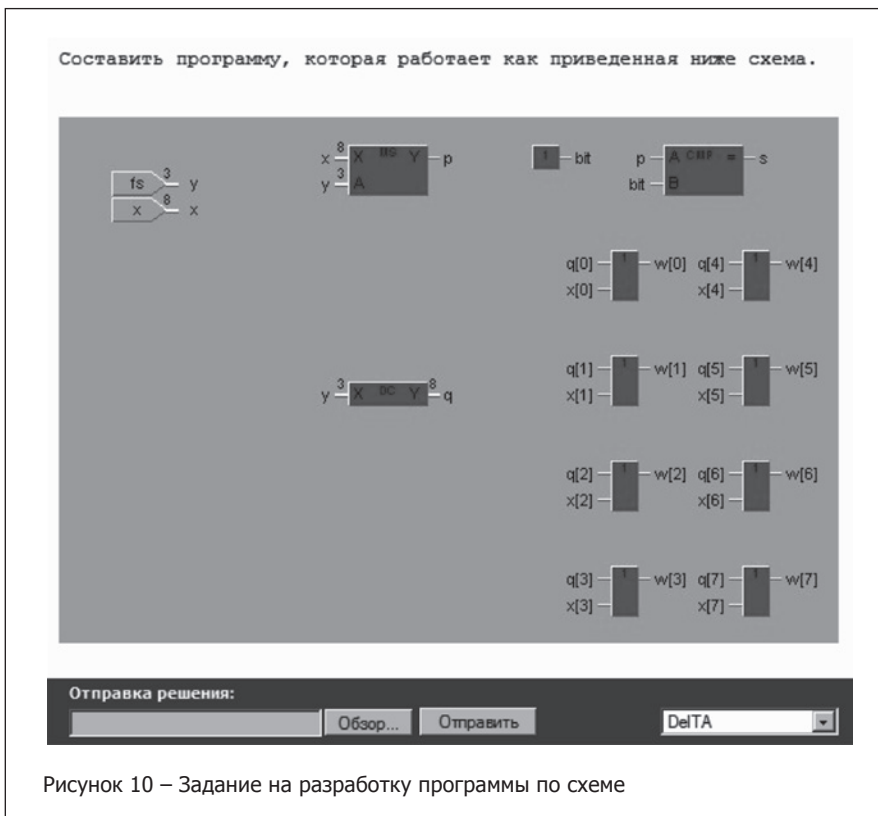


Рисунок 10 – Задание на разработку программы по схеме

Составить тесты в формате WInter для следующей задачи.  
Руководство по созданию тестов для WInter.

Набор тестов должен выявить следующие неверные программы.

**Обратите внимание!**

В тестах перед входными переменными обязательно должно быть две пустые строки. Перед выходными - одна.

Пример файла с одним тестом

Посчитать количество прописных гласных букв латинского алфавита (A, E, I, O, U), находящихся в исходной строке. Признак конца строки - символ #

**Формат ввода**

IN\_STR - строка символов, заканчивающаяся решеткой (#)

**Формат вывода**

RES 2 байта

**Пример ввода:**

ADCDEfghi#

**Пример вывода:**

2

Отправка решения:

Обзор...

Отправить

DelTA

Рисунок 11 – Задание на тестирование программ

бря 2009 года обеспечило значительные сдвиги качества обучения, особенно наименее подготовленной и мотивированной категории студентов. В то же время, наиболее подготовленные студенты также удовлетворены таким подходом к обучению. В частности, это показывается результатами анкетирования по завершению семестра, где всем студентам предлагается ответить на вопросы «Что

понравилось / не понравилось / предлагаете изменить в лекциях / практике / системе оценивания».

### Литература:

1. Долинский, М.С. Использование новых информационных технологий при обучении проектированию цифровых систем и программированию / М.С. Долинский, М.А. Кугейко // Электроника инфо. – 2010. – № 4. – С. 10–13.

2. Долинский, М.С. Редактирование, симуляция и отладка аппаратного обеспечения с помощью HLCCAD / М.С. Долинский, И.В. Коршунов // Электроника инфо. – 2010. – № 6. – С. 22–26.

3. Долинский, М.С. Среда WINTER для редактирования, симуляции и отладки программных систем / М.С. Долинский, И.В. Коршунов // Электроника инфо. – 2011. – № 2. – С. 53–56.

4. Долинский, М.С. Технология разработки алгоритмически сложных цифровых систем с помощью автоматического синтеза микропрограммных автоматов / М.С. Долинский, И.В. Коршунов // Электроника инфо. – 2011. – № 3. – С. 53–57.

5. Долинский, М.С. Автоматический синтез микропрограммных автоматов по С-МПА программам / М.С. Долинский, И.В. Коршунов // Электроника инфо. – 2012. – № 1. – С. 95–98.

6. Долинский, М.С. Учебный микропроцессор TCPU и его применение / М.С. Долинский, И.В. Коршунов // Электроника инфо. – 2013. – № 2. – С. 59–63.

7. Долинский, М.С. Конструктор интерактивных флеш-заданий и его применение / М.С. Долинский, Ю.В. Решетько // Электроника инфо. – 2013. – № 10. – С. 56–63.



поставка электронных компонентов

контрактное производство

тел.: +375 17 290 0082  
факс: +375 17 290 0084  
e-mail: info@horntrade.net

www.polden.by

**ПОЛДЕК** ПЛЮС

ПАЯЛЬНО-РЕМОНТНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

(017)222-50-23  
(017)222-51-02  
(029)648-71-31

# СЕТЕВЫЕ ХРАНИЛИЩА ДАННЫХ ДЛЯ «ОБЛАЧНОЙ» ИНФОРМАЦИОННО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ

И.С. Жук, БГУ, г. Минск

## Введение

Основу современного информационного общества составляют информационные процессы, базирующиеся на информационно-коммуникационных технологиях. Широкое внедрение информационно-коммуникационных технологий в различные сферы деятельности человека привело к возникновению глобального процесса информатизации. Информатизация системы образования способствует повышению качества предоставляемых образовательных услуг, повышению эффективности системы образования и, как следствие, ускорению научно-технического прогресса и модернизации экономики на инновационной основе [1].

Стратегия развития информационного общества в Республике Беларусь предполагает внедрение новых информационных технологий, которые призваны повысить эффективность системы образования и качество предоставляемых услуг [2]. Совокупность данных технологий формирует информационно-образовательную среду учебного заведения. Ключевым компонентом информационно-образовательной среды являются учебные ресурсы, повышение удобства доступа и эффективности работы с которыми является первоочередной задачей. Учебные ресурсы представляют собой специализированные базы данных, файловые хранилища, базы знаний, электронные каталоги [3].

Основными требованиями к сетевому хранилищу данных являются прохождение аутентификации и авторизации пользователей по единым учетным записям, хранимым на Active Directory, а также выделение заданного пространства для хранения данных в зависимости от роли пользователя: преподаватель, студент, административный персонал (роль пользователя – атрибут записи в Active Directory).

Создание сетевого хранилища данных для «облачной» информационно-образовательной среды следует рассматривать как комплексную проблему, требующую проведения настройки аппаратного обеспечения, предоставляющего вычислительные мощности и хранилище данных, а также программного обеспечения, отвечающего как за надежное, отказоустойчивое функционирование аппаратной части «облака», так и за пользовательский интерфейс и систему доступа, обеспечивающих удобное взаимодействие пользователей с учебными ресурсами. Ключевой проблемой при создании «облачного» хранилища данных является проведение аутентификации, авторизации и разграничение прав доступа пользователей по учетным записям.

Использование «облачных» технологий позволит добиться централизации информационных ресурсов, что, в свою очередь, обеспечит масштабируемость ресурсов «облака» и снижение затрат на их сопровождение, а также обеспечит более высокий уровень их защищенности [4].

## «Облачные» системы хранения данных

В случае персонального компьютера или выделенного сервера, подсистема хранения данных образуется

внутренним, подключенным к материнской плате жестким диском или, для обеспечения надежности хранения данных, системой дисков (например, при создании RAID массива). В «облачных» компьютерных системах выделяют следующие типы подсистем хранения данных, которые определяют архитектуру соединения систем хранения с вычислительными узлами для обработки информации [5]:

- устройства хранения данных, прямого подключения к серверам (DAS, Direct Attached Storage);
- сетевые устройства хранения данных (SAN, Storage Area Network);
- устройства хранения данных, подключаемые через Интернет (NAS, Network Attached Storage).

Системы хранения данных типа DAS являются базовыми при создании хранилища данных и могут быть использованы напрямую или косвенно внутри NAS и SAN систем. Хранение данных в DAS системах происходит на уровне блоков. В NAS системах хранение данных осуществляется на уровне файлов. SAN системы являются промежуточными между DAS и NAS системами. На рисунке 1 представлены основные типы систем хранения данных с используемыми протоколами передачи.

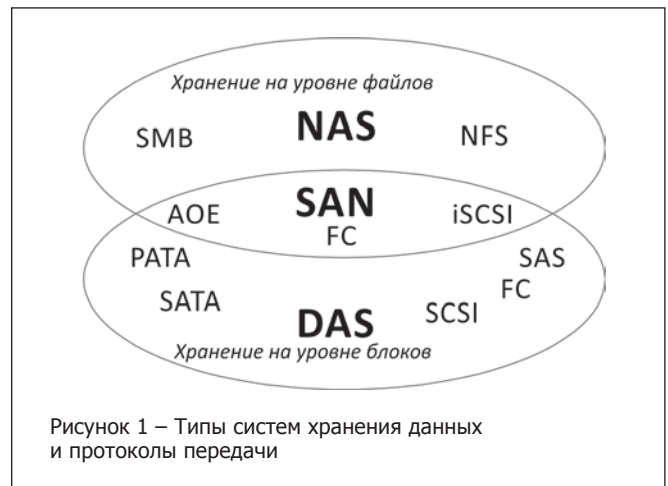


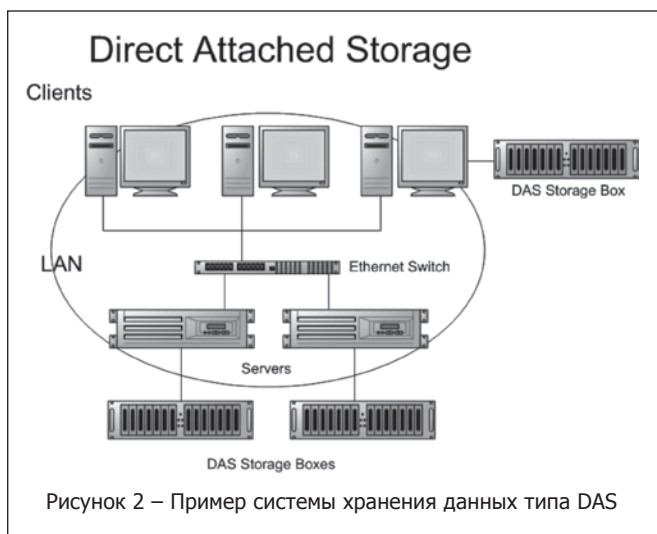
Рисунок 1 – Типы систем хранения данных и протоколы передачи

**Системы хранения данных типа DAS.** Системы хранения данных типа DAS (иногда в литературе встречается термин SAS, Server Attached Storage) представляют собой класс традиционных систем хранения данных, которые непосредственно присоединены к компьютерам-хостам (без использования сети) и используются только ими [6]. DAS системы предоставляют возможность хранения на уровне блоков и являются базовыми для SAN и NAS систем хранения данных. Производительность SAN и NAS систем хранения данных ограничена производительностью базовых DAS систем, которые имеют более высокие скорости записи и чтения, поскольку непосредственно подключены к компьютерам-хостам. Производительность DAS систем зависит от используемой ОС и файловой системы, а также от загрузки сервера, обслуживающего систему хранения. Контроллер



DAS позволяет максимально 4 серверам одновременно получить доступ к блоку памяти. Протоколы, используемые для организации коммуникации между компьютерами/серверами и системой хранения типа DAS: FC, SATA, SCSI, PATA, SAS [5, 7].

Пример построения системы хранения данных типа DAS представлен на рисунке 2 [8]. В данном случае для клиентских компьютеров и серверов имеются напрямую подключенные системы хранения данных типа DAS (DAS Storage Box); для клиентских компьютеров такими системами могут быть жесткие диски, используемый протокол SCSI; для серверов – система дисковых массивов JBOD, используемый протокол – Fiber Channel.



Программные уровни системы DAS показаны на рисунке 3 [7]. DAS система управляется клиентской ОС. Программные приложения обращаются к данным через файловую систему, которая управляет структурой каталогов данных и отображением файлов на логические дисковые блоки. Менеджер логических томов управляет блоковыми ресурсами, которые находятся в одном или нескольких физических дисках и отображает запросы на доступ к логическому блоку в физический том/адрес цилиндр/сектора. Драйвер устройства дисковой системы связывает ОС с контроллером диска или адаптером шины оборудования и отвечает за передачу команд и данных между клиентским компьютером и дисковой системой.

Использование изолированных устройств хранения DAS является более дешевым и простым в установке вариантом по сравнению с сетевыми системами хранения, однако, в случае больших организаций, использование данных систем хранения нельзя считать оптимальным, поскольку DAS не обеспечивает возможности совместного использования емкости хранения разными хостами и возможности разделения данных, что приводит к необходимости установки систем хранения данного типа в каждом хосте, а избытки памяти не будут использованы.

**Системы хранения данных типа SAN.** Система SAN представляет собой выделенную централизованную сеть устройств хранения данных на уровне блоков. Данный тип систем предоставляет ряд преимуществ по сравнению с DAS [9]:

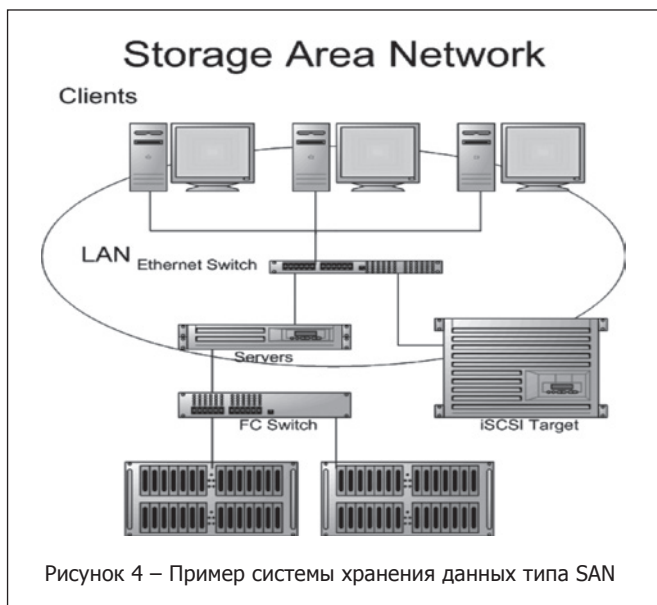


- централизация дисковых ресурсов и управления и вспомогательного оборудования (например, охлаждение и мощность);
- возможность виртуализации хранения, в том числе массивов разнородных дисковых;
- поддержка хостов с разными операционными системами;
- возможность использования совокупного ресурса внешней памяти;
- отсутствие нагрузки на локальную сеть при передаче данных.

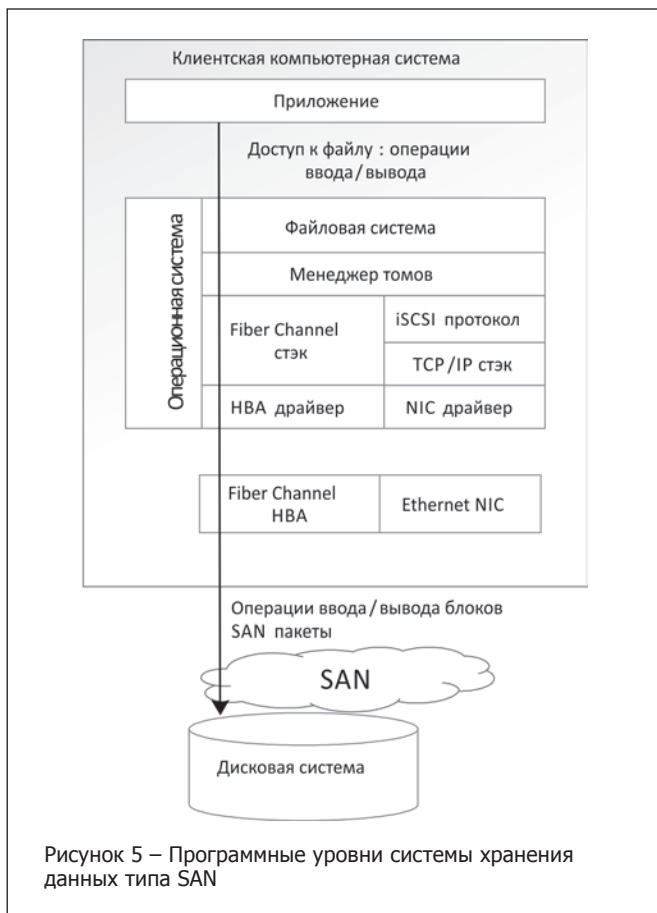
Несмотря на то, что хосты могут быть подсоединены к одному устройству хранения, отсутствует возможность доступа к одному дисковому тому разным хостам. Однако в случае освобождения определенного тома данных, другой хост может получить доступ к этому тому. Такой механизм полезен в кластерной среде, где в случае выхода из строя главного сервера, вспомогательный сервер сможет продолжить работу с текущим томом. В системах SAN используются FC, Ethernet (iSCSI или AoE) протоколы, чтобы обеспечить взаимодействие между хостами и хранилищем [5, 7].

Рисунок 4 представляет пример системы хранения данных типа SAN [8]. SAN системы строятся с использованием выделенной сети, которая отделена от локальной сети для разграничения трафика данных сетей, что позволяет добиться высокой надежности и низких задержек.

В сети хранения могут использоваться дисковые массивы RAID, простые массивы дисков JBOD. Дополни-



тельными необходимыми компонентами для организации сети SAN помимо самих устройств хранения являются HBA адаптеры (host bus adapter) для подключения серверов к сети Fibre Channel, сетевые устройства, образующие данную топологию FC-сеть, и специализированный программный компонент для управления, который может быть запущен как на сервере общего назначения, так и непосредственно на устройствах хранения, однако, часть



функций может быть вынесена на специализированный тонкий сервер [6].

Функции ПО для SAN системы хранения данных связаны с централизованным управлением: проведением настройки, мониторинга состояния компонент, управлением доступом к дисковым массивам. Для различных ОС происходит разбиение дискового массива на логические области для обеспечения бесконфликтной работы [6].

Программные уровни системы SAN показаны на рисунке 5 [7]. Ключевой разницей между программными уровнями DAS системы является то, что драйвер дискового контроллера заменен HBA или NIC драйвером, в случае использования Fibre Channel или iSCSI/TCP/IP стека протоколов соответственно.

Преимуществами данного типа систем хранения данных являются наличие выделенной сети передачи данных, централизация дисков хранения данных, что позволяет максимально использовать их ресурсы, а также предоставляет возможность добавлять дисковые массивы без перерывов в работе серверов. Кроме того, существует возможность загрузки серверов непосредственно с SAN носителей, что позволяет быстро заменить вышедший из строя сервер другим вычислительным узлом простой перенастройкой отображения LUNa предыдущего сервера на новый. Отрицательными характеристиками данной технологии построения хранилищ является их высокая стоимость из-за FC оборудования и сложность в сопровождении [6].

Системы хранения типа NAS. Если SAN системы представляют собой особо сконфигурированную сеть и передают данные в виде блоков, то системы типа NAS представляют собой сетевые устройства хранения (выделенный файловый сервер) с подсоединенной дисковой подсистемой, и передают данные в виде файлов. NAS-устройство хранения данных напрямую подключается в сеть и предоставляет хостам доступ к файлам на своей интегрированной подсистеме внешней памяти. Таким образом, NAS-устройство напоминает конфигурацию DAS, но принципиально отличается от нее тем, что обеспечивает доступ на уровне файлов, а не блоков данных, и позволяет всем приложениям в сети совместно использовать файлы на своих дисках [5, 7]. Протоколы, используемые в системах хранения данного типа, это Common Internet File System (CIFS), Server Message Block (SMB), и Network File System (NFS) [5].

На NAS-устройстве не требуется полнофункциональная ОС, поэтому на данные устройства устанавливается специализированная ОС, например, FreeNAS. Также многие ОС, такие как UNIX, LINUX, имеют встроенную поддержку NFS протокола, ОС Windows – CIFS. Таким образом, установка системы хранения типа NAS включает подключение устройства хранения к LAN и конфигурирование ОС на хостах (рабочих станциях или серверах) на доступ к хранилищу данных.

Пример системы хранения данных типа NAS представлен на рисунке 6 [8].

Задачей ОС NAS-устройства является транслирование обращений к определенному файлу в запрос на уровне блоков данных. На NAS-устройстве могут быть сконфигурированы несколько файловых систем, к каждой из которых привязывается определенный набор томов на

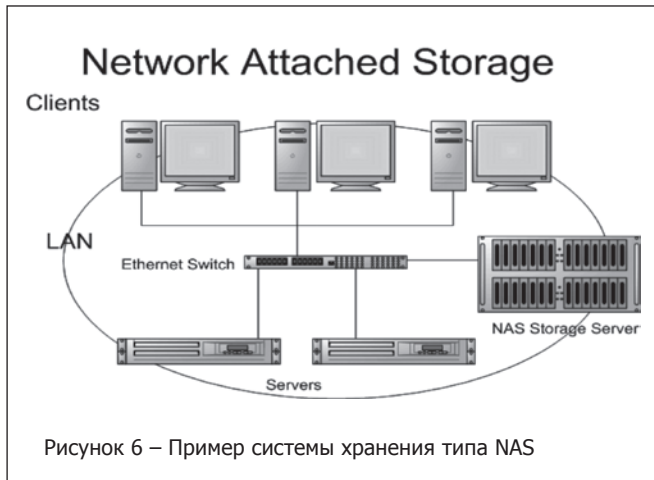


Рисунок 6 – Пример системы хранения типа NAS

диске заданного размера. Таким образом, NAS обеспечивает более эффективные по сравнению с DAS организацию и использование ресурсов дискового пространства из-за централизации дисковых ресурсов. Отрицательной стороной NAS систем является их слабая масштабируемость, поскольку отсутствует возможность объединения их в пул ресурсов хранения, так как увеличение числа NAS-устройств усложнит задачу управления [6].

Программные уровни NAS системы представлены на рисунке 7 [7]. При рассмотрении программных уровней выделяют клиентскую компьютерную систему и NAS-устройство хранения. После того, как клиентское приложение инициирует запрос к ресурсу, файловая система клиентской ОС формирует запросы, идентичные тем, которые были бы сгенерированы в DAS системе. Разница состоит в том, как эти запросы будут обработаны ОС: произойдет перенаправление (переадресация) запроса ввода-вывода в случае запроса удаленных ресурсов, который будет транслирован в сообщения на удаленный сервер. В NAS-устройстве сетевая карта принимает сообщения NFS/CIFS

на доступ к определенным ресурсам (файлам), которые будут транслированы в команды для файловой системы NAS-устройства, аналогичные, как и для DAS-устройств (действительно, дисковая подсистема интегрирована, напрямую подключена к NAS-устройству).

Преимуществами NAS систем хранения данных над SAN и DAS является то, что несколько клиентов могут использовать один и тот же том данных, простота в настройке данного типа систем, возможность создания отказоустойчивых систем с низкой стоимостью. Недостатками NAS систем хранения данных является то, что не все приложения поддерживают данную систему и более низкая пропускная способность, чем у других систем хранения данных [6].

**Сравнение систем DAS, NAS, SAN хранения данных**

В качестве основных критериев для сравнения систем хранения данных DAS, NAS, SAN выберем следующие: принцип работы, интерфейсы жестких дисков, пропускная способность, масштабируемость, надежность, сложность в сопровождении, стоимость. Сравнительная информация данных систем представлена в таблице 1.

*Конфигурация дисковых массивов: RAID.* Надежность хранения данных может быть обеспечена механизмом регулярного резервного копирования, однако, в случае выхода из строя основных дисков потребуются время на восстановление данных и подключение резервных дисков в систему. Хранение данных в RAID массивах позволяет обеспечить отказоустойчивость и повышенное быстродействие [9].

RAID массив образуется с использованием нескольких дисков, объединенных скоростными каналами передачи данных. Данные диски управляются специальным контроллером и воспринимаются как единое целое устройство. Существуют различные схемы RAID конфигураций или уровней, которые разделяют и/или копируют данные между несколькими физическими дисками, предоставляя

Таблица 1 – Сравнительная характеристика систем хранения данных DAS, NAS, SAN

Критерии	Тип системы хранения		
	DAS	NAS	SAN
Принцип работы	Работа на уровне блоков данных, выделение области данных с возможностью создания файловой системы, непосредственное подключение к хосту (серверу)	Работа на уровне файлов, передача данных производится через TCP/IP сеть, наличие собственной файловой системы	Работа на уровне блоков данных, подключение по FC, выделение области данных с возможностью создания необходимой файловой системы
Интерфейсы жестких дисков	USB, eSATA, SAS, iSCSI	SATA II	SCSI / SAS / SATA
Пропускная способность, Мбайт/с	до 300	до 150	до 1000
Масштабируемость	средняя	слабая	высокая
Надежность	низкая (сервер, на котором установлены диски, является критической точкой)	средняя (простота в миграции данных на другой сервер)	высокая (отсутствуют единые точки отказа из-за использования резервирования компонент)
Сложность в сопровождении	простая	простая	высокая
Стоимость	низкая	низкая	высокая



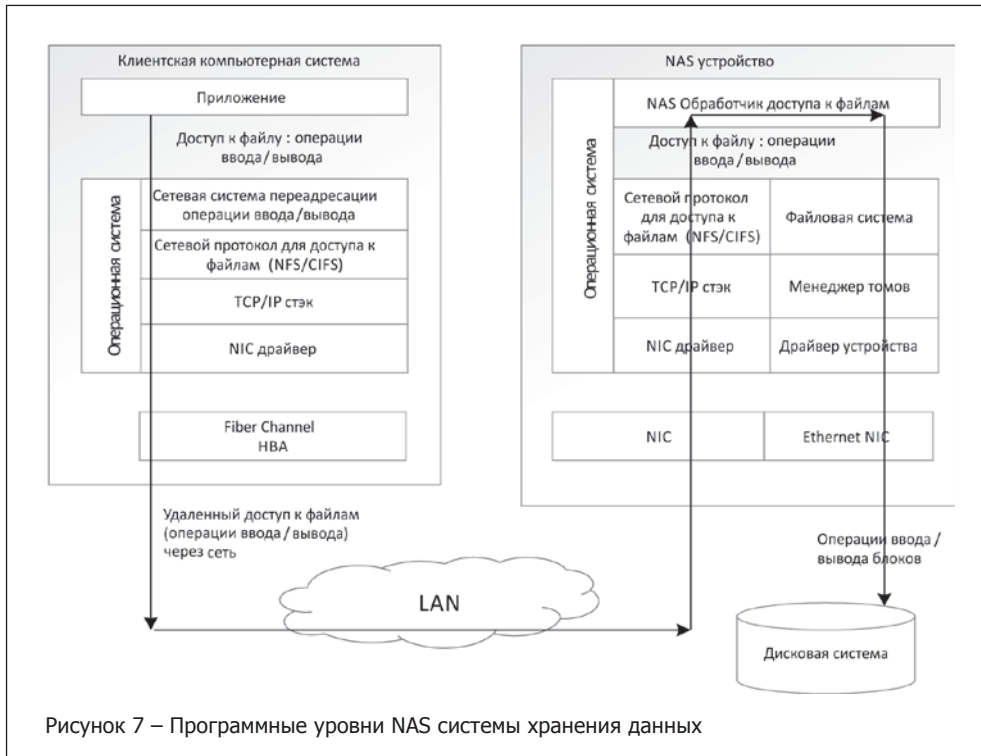


Рисунок 7 – Программные уровни NAS системы хранения данных

стройка одного диска приведет к отказу в работе всего дискового массива. Таким образом, надежность RAID 0 равняется надежности самого ненадежного диска из массива. На рисунке 8 представлен пример конфигурации массива дисков RAID 0 с использованием двух дисков [11].

**Дисковый массив RAID 1.** Конфигурация RAID 1 предоставляет полное зеркалирование данных, таким образом, в случае использования массива из двух дисков, они будут представлять собой полные копии друг друга. Это позволяет получить приемлемую скорость записи и выигрыш по скорости чтения при распараллеливании запросов. Кроме того, данный тип дискового массива имеет высокую надежность, которая определяется суммарной надежностью используемых

различные возможности в повышении отказоустойчивости и быстродействия [9]. Наиболее распространенными типами конфигурации дисковых массивов являются RAID 0, RAID 1, RAID 10, RAID 5.

**Дисковый массив RAID 0.** Дисковый массив RAID 0 может состоять из двух или более жестких дисков и предлагает схему записи и хранения данных без резервирования. RAID 0 является самым простым из конфигураций RAID, обеспечивает повышенную производительность, но не дает никакой избыточности или отказоустойчивости [9, 10]. Информация, предназначенная для записи, разбивается на блоки данных определенной длины (обычно кратные сектору диска 512 байт) и записывается на диски поочередно. Очевидно, данный тип конфигурации обеспечивает повышенную производительность, кратную количеству используемых дисков, причем общий объем дискового массива является простой суммой входящих дисков. Однако выход из

физических дисков. Однако недостатком данного подхода является неэффективное использование дискового пространства, и в случае двух одинаковых дисков суммарный объем будет равен емкости одного диска [9, 10]. Пример конфигурации RAID 1 с использованием двух дисков представлен на рисунке 9 [11].

**Дисковый массив RAID 10.** Дисковый массив RAID 10, также известный как RAID 1+0, по сути, является массивом RAID 0 из массивов RAID 1. Данный тип конфигурации позволяет получить преимущества по скорости RAID 0 и преимущество надежности RAID1, однако, эффективная емкость массива равна половине емкости использованных в нем дисков. Для создания такого массива требуется четное количество дисков, причем минимально необходимо 4 физических диска [9]. Пример дискового массива RAID 10, построенного с использованием 4 физических дисков, представлен на рисунке 10 [11].

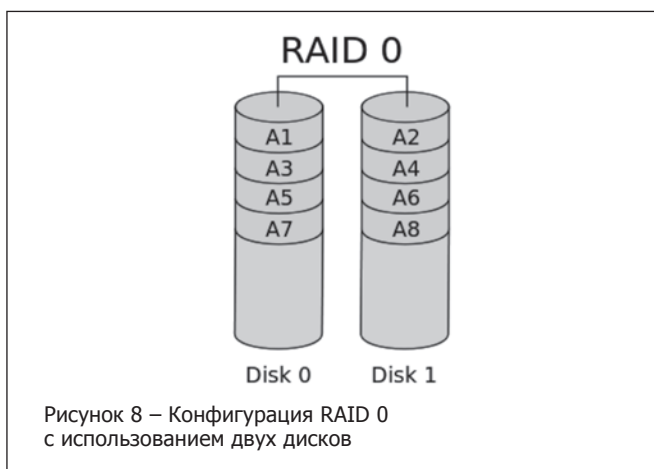


Рисунок 8 – Конфигурация RAID 0 с использованием двух дисков

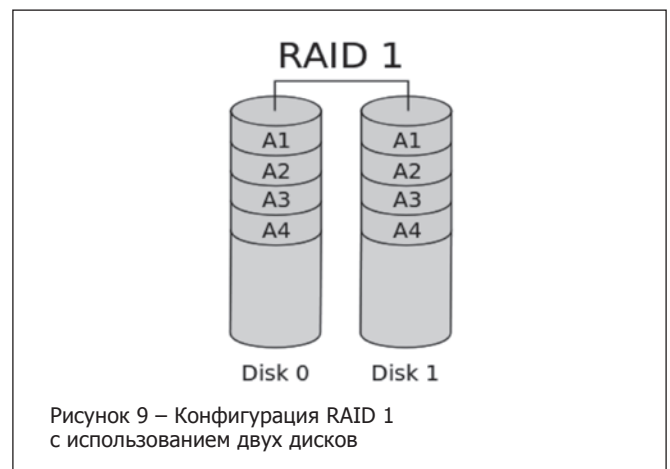


Рисунок 9 – Конфигурация RAID 1 с использованием двух дисков

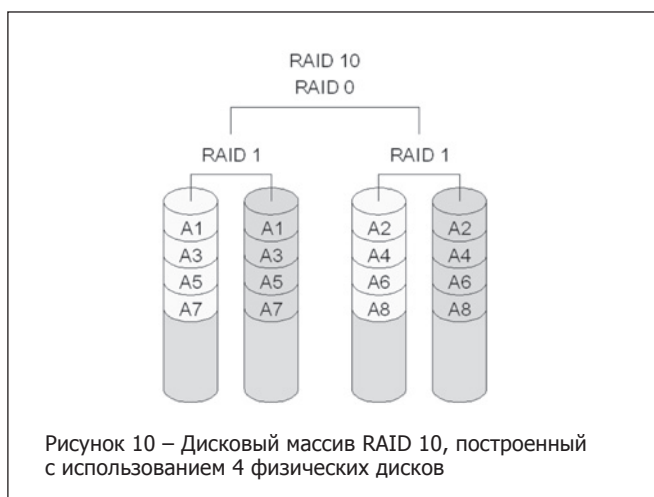


Рисунок 10 – Дисковый массив RAID 10, построенный с использованием 4 физических дисков

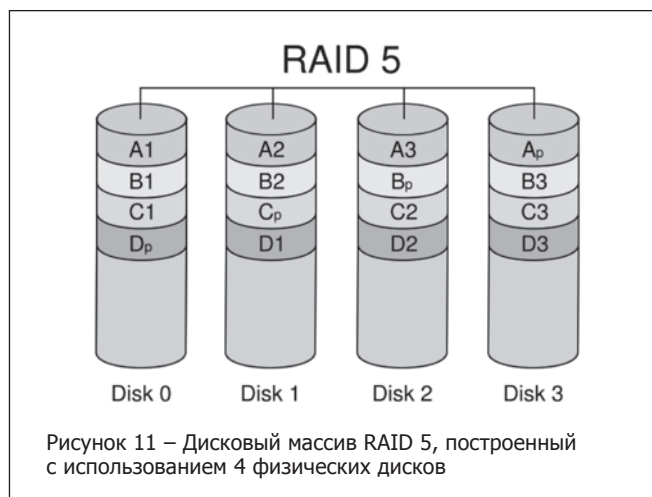


Рисунок 11 – Дисковый массив RAID 5, построенный с использованием 4 физических дисков

Возможно построение массива RAID 0+1, который представляет собой массив RAID 1 из массивов RAID 0. Однако данный тип фактически не применяется, поскольку не имеет преимуществ по сравнению с RAID 10 и обладает меньшей отказоустойчивостью.

**Дисковый массив RAID 5.** RAID 5 использует чередование (циклическое) в записи данных на уровне блоков и контрольные суммы четности относятся на все диски, отсутствует асимметричность в конфигурации физических дисков. Контрольные суммы являются результатом операции XOR (исключающее или). Использование операции XOR позволяет восстановить данные диска в случае его выхода из строя. Например, если  $a, b, c$  – три диска рейд-массива, то данные любого из них могут быть восстановлены операцией XOR двух других:  $a = b \text{ XOR } c$ . RAID 5 является достаточно экономически выгодным, поскольку объем дискового массива RAID 5 рассчитывается по формуле  $(n - 1) * hd\_min\_size$ , где  $n$  – число дисков в массиве, а  $hd\_min\_size$  – размер наименьшего диска. Например, для массива из четырех дисков по 100 Гб общий объем будет  $(4 - 1) * 100 \text{ Гб} = 300 \text{ Гб}$ . Операция записи в данном дисковом массиве требует дополнительных вычислений, однако при операции чтения потоки данных с нескольких дисков массива могут обрабатываться параллельно, что позволяет эффективно использовать RAID 5 массив в системах с преобладанием операций чтений над записями,

например, в системах СУБД [9]. Пример дискового массива RAID 5, составленного из 4 физических дисков, представлен на рисунке 11 [11].

### Сравнение дисковых массивов RAID уровней 0, 1, 5, 10

В качестве сравнительных характеристик для дисковых массивов RAID уровней 0, 1, 5, 10 выберем следующие: минимальное необходимое количество дисков для создания массива, эффективная емкость хранения, надежность, скорости операций чтения и записи.

Сравнительная характеристика дисковых массивов RAID уровней 0, 1, 5, 10 представлена в таблице 2 [9]. На основании данной таблицы, можно сделать вывод, что из данных дисковых массивов приемлемыми для подсистемы хранения данных создаваемой «облачной» компьютерной системы является RAID массив уровня 10. Однако RAID 5 имеет более низкую скорость операции записи, что может сказаться на общей производительности системы в случае большого количества пользователей.

### Особенности «облачных» хранилищ данных

Хранение данных является важной составляющей «облачных» компьютерных систем, которая позволяет пользователям размещать данные из их локальных вычислительных систем в «облако» [12]. Таким образом, одним

Таблица 2 – Сравнительная характеристика дисковых массивов RAID уровней 0, 1, 5, 10

Характеристика	RAID уровень			
	RAID 0	RAID 1	RAID 5	RAID 10
Минимально необходимое количество дисков	2	2	3	4
Эффективная емкость хранения, %	100	50	>50, <100	50
Надежность	очень низкая (при выходе любого из дисков произойдет потеря данных)	высокая (для потери данных необходим выход из строя всех дисков)	средняя (возможен выход из строя только одного диска без потери данных)	высокая (возможен выход из строя до половины дисков без потери данных)
Скорость операции записи	высокая	низкая	средняя	высокая
Скорость операции чтения	высокая	высокая	высокая	высокая

из типов сервисов, предоставляемых пользователям, может являться сервис хранения данных STaaS (Storage as a Service) – хранилище/хранение данных как услуга. Отличительные особенности «облачного» хранилища данных по сравнению с традиционными моделями предоставления аналогичных услуг соответствуют отличительным особенностям «облачных» компьютерных систем: использование универсального интерфейса, ориентированного на веб-технологии и http-протокол в качестве базовых средств управления «облаком» и в тоже время осуществления операций над данными; возможность динамического выделения ресурсов хранения пользователям.

«Облачное» хранилище данных является моделью сетевого онлайн-хранилища, где данные хранятся в виртуализированном пуле хранилища, которые обычно размещены и администрируются третьими лицами (например, поставщиками услуг хранения Microsoft, Dropbox, Google). Поставщики сервисов создают крупные центры обработки данных, а владельцы данных арендуют ресурсы (на хранение) и производят выплаты в соответствии с точно хранимым объемом или заявленным требуемым объемом данных. Поставщики услуг, в фоновом режиме, с использованием технологий виртуализации конфигурируют и выделяют ресурсы в соответствии с требованиями заказчика, и представляют их в качестве пулов хранения, которые клиенты могут сами использовать для хранения файлов или объектов данных. Физически ресурс может простираться на несколько серверов. Облако хранения может обеспечить сравнительно недорогую, масштабируемую, независимую от местоположения платформу для управления данными пользователей. Используя хранение данных в облаке, владельцы могут избежать первоначальных инвестиций на создание дорогой инфраструктуры, а также ежедневных затрат на обслуживание. Кроме того, технологии, используемые при создании «облачных» хранилищ данных, позволяют предоставить пользователям надежные, отказоустойчивые решения и возможность получить доступ к данным независимо от местоположения [12].

### Типы «облачных» хранилищ данных

Основными типами «облачных» хранилищ данных являются: публичное «облачное» хранилище данных (Public Cloud Storage), частное «облачное» хранилище данных (Private Cloud Storage), гибридное «облачное» хранилище данных (Hybrid Cloud Storage) [13, 14]. На рисунке 12 представлены основные типы «облачных» хранилищ данных [13].

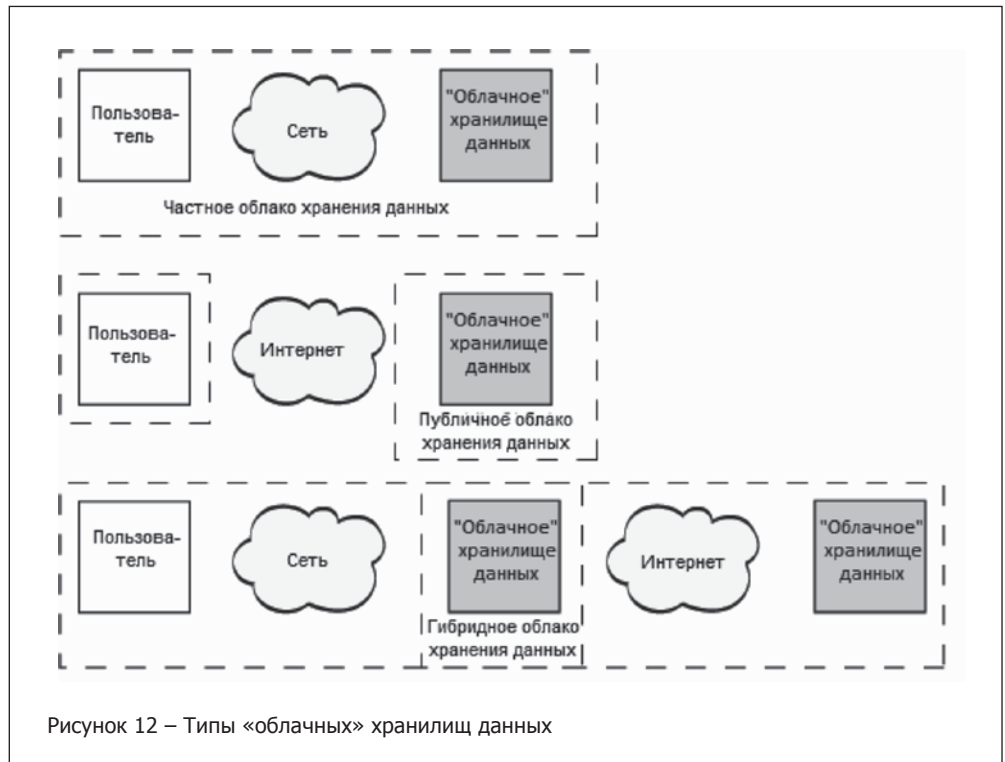


Рисунок 12 – Типы «облачных» хранилищ данных

Публичное «облачное» хранилище основано на стандартной модели «облачных» вычислений, где сервис доступен для всех пользователей через сеть Интернет. Провайдеры «облачных» хранилищ данных полностью управляют данными сервисами, производят необходимую настройку аппаратной и программных частей. Для организаций, использующих публичные «облачные» хранилища данных, отсутствует возможность конфигурировать настройки данного типа хранилищ данных. Известными провайдерами публичных «облачных» хранилищ данных являются Amazon (EC2), Microsoft (OneCloud), Google (SkyDrive).

Частные «облака» хранения данных строятся с использованием инфраструктуры, развернутой исключительно для одной организации. Данное решение позволяет получить масштабируемую, отказоустойчивую среду хранения данных в пределах и под контролем организации. К создаваемому хранилищу данных могут быть применены политики, действующие в данной организации.

Гибридные «облачные» системы хранения данных представляют собой сочетание публичного и частного «облачных» хранилищ, где некоторые важные данные будут размещены в частном «облаке», а остальные данные хранятся у поставщиков «публичного» облака.

Однако построение гибридного «облака» возможно только после создания частной «облачной» компьютерной системы.

### Литература:

1. Листопад, Н.И. Проект концепции информатизации системы образования Республики Беларусь на период до 2020 года / Н.И. Листопад // «Информатизация образования». – 2012. – №4. – С. 16–33.



2. Стратегия развития информационного общества в Республике Беларусь на период до 2015 года: Утверждена Постановлением Совета Министров Республики Беларусь 09.08.2010 № 1174 // Национальный правовой портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.pravo.by/webnpa/text.asp?RN=C21001174>. – Дата доступа : 02.10.2013.

3. Воротницкий, Ю.И. Информационно-образовательная среда университета: опыт создания и сопровождения / Ю.И. Воротницкий, П.А. Мандрик // Международный конгресс по информатике: информационные системы и технологии «Информационные системы и технологии». – Минск : БГУ, 2011. – С. 329–335.

4. Концепция информатизации системы образования Республики Беларусь на период до 2020 года // Официальный интернет-портал Министерства образования Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Минск, 2013. – Режим доступа : <http://edu.gov.by/sm.aspx?guid=437693>. – Дата доступа : 20.09.2013.

5. Siavash, H. Evaluation of Storage Area Network (SAN) Security and Performance: Master in Computer Network Engineering at the Halmstad University / H. Siavach. – Halmstad, 2013. – 59 p.

6. SAN и NAS на пути к сближению [Электронный ресурс] // «Открытые системы». – № 04, 2002. – Режим доступа : <http://www.osp.ru/os/2002/04/181318/> – Дата доступа : 12.02.2014.

7. Cloud Storage [Electronic Resource] // PC Media Magazine – Volume 11, 2005. – Mode of access : [http://uap.unnes.ac.id/ebook/pdfmagazine/PDF%20PC%20MEDIA%202005/Edisi%2011\\_2005/072-102\\_pcm.know%20how\\_11.pdf](http://uap.unnes.ac.id/ebook/pdfmagazine/PDF%20PC%20MEDIA%202005/Edisi%2011_2005/072-102_pcm.know%20how_11.pdf). – Date of access : 01.02.2014.

8. Tipos de Storage [Electronic Resource] / L. Mercante. – Mode of access : <http://gallery.technet.microsoft.com/Tipos-de-Storage-12ae1f7b>. – Date of access : 01.02.2014.

9. Leiter Ch. Beginning SQL Server 2008 Administration / Ch. Leiter, D. Wood, M. Cierkowski – NY : Wrox, 2009. – 1130 p.

10. Chen, P. Raid: RAID: high-performance, reliable secondary storage / P. Chen, E. Lee // ACM Computing Surveys. – 1994. – Volume 26, Issue 2. – P. 145–185.

11. Технология RAID [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://ru.intel.com/business/community/?automodule=blog&blogid=6276&showentry=719>. – Дата доступа : 21.11.2013.

12. Yang, K. Security for cloud storage system / K. Yang – Springer, 2014. – 91 p.

13. Анатолия облачной инфраструктуры хранения данных [Электронный ресурс] / М. Тим Джонс. – Режим доступа : <http://www.ibm.com/developerworks/ru/library/cl-cloudstorage>. – Дата доступа : 21.11.2013.

14. Stogsdill, M. Deploying Public, Private, and Hybrid Storage Clouds [Electronic resource] / M. Stogsdill – Mode of access : [http://www.snia.org/sites/default/education/tutorials/2011/fall/CloudTechnologies/MartyStogsdill\\_Deploying\\_Public\\_Private\\_Hybrid\\_Storage-v1-8.pdf](http://www.snia.org/sites/default/education/tutorials/2011/fall/CloudTechnologies/MartyStogsdill_Deploying_Public_Private_Hybrid_Storage-v1-8.pdf). – Date of access : 26.12.2013.



E-mail: [smt@riftek.com](mailto:smt@riftek.com) Тел.: +375 17 281 36 57

**РИФТЭК  
SMT**

SMT-монтаж любой сложности  
Профессиональное современное оборудование  
Установка компонентов с использованием  
новейших автоматов JUKI  
Пайка компонентов в конвекционной печи  
Современная линия ручного монтажа  
Подбор и поставка компонентов

ЧУП «РИФТЭК-СМТ»  
Республика Беларусь,  
220090, г. Минск,  
Логойский тракт, 22, 103

# ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ КРОССОВОГО КОММУТАТОРА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ

УДК 681.518.54

Н.А. Коротаев, В.И. Попечиц,  
БГУ, г. Минск

### Аннотация

Рассмотрены вопросы обеспечения отказоустойчивости элемента телекоммуникационной сети – кроссового коммутатора (XC), построенного на новой элементной базе – программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС) [1] типа программируемой логической матрицы (ПЛИМ). Приведены функциональные схемы кроссового коммутатора на мультиплексорах и демultipлексорах, реализованных на ПЛИС типа ПЛИМ, и отказоустойчивого демultipлексора со средствами функционального диагностирования и самовосстановления. Дано обоснование эффективности предлагаемых средств для обеспечения отказоустойчивости кроссового коммутатора.

### Введение

Обеспечение отказоустойчивости элементов телекоммуникационной сети, в частности, терминальных мультиплексоров (ТМ), мультиплексоров ввода/вывода (ADM-Add/Drop Multiplexer) и кроссового коммутатора (XC), обусловлено высокими требованиями к их быстродействию, точности, надежности и безотказности [2, 3]. Вопросы обеспечения отказоустойчивости терминальных мультиплексоров и мультиплексоров ввода/вывода рассмотрены авторами в работе [4]. Обеспечение отказоустойчивости кроссового коммутатора, реализованного на мультиплексорах и демultipлексорах в базе ПЛИС типа ПЛИМ, в известных работах авторами не найдено, поэтому в данной работе предлагается решение поставленной задачи.

### Построение отказоустойчивого кроссового коммутатора

Кроссовый коммутатор (кросс-коннектор – Cross Connects-XC) – устройство, предназначенное для соединения каналов, закрепленных за пользователем, путем организации постоянных или полупостоянных (длительных)

перекрестных соединений между ними (рисунок 1) [2]. Кроссовый коммутатор обычно оснащается агрегатными и компонентными портами и обеспечивает коммутацию каналов различной пропускной способности (от 2 до 155 Мбит/с).

На рисунке 1 приведен пример передачи цифровых компонентных сигналов 2М (2048 Мбит/с) в транспортном потоке STM-1 (Synchronous Transport Module – синхронный транспортный модуль) с помощью терминального мультиплексора (Terminal Multiplexer – ТМ) со скоростью передачи 155 Мбит/с; RSOH (Regeneration Section Over Head – заголовок регенерационной секции) и MSOH (Multiplex Section Over Head – заголовок мультиплексорной

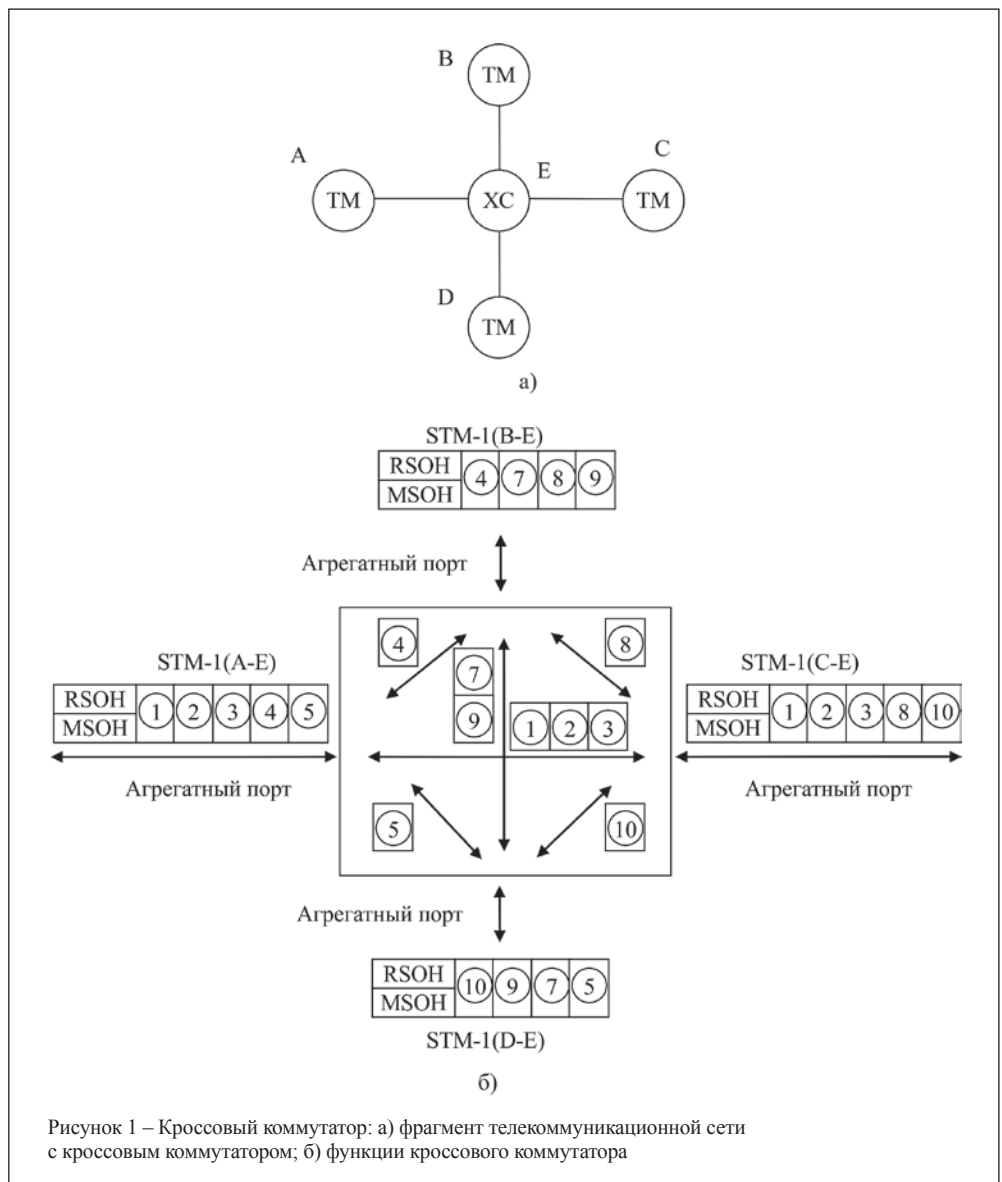


Рисунок 1 – Кроссовый коммутатор: а) фрагмент телекоммуникационной сети с кроссовым коммутатором; б) функции кроссового коммутатора

секции) – заголовок STM-N, обеспечивающий передачу синхронных транспортных модулей в пределах регенерационной и мультиплексорной секций [2].

Обеспечение отказоустойчивости кроссового коммутатора на мультиплексорах и демультиплексорах предлагается осуществлять путем реализации его на ПЛИС типа ПЛИМ со средствами функционального диагностирования и самовосстановления.

Построение отказоустойчивого мультиплексора на ПЛИС типа ПЛИМ рассмотрено в работе [4]. Ниже рассмотрены вопросы обеспечения отказоустойчивости демультиплексора на ПЛИС типа ПЛИМ с информационным входом X, управляющими входами V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub> матрицы конъюнкций M<sub>1</sub> и n = 4 информационными выходами F<sub>1</sub> – F<sub>4</sub> матрицы дизъюнкций M<sub>2</sub> (рисунок 2), реализующего логические функции, полученные на основе таблицы истинности (таблица 1).

Таблица 1 – Таблица истинности демультиплексора

Информационный вход	Управляющие входы		Информационные выходы			
	V <sub>2</sub>	V <sub>1</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>
X						
0	0	0	0	x	x	x
1	0	0	1	x	x	x
0	0	1	x	0	x	x
1	0	1	x	1	x	x
0	1	0	x	x	0	x
1	1	0	x	x	1	x
0	1	1	x	x	x	0
1	1	1	x	x	x	1

$$F_1 = \overline{V_1} \overline{V_2} X; \quad F_2 = V_1 \overline{V_2} X;$$

$$F_3 = \overline{V_1} V_2 X; \quad F_4 = V_1 V_2 X.$$

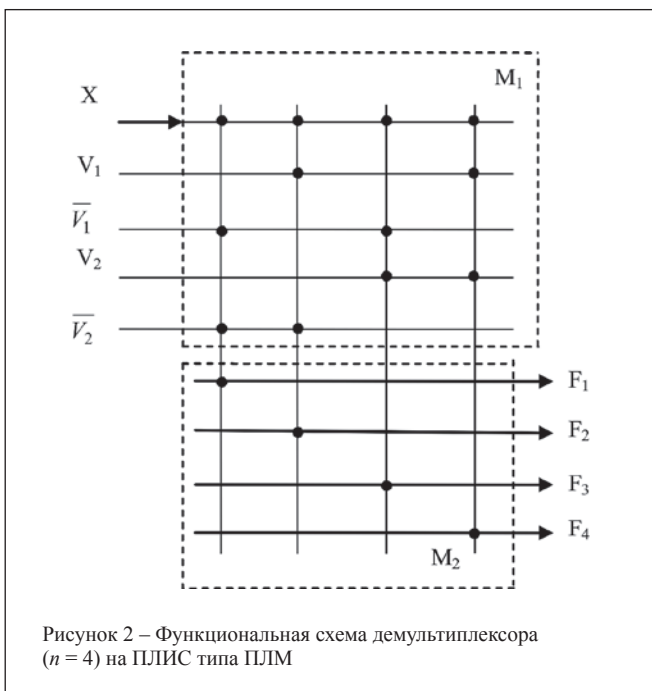


Рисунок 2 – Функциональная схема демультиплексора (n = 4) на ПЛИС типа ПЛИМ

На рисунке 3 приведена функциональная схема рассматриваемого демультиплексора со средствами функционального диагностирования и самовосстановления, которые обеспечивают его отказоустойчивость следующим образом. Средства функционального диагностирования и самовосстановления включают самопроверяемые схемы встроенного контроля (ССВК<sub>1</sub> – ССВК<sub>4</sub>), обладающие свойством обнаруживать неисправности как в объекте диагностирования, так и в самих схемах контроля, блок управления (БУ) и коммутаторы (K<sub>1</sub> – K<sub>3</sub>), реализованные на ПЛИС типа ПЛИМ.

ССВК<sub>1</sub> является самопроверяемой схемой встроенного контроля для кодов с проверкой на четность (нечетность) [5]. При возникновении одиночной неисправности в матрице M<sub>1</sub> может измениться значение не более чем на одной входной линии (шине). Для обнаружения таких неисправностей достаточно одной дополнительной линии (Xq) для контроля по четности (нечетности), элементы на которой располагаются на пересечении с теми промежуточными линиями, число пересечений на которых нечетное (четное). Таким образом, ССВК<sub>1</sub> будет иметь на выходах f<sub>1</sub><sup>1</sup>, f<sub>2</sub><sup>1</sup> значения сигналов 10 (01) при правильном функционировании матрицы M<sub>1</sub> и ССВК<sub>1</sub> и значения 00 (11) – при наличии неисправности в одной из этих схем.

ССВК<sub>2</sub> контролирует исправность матрицы M<sub>2</sub>, содержащей термы двухпроводного кода, кодовые слова которого формируются на основе прямых и инверсных значений входных переменных v<sub>1</sub> и v<sub>2</sub>. При правильном функционировании матрицы M<sub>2</sub> и ССВК<sub>2</sub> на выходах f<sub>1</sub><sup>2</sup>, f<sub>2</sub><sup>2</sup> будут значения сигналов 10 (01), а при наличии неисправности в одной из этих схем – f<sub>1</sub><sup>2</sup> = f<sub>2</sub><sup>2</sup>, т.е. значения 00 (11).

В статье рассматриваются одиночные неисправности каждого из трех видов, характерных для ПЛИС типа ПЛИМ [2].

ССВК<sub>3</sub> представляет собой самопроверяемую схему встроенного контроля для равновесного 1/γ кода (γ = 5 – число выходов матрицы M<sub>2</sub>), которая строится как последовательное соединение двух подсхем, первая из которых преобразует слова 1/γ кода в слова двухпроводного кода, вторая имеет структуру уже рассмотренной ССВК<sub>2</sub> [4].

ССВК<sub>4</sub> контролирует аналогично ССВК<sub>2</sub> исправность матрицы дизъюнкций (M<sub>3</sub>), содержащей термы двухпроводного кода, кодовые слова которого формируются на основе прямых и инверсных значений выходных переменных F<sub>1</sub> – F<sub>4</sub>. Наличие или отсутствие неисправности определяется по значениям сигналов на выходах f<sub>1</sub><sup>4</sup> и f<sub>2</sub><sup>4</sup>.

Следует отметить, что для повышения отказоустойчивости используется ПЛИМ со свойством несовместности, т.е. в которых при правильном функционировании определенное входное слово активизирует только один терм (одну промежуточную линию q<sub>i</sub>). Кроме того, можно использовать в ПЛИМ аппаратную избыточность: определенное количество запасных входных (X<sup>1</sup>), промежуточных (q<sub>4</sub><sup>1</sup>) и входных (F<sub>4</sub><sup>1</sup>) линий, а также запасные матрицы M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub> и (или) M<sub>3</sub>.

При функционировании рассматриваемого демультиплексора каждая ССВК формирует на своих выходах f<sub>1</sub><sup>l</sup>, f<sub>2</sub><sup>l</sup> сигналы, поступающие в БУ, который в случае неисправности (сбоя или отказа) выдает сигналы на соответствующий коммутатор, выполняющий реконфигурацию и самовосстановление работоспособной структуры путем переключения неисправной линии или матрицы на запасную (в зависимости с какой точностью локализуется



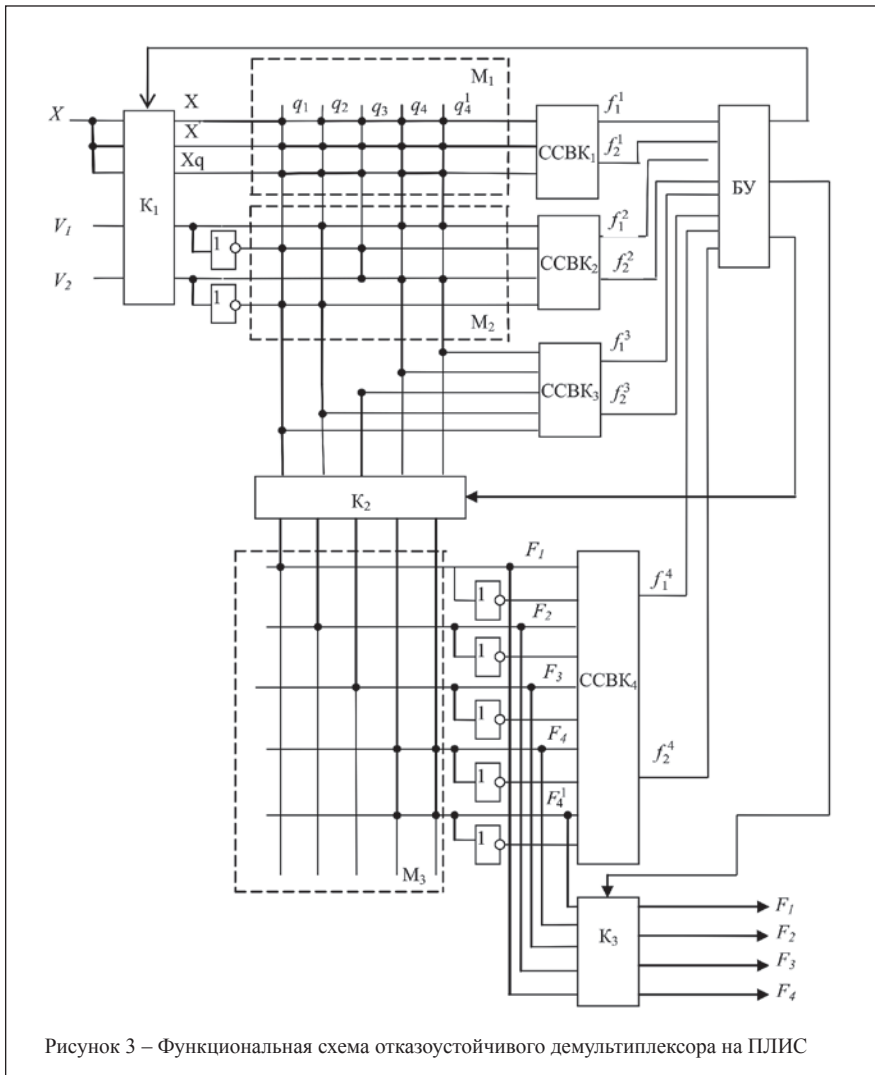


Рисунок 3 – Функциональная схема отказоустойчивого демультиплексора на ПЛИС

неисправность). Блок управления и коммутаторы контролируются либо с помощью ССВК, либо включаются в состав ядра. При этом важно отметить, что на этапе проектирования сложных цифровых устройств, реализованных на ПЛИС, целесообразно выполнять оптимальное разбиение таких устройств на составные части, т.е. сменные функциональные блоки (СФБ), с точностью до которых выполняется поиск неисправностей. Такие СФБ, в данном случае, входные, промежуточные и выходные линии ПЛИС с инверторами, матрицы, коммутаторы, блок управления, эффективно обеспечиваются самоконтролем.

Полученные авторами результаты вычисления вероятности безотказной работы  $P(t)$  отказоустойчивого мультиплексора [4] и анализ графиков зависимости  $P(t)$  для различных значений  $\gamma = l/n$  (отношение числа элементов ССВК к числу элементов  $n$  СФБ) и  $P_B(t)$  (вероятность безотказной работы СФБ) демультиплексора (рисунок 4) показывают, что отказоустойчивость существенно увеличивается при наименьших значениях параметра  $\gamma$  и средних значениях вероятности  $P_B(t)$ .

Таким образом, для обеспечения отказоустойчивости кроссового коммутатора на мультиплексорах и демультиплексорах, один из вариантов которого приведен на рисунке 5, предлагается его построение на ПЛИС типа ПЛИМ со встроенными средствами функционального диагностирования и самовосстановления.

**Заключение**

Для обеспечения отказоустойчивости кроссового коммутатора телекоммуникационной сети на мультиплексорах и демультиплексорах предложена его реализация на ПЛИС типа ПЛИМ со встроенными средствами функционального диагностирования и самовосстановления.

Приведены функциональные схемы кроссового коммутатора на ПЛИС типа ПЛИМ и отказоустойчивого демультиплексора со средствами функционального диагностирования и самовосстановления.

Приведены графики зависимости вероятности безотказной работы отказоустойчивого демультиплексора для различных значений параметров, показывающих эффективность предлагаемых средств обеспечения отказоустойчивости кроссового коммутатора.

**Литература:**

1. Соловьев, В.В. Проектирование цифровых систем на основе программируемых логических интегральных схем / В.В. Соловьев. – М. : Горячая линия – Телеком, 2001. – 636 с.
2. Крук, Б.И. Телекоммуникационные системы и сети: учеб. пособие : в 3 т. / Б.И. Крук, В.Н. Попантопуло, В.П. Шувалов // М. : Горячая линия – Телеком, 2004. – Т. 1: Современные технологии. – 647 с.

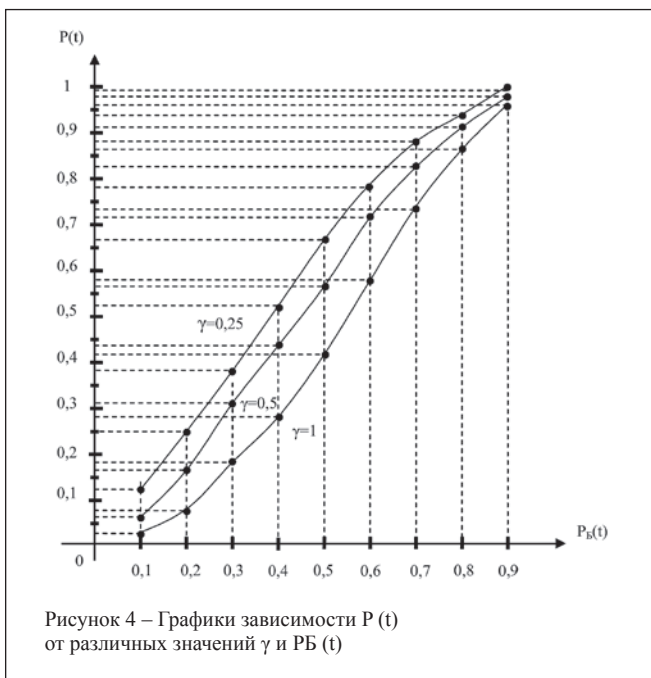


Рисунок 4 – Графики зависимости  $P(t)$  от различных значений  $\gamma$  и  $P_B(t)$

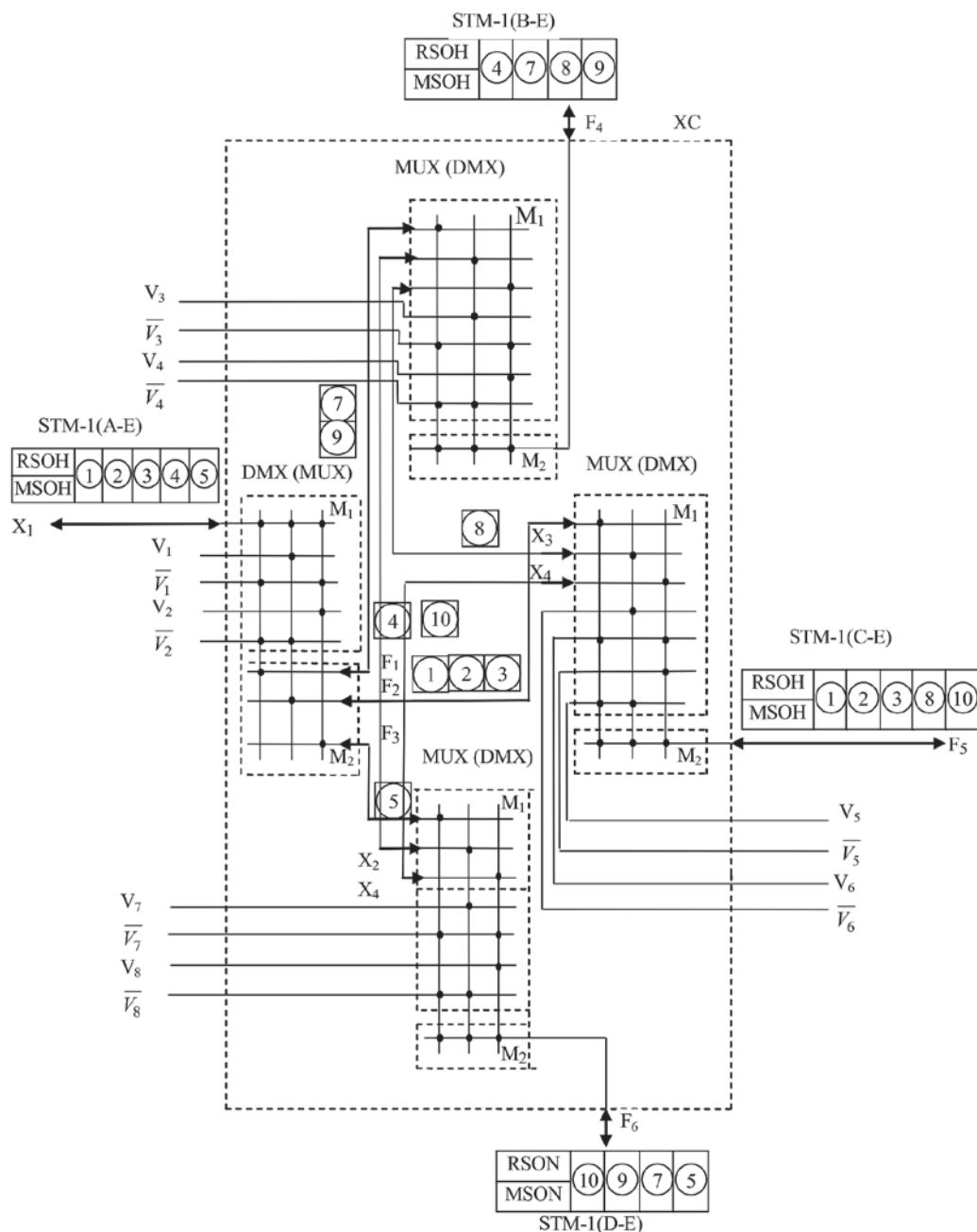


Рисунок 5 – Функциональная схема кроссового коммутатора на ПЛИС типа ПЛИМ

3. Виноградов, В.И. Микро- и нанoeлектронные технологии компактных и масштабируемых компьютерных систем высокого быстродействия / В.И. Виноградов // Электроника инфо. – 2007. – № 9. – С. 44–46.

4. Коротаев, Н.А. Обеспечение отказоустойчивости программируемых логических интегральных схем / Н.А. Коротаев, В.И. Попечиц // Электроника инфо. – 2010. – № 6. – С. 68–71.

5. Согомонян, Е.С. Самопроверяемые устройства и отказоустойчивые системы / Е.С. Согомонян, Е.В. Слабаков. – М.: Радио и связь, 1989. – 208 с.

### Abstract

The problems of providing telecommunication network cell fault tolerance – a cross-switchboard built on a new cell base – programmed logical integrated schemes (PLIS) [1] of a programmed logical matrix type are considered. The functional schemes of a cross-switchboard on multiplexers and demultiplexers on PLIS of PLM type and a fault tolerance demultiplexer with the means of functional diagnostics and self-recovering are given. The grounds to show the efficiency of the offered ways to provide the cross-switchboard fault tolerance is discussed.

Поступила в редакцию 05.09.2014 г.

# СТЕГАНОГРАФИЧЕСКАЯ СИСТЕМА НА ОСНОВЕ ДЕТЕРМИНИРОВАННОГО ХАОСА

УДК 003.26

Е.А. Дрыбин, В.С. Садов, БГУ, г. Минск;  
О.М. Демиденко, УО ГГУ им. Ф. Скорины, г. Гомель

## Аннотация

В работе представлены и исследованы подходы к формированию длинных воспроизводимых с требуемой точностью, хаотических последовательностей. Предложен стеганостойкий алгоритм кодирования конфиденциальной информации, использующий в качестве контейнера хаотическую последовательность, что позволяет скрыть как факт наличия секретного сообщения, так и факт передачи контейнера.

## Введение

На протяжении нескольких десятилетий человечество переживает информационный взрыв, который характеризуется быстрым увеличением объема циркулирующей и хранящейся информации практически во всех сферах деятельности современного общества. В настоящее время информация играет ключевую роль в научно-техническом прогрессе и является ресурсом, не менее значимым и необходимым, чем энергетические, финансовые, трудовые и другие ресурсы. В таких условиях одной из наиболее актуальных задач в области информационных технологий является задача обеспечения конфиденциальной передачи и хранения информации.

В отличие от традиционных криптографических методов защиты информации, скрывающих содержимое сообщения, стеганография скрывает сам факт наличия секретного сообщения, тем самым, позволяя достичь наибольшей стойкости к атакам, направленным на выявление или разрушение скрываемой информации [1]. Получение случайных последовательностей чисел является краеугольным камнем многих прикладных задач современных крипто- и стеганографических систем защиты информации (генерация ключей, одноразовых шифроблокнотов, контейнеров и т.д.). Источниками настоящих случайных чисел могут служить физические шумы, как, например, дробовый шум в резисторе, детектор событий ионизирующей радиации. Однако случайные последовательности, полученные с помощью подобных устройств, невозможно воспроизвести, что делает их непригодными для решения ряда задач. В большинстве приложений информационной безопасности используются генераторы псевдослучайных чисел (ГПСЧ), формирующие выходную последовательность псевдослучайных чисел (ПСП) согласно заданному алгебраическому алгоритму. Хотя ПСП, как может показаться, лишена закономерностей, любой ГПСЧ с конечным числом внутренних состояний повторится после достаточно длинной последовательности чисел. Таким образом, для большинства ГПСЧ возможно вычислить всю ПСП, если их состояние в какой-то момент скомпрометировано, что позволит криптоаналитику получить доступ не только к будущим сообщениям, но и ко всем предыдущим [2].

Целью настоящей работы является разработка стеганостойкого алгоритма шифрования информации, использующего в качестве контейнера хаотическую

последовательность, программная реализация стеганографической системы и разработка ГПСЧ на основе явления детерминированного хаоса, позволяющего получать сколь угодно длинные воспроизводимые выходные последовательности со статистическими свойствами, близкими к свойствам истинно случайных последовательностей.

## Разработка стеганостойкого алгоритма сокрытия информации

Разрабатываемая стеганографическая система в качестве контейнера использует хаотическую последовательность, что позволяет скрыть как факт наличия секретного сообщения, так и факт передачи контейнера. Метод встраивания информации должен обеспечить качественное сокрытие, а также конфиденциальность данных в случае их обнаружения злоумышленником.

Отличительными особенностями хаотических последовательностей являются близость их свойств к истинно случайной последовательности и в то же время способность быть повторно воспроизведенными. Выбор типа генератора хаоса (ГХ) и его конкретной реализации является одной из важнейших задач данной работы.

Одним из самых известных алгоритмов для встраивания информации является метод LSB, однако, он является уязвимым для всех видов атак, суть которых заключается в обнаружении кодированного сообщения по аномальным статистическим характеристикам младших бит цифровых отсчетов [1]. С другой стороны, существует один из простейших алгоритмов криптографического шифрования информации – шифр Вернама (схема одноразового блокнота). Данный шифр является единственным, для которого доказана абсолютная криптографическая стойкость [3]. Идея разрабатываемого в работе метода заключается в объединении принципов этих двух простых методов для достижения высокого качества встраивания и криптографической стойкости стеганосистемы.

Так как замена младшего бита в контейнере на бит сообщения приводит к появлению статистических аномалий, которые могут быть легко выявлены (а сообщение прочитано), то вместо этого используем операцию сложения по модулю два (XOR) бита сообщения и соответствующего младшего бита контейнера. С точки зрения вероятности появления нуля или единицы в младшем бите отсчета хаотического сигнала (обладающего по сути характеристиками случайного сигнала) операция сложения по модулю два с битами сообщения ничего не меняет, поэтому статистические методы стеганографического анализа не могут выявлять наличие секретного сообщения в таком контейнере.

Кроме того, последовательность бит контейнера обладает характеристиками, близкими к истинно случайным, поэтому сложение по модулю два является,



по сути, применением шифра Вернона к сообщению. Так как шифр Вернона обладает абсолютной криптографической стойкостью, то в ситуации обнаружения наличия скрытого сообщения злоумышленником, он не сможет узнать его содержание, не имея ключа (исходной последовательности). Одним из условий успешного применения схемы одноразового блокнота является использование каждый раз различной последовательности, равной по длине сообщению. Для этой задачи хорошо подходят хаотические последовательности. Вместо длинного ключа необходимо знать лишь начальные условия и параметры генератора для получения хаотической последовательности произвольной длины. Так как хаотические процессы крайне чувствительны к начальным условиям, то достаточно лишь немного изменить их, чтобы получить совершенно другую выходную последовательность.

Таким образом, предложенный алгоритм сразу решает как задачу качественного скрытия сообщения, так и обеспечения абсолютной криптографической стойкости в случае его обнаружения. В качестве ключа в предложенном методе встраивания информации может выступать набор начальных условий для хаотического процесса.

Процесс извлечения информации представляет собой обратную встраиванию последовательность действий. Для прочтения сообщения необходимо воспроизвести исходную хаотическую последовательность, для чего требуется иметь идентичный ГХ и ключ (набор начальных условий и параметров генератора), а также иметь стеганофайл целиком. Ключ должен быть передан принимающей стороне заранее по надежному каналу передачи данных.

### Генераторы

#### хаотических последовательностей

Под ГХ будем понимать некоторую динамическую систему, в которой имеют место хаотические колебания, порождающие хаотическую последовательность чисел. ГХ, по сути, является разновидностью ГПСЧ и, в первую очередь, предназначен для решения тех же задач, то есть получения воспроизводимой последовательности чисел, наиболее приближенной по своим характеристикам к истинно случайной. Важным свойством истинно случайной последовательности является полное отсутствие корреляций, то есть сколь угодно большие знания о предыдущих значениях не могут повысить вероятность успешного предсказания следующего значения.

Согласно Шеннону, для защиты от статистического анализа зашифрованных данных, необходимо использовать два базовых метода сокрытия исходных статистических распределений: запутывание и распыление [2].

Запутывание обеспечивает сокрытие статистических свойств исходного сообщения для любого стороннего наблюдателя.

В смысле сообщения, распыление приводит к тому, что статистически близкие последовательности бит исходной информации преобразуются в совершенно различные последовательности стего (при шифровании одним ключом). В смысле ключа, распыление предполагает, что близкие ключи шифруют сообщение в

совершенно разные стего. По сути, каждый бит ключа должен влиять на все стего сложным нелинейным образом. Это свойство особенно важно при дешифровании, так как в противном случае аналитик будет иметь возможность выявить тот факт, что некоторые биты ключа подобраны верно.

Исходя из вышеизложенного, для ГПСЧ можно выделить ряд существенных требований [4]:

- статистическая устойчивость: ПСП на выходе идеального ГПСЧ должна иметь равномерный закон распределения, а корреляция между значениями должна отсутствовать. Говоря проще, все подпоследовательности определенной длины должны иметь одинаковую вероятность появления в ПСП, выдаваемой генератором. Практически это означает, что ПСП должна пройти некоторый набор статистических тестов на равномерное распределение и независимость значений друг от друга;

- воспроизводимость: во многих задачах (в том числе часто в стеганографии и криптографии) необходимо иметь возможность воспроизвести одну и ту же ПСП неоднократно. Практически любой ГПСЧ (в отличие от последовательностей, генерируемых физическими устройствами) обладает данным свойством;

- длинный период: полный цикл генератора должен быть достаточно большим, чтобы невозможно было воссоздать его полностью в течение достаточно длинного периода компьютерного времени. В настоящие дни с увеличением вычислительных мощностей в геометрической прогрессии данная проблема обостряется;

- непредсказуемость: требование означает невозможность надежно предсказать будущие значения на выходе генератора, зная предыдущие, при помощи какого-либо полиномиального алгоритма. Данное требование особо важно в прикладных задачах стеганографии и криптографии;

- эффективность: конкретная реализация ГПСЧ должна быть как можно более эффективна с точки зрения использования вычислительных мощностей (потребления ресурсов процессора и оперативной памяти).

Большинство современных ГПСЧ базируется на двух основных методах: линейно-конгруэнтном и методе сдвиговых регистров [4]. Каждый из базовых методов имеет свои принципиальные недостатки [5, 6, 7], не позволяющие им в полной мере соответствовать вышеизложенным требованиям. Существует также схема Макларена-Марсальи, использующая два ГПСЧ и вспомогательную матрицу, с помощью которой происходит перемешивание двух последовательностей, полученных от двух генераторов [8], однако, на сегодняшний день в ней выявлено четыре тесно связанных друг с другом недостатка при использовании в криптографических задачах [9].

Хаотические последовательности теоретически обладают [3]:

- качественными характеристиками, идентичными характеристикам истинно случайной последовательности (получаемых, например, с использованием физических устройств генерирования случайных чисел);

- в отличие от истинно случайных последовательностей их возможно воспроизвести на протяжении некоторого интервала времени (на некотором протяжении

траектории системы в фазовом пространстве), после чего исходная и повторенная последовательности начинают расходиться.

Совершенно очевидно, что такая последовательность лишена всех недостатков ПСП, однако, возникает ряд вопросов [3]:

– практическая реализация ГХ, управление хаотическими процессами и порождаемой им выходной последовательности;

– длительность интервала времени, на котором возможно воспроизвести хаотический процесс с требуемой точностью, а, значит, и максимальная длина воспроизводимой последовательности, порождаемой ГХ;

– формирование сколь угодно длинной последовательности на выходе ГХ, не изменяя ее качественных характеристик.

Классической задачей стеганографии является оценка качества используемого генератора, считающегося псевдослучайным. Для проверки последовательности порождаемой ГПСЧ на статистическую устойчивость, например, в набор NIST (Национальный Институт Стандартов и Технологий США) входит 16 различных тестов [10].

Для проверки выходной последовательности ГПСЧ на непредсказуемость можно использовать статистический критерий, предназначенный для нахождения автокорреляции временных рядов, так называемый тест Льюнга-Бокса. Этот тест проверяет на отличие от нуля сразу несколько коэффициентов автокорреляции [11].

В дальнейшем, именно эти четыре теста будут использоваться для оценки качества порождаемой ГПСЧ последовательности. Кроме того, если классические ГПСЧ в большинстве случаев позволяют воспроизвести всю длину выходной ПСП, то ГХ нуждаются в дополнительном анализе этого критерия. Актуальной длиной ПСП для ГХ можно считать именно то количество битов, которое при необходимости возможно воспроизвести. Таким образом, эти два требования оказываются взаимосвязаны друг с другом и должны рассматриваться вместе.

Одним из важнейших свойств хаотических процессов является возможность их воспроизведения. Насколько бы точно не были заданы начальные условия со временем, исходная и повторенная последовательности начнут расходиться. Также стоит понимать, что при программной реализации нелинейной системы с хаотическими режимами свои коррективы в возможность воспроизведения внесет точность вычислений (например, ограничение представления числа с плавающей запятой), а при аппаратной реализации – шумы физических элементов. Эти «погрешности» реализации системы невозможно просчитать теоретически, поэтому длина выходной последовательности ГХ, которая может быть воспроизведена, должна определяться экспериментально для каждой конкретной модели. Тем не менее, выявить некоторые теоретические зависимости, общие для всех систем, можно [12]. Данные закономерности носят скорее не абсолютный, а оценочный или относительный характер, но с их помощью можно теоретически сравнить ГХ без учета «погрешностей» практической реализации и оценить наиболее «перспективный».

Одной из наиболее значимых и информативных характеристик хаотических процессов является энтропия Колмогорова, обратно пропорциональная времени предсказуемости системы [13]:

$$K \approx \frac{1}{T}.$$

При цифровой обработке хаотических колебаний происходит дискретизация параметра времени и поэтому можно говорить об эквивалентности интервала времени длине выходной последовательности ГХ в отсчетах. Таким образом, одна из теоретических зависимостей может быть описана отношением:

$$L \approx \frac{1}{K}.$$

Другими словами, длина воспроизводимости обратно пропорциональна энтропии Колмогорова системы. Это является закономерным следствием того факта, что  $k$ -энтропия является мерой непредсказуемости или нашего незнания о системе [13].

С одной стороны, для выполнения требования воспроизводимости энтропия Колмогорова системы должна быть как можно меньше, с другой стороны, для выполнения требования непредсказуемости энтропия Колмогорова должна быть как можно больше. С точки зрения использования ГХ в качестве ГПСЧ, в прикладных задачах информационных технологий единственным вариантом является компромисс между требованиями воспроизводимости и непредсказуемости. При этом для достижения наилучших результатов целесообразно для различных задач применять различные модели ГХ с требуемым «балансом».

$K$ -энтропия определяется свойствами и внутренним устройством самой нелинейной системы и поэтому не зависит от численных параметров, используемых в описывающих модель дифференциальных уравнениях, и которые, в свою очередь, определяют режим возникающих в системе колебаний [12, 13].

Точность задания начальных условий в любой практической модели конечна и, безусловно, напрямую образом влияет на возможность предсказать состояние системы через некоторое время. Экспериментально была выявлена зависимость степени воспроизведения хаотического движения от порядка величины флуктуации начальных условий от их абсолютного значения [12]:

$$L = k(\alpha) \cdot \varepsilon,$$

где  $L$  – количество воспроизводимых отсчетов выходной последовательности,  $k$  – коэффициент воспроизводимости, зависящий от набора параметров  $\alpha$ , описывающих хаотическую систему,  $\varepsilon$  – порядок флуктуации начальных условий относительно своей абсолютной величины. Коэффициент воспроизводимости зависит как от внутреннего устройства и непредсказуемости самой нелинейной системы (что описывает  $k$ -энтропия), так и от реализации его конкретной модели. Коэффициент воспроизводимости позволяет принять однозначное решение: совпадает ли данный повторенный отсчет с исходным и может ли считаться успешно воспроиз-

веденной вся последовательность. На коэффициент воспроизводимости не оказывают влияния параметры дифференциальных уравнений и конкретные начальные условия.

Наиболее значимым фактором, влияющим на возможности воспроизведения выходной последовательности ГХ, является его конкретная реализация и используемые в ней методы получения хаотических последовательностей. Для программной реализации наибольшее значение имеет метод решения дифференциальных уравнений, описывающих хаотическую систему. Рассмотреть все методы не представляется возможным, однако, понятно, что чем выше точность решения, предоставляемая тем или иным методом, тем более длинную выходную последовательность можно повторить и тем больше вычислительных ресурсов потребуется для моделирования такой системы. Для решения практических задач наиболее целесообразно найти некоторый баланс между точностью решения, а соответственно воспроизводимостью, и вычислительной эффективностью.

Так как воспроизвести больше, чем определенное количество отсчетов невозможно, то единственным способом продлить последовательность будет перезапуск генератора. Для того, чтобы качественные свойства последовательности не нарушились, необходимым условием, очевидно, является «нераздельность» всей «длинной последовательности» на отдельные подпоследовательности, из которых она была получена. То есть граница «сшивки» подпоследовательностей должна отсутствовать. Для выполнения этого требования очередной перезапуск ГХ необходимо осуществлять с  $nL+1$ -го отсчета, где  $L$  – длина воспроизводимой подпоследовательности [12]. Таким образом, при перезапуске генератора мы продолжаем двигаться по аттрактору, не нарушая статистических характеристик выходной последовательности и скрывая места «сшивки». С помощью такого приема можно получить сколь угодно длинную хаотическую последовательность на выходе генератора без существенного увеличения сложности технической реализации и затрат на требуемые вычис-

лительные мощности. Обратной стороной данного метода является необходимость сохранять или передавать все наборы начальных условий для перезапуска ГХ.

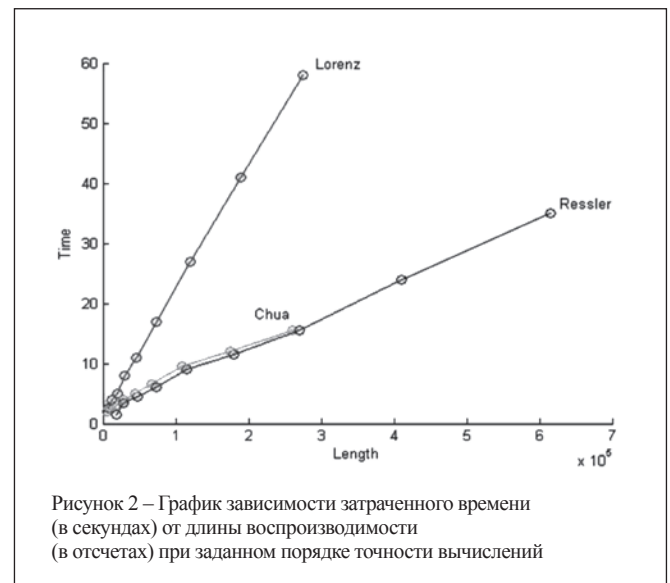
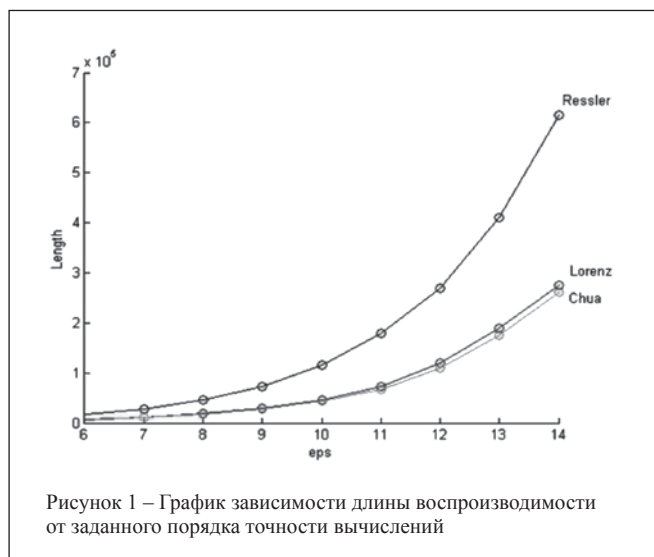
При выборе ГХ и его конкретной реализации целесообразно стремиться к компромиссу между характеристиками и подбирать их в соответствии с требованиями прикладной задачи и техническими возможностями. Для более детального изучения и анализа этого вопроса в работе были рассмотрены известные динамические системы с хаотическими режимами [13]: Лоренца, Ресслера, Чуа.

Для математического моделирования и анализа хаотических процессов использован пакет программ MATLAB, в котором действительное число представляется восемью байтами. Таким образом, максимальная точность вычислений составляет порядка  $10^{-16}$ . Для решения системы дифференциальных уравнений, описывающих хаотический процесс, выбран численный метод Дорманда-Принса (разновидность метода Рунге-Кутты четвертого порядка точности), который сочетает достаточно высокую точность и быстродействие. Особенности этого метода и необходимость хранения промежуточных данных позволяют достичь максимальной точности вычислений порядка  $10^{-14}$ .

Результаты экспериментального исследования представлены в виде графиков зависимостей длины воспроизводимости от заданного порядка точности вычислений и затраченного времени на вычисления с заданной точностью от воспроизводимой длины при этой точности (рисунок 1 и рисунок 2 соответственно).

Исходя из графика зависимости длины воспроизводимости от заданного порядка точности вычислений, можно сказать, что система Ресслера обладает наибольшей воспроизводимостью. В то время, как системы Лоренца и Чуа практически идентичны по этому показателю и более чем в два раза уступают системе Ресслера.

Время, потраченное на вычисления, нельзя считать абсолютной мерой быстродействия ГХ, однако, так как все эксперименты проводились в одинаковых условиях, его с успехом можно использовать как относительную





величину для сравнения генераторов между собой. Анализируя график зависимости затраченного времени от длины воспроизводимости можно сравнить исследуемые ГХ по относительному показателю эффективности с точки зрения затрат вычислительного времени:

$$Q \approx \frac{\text{количество отсчетов}}{\text{затраченное время}}$$

Практически одинаково эффективными ГХ являются система Ресслера и схема Чуа, существенно уступает им в этом показателе модель Лоренца.

Для проверки статистических свойств выходной последовательности на соответствие выдвигаемых к ней требований необходимо использовать какой-либо алгоритм хеширования, так как все числа представлены с использованием МПЗ-аппроксимации. Каждый отсчет генератора представляет собой 64 бита (8 байт), которые представляют собой десятичное число в определенном формате и потому распределены не случайно. Используем следующий простой и эффективный способ хеширования: каждый отсчет преобразовывается в 8-битный путем сложения между собой всех байт 64-битного числа по модулю 255 (соответствующему максимальному значению 8-битного числа).

Для проверки выходной последовательности на соответствие требованию статистической устойчивости для каждого ГХ были проведены монобитный тест и тест пробегов; непредсказуемость генераторов проверялась с помощью теста Льюнга – Бокса. Для каждого из исследуемых ГХ более 95 % порождаемых последовательностей успешно проходили все тесты.

С точки зрения «качества» выходной последовательности и близости ее статистических характеристик к характеристикам истинно случайной, наилучшим вариан-

том является ГХ на основе системы Лоренца. Наилучшей воспроизводимостью и вычислительной эффективностью обладает генератор Ресслера, существенно превосходящий по этим показателям системы Лоренца и Чуа.

### Структура и анализ стеганографической системы

Для практического построения стеганографической системы использованы два альтернативных ГХ, основанных на системах Лоренца и Ресслера соответственно. Первый генератор позволяет более качественно скрыть встраиваемое сообщение, в то время как второй обладает большей вычислительной эффективностью.

В качестве ключа выберем набор начальных условий (192 бита) генератора. Если ключ будет отличаться хотя бы на 1 бит, на выходе ГХ будет совершенно другая последовательность. Таким образом, общее количество всех возможных последовательностей в построенной стеганосистеме будет порядка  $2^{192} \sim 10^{57}$ .

Для генератора Лоренца длину одного цикла перезапуска из соображений надежности выберем равной  $L_L = 120\,000$  отсчетов (соответствует точности вычислений  $\sim 10^{-12}$  при реальной точности  $\sim 10^{-14}$ ). Для генератора на основе системы Ресслера аналогичная длина составит  $L_R = 360\,000$ . Встраивание сообщения производится в соответствии с разработанным выше алгоритмом – сложением по модулю два младшего бит контейнера с соответствующим битом сообщения. Для каждого ГХ схема встраивания приведена на рисунке 3.

Для проверки стего на отсутствие статистических аномалий были проведены монобитный тест, тест пробегов и тест Льюнга-Бокса. По результатам экспериментального исследования статистические свойства стего идентичны свойствам пустого контейнера (хаотической последовательности).

Таким образом, можно говорить о том, что разработанная стеганографическая система обладает высокой стеганографической стойкостью и абсолютной криптостойкостью.

В ходе работы была программно реализована выше описанная стеганографическая система в виде самостоятельного приложения для операционной системы Microsoft Windows. Данный программный продукт позволяет пользователям при помощи простого графического интерфейса (рисунок 4) скрывать и извлекать любые типы данных с использованием хаотических последовательностей.

### Заключение

Методы стеганографического сокрытия данных,



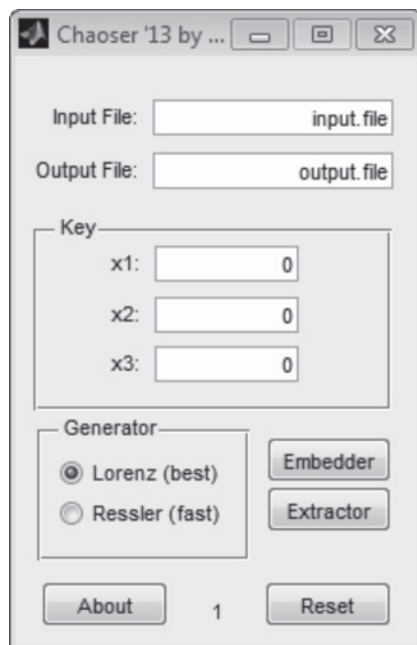


Рисунок 4 – Внешний вид интерфейса приложения Chaoser '13

использующих в качестве контейнера хаотическую последовательность, обеспечивают высокую стеганостойкость и абсолютную криптостойкость. Извлечение данных представляет собой обратный сокрытие процесс и требует наличия исходной (немодифицированной) хаотической последовательности. Чувствительность хаотических процессов к сколь угодно малым изменениям начальных условий и затратность воспроизведения хаотических последовательностей с точки зрения вычислительных мощностей исключают возможность подбора ключа методом «грубой силы».

В настоящей работе показано, что ГХ могут успешно использоваться в задачах, требующих «качественных» случайных последовательностей чисел, а также предложен метод получения длинных хаотических последовательностей путем перезапуска ГХ с  $nL=1$ -го отсчета, где  $n$  – номер перезапуска,  $L$  – длина воспроизводимой подпоследовательности. Таким образом, возможно получить сколь угодно длинную воспроизводимую хаотическую последовательность, не изменяя ее статистических свойств. По результатам экспериментальных исследований в ходе работы установлено, что максимальная длина воспроизведения хаотического процесса обратно пропорциональна энтропии Колмогорова и прямо пропорциональна точности вычислений и определения начальных условий. Для исследованных в работе хаотических систем Лоренца, Ресслера и Чуа при точности вычислений порядка  $10^{-16}$  (64-битное представление числа) длины воспроизводимости соответственно равны  $L_{Lmax} = 2,7 \cdot 10^5$ ,  $L_{Rmax} = 6,2 \cdot 10^5$  и  $L_{Cmax} = 2,6 \cdot 10^5$  отсчетов (по 64 бита).

#### Литература:

1. Грибунин, В.Г. Цифровая стеганография / В.Г. Грибунин, И.Н. Оков, И.В. Туринцев. – М. : СОЛОН-Пресс, 2002. – 272 с.

2. Shannon, C.E. A mathematical theory of communication / C.E. Shannon // Bell System Technical Journal. – 1948. – № 4. – P. 379–423, 623–526.

3. Дрыбин, Е.А. Получение длинных хаотических последовательностей / Е.А. Дрыбин, В.С. Садов // Материалы международной научной конференции ITS 2013. – 2013. – С. 254–255.

4. Бараш, Л.Ю. Генерация случайных чисел и параллельных потоков случайных чисел для расчетов Монте-Карло / Л.Ю. Бараш, Л.Н. Щур // Модел. и анализ информ. систем. – 2012. – № 2. – С. 145–162.

5. Шнайер, Б. Прикладная криптография / Б. Шнайер. – Триумф, 2002. – 275 с.

6. Ferrenberg, A.M. Monte Carlo simulations: hidden errors from «good» random number generators / A.M. Ferrenberg, D.P. Landau, Y. Wong // J. Phys. Rev. Lett. – 1992. – № 69 (23). – 3382–3384.

7. MacLaren, M.D. Uniform Random Number Generators / M.D. MacLaren, G. Marsaglia // Journal of the ACM. – 1965. – P. 83–89.

8. Кнут, Д.Э. Искусство программирования / Д.Э. Кнут. – 3-е изд. – М. : Вильямс, 2000. – Т. 2: Получисленные алгоритмы. – 832 с.

9. Retter, C.T. Cryptanalysis of a MacLaren – Marsaglia system / C.T. Retter // Cryptologia. – 1984. – № 8. – P. 97–108.

10. Rukhin A. A statistical test suite for random and pseudorandom number generators for cryptographic applications / A. Rukhin, J. Soto, J. Nechvatal and the oth. // NIST Special Publication. – 2001. – 800-22. – P. 153.

11. Эконометрика. Учебник / отв. ред. : И.И. Елисеева. – 2-е изд. – М. : Финансы и статистика, 2006. – 576 с.

12. Садов, В.С. Исследование хаотических процессов на примере математической модели системы Лоренца в пакете программ MATLAB R2011b / В.С. Садов, Е.А. Дрыбин // Материалы международной научной конференции ITS 2012. – 2012. – С. 270–271.

13. Шустер Г. Детерминированный хаос: введение / Г. Шустер. – М. : Мир, 1988. – 240 с.

#### Abstract

In the work presented and investigated approaches to the formation of long reproducible, with the required accuracy, chaotic sequences. Steganostable encoding algorithm confidential information, using as a container chaotic sequence that allows you to hide the fact of how a secret message, and the fact of the transfer container proposed.

Поступила в редакцию 07.08.2014 г.

## Программаторы

для любых микросхем

SEEPROM SEEPROM SEEPROM SEEPROM SEEPROM SEEPROM SEEPROM SEEPROM  
 EEPROM EEPROM EEPROM EEPROM EEPROM EEPROM EEPROM EEPROM EEPROM  
 EPROM EPROM EPROM EPROM EPROM EPROM EPROM EPROM EPROM EPROM  
 FLASH FLASH FLASH FLASH FLASH FLASH FLASH FLASH FLASH FLASH FLASH FLASH FLASH FLASH  
 PIC PIC PIC PIC PIC PIC PIC PIC PIC PIC PIC PIC PIC PIC PIC PIC PIC  
 MCU MCU MCU MCU MCU MCU MCU MCU MCU MCU MCU MCU MCU MCU MCU MCU MCU  
 PAL PAL PAL PAL PAL PAL PAL PAL PAL PAL PAL PAL PAL PAL PAL PAL PAL PAL

+375 (17) 266-32-09 [www.chipstar.ru](http://www.chipstar.ru)

# МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ ИЗМЕНЕНИЙ ДИСКОНТИРОВАННОЙ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ПРИБЫЛИ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ТРЕНАЖЕРЕ «ПРОМЫШЛЕННИК»

УДК 004.9, 004.94

И.Н. Сюзьжин, Т.Г. Протьюко, Е.В. Шабинская,  
НИИПФП им. А.Н. Севченко БГУ, г. Минск;  
Ю.А. Чернявский,

Академия управления при Президенте Республики Беларусь, г. Минск

## Аннотация

При организации учебного процесса с использованием тренажера «Промышленник» существенную роль играют процедуры оценивания эффективности экономической деятельности предприятий – участников деловой игры в условиях сложных изменений макроэкономических ситуаций. Предлагается комплексная методика оценки эффективности экономической деятельности предприятий на основе имитационного моделирования колебаний рыночных цен и покупательного спроса населения, прогнозирования интегральной дисконтированной прибыли при использовании различных моделей управления экономикой.

## Основная часть

Согласно методике, изложенной в работе [1], имитация случайных изменений макроэкономической ситуации осуществляется изменением специально введенной для этой цели стохастической составляющей банковского кредита. Случайными изменениями макроэкономической ситуации считается временное относительное снижение спроса на производимую предприятиями продукцию, обусловленное повышением ее рыночной цены по сравнению с конкурирующими товарами. Повышение стоимости производства и соответственно цен на производимую продукцию мотивируется дополнительными материально-техническими затратами предприятия для обеспечения более высокого по сравнению с конкурентами качества выпускаемой продукции. Предполагается, что потребителю требуется определенное время для установления факта превосходства качественных характеристик товара одинакового назначения, производимого различными конкурирующими предприятиями. Падение спроса отслеживается временным уменьшением объема продажи вновь выпускаемой продукции по сравнению с объемом ее производства, и наоборот, повышение спроса – моделируется постепенным восстановлением объема продажи продукции до уровня производства и выше, за счет реализации товара, накопленного на складе.

В статье рассматривается, в какой мере на интегральную дисконтированную прибыль предприятий – участников деловой игры влияет процедура имитации случайных изменений макроэкономической ситуации, реализуемая путем изменения стохастической составляющей банковского кредита. Анализ осуществляется для двух предприятий при одинаковых исходных данных в начале деловой игры и использовании различных стратегий ее проведения.

В начале деловой игры [2–4] оба предприятия получают банковские кредиты в размере 36 000, которые в ходе игры используются каждым предприятием для

своих целей: предприятием 1 – для совершенствования технологии и обеспечения конкурентного преимущества за счет повышения качества выпускаемой продукции, предприятием 2 – на текущие организационно-производственные затраты. В отличие от предприятия 2, которое в течение всех 12 периодов экономического моделирования (каждый период – 1 месяц) удерживает неизменной цену на продукцию, затраты на капитальные вложения, маркетинг и НИР, предприятие 1 на 3-ем и 5-ом периодах увеличивает цену своей продукции в связи с дополнительными производственными затратами. Как следствие, в периодах (3–7) уменьшается объем продаж; по сравнению с объемом производства, а не реализованная продукция размещается на складе. Когда потребителю становятся очевидными конкурентные преимущества продукции предприятия 1, объем продаж вначале выравнивается (период 8), а затем (периоды 9–12) за счет реализации товара со склада и превосходит объем его производства.

Для  $i$ -го периода моделирования процессом управления экономикой предприятий банковская процентная ставка (БПС) [5] определяется следующими формулами:

$$\text{БПС}_i = < \text{БПС}_{i-1} + (-\text{СЛЧИС}() + \text{ПНРПС}_{i-1}) \text{К}, \quad (1)$$

$$\text{ПНРПС}_i = \text{ПНРПС}_{i-1} + \Delta \text{БПС},$$

$$\Delta \text{БПС} = \begin{cases} 0,1, & \text{если } \sum \text{Пр}_{i-1} < \sum \text{Пр}_i \\ -0,1, & \text{если } \sum \text{Пр}_{i-1} \geq \sum \text{Пр}_i \end{cases},$$

где СЛЧИС() – функция, возвращающая число и являющаяся случайной составляющей БПС; ПНРПС – преимущественное направление роста БПС;  $\Delta \text{БПС}$  – изменение БПС за период работы;  $\sum \text{Пр}_i$  – суммарная прибыль двух предприятий в  $i$ -ом периоде;  $\text{К}$  – коэффициент, определяющий диапазон измерения БПС.

В исходном (нулевом) состоянии и первом периоде принимается

$$\text{БПС}_0 = \text{БПС}_1 = 0,12.$$

С учетом изменений текущей экономической ситуации, а также в зависимости от результатов работы и принимаемых управленческих решений на предшествующем периоде прибыль предприятий 1 и 2 в  $i$ -ом периоде оценивается следующим образом [1]:

$$\text{Пр}_i = (\text{Сб}_i - \text{СП}_i - \text{ПИЗ}_i - \text{ВПИЗ}) \text{ДФ}_i - (\text{КВ}_{i-1} + \text{М}_{i-1} + \text{НИР}_{i-1}) \text{ДФ}_{i-1}, \quad (2)$$

где  $\text{Сб}_i$  и  $\text{СП}_i$  – сбыт и стоимость производства, соответственно;  $\text{ПИЗ}_i$  и  $\text{ВПИЗ}_i$  – затраты на поэтапное погашение



и выплаты по процентам инвестиционного займа; КВ, М и НИР – затраты на капитальные вложения, маркетинг и НИР, соответственно.

Формула (2) учитывает, что получаемая в  $i$ -ом периоде прибыль  $Pr_i$  зависит от затрат на капитальные вложения, маркетинг и НИР в предыдущем  $(i - 1)$ -ом периоде.

Значение дисконт фактора  $ДФ_i$  для  $i$ -го периода моделирования связано с дисконт фактором  $ДФ_{i-1}$  предшествующего периода следующим образом:

$$ДФ_i = ДФ_{i-1} \left( \frac{1}{1 + \frac{r_i}{12}} \right), \quad (3)$$

$$r_i = БПС_i + \frac{КР_{i-1}}{100},$$

где  $r_i$  – ставка дисконтирования [6];  $КР_{i-1}$  – кредитный рейтинг предприятия [7]  $(i - 1)$ -го периода.

Для обоих предприятий принимаются следующие исходные значения:

$$ДФ_0 = 1; r_0 = 0,14; КР_0 = 2.$$

Кредитный рейтинг  $КР_1$  предприятия 1 принимает значение 2 (4), если его интегральная экономическая эффективность  $ИЭЭ_1 \geq ИЭЭ_2$  ( $ИЭЭ_1 < ИЭЭ_2$ ), где  $ИЭЭ_2$  – интегральная экономическая эффективность предприятия 2.

Для анализа принимаемых управленческих решений в условиях нестабильной макроэкономической ситуации  $ИЭЭ_1$  и  $ИЭЭ_2$  рассчитываются при трех значениях коэффициента «К» (0,02; 0,03 и 0,04), устанавливающих различные диапазоны изменения БПС. При этом диапазон изменения случайной составляющей БПС – функции СЛЧИС() сохраняется – 0,1.

Результаты моделирования экономической деятельности предприятий 1 и 2 с использованием процедуры выбора БПС [1÷3] иллюстрируются таблицей 1. Для обоих предприятий  $ИЭЭ$  вычислялась с применением одинаковой реализации значений БПС, которая соответствовала последовательности 12 (по числу периодов деловой игры)

случайных значений функции СЛЧИС(); коэффициент «К» принимался равным 0,03.

Гистограммы распределений частоты появления значений  $ИЭЭ_1$  и  $ИЭЭ_2$  с использованием трех значений коэффициента «К» (0,02; 0,03; 0,04) приведены на рисунке 1 и 2 соответственно. Статистический набор данных при вычислении гистограмм распределения указанных вероятностных характеристик экономической модели соответствует 50 реализациям значений БПС, 12 значений каждой из них рассчитывалась с использованием функции СЛЧИС(). Выборочные значения относительных частот регистрации  $ИЭЭ_1$  и  $ИЭЭ_2$  в двух наиболее характерных для всех рассматриваемых гистограмм интервалах, первый из которых включает максимальные значения  $ИЭЭ$ , а второй соответствует пикам гистограмм, приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Относительные частоты регистрации данных в двух выборочных интервалах каждой из трех гистограмм распределения значений  $ИЭЭ$  предприятия 1 и  $ИЭЭ$  предприятия 2

К	Предприятие 1		Предприятие 2	
	Интервал 1	Интервал 2	Интервал 1	Интервал 2
0,02	1/50	20/50	1/50	19/50
0,03	1/50	14/50	1/50	14/50
0,04	4/50	11/50	4/50	12/50

**Заключение**

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы.

1. Анализ экономики предприятий в сложной макроэкономической ситуации, для моделирования которой используется процедура случайных изменений БПС, позволил установить, что расширение диапазона регулирования БПС (коэффициента «К») изменяет гистограмму



Рисунок 1 – Гистограммы распределений частоты появления значений  $ИЭЭ$  предприятия 1 при  $К = 0,02; 0,03; 0,04$



Рисунок 2 – Гистограммы распределений частоты появления значений  $ИЭЭ$  предприятия 2 при  $К = 0,02; 0,03; 0,04$

Таблица 1 – Результаты моделирования экономической деятельности предприятий 1 и 2

№	Параметры	Периоды													
		Исходные данные	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	Цена, долл. США	30	30	30	32	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
	Цена, долл. США *	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
2	Объем производства, долл. США	1890	1890	1890	1890	1890	1890	1890	1890	1890	1890	1890	1890	1890	1890
3	Объем продаж, долл. США	1890	1890	1890	1800	1700	1840	1890	1890	1890	1930	2080	2080	2080	2080
	Объем продаж, долл. США *	1890	1890	1890	1890	1890	1890	1890	1890	1890	1890	1890	1890	1890	1890
4	Маркетинг, долл. США	4900	5000	5500	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000
	Маркетинг, долл. США *	4900	4900	4900	4900	4900	4900	4900	4900	4900	4900	4900	4900	4900	4900
5	Капит.вложения, долл. США КВ	4900	4900	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000
	Капит.вложения, долл. США КВ*	4900	4900	4900	4900	4900	4900	4900	4900	4900	4900	4900	4900	4900	4900
6	НИР, долл. США	1770	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
	НИР, долл. США*	1770	1770	1770	1770	1770	1770	1770	1770	1770	1770	1770	1770	1770	1770
7	Сбыт, долл. США	-	56 700	57 600	57 600	57 800	62 560	64 260	65 620	70 720	70 720	70 720	70 720	70 720	70 720
	Сбыт, долл. США *	-	56 700	56 700	56 700	56 700	56 700	56 700	56 700	56 700	56 700	56 700	56 700	56 700	56 700
8	Предельная мощность, долл. США	-	98 000	98 000	98 000	99 100	102 081	102 977	103 828	104 637	105 405	106 135	106 135	106 135	106 135
	Предельная мощность, долл. США *	-	98 000	98 000	98 000	98 000	98 000	98 000	98 000	98 000	98 000	98 000	98 000	98 000	98 000
9	Предельный объем производства, шт	-	2520	2450	2450	2478	2528	2574	2596	2616	2635	2653	2653	2653	2653
	Предельный объем производства, шт*	-	2450	2450	2450	2450	2450	2450	2450	2450	2450	2450	2450	2450	2450
10	Себестоимость, долл. США	-	18,3	18,3	18,13	18,14	18,15	18,175	18,182	18,188	18,195	18,195	18,195	18,195	18,195
	Себестоимость, долл. США *	-	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3

Продолжение таблицы 1

11	Амортизация, долл. США	-	4900	4900	4900	4955	5007	5057	5104	5149	5191	5232	5270	5307
	Амортизация, долл. США*	-	4900	4900	4900	4900	4900	4900	4900	4900	4900	4900	4900	4900
12	Стоимость производства, долл. США	-	34 587	34 587	32 634	30 839	30 855	32 686	33 427	34 350	35 091	37 832	37 845	37 845
	Стоимость производства, долл. США*	-	34 587	34 587	34 587	34 587	34 587	34 587	34 587	34 587	34 587	34 587	34 587	34 587
13	Инвестиц. займы, долл. США	-	36 000	33 000	30 000	27 000	24 000	21 000	18 000	15 000	12 000	9000	6000	3000
14	Погашение займа, долл. США	-	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000	3000
15	Выплаты по % инвестив. займа, 12 % годовых	-	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360
16	Прибыль, долл. США	-	6966,7	6886,4	9256,1	9512,9	8926,7	10 311,5	10 763,6	11 367,6	11 808,6	13 771,0	13 589,4	13 402,4
	Прибыль, долл. США*	-	6966,7	6886,4	6791,4	6703,0	6627,6	6554,5	6465,2	6390,6	6312,2	6216,7	6128,2	6029,8
17	Налог, 25%	-	1741,68	1721,60	2314,02	2378,23	2231,67	2577,88	2690,90	2841,89	2952,14	3442,75	3397,36	3350,61
	Налог, 25%*	-	1741,68	1721,60	1697,85	1675,76	1656,89	1638,62	1616,30	1597,64	1578,05	1554,17	1532,06	1507,46
18	Чистая прибыль, долл. США	-	5225	5165	6942	7135	6695	7734	8073	8526	8856	10 328	10 192	10 052
	Чистая прибыль, долл. США*	-	5225	5165	5094	5027	4971	4916	4849	4793	4734	4663	4596	4522
19	Интегральная экономическая эффективность, долл. США	-	5225	10 390	17 332	24 467	31 162	38 895	46 968	55 494	64 350	74 678	84 870	94 922
	Интегральная экономическая эффективность, долл. США*	-	5225	10 390	15 483	20 511	25 481	30 397	35 246	40 039	44 773	49 436	54 032	58 554
20	Случайная величина СЛЧИС()	-	0,98	0,26	0,81	0,85	0,06	0,80	0,66	0,11	0,68	0,44	0,82	0,78



Продолжение таблицы 1

21	Банковская процентная ставка (БПС)	0,12	0,12	0,1104589	0,11334594	0,10708557	0,102107	0,11094135	0,10690054	0,107686634	0,121425096	0,12584199	0,13705742	0,13866381
22	Коэффициент К выбора диапазона изменения БПС	0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	Кредитный рейтинг	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Кредитный рейтинг*	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
24	Ставка дисконтирования π	0,14	0,14	0,1304589	0,13334594	0,1270856	0,122107	0,13094135	0,12690054	0,127686634	0,141425096	0,14584199	0,15705742	0,15866381
	Ставка дисконтирования π*	0,14	0,14	0,15045892	0,15334594	0,14708557	0,142107	0,150941347	0,14690054	0,147686634	0,161425096	0,16584199	0,17705742	0,17866381
25	Дисконт фактор kd	1	0,98846787	0,9770687	0,96656070	0,95593816	0,9459204	0,93639209	0,92628468	0,916591678	0,90694132	0,8963771	0,88561383	0,87417255
	Дисконт фактор kd*	1	0,98846787	0,97706874	0,96496972	0,95279412	0,94125701	0,93024087	0,91868524	0,90757496	0,8965410	0,88464077	0,87258155	0,85989399
26	Изменение процентной ставки, связанное с эффективностью эконо. деятельности	-	0	-0,1	0,1	0,1	-0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	-0,1	-0,1
27	Преимущественное направление роста процентной ставки	-	0,5	0,4	0,5	0,6	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	0,9	0,8
28	Интегральная дисконтированная прибыль	94 922	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Интегральная дисконтированная прибыль*	58 554	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

распределения вероятностей значений ИЭЭ: увеличивает диапазон их изменения и уменьшает пиковые интенсивности отсчетов.

2. Используя зависимость гистограмм распределения ИЭЭ предприятий от среднего значения БПС, можно моделировать воздействие случайных изменений макроэкономической ситуации на работу предприятий с различными стратегиями управления и оценивать ее эффективность с учетом особенностей процедуры банковского кредитования.

3. На примере результатов работы предприятия 1 показано, что деловая игра «Промышленник» позволяет демонстрировать возможность в условиях негативных случайных изменений макроэкономической ситуации обеспечивать рост ИЭЭ за счет проведения инвестиционной политики, направленной на совершенствование технологии и достижение нового качества производимой продукции.

#### Литература:

1. Шабинская, Е.В. Методика моделирования случайных изменений текущей экономической ситуации в деловой игре «Управление предприятием на конкурентном рынке» / Е.В. Шабинская, Т.Г. Протьюко, И.Н. Сьюлжин, И.В. Белицкая, О.В. Александрова, Ю.А. Чернявский // Электроника инфо. – 2014. – № 4. – С. 36–42.

2. Белицкая, И.В. Особенности компьютерной деловой игры «Управление предприятием на конкурентном рынке» / И.В. Белицкая, Т.Г. Протьюко, Ю.А. Чернявский, Е.В. Шабинская // Электроника инфо. – 2012. – № 8. – С. 82–85.

3. Белицкая, И.В. Анализ применения различных целевых функций в компьютерной игре «Управление предприятием на конкурентном рынке» / И.В. Белицкая, Т.Г. Протьюко, Ю.А. Чернявский, Е.В. Шабинская // Электроника инфо. – 2012. – № 9. – С. 102–105.

4. Белицкая, И.В. Компьютерная деловая игра «Управление финансовой и инвестиционной деятельностью предприятия в условиях конкурентного рынка» / И.В. Белицкая, Е.Е. Кошко, Т.Г. Протьюко, Ю.А. Чернявский, Е.В. Шабинская // Электроника инфо. – 2013. – № 10. – С. 27–30.

5. Макконнелл, К.Р. Экономикс: принципы, проблемы и политика: пер. с 13-го англ. изд. / К.Р. Макконнелл, С.Л. Брю. – М.: ИНФРА-М, 1999. – XXXIV, 974 с.

6. Арсенов, В.В. Инвестиционное проектирование. Учебно-методическое пособие / В.В. Арсенов. – Минск: БНТУ, 2005. – 90 с.

7. Кейнс, Дж. Общая теория занятости, процента и денег: пер. с англ. / Дж. Кейнс. – М., 1978. – 458 с.

#### Abstract

Estimation procedure of the economic performance of enterprises participating in the business game in complex macroeconomic changes plays an essential role in the educational process which uses the «Industrialist» simulator. This article offers a comprehensive method of assessing the effectiveness of the enterprises economic activity based on the simulation of market price and the population's purchasing demand, the integral discounted profit forecasting using different models of economic management.

*Поступила в редакцию 07.05.2014 г.*

## VECTOR OF TECHNOLOGIES



**Акция**  
на YASKAWA  
V1000



Это серия компактных, высокоэффективных частотных преобразователей, с низким уровнем шума, высокой точностью поддержания скорости и большим пусковым моментом, со скалярным и векторным управлением без обратной связи, подходящий для управления как асинхронных, так и синхронных двигателей, мощностью от 0,2 до 18,5 кВт со встроенным контроллером.

Наши специалисты с радостью помогут решить ваши задачи.  
 Tel: +375-17-265-60-15, fax: +375-17-265-60-16, mob: +375-29-685-60-15.  
 info@vec-tech.by, web: http://www.vec-tech.by

# МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМ БАЛАНСИРОВАНИЯ СУТОЧНОГО РАЦИОНА КОРМЛЕНИЯ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА В СИСТЕМАХ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

УДК 631.15: 004.9

А.Г. Сеньков, Е.В. Галушко, К.М. Шестаков, А.П. Мириленко, А.И. Саханчук,  
БГАТУ, г. Минск

## Аннотация

В статье предложена математическая модель и алгоритм расчета сбалансированного рациона кормления крупного рогатого скота.

## Введение

Качественный и сбалансированный рацион кормления крупного рогатого скота (КРС) является важным условием их высокой продуктивности. Поэтому составление сбалансированного по питательной ценности рациона – это практическая задача, с которой постоянно приходится сталкиваться специалисту-зоотехнику. Традиционно суть задачи оптимизации рациона кормления заключается в нахождении рациона с минимальной стоимостью при гарантированном обеспечении потребности животного во всех питательных компонентах. Недостатком такого подхода является перекорм животного, так как предполагается, что содержание в рационе каждого питательного компонента должно быть не меньше нормы. Кроме того, большое практическое значение имеет возможность задания в качестве исходных данных структуры рациона, т.е. планируемого процентного содержания того или иного из выбранных для составления рациона кормов.

Целью данной работы является разработка математической модели и алгоритма расчета сбалансированного суточного рациона кормления КРС, соответствующего научно обоснованным нормам питательной ценности, характеризующейся 28 показателями (сухое вещество, обменная энергия, перевариваемый и неперевариваемый протеин, сырой жир, сырая клетчатка, микроэлементы и др.).

## Материал и методика исследований

Исходными данными для расчета суточного рациона кормления КРС, в соответствии с методиками, принятыми в Республике Беларусь, являются масса животного и планируемый суточный удой для лактирующих коров, либо прогнозируемый удой за лактацию для сухостойных коров [1]. Считается, что именно эти два показателя, в основном, и определяют норму суточного рациона кормления животного, содержащего необходимое количество основных питательных компонентов.

Обозначим через вектор  $\vec{D} = (D_1, \dots, D_M) = \{D_j\}_{j=1, \dots, M}$  требуемую норму содержания в суточном рационе кормления  $j$ -го показателя питательной ценности, где  $M = 1, \dots, 28$  – количество учитываемых при оптимизации рациона показателей.

Пусть специалистом-зоотехником выбрано  $N$  из имеющихся в хозяйстве кормов. Из выбранных  $N$  кормов

необходимо составить такой рацион кормления, который должен соответствовать по  $M$  показателям питательной ценности требуемым нормам.

Для математической формализации описанных требований для каждого из включенных в рацион кормов введем следующие обозначения:  $a_{ij}$  – содержание  $j$ -го показателя питательной ценности в 1 кг  $i$ -го корма ( $i = 1, \dots, N$ );  $c_i$  – стоимость 1 кг  $i$ -го корма;  $x_i$  – искомое суточное потребление  $i$ -го корма.

Вектором  $\vec{R} = (\vec{R}_1, \dots, \vec{R}_M) = \{R_j\}_{j=1, \dots, M}$  обозначим вектор содержания в рассчитываемом рационе каждого из  $M$  показателей питательной ценности, причем  $j$ -й элемент вектора  $R_j$  определяется следующим выражением:

$$R_j = \sum_{i=1}^N a_{ij} \cdot x_i. \quad (1)$$

Тогда относительное отклонение содержания в рационе  $j$ -го показателя питательной ценности от суточной нормы есть разность, деленная на значение суточной нормы, и в векторной форме может быть выражено следующим образом:

$$\vec{\delta} = \left\{ \frac{D_j - R_j}{D_j} \right\}_{j=1, \dots, M}. \quad (2)$$

Таким образом, вектор  $\vec{\delta}$  есть вектор отклонений показателей питательной ценности рациона от нормы по отдельным показателям. Чем точнее питательная ценность рациона будет соответствовать требуемым нормам, тем меньше должно быть значение нормы вектора  $\vec{\delta}$ . Поэтому в качестве целевой функции предложено использовать норму вектора  $\vec{\delta}$ , определяемую как взвешенная сумма модулей его элементов:

$$Z(\vec{x}) = \|\vec{B} \cdot \vec{\delta}^T\| = \sum_{j=1}^M B_j \cdot \left| \frac{\sum_{i=1}^N a_{ij} \cdot x_i - D_j}{D_j} \right|, \quad (3)$$

где  $\vec{B} = \{B_j\}_{j=1, \dots, M}$ ,  $B_j \geq 0$ ,  $\sum_{j=1}^M B_j = 1$  – вектор нормированных коэффициентов, значения элементов которого пропорциональны степени важности отклонений питательной ценности рациона от нормы по тому или иному показателю. Значения коэффициентов  $B_j$  определяются методом экспертных оценок.

Математическая формулировка задачи оптимизации рациона будет иметь следующий вид:



$$\begin{cases} X_{\min i} \leq x_i \leq X_{\max i}, \quad i=1, \dots, N; \\ \langle p_i = P_i \rangle, \quad i=1, \dots, N; \\ \sum_{i=1}^N a_{i\tilde{N}\hat{A}} \cdot x_i \geq D_{\tilde{N}\hat{A}}, \\ \sum_{i=1}^N a_{i\hat{I}\hat{Y}} \cdot x_i \geq D_{\hat{I}\hat{Y}}, \\ Z(\vec{x}) \rightarrow \min, \end{cases} \quad (4)$$

где  $X_{\min i}, X_{\max i}$  – начальные ограничения на минимальное и максимальное значение массы  $i$ -го корма в суточном рационе, задаваемые при необходимости пользователем, а  $p_i = \frac{a_{i\tilde{N}\hat{A}} \cdot x_i}{\sum_{i=1}^N a_{i\tilde{N}\hat{A}} \cdot x_i}$  либо  $p_i = \frac{a_{i\hat{I}\hat{Y}} \cdot x_i}{\sum_{i=1}^N a_{i\hat{I}\hat{Y}} \cdot x_i}$  – процент от сухого вещества либо обменной энергии всего рациона, обеспечиваемый  $i$ -м кормом (структура рациона);  $P_i$  – задаваемые при необходимости пользователем начальные ограничения на допустимые значения  $p_i$ , определяющие желаемую процентную структуру рациона по сухому веществу либо по обменной энергии, а фигурные скобки « $\langle \rangle$ » означают, что данное ограничение не обязательно присутствует в системе; индексы «СВ», «ОЭ» обозначают, соответственно, «сухое вещество» и «обменная энергия».

Задача (4) представляет собой задачу линейного программирования и может быть решена симплекс-методом с искусственным базисом [2]. Подробное описание алгоритма решения задачи (4) с использованием симплекс-метода с искусственным базисом приведено авторами настоящей статьи в работах [3, 4].

Результатом решения задачи (4) будет рацион  $\vec{x}$ , оптимизированный по показателям питательной ценности, для которого сумма отклонений от требуемых норм питательной ценности по основным учитываемым показателям будет минимальна. Т.е., рацион  $\vec{x}$  будет максимально приближен по показателям питательной ценности к требуемым нормам.

Предложенный метод по расчету суточного рациона был использован в Белорусском государственном аграрном техническом университете при создании компьютерной программы поддержки принятия решений по балансированию суточного рациона кормления молочного стада. Ее практическая апробация в хозяйствах Минской области Республики Беларусь показала следующие результаты. При балансировании суточного рациона кормления КРС одновременно по 8 показателям (сухое вещество, обменная энергия, сырой протеин, сырая клетчатка, сырой жир, кальций, фосфор, соль поваренная) практически всегда достигалось весьма точное совпадение в пределах 0–1 % с требуемыми нормами по трем-четырем основным показателям (сухое вещество, обменная энергия, сырой и перевариваемый протеин). В то же время, в отдельных случаях отклонение от нормы по остальным показателям могли быть достаточно большими. Например, по кальцию, фосфору, клетчатке и др. отклонения от нормы могли достигать 10–15 %. Поэтому в качестве дополнения к описанному выше методу расчета суточного рациона нами был предложен подход, суть которого состоит в поиске рациона,

для которого отклонения показателей питательной ценности от нормы по всем учитываемым показателям лежали бы в некоторых допустимых границах. Математическая формулировка такого подхода имеет следующий вид:

$$\begin{cases} X_{\min i} \leq x_i \leq X_{\max i}, \quad i=1, \dots, N; \\ \langle p_i = P_i \rangle, \quad i=1, \dots, N; \\ 0 \leq \frac{\sum_{i=1}^N a_{i\tilde{N}\hat{A}} \cdot x_i - D_{\tilde{N}\hat{A}}}{D_{\tilde{N}\hat{A}}} \leq L_{\tilde{N}\hat{A}}, \\ 0 \leq \frac{\sum_{i=1}^N a_{i\hat{I}\hat{Y}} \cdot x_i - D_{\hat{I}\hat{Y}}}{D_{\hat{I}\hat{Y}}} \leq L_{\hat{I}\hat{Y}}, \\ \left| \frac{\sum_{i=1}^N a_{ij} \cdot x_i - D_j}{D_j} \right| \leq L_j, \quad j=1, \dots, M, \quad j \neq \tilde{N}\hat{A}, \quad j \neq \hat{I}\hat{Y}, \\ Z(\vec{x}) \rightarrow \min, \end{cases} \quad (5)$$

где  $L_j$  – допустимые границы (в процентах) отклонения показателей питательной ценности рациона от нормы по  $j$ -му учитываемому параметру.

Значения  $L_j$ , подобно значениям коэффициентов  $B_j$  в (3), отражают степень важности совпадения с нормой питательной ценности рациона по  $j$ -му показателю: чем меньше  $L_j$ , тем точнее должно быть совпадение с нормой. Значения  $L_j$  следует определять методами экспертного оценивания. К этому, нами предложено определять значения  $L_j$  обратно пропорционально значениям коэффициентов  $B_j$ :

$$\frac{L_j}{L_{\tilde{N}\hat{A}}} = \frac{B_{\tilde{N}\hat{A}}}{B_j}, \quad j=1, \dots, M, \quad j \neq \tilde{N}\hat{A}. \quad (6)$$

В этом случае алгоритм расчета суточного рациона кормления КРС будет иметь следующий вид.

Шаг 1. Задается минимально допустимое значение границы отклонения питательной ценности суточного рациона от нормы по сухому веществу:  $L_{\tilde{N}\hat{A}} = 0.5\%$ .

Шаг 2. По формуле (6) определяются соответствующие значения границ отклонения показателей питательной ценности суточного рациона от нормы по остальным учитываемым показателям  $L_j, j=1, \dots, M, j \neq \tilde{N}\hat{A}$ .

Шаг 3. С помощью алгоритма симплекс-метода с искусственным базисом выполняется поиск решения оптимизационной задачи (5).

Шаг 4. Если решение не найдено, то значение границы отклонения по сухому веществу LCB увеличивается на 0,5 % и осуществляется переход к шагу 2.

Поиск повторяется до тех пор, пока не будет найдено решение оптимизационной задачи (5).

Таким образом, если расчет суточного рациона кормления КРС по первому варианту (4) дает отклонение некоторых показателей от нормы свыше 10–15 %, то расчет повторяют и проводят по второму варианту (5).

### Результаты исследований

Описанные выше два метода расчета рациона кормления КРС реализованы в программе балансирования суточного рациона [4]. При апробации программы в ГП «Жодино АгроПлемЭлита» на контрольной и опытной группах коров были получены следующие результаты.

Таблица 1 – Схема научно-хозяйственного опыта

Показатели	Группы	
	1 контрольная	2 опытная
Кол-во голов	10	10
КОЭ/СВ	9,8	10,5
СП/СВ	13,7	14,27

где КОЭ – концентрация обменной энергии; СВ – сухое вещество; СП – сырой протеин.

Таблица 2 – Молочная продуктивность и химический состав молока контрольной и опытной группы коров

Показатели	Группы	
	1 контрольная	2 опытная
1	2	3
Среднесуточный удой натурального молока, кг	23,1	24,2
Жир, %	4,08	4,12
Белок, %	2,85	2,87
Кальций, %	0,12	0,15
Фосфор, %	0,08	0,09

Показатели в первой контрольной группе животных получены при кормлении рационом, рассчитанном специалистами хозяйства, во второй опытной – по рациону, сбалансированному программой.

### Заключение

1. Основным достоинством предложенной математической модели расчета суточного рациона кормления КРС является то, что специалист-зоотехник при составлении рациона имеет возможность, при необходимости, планировать его желаемую процентную структуру, исходя из зоотехнических требований, имеющихся в хозяйстве запасов данного корма и прочих условий.

2. Путем введения весовых коэффициентов  $B_j$  и  $L_j$  учитывается степень важности совпадения с нормой показателей питательной ценности рациона, т.е. балансирование рациона выполняется с максимальной точностью по основным показателям питательной ценности (обменная энергия, сухое вещество и др.), в то время как по остальным показателям возможны отклонения от нормы в некоторых допустимых пределах.

3. Апробация программы в хозяйствах подтвердило эффективность разработанной математической модели и алгоритмов балансирования суточного рациона кормления КРС.

### Литература:

1. Попков, Н.А. Нормы кормления крупного рогатого скота: справочник / Н.А. Попков [и др.]. – Жодино: РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству», 2011. – 260 с.
2. Bunday, B.D. (1984): Basic Linear Programming. London WC1B 3DQ, Edward Arnold (Publishers) Ltd, 41 Bedford Square.
3. Сеньков, А.Г. Решение задачи расчета сбалансированного рациона кормления КРС методом линейного программирования / А.Г. Сеньков // Вестник ВНИИМЖ. – №3(11). – 2013. – С. 144–147.
4. Галушко, Е.В. Программа балансирования рационов на основе экспресс-оценки энергетической питательности кормов для молочного стада / Е.В. Галушко, А.Г. Сеньков, К.М. Шестаков, Н.Ф. Бондарь, А.И. Саханчук // Свидетельство о регистрации компьютерной программы № 644 от 07.03.2014.

### Abstract

This paper looks at mathematical model and algorithm of computation a well balanced ration for cattle feeding.

Поступила в редакцию 08.09.2014 г.



**БелПлата** тел. +375 17 287 85 66  
факс +375 17 287 85 65  
тел.моб. +375 29 684 43 09  
220068, г. Минск, ул. Некрасова, 114,  
оф. 238, 2 этаж, e-mail: info@belplata.by

**Разработка и поставка печатных плат:**  
любой класс точности, широкий спектр покрытий, изготовление образцов от 5 дней.

**Поставка фотошаблонов**

**Поставка трафаретов:**  
из нержавеющей стали и латуни.

**Материалы для печатных плат:**  
защитные маски, маркировочные краски, фоторезисты, паяльные пасты.

**Поставка изделий из феррита:**  
любые виды сердечников CI, EE, EEM, EP, EER, ETD, EC, EF, ED, EFD, EI, EPO, EPX, EPC и т.д.

**Поставка электронных компонентов:**  
STMicroelectronics, NXP Semiconductors, Vishay, Holtek Semiconductor.

[www.belplata.by](http://www.belplata.by)

# ДАТЧИКИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ: КЛЮЧЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И НОВЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ. ЧАСТЬ 1. ДАТЧИКИ ХОЛЛА

Продолжение, начало в № 8, 2014

Светлана Сисоева  
Dr.Gold@sysoeva.com

## Автомобильные датчики скорости ферромагнитных зубчатых роторов

Компания Infineon, занимающая третье место в списке ведущих поставщиков, представила модульное решение для контроля скорости датчиков зубчатого ротора, что является одним из самых заметных событий 2012–2013 годов [6, 22].

Следующим ключевым событием стало то, что компания АКМ, первая в рейтинге ведущих поставщиков (хотя в основном за счет компасов), представила собственное предложение для данного сегмента рынка – АК7430, датчик скорости колеса для систем косвенного мониторинга давления шин (iTPMS), – дифференциальный датчик Холла с высокой чувствительностью и низким джиттером.

В декабре 2013 года Infineon представила свой первый ГМР-датчик скорости TLE5041plusC, разработанный специально для iTPMS systems [23].

## Самое заметное предложение 2013 года – Infineon iBB

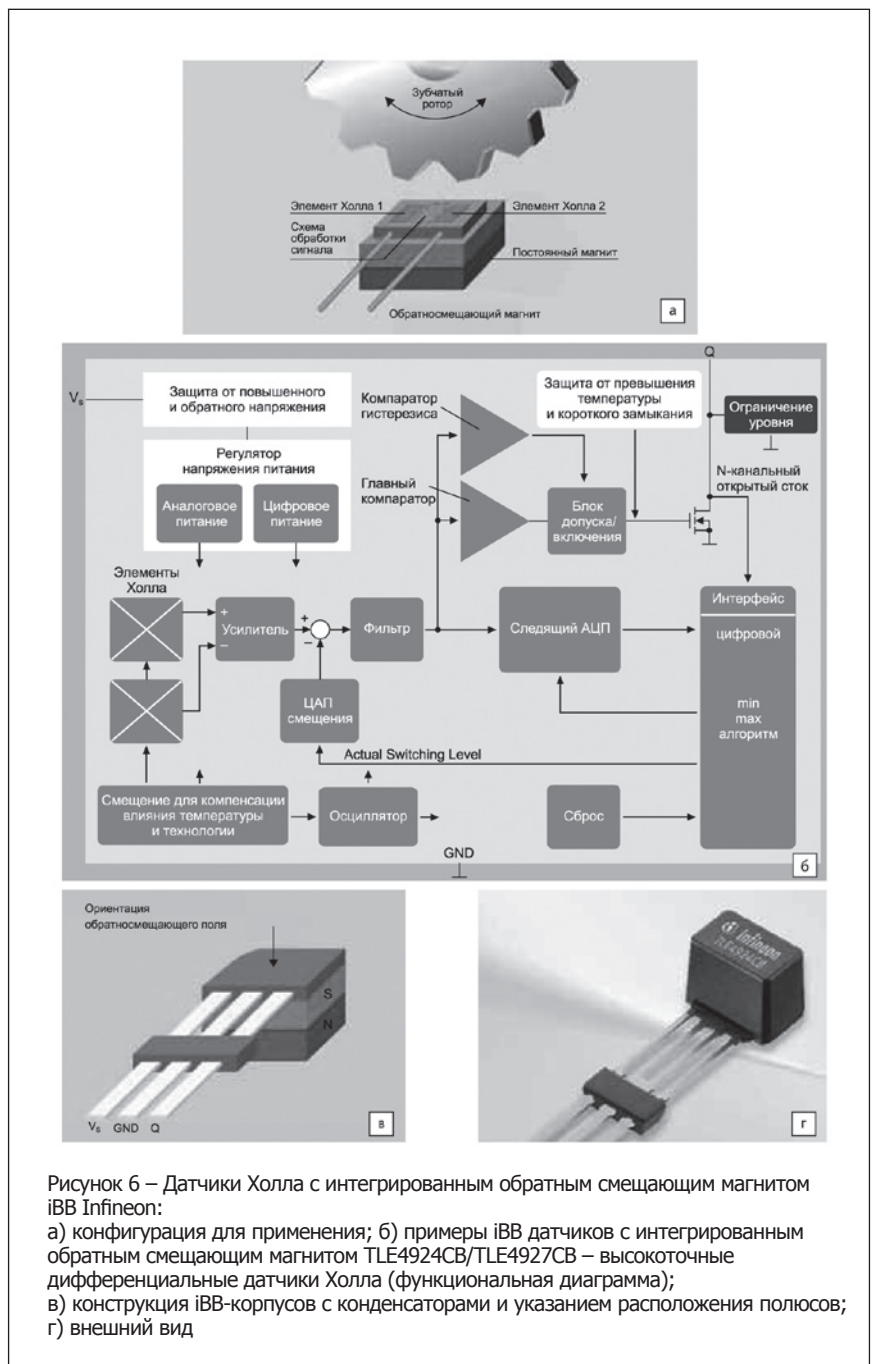
В 2012 году Infineon впервые представила свои инновационные корпусные решения PG-SSOM-х-х под общим названием iBB (integrated Back Bias), т.е. с интегрированным обратносмещающим магнитом. iBB-корпуса предназначены для сенсорного контроля скорости и положения ферромагнитных структур, таких как зубчатые роторы (рисунок 6 а), применяющиеся в АБС, для контроля распределительного и коленчатого валов, коробки передач.

Примеры iBB датчиков Холла включают TLE4924 CB (рисунок 6), TLE4927 CB, TLE4141 CB и TLE4951 CB (CB – указание на наличие обратносмещающего магнита).

Infineon – не первая фирма, реализовавшая в коммерческих продуктах автомобильного назначения идею модульной интеграции обратносмещающего магнита с основным сенсорным компонентом датчика ферромагнитного зубчатого ротора – магниточувствительной микросхемой. Allegro Microsystems – мировой лидер со стажем более 10 лет в производстве подобных модульных решений датчиков зубчатого ротора, которые Infineon впервые представила только в 2013 году. Но

Infineon – единственная фирма, предлагающая для автомобильного сегмента коммерческие версии ГМР-датчиков, в том числе датчиков скорости колеса.

Модульное решение Infineon является уникальным в плане оптимизации дизайна и технологии изготовления



корпусов с интегрированным обратным магнитным смещением и предлагается для использования с микросхемами Infineon датчиков в стандартных корпусах, включая корпуса, интегрированные с конденсаторами фильтров. iVB обеспечивает расширенный набор преимуществ, а общим результатом их применения становится сокращение временных и стоимостных затрат на осуществление разработки датчиков. Для разработчиков может иметь особое значение возможность выбора альтернативных решений уже от двух производителей, ведущим из которых по-прежнему остается компания Allegro Microsystems. Модули Allegro объединяют интегральные микросхемы Холла со специализированными алгоритмами для определения скорости и уникальных отметок положения, конструктивно объединенные с обратносмещающим магнитом и ферромагнитным концентратором поля.

**Датчики положения**

Датчики положения объединяют два типа устройств:

1. Одноэлементные датчики, которые имеют аналоговый (или альтернативный, например, ШИМ) выход в диапазоне магнитного угла до 90°. В данном сегменте актуальны общие рыночные тенденции снижения цены, доминируют датчики Холла, а уже среди них технологической верхушкой считаются программируемые (предпочтительно в EEPROM) датчики Холла.

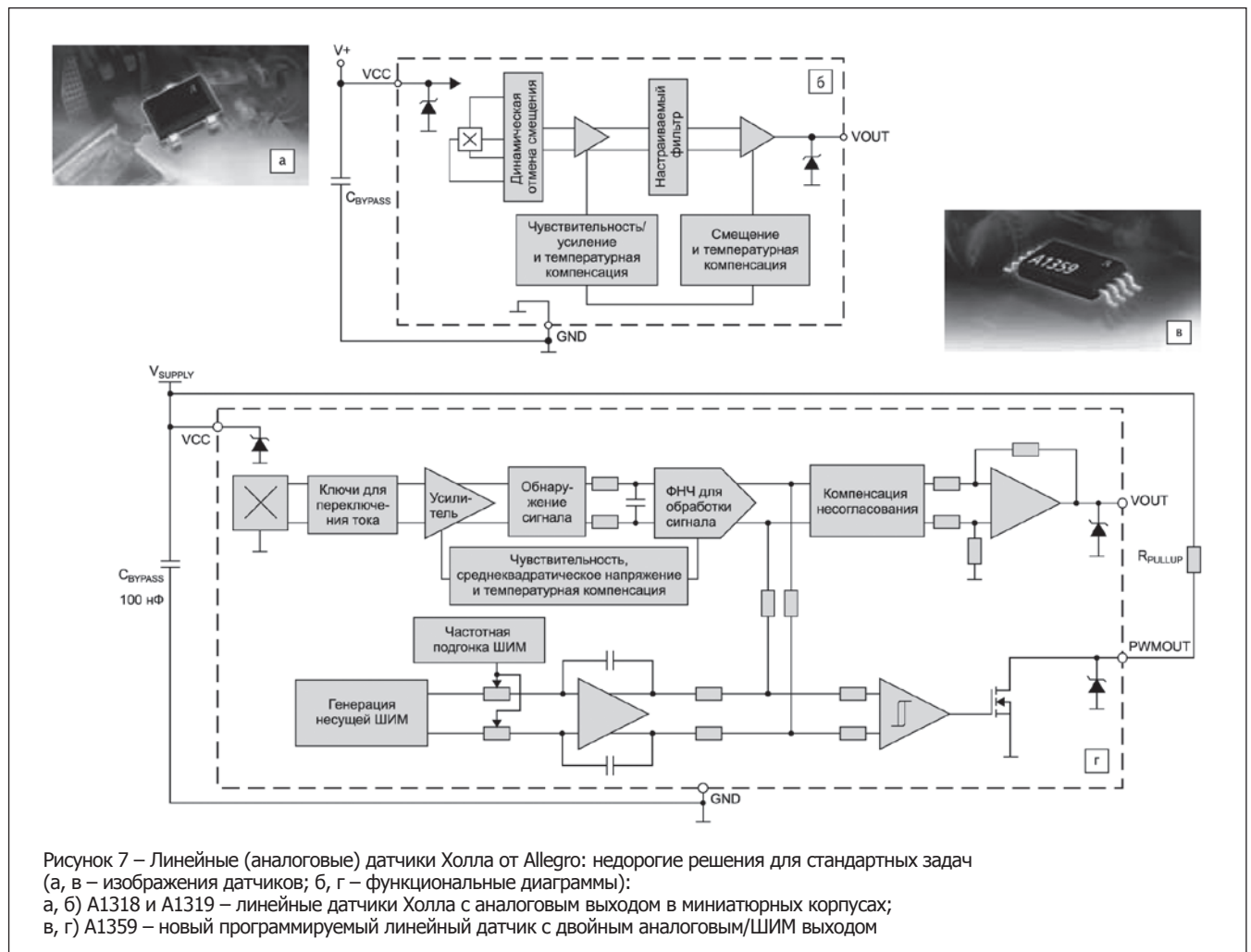
2. Четырехэлементные энкодеры – это ключевая сфера для инноваций, включая новые опции 3D-датчиков Холла, внедрение новых технологий АМР/ГМР, достижение новых уровней автомобильной функциональной безопасности с двойными сенсорными системами и осуществление более гибкого клиентского использования посредством широкого набора опций и программирования.

**Стандартные (одноэлементные) программируемые датчики Холла**

Новые стандартные одноэлементные датчики, выпущенные ведущими производителями в 2013 году, представляют собой программируемые устройства различной ценовой категории и уровня исполнения.

*Allegro: новые недорогие решения для простых и сложных задач*

Allegro Microsystems добавила в 2013 году к существующему портфолио датчиков магнитного поля пять новых линейных датчиков Холла. Представленные в середине текущего года А1388 и А1389, а месяцем ранее – А1318 и А1319 являются однократно программируемыми при производстве миниатюрными устройствами в корпусах SOT23W и нацелены на ряд автомобильных, промышленных и потребительских применений (рисунок 7 а, б) [5].





Представленная в начале 2013 года A1359 (рисунок 7 в, г) представляет собой также однократно программируемую микросхему в восьмивыводном корпусе TSSOP, но с двойным аналоговым/ШИМ выходом для повышения точности и обеспечения избыточности в автомобильных системах.

Каждая BiCMOS-схема (рисунок 7 г) интегрирует датчик Холла, схему термокомпенсации, усилитель и выходную ступень вместе с запатентованным методом динамической отмены смещения.

*Программируемые датчики положения Micronas*

Micronas была первой компанией, осуществившей CMOS-интеграцию сенсорных элементов на основе эффекта Холла. В настоящее время она предлагает своим клиентам эффективные и недорогие компоненты для широкого круга задач автоэлектроники, промышленности и других сфер применения.

Полный спектр предложений от Micronas включает стандартные ключи (обычные и программируемые), линейные датчики (непрограммируемые микросхемы с дифференциальным и стандартным аналоговым выходом), программируемые датчики с аналоговым/ШИМ выходом, а также высокоскоростным ШИМ или цифровым (LIN, SENT интерфейсом в составе популярных семейств HAL8xy (рисунок 8 а), и новое поколение прецизионных линейных датчиков с возможностью линеаризации передаточной функции HAL24xy [7, 24].

В 1998 году было начато серийное производство первых программируемых датчиков Холла, которые стали широко применяться для автомобильных задач измерения положения. В настоящее время клиентам компании Micronas доступен полный спектр технологических решений для автомобильных датчиков положения, спектр которых ранжирован от обычных одноэлементных датчиков Холла до инноваций на основе технологии 3D HAL, воплощенных в семейство угловых датчиков магнитного поля в диапазоне 360° и линейного положения до 40 мм на основе кластера из «классических» и «вертикальных» элементов Холла.

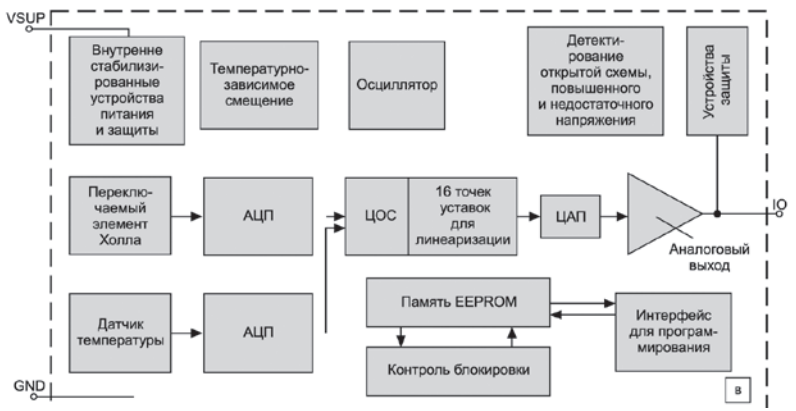
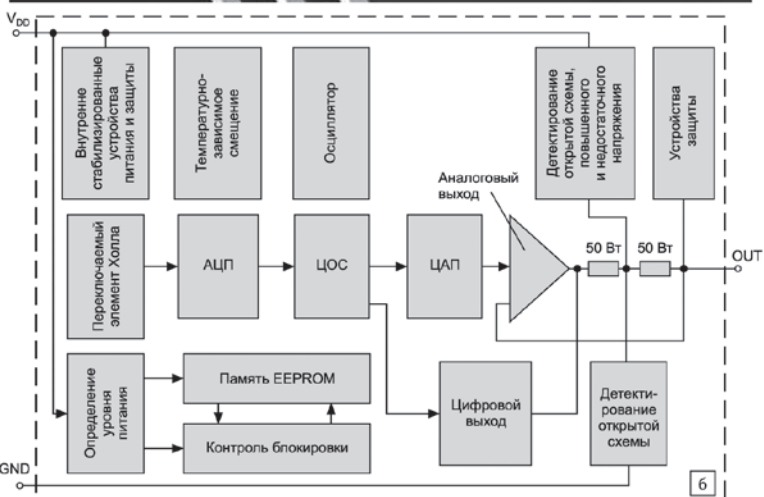


Рисунок 8 – Micronas: обновления семейств стандартных (одноэлементных) программируемых линейных CMOS-датчиков Холла для детектирования углов до 90° или линейного положения магнита:  
 а) иллюстрация большого числа автомобильных применений для популярного семейства программируемых датчиков Холла HAL8xy, которых было продано свыше 500 млн;  
 б) HAL835 – первый представитель нового семейства HAL83x со стандартными характеристиками и повышенной электростатической защитой;  
 в) пополнение семейства HAL24xy программируемых датчиков более высокого уровня точности и надежности – датчик с ШИМ-выходом HAL2455 (функциональные диаграммы датчиков семейства идентичны)

Новые предложения 2013 года включают новое семейство HAL83x и обновления семейств HAL24хy и 3D HAL. Все они являются программируемыми CMOS-датчиками положения и демонстрируют внимание компании к таким требованиям рынка, как доступность необходимых опций корпусов и интерфейсов, возможность обходиться при корпусировании без платы, повышение надежности, широкий диапазон рабочих температур (до +165 и +170 °C), электростатическая защита, линейность, точность и стабильность. Необходимость соответствия новым требованиям характеристик и надежности непрерывно актуализируется при использовании меньших магнитов, высоких рабочих температур и включении датчика в цепь без дополнительных компонентов для защиты. Предложения новых компонентов, удовлетворяющих подобным требованиям, отчасти продиктованы неослабевающей конкуренцией между производителями датчиков, отчасти – спросом со стороны автомобильного рынка на более точные, надежные и стабильные датчики.

Например, требование более высоких температур является следствием применения более компактных ДВС, а новые уровни точности – следствие необходимости соответствия новым стандартам де-факто в плане топливной эффективности и нормам эмиссии CO<sub>2</sub>.

Стремясь охватить все области применения для линейных CMOS-датчиков Холла на рынке, в мае 2013 года Micronas представила ИС HAL835 в качестве первого члена нового семейства HAL83x. HAL835 отличается повышенной для данного класса датчиков электростатической защитой до 8 кВ, возможностью высокоточного измерения слабых полей и высокотемпературной стабильностью. Выходной сигнал датчика пропорционален напряжению питания и величине (напряженности/магнитной индукции) перпендикулярного магнитного поля и имеет возможности для его калибровки и программирования.

HAL83x разрабатывалось как семейство линейных аналоговых датчиков с 12-битным выходом. Регулируемый наименьший диапазон измерения магнитных полей HAL835 может составлять всего ±15 мТл при разрешении все еще 12 бит (7,5 мкТл/бит). По сравнению с предшественником – HAL825, еще более уменьшены дрейфы смещения и чувствительности. Дифференциальная нелинейность датчика менее 0,9 LSB также удовлетворяет высочайшим требованиям к точности измерений. Кроме того, была расширена пропускная способность (частотная полоса пропускания) внутреннего фильтра.

Помимо наиболее часто запрашиваемых клиентами выходных форматов (аналоговый/ШИМ), HAL835 предлагает другой формат: мультиплексированный аналоговый. Благодаря отдельной передаче LSB- и MSB-частей измерения сигнала, достигается повышение соотношения сигнал-шум. Кроме того, реализована цифровая отмена влияния обратного смещения, которая уменьшает влияние интерферирующих статических магнитных полей и также допускает выполнение высокоточных измерений.

HAL835 был разработан в ответ на актуальные тенденции рынка, которые включают требования автомобильной промышленности в отношении более высокой электростатической защиты датчиков, использование небольших магнитов и, таким образом, снижение напря-

женностей рабочих магнитных полей, а также потребность в более точных измерениях параметров работы двигателя и трансмиссии для соответствия более жестким нормам контроля выхлопов, меньшего расхода топлива и снижения выбросов CO<sub>2</sub>.

Датчик HAL835 отвечает всем требованиям и обеспечивает точность, необходимую, например, для определения положения дроссельных заслонок следующего поколения.

Датчики рекомендованы для широкого спектра задач измерения линейного движения, обнаружения положения, токовых измерений или для использования в качестве бесконтактных потенциометров и рассчитаны на диапазон соединительных температур до +170 °C или окружающих до +160 °C. HAL835 имеет интегрированную память EEPROM для хранения параметров датчика.

HAL83x доступны в литом корпусе TO92UT и серийно выпускаются с третьего квартала 2013 года. Эти программируемые высокоточные и высоконадежные датчики магнитного поля последнего поколения от Micronas предназначены стать уникальным сенсорным решением в самых жестких условиях окружающей среды.

Самое недавнее обновление 2013 года от Micronas относится к пополнению семейства HAL24хy программируемых линейных датчиков Холла, также в угловом диапазоне до 90°, но более высокой категории в плане обеспечения уровня характеристик и цены. Первые члены семейства HAL24хy были введены в конце 2012 года – это программируемые высокоточные датчики Холла HAL2420 и HAL2425 с выходным аналоговым ратиметрическим (пропорциональным напряжению питания) сигналом. Новый датчик на основе эффекта Холла HAL2455, представленный осенью 2013 года, отличается наличием ШИМ-выхода (рисунок 8 в).

HAL2455 допускает линеаризацию выходного сигнала посредством 16 точек с 12-битной точностью, поскольку информация о расстоянии в принципе получена при условии определенных отклонений. Для хранения необходимых параметров калибровки датчик оснащен высокотемпературной памятью EEPROM, которая надежно работает в диапазоне соединительных температур –40...+170 °C. Первые представители семейства были доступны в корпусах TO92-UT. Дополнительно предлагается SMD-корпус, который при необходимости позволяет урегулировать все механические требования позиционирования датчика в системе, обеспечивает технологичность и экономический эффект.

Для семейства HAL24хy характерна значительно более высокая линейность выходного сигнала, точность, а также снижение общей стоимости системы. Возможность использования небольших магнитов позволяет еще более снижать стоимость и экономить пространство. Благодаря высокой чувствительности и минимальному дрейфу смещения в полном температурном диапазоне, HAL24хy обеспечивает высокую стабильность всех важнейших параметров в различных клиентских приложениях клиента. В автомобиле это означает безопасную эксплуатацию датчиков на протяжении жизненного цикла всего транспортного средства.

Все представители семейства имеют расширенный набор функций для обнаружения и выявления потен-

циальных источников ошибок. Широкий спектр диагностических функций включает в себя обнаружение и сигнализацию о проблемах проводного подключения, локализацию короткого замыкания на выходе и, кроме того, обеспечивает различную функциональность самотестирования для полного пути сигнала датчика и памяти. Все ошибки обозначаются поделенной пополам частотой ШИМ и, таким образом, поддаются расшифровке через выделенные рабочие циклы. Все члены семейства HAL24ху отвечают высоким требованиям ЭМС автомобильной промышленности и предлагают очень высокую электростатическую защиту. С 8 кВ (HBM) ESD датчики значительно превосходят большинство решений, доступных в настоящее время на рынке.

Программирование датчиков осуществляется непосредственно через двунаправленный выходной контакт путем изменения выходного напряжения без необходимости отдельного вывода для программирования.

Типичные применения в автомобиле включают переключение механизмов коробки передач или детектирование положения при контроле высоты для регулировки фар, любой тип измерения углов до 180°, обнаружение положения и неизнашиваемую замену обычных потенциометров.

Новый представитель семейства с ШИМ-выходом HAL2455 будет доступен в виде образцов в первом квартале 2014 года. Производство SOIC8-корпусов запланировано на второй квартал 2014 года. Ранее компания сообщила о том, что ведутся работы также над осуществлением SENT и PSI-5 интерфейсов для семейства HAL24ху, которое со своими расширенными функциональными возможностями относится к средней и верхней ценовой категории в палитре продукции фирмы Micronas и по своей архитектуре имеет много общего с семейством инновационных датчиков 3D HAL, о котором поговорим уже в продолжении данной статьи.

#### Литература:

1. Сысоева, С.С. Автомобильный сегмент – ведущая отрасль для датчиков магнитного поля // Innovations Insight Magazine. – 2013. – № 1.
2. Сысоева, С.С. Датчики магнитного поля. Спектр высокообъемной продукции от ведущих поставщиков // Компоненты и технологии. – 2012. – № 1.
3. Сысоева, С.С. Новые интегральные датчики Холла специального назначения // Компоненты и технологии. – 2004. – № 9.
4. Сысоева, С.С. Датчики магнитного поля Asahi Kasei Microsystems (АКМ). Полная линейка интегральных датчиков Холла для автомобильных применений // Innovations Insight Magazine. – 2013. – № 1.
5. Сысоева, С.С. Датчики Холла Allegro 2013 г. Новые недорогие решения для простых задач // Innovations Insight Magazine. – 2013. – № 1.
6. Сысоева, С.С. Датчики магнитного поля Infineon 2013 г. Новые автомобильные ключи Холла и ГМР-энкодеры для BLDC двигателей // Innovations Insight Magazine. – 2013. – № 1.
7. Сысоева, С.С. Автомобильные датчики Холла Micronas 2013 г. Программируемые датчики положения руля // Innovations Insight Magazine. – 2013. – № 1.
8. Сысоева, С.С. Датчики магнитного поля Melexis. Обзор обновлений за последний год // Innovations Insight Magazine. – 2013. – № 1.
9. Сысоева, С.С. ХМР микросистемы – альтернатива датчикам Холла в системах измерения и тока // Компоненты и технологии. – 2012. – № 4.
10. Сысоева, С.С. ТМР датчики MDT. Технология туннельного магниторезистивного (ТМР) эффекта и продукты на данной основе // Innovations Insight Magazine. – 2013. – № 1.
11. Сысоева, С.С. Автомобильные датчики скорости. Анализ конструкций и перспективы развития // Компоненты и технологии. – 2004. – № 7, 8.
12. Сысоева, С.С. Автомобильные датчики положения // Компоненты и технологии. – №№ 1'2005–7'2006.
13. Сысоева, С.С. Датчики магнитного поля. Новые применения и технологии измерения движения и тока // Компоненты и технологии. – 2011. – № 3.
14. Сысоева, С.С. Датчики магнитного поля. Новые сенсорные решения. Выход на новый уровень измерений // Компоненты и технологии. – 2011. – № 8.
15. Сысоева, С.С. Датчики близости/положения/расстояния. Важные обновления и дальнейшие перспективы // Компоненты и технологии. – 2008. – № 3.
16. Сысоева, С.С. Новые концепции датчиков скорости/положения // Компоненты и технологии. – 2008. – № 1.
17. Сысоева, С.С. Автомобильные датчики положения. Актуализация надежных и недорогих интегральных компонентов // Компоненты и технологии. – 2009. – № 3.
18. Сысоева, С.С. Обзор патентов Allegro Microsystems. Круговые вертикальные элементы Холла CVH и другие инновации // Innovations Insight Magazine. – 2013. – № 1.
19. Сысоева С. С. Новые перспективы автомобильной функциональной безопасности // Innovations Insight Magazine. – 2013. – № 1.
20. Надежный, точный датчик положения от ams помогает бесколлекторным двигателям постоянного тока (BLDC) в блоке управления коробкой передач работать плавно и эффективно // <http://www.innovationsinsightmag.com/news/nadyozhnyy-tochnyy-datchik-polozeniya-ot-ams-pomogaetbeskollektornym-dvigatelyam-postoyannogo>
21. Датчики магнитного поля Infineon TLE496x в корпусах SOT23. Новая серия высокоточных и высокоэффективных датчиков Холла // <http://www.innovationsinsightmag.com/news/datchiki-magnitnogo-polya-infineontle496x-v-korpusah-sot23-novaya-seriya-vysokotochnyh-i>.
22. Новые датчики скорости Infineon с интегрированным обратным магнитным смещением iBB (integrated Back Bias) // <http://www.innovationsinsightmag.com/articles/novye-datchiki-skorosti-infineon-sintegrirovannym-obratnym-magnitnym-smeshcheniem-ibb>.
23. Первые коммерческие ГМР дифференциальные датчики скорости колес Infineon // <http://www.innovationsinsightmag.com/content/novyedatchiki-skorosti-infineon-s-integrirovannym-obratnym-magnitnymsmeshcheniem-ibb>.
24. Сысоева, С.С. Датчики Холла компании Micronas: новые технологии и компоненты // Компоненты и технологии. – 2013. – № 5.

## ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЧАСТОТЫ



Компания YASKAWA является одним из крупнейших производителей частотных преобразователей в мире. Основанная в 1915 году компания является пионером в приводной технике, постоянно совершенствующая свои продукты. Инверторы YASKAWA обладают высоким уровнем надежности и исключительно низким числом отказов.

### J1000

Преобразователь частоты начального уровня. Обладает компактной конструкцией, очень прост в настройке и управлении. В основном используется в конвейерах, вентиляторах и насосах с невысокими нагрузочными характеристиками. Требует минимального технического обслуживания.



### V1000

Это серия компактных, высокоэффективных частотных преобразователей, с низким уровнем шума, высокой точностью поддержания скорости и большим пусковым моментом, со скалярным и векторным управлением без обратной связи, подходящий для управления как асинхронных, так и синхронных двигателей.

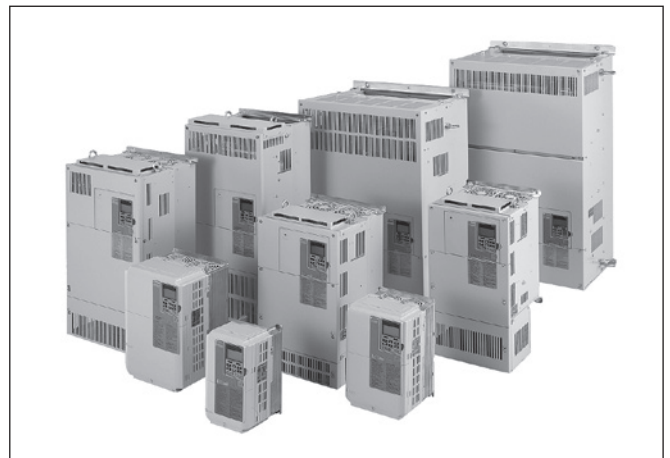
Таблица – Спецификация

Серия		J1000	V1000	A1000
Максимальная мощность двигателя (кВт)	1~230 В AC	0,1–2,2	0,1–4,0	-
	3~200 В AC	0,1–5,5	0,1–18,5	0,4–110
	3~400 В AC	0,2–5,5	0,2–18,5	0,4–630
Подключаемый двигатель	Асинхронный (IM)	•	•	•
	Синхронный (PM)	-	•	•



### A1000

Самый многофункциональный преобразователь частоты компании YASKAWA. Превосходное качество управления как асинхронных, так и синхронных двигателей. Прост в использовании, огромный набор различных функций, минимизации неблагоприятных воздействий на окружающую среду, сбережения электроэнергии, снижения акустических шумов двигателей.



Компания «Вектор Технологий» является официальным дистрибьютором компаний YASKAWA. Выбирая нас, вы получаете качественное и надежное устройство и хороший сервис. Цена частотного преобразователя делает его доступным для многих покупателей.



Продолжение таблицы

<b>Способ управления</b>	Вольт частотное V/f управление	•	•	•
	Векторное управление с разомкнутым контуром (OLV)	-	•	•
	Векторное управление с замкнутым контуром	-		•
	Векторное управление с разомкнутым контуром для синхронных двигателей (OLV PM)	-	•	•
	Расширенное векторное управление с разомкнутым контуром для синхронных двигателей (OLV PM)	-	-	•
	Векторное управление с замкнутым контуром для синхронных двигателей (CLV PM)	-	-	•
<b>Диапазон регулирования скорости</b>	V/f и V/f с обратной связью	1:40	1:40	1:40
	OLV	-	1:100	1:200
	CLV	-	-	1:1500
	OLV и CLV для PM двигателей	-	1:10 <sup>*1</sup>	1:1500 <sup>*2</sup>
<b>Регулирование момента</b>		-	-	•
<b>Максимальная выходная частота</b>	400 Гц	•	•	•
	1000 Гц	-	◇	◇
<b>Интерфейсы передачи данных</b>	RS-232C, RS-422/485 (Memobus/Modbas)	◇	•	•
	Mechatrolink-I, Mechatrolink-II, Ethernet/IP, EtherCAT, Modbus TCP, PROFINET, CC-Link, DeviceNet, PROFIBUS-DP, CANopen	-	◇	◇
<b>Стандарты</b>	CE, UL/cUL, ROHS, UL508C	•	•	•
	EN ISO 13849-1PLd, IEC/EN61508 SIL2	-	•	•
<b>Степень защищенности</b>		IP20 Finless Types	IP20, NEMA1, IP66 Finless Types	IP00, IP20, IP54, NEMA1
<b>Встроенный ПЛК</b>		-	•	•
<b>Функции</b>	Управление моментом	-	-	•
	Энергосбережение	•	•	•
	Поиск скорости	•	•	•
	Компенсация скольжения	•	•	•
	Компенсация момента вращения	-	•	•
	ПИД-регулятор	-	•	•
	Подпитка при пропадании питания	•	•	•
	Прикладной набор параметров	•	•	•
USB интерфейс	-	-	•	
<b>Опциональные платы</b>	Источник питания цепей управления (24 В)	-	•	•
	Два канала аналогового входа	-	-	•
	Дискретные входы (16-битное задание частоты)	-	-	•
	Два канала аналогового входа			•
	Плата дискретных выходов			•
	Потенциометр задания частоты	•	-	-

• – стандартно;

◇ – опционально;

\*1 – только для разомкнутых систем;

\*2 – в разомкнутых системах 1:1000.

**Выпрямители серии В-ТППТ для оснащения гальванических цехов и участков, производства ОАО «ИНТЕГРАЛ» – управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ», являются современным энергосберегающим оборудованием с высокочастотным преобразованием энергии, оптимально подходящим для тяжелых условий гальванического производства.**

Выпрямители обеспечивают преобразование переменного тока трехфазной сети напряжением 3×230/400 В в постоянный и предназначены для:

- питания постоянным током гальванических или электролизных ванн;
- станков электрохимической обработки металлов;
- других потребителей, которых удовлетворяют технические характеристики выпрямителей.

Используемые технические решения позволили существенно уменьшить габариты и вес выпрямителя при одновременном снижении потерь энергии. Так, вес самого мощного выпрямителя В-ТППТ-500-12-00-УХЛ4 составляет всего 34 кг при габаритных размерах 400×360×420 мм.

Достигнуты следующие значения показателей энергосбережения:

- коэффициент полезного действия (к.п.д.) – 84 %;
- коэффициент мощности – более 0,8.

ОАО «Интеграл» выпускает ряд выпрямителей, отличающихся значениями выходных токов и напряжений, что дает возможность потребителю подобрать тот тип оборудования, который наиболее удовлетворяет требованиям технологического процесса. Модельный ряд выпрямителей и характеристики представлены в таблице 1.

Выпрямители соответствуют техническим условиям ТУ ВУ 100386629.136-2010, нормативным документам ГОСТ 18142.1-85 и ГОСТ 26830-85, предназначены для эксплуатации в условиях умеренного и холодного климата:

- температура окружающей среды 1–35 °С;
- относительная влажность воздуха не более 80 % при 25 °С;

Таблица 1 – Технические характеристики выпрямителей серии В-ТППТ

Параметр	В-ТППТ-100-12-00-УХЛ4	В-ТППТ-100-24-00-УХЛ4	В-ТППТ-250-12-00-УХЛ4	В-ТППТ-250-24-00-УХЛ4	В-ТППТ-500-12-00-УХЛ4
Номинальное выходное напряжение, В	12 В	24 В	12 В	24 В	12 В
Номинальная выходная мощность, кВт	1,2	2,4	3,0	6,0	6,0
Номинальный выходной ток, А	100		250		500
Габаритные размеры (В×Ш×Г), мм	400×360×420		400×360×420		400×360×420
Масса, кг	18	22	22	34	34
Степень защиты	IP22		IP22		IP22
Рабочая температура среды, °С	от +1 до + 35		от +1 до + 35		от +1 до + 35
Диапазон регулирования тока, А	5–100		10–250		25–500
Диапазон регулирования напряжения, В	3,6–12 или 4,8–24		3,6–12 или 4,8–24		3,6–12
Шаг установки тока, А	1		1		1
Шаг установки напряжения, В	0,1		0,1		0,1
Отклонение входного напряжения, %	±10 %		±10 %		±10 %
Отклонение выходного напряжения, %	±5 %		±5 %		±5 %
Отклонение выходного тока, % от номинального	±1 %		±1 %		±1 %
К.П.Д., %	>80 %		>80 %		>80 %
Коэффициент мощности	>0,8		>0,8		>0,8
Наработка на отказ, ч	10 000		10 000		10 000
Полный установленный срок службы, лет	10		10		10

– атмосферное давление от 86,6 до 106,7 кПа (от 650 до 800 мм рт. ст.).

Одним из основных достоинств предлагаемых выпрямителей является наличие встроенного микропроцессорного блока управления и индикации, с помощью которого обеспечивается:

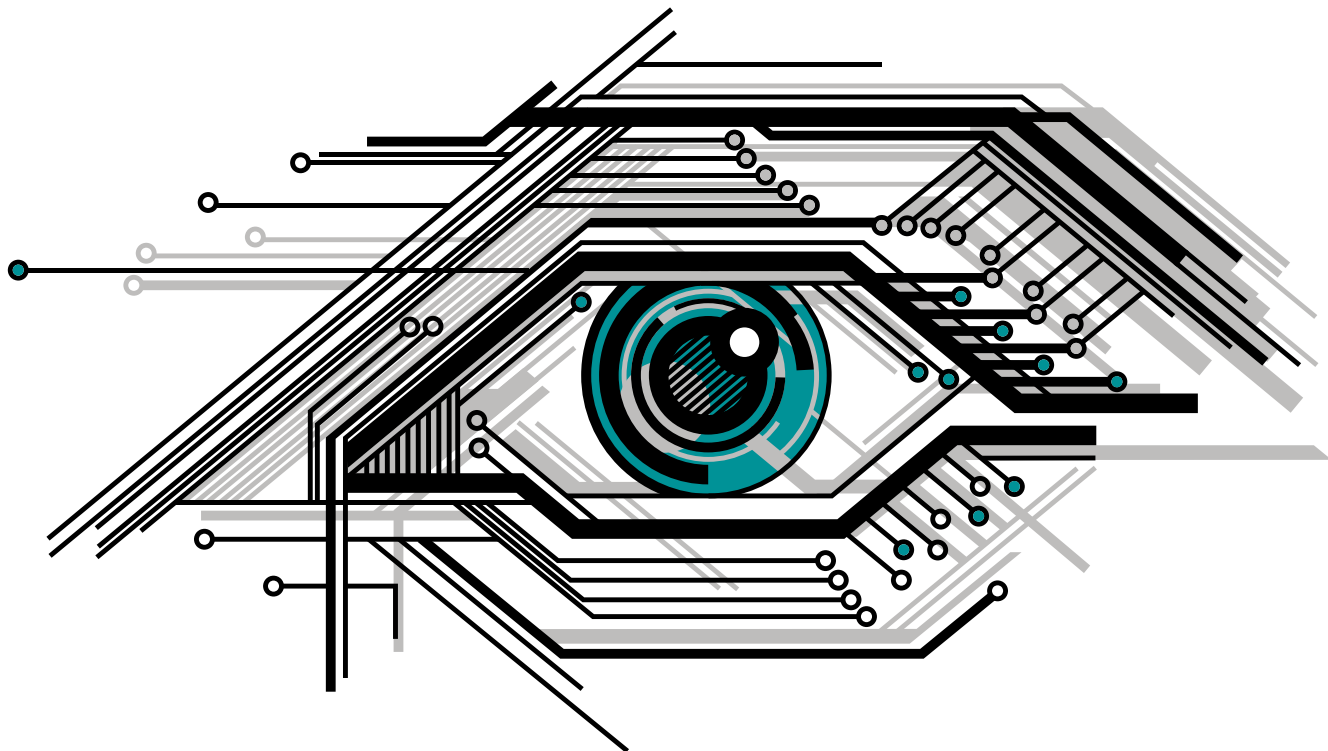
- задание и индикация режимов работы;
- задание времени выполнения режима по таймеру;
- учет времени наработки выпрямителя;
- запоминание в энергонезависимой памяти параметров типовых режимов;
- автоматическое снятие заданного режима при возникновении аварийной ситуации;
- индикация о возникновении аварийных ситуаций;
- индикация кода ошибки при возникновении аварийной ситуации.

Показатели надежности:

- наработка на отказ выпрямителей – 10 000 часов;
- полный установленный срок службы – 10 лет;
- гарантийный срок эксплуатации – 30 месяцев.



НАИМЕНОВАНИЕ ТОВАРА	ЦЕНА	НАЗВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ	АДРЕС, ТЕЛЕФОН
<b>ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКАЯ ПРОДУКЦИЯ</b>			
Индукционные лампы Saturn 40, 80, 120, 150, 290, 300W. В комплекте электронный балласт	<b>70-350 у.е.</b>	<b>ООО «ФЭК»</b>	<b>г. Минск. Тел./ф.: 200-34-23, тел.: 200-04-96. E-mail: lighting@fek.by</b>
Индукционные лампы Smart Dragon 40, 80, 120, 150, 200, 300W.	<b>70-350 у.е.</b>		
Дроссели, ЭПРА, ИЗУ, пусковые конденсаторы, патроны и ламподержатели для люминесцентных ламп	<b>Договор</b>	<b>ООО «АльфаЛидер групп»</b>	<b>г. Минск. Тел./ф.: 391-02-22, тел.: 391-03-33. www.alider.by</b>
Мощные светодиоды (EMITTER, STAR), сборки и модули мощных светодиодов, линзы ARLIGHT	<b>Договор</b>	<b>ООО «СветЛед решения»</b>	<b>г. Минск. Тел./ф.: 214-73-27, 214-73-55. E-mail: info@belaist.by www.belaist.by</b>
Управление светом: RGB-контроллеры, усилители, диммеры и декодеры			
Источники тока AC/DC для мощных светодиодов (350/700/100-1400 mA) мощностью от 1W до 100W ARLIGHT			
Источники тока DC/DC для мощных светодиодов (вход 12-24V) ARLIGHT			
Источники напряжения AC/DC (5-12-24-48V/ от 5 до 300W) в металлическом кожухе, пластиковом, герметичном корпусе ARLIGHT, HAITAIK			
Светодиодные ленты, линейки открытые и герметичные, ленты бокового свечения, светодиоды выводные ARLIGHT			
Светодиодные лампы E27, E14, GU 5.3, GU 10 и др.			
Светодиодные светильники, прожектора, алюминиевый профиль для светодиодных изделий			
<b>КВАРЦЕВЫЕ РЕЗОНАТОРЫ, ГЕНЕРАТОРЫ, ФИЛЬТРЫ, ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКИЕ ИЗДЕЛИЯ</b>			
Любые кварцевые резонаторы, генераторы, фильтры (отечественные и импортные)	<b>от 0,10 у.е.</b>	<b>УП «Алнар»</b>	<b>г. Минск. Тел./ф.: 209-69-97, тел. (029) 644-44-09. E-mail: alnar@alnar.net www.alnar.net</b>
Кварцевые резонаторы Jauch под установку в отверстия и SMD-монтаж	<b>от 0,10 у.е.</b>		
Кварцевые генераторы Jauch под установку в отверстия и SMD-монтаж	<b>от 0,50 у.е.</b>		
Термокомпенсированные кварцевые генераторы	<b>от 2,20 у.е.</b>		
Резонаторы и фильтры на ПАВ			
Пьезокерамические резонаторы, фильтры, звонки, сирены	<b>от 0,04 у.е.</b>		
<b>СПЕЦПРЕДЛОЖЕНИЕ</b>			
Большой выбор электронных компонентов со склада и под заказ	<b>Договор</b>	<b>ЧТУП «Чип электроникс»</b>	<b>г. Минск. Тел./ф.: 269-92-36. E-mail: chipelectronics@mail.ru www.chipelectronics.by</b>
Широчайший выбор электронных компонентов (микросхемы, диоды, тиристоры, конденсаторы, резисторы, разъемы в ассортименте и др.)	<b>Договор</b>	<b>ООО «АльфаЛидер групп»</b>	<b>г. Минск. Тел./ф.: 391-02-22, тел.: 391-03-33. www.alider.by</b>
Мультиметры, осциллографы, вольтметры, клещи, частотомеры, генераторы отечественные и АКИП, APPA, GW, LeCroy, Tektronix, Agilent	<b>1-й поставщик</b>	<b>ООО «Приборостроительная компания»</b>	<b>г. Минск. Тел./ф.: 284-11-18, тел.: 284-11-16. E-mail: 4805@tut.by</b>



- Светодиоды Cree и Philips Lumileds для систем освещения
- Сертифицированные GSM модули и модемы
- Электронные компоненты мировых производителей
- Помощь в проектировании систем освещения и передачи данных
- Производство электронных плат на современном оборудовании

---

г. Минск, ул. Плеханова, 72, офис 22  
тел. +375 (17) 220 76 92  
факс +375 (17) 248 88 12  
[chip@rainbow.by](mailto:chip@rainbow.by)

[www.rainbow.by](http://www.rainbow.by)  
[www.rtcs.ru](http://www.rtcs.ru)  
[www.ibutton.ru](http://www.ibutton.ru)  
[www.light.rtcs.ru](http://www.light.rtcs.ru)  
[www.rmbo.ru](http://www.rmbo.ru)





# Американские продукты отлично работают на белорусском рынке.

Продукция для IT-систем и связи  
Электротехническая продукция  
Инструменты и аксессуары

Закрытое акцiонерное общество  
«Профессиональные сетевые системы»

**PNS**  
[www.pns.by](http://www.pns.by)

Официальный дистрибьютер в Республике Беларусь:

