



ISSN 0207—6357

9

1982

ЭЛЕКТРОННАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ



АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ
СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ
ЭНЕРГОХОЗЯЙСТВОМ
ПРЕДПРИЯТИЯ ОБЕСПЕЧИВАЕТ
ЭКОНОМНОЕ И РАЦИОНАЛЬНОЕ
РАСХОДОВАНИЕ
ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ
РЕСУРСОВ

1982

МИНИСТЕРСТВО ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СССР-НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

А.А.Чернышев
(главный редактор)

В.А.Афанасьев
Ф.И.Бусол
А.А.Васенков
И.Н.Воженин
Г.Г.Горбунова
(ответственный секретарь)

А.П.Грибачев
Г.Я.Гуськов
Н.Д.Девятков
Г.М.Зверев
В.И.Иванов
А.Ф.Казаков
А.А.Константинов
Ю.Г.Кувшинников
Э.А.Лукин
А.А.Маклаков
В.И.Машкин
Ю.Б.Митюшин
Ю.П.Поцелуев
В.М.Пролейко
(зам. главного редактора)

Ю.А.Райнов
А.И.Савин
А.А.Сорокин
В.Д.Степанов
В.Н.Сретенский
П.М.Стуколов
(зам. главного редактора)

И.Ф.Фадеев
В.А.Федоров
Я.А.Федотов
О.В.Филатов
С.К.Цаллагов

● В отрасли проводятся организационно-технические мероприятия по экономии топливно-энергетических ресурсов, предусматривающие внедрение в производство прогрессивной технологии и высокопроизводительного, менее энергоемкого технологического оборудования и технических средств, использование вторичных энергоресурсов, контроль за соблюдением норм расхода топлива и электроэнергии, выполнением графиков работы вентиляционных систем и др.

● На ряде предприятий внедрены автоматизированные системы управления энергетическим хозяйством с целью рационального расходования топливно-энергетических ресурсов.

● Для экономии расхода тепла и воды на отопление зданий применяются системы автоматизации тепловых вводов. В системах горячего водоснабжения, отопления и вентиляции используются электронные регуляторы температуры. Задача отбора и возвращения тепла в системах вентиляции решается с помощью регенеративных теплообменников.

● Использование контактно-экономайзерных установок нагрева воды для технологических нужд позволяет эффективно использовать тепло уходящих газов от стекловаренных печей.

● Применение автоматических фотовыключателей дает значительную экономию электроэнергии в осветительных установках различных объектов промышленности, транспорта и сельского хозяйства.

ЭЛЕКТРОННАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

1982

9

ИЗДАЕТСЯ С 1970 г. - ВЫПУСК (115)

OldPC.su

музей компьютеров

СОДЕРЖАНИЕ

- 3 *Захаров А.А.* Экономия топливно-энергетических ресурсов — одна из главных задач отрасли

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

- 4 *Волков Е.П.* Резервы экономии топливно-энергетических ресурсов
- 6 *Бенедиктов А.П.* Экономия топливно-энергетических ресурсов в капитальном строительстве
- 8 *Курбацкий П.П., Фузик А.Ф.* Автоматизированная система управления энергообъектами предприятия
- 11 *Конотоп В.Я., Сердечный С.Е., Супрун А.В., Челембий Ю.А.* Управление энергоснабжением предприятия на базе комплексной АСУТП
- 14 *Егоров А.А., Пичугин А.Ф.* Средства автоматизации расхода тепловой энергии
- 16 *Фомин Н.Е.* Регенеративные теплообменники
- 17 *Безгин Н.В., Кирпу О.Ф., Попов С.С.* Автоматический фотовыключатель ФВ-2 для осветительных установок
- 18 *Елагин В.М., Неизвестнов А.А.* Электронный регулятор отопления "Электроника Р-1М"
- 20 *Колотило И.Д., Теплов Л.И.* Электронные регуляторы температуры
- 22 *Гесслер Н.В., Литвинов П.И., Матюша С.И., Фирсов В.М.* Пути экономии природного газа в производстве стекла
- 24 *Навицкас В.П.* Использование тепла уходящих газов стекловаренных печей
- 26 *Волков Н.Е., Ткаченко В.М.* Опыт работы завода по экономии топливно-энергетических ресурсов

- 27 *Васильев В.А., Воробьев Б.А.* Экономия технологических газов и электроэнергии в производстве ИЭТ

- 28 *Акулов А.Н., Горохов В.Д., Митяшин А.В.* Осуществление мероприятий по экономии топливно-энергетических ресурсов на заводе

ИССЛЕДОВАНИЯ. РАБОТЫ. МЕТОДЫ РАСЧЕТА

- 29 *Ступаченко А.А.* Целевая и функционально-структурная модели САПР ИЭТ
- 34 *Пискунова Л.С., Романычева Э.Т., Сереченко В.А., Трошина Т.Ю.* Машинная графика в процессе автоматизации проектно-конструкторских и чертежно-графических работ
- 34 *Марин В.П.* Исследование долговечности приборов М-типа
- 37 *Марин В.П.* Физико-химическая модель работы металлокерамического катода
- 39 *Гаврилов Л.П.* Применение рекуррентных методов в программах анализа электронных схем
- 44 *Гумляева С.Д.* Энергетический спектр сигнала с двукратной фазовой модуляцией и вращающейся фазой

ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА

- 48 *Банников В.С., Качуровский Ю.Г., Петренко И.В., Подшивалов В.Н., Родионов А.В., Свешников Ю.Н.* Измерение подвижности носителей заряда методом СВЧ магнитосопротивления
- 49 *Сабонов В.С., Цветков В.А.* Технологический контроль динамических параметров аналоговых ИС на пластине

- 52 *Кричевский В.И., Рабодзей А. Н., Сапронов А.М.* Прибор для технической диагностики маломощных лазеров ИМЛ-1
- 53 *Блинные Н.М., Кузьмина В. Т., Химушкин В.А.* Установка автоматизированного широкодиапазонного контроля герметичности ИЭТ
- 54 *Ляпин В. И.* Высокотемпературный dilatометр для исследования процессов спекания радиокерамики
- 56 *Максимов С. К.* Методика измерения поверхностного рельефа для эталонных образцов
- 57 *Мошкин В. И.* Контроль электрофизических параметров полупроводниковых структур по спектральной зависимости сигнала фотоотклика
- 58 *Дымович В. И., Ковшиков Е. К., Коробцов В.П.* Прибор для измерения контактной разности потенциалов "Альфатест"
- 59 *Жигальский Г. П., Лякишев Ю. Н., Федоров А.С.* Анализатор спектра сигналов низких частот
- 59 *Жигальский Г.П., Федоров А.С.* Высокочувствительный корреляционный усилитель
- 60 *Гаранин В.П., Лебедев Ю.П., Ушлинов Г. А.* Термоэлектрические пленочные радиометры РПП-12
- 61 *Бурякин В. И., Гостик А.Л., Дубовой Н. Д., Сазонов А.А.* Измерители расхода газа ИРГ и ИМРГ
- 61 *Бутурлин А.И., Крутоверцев С.А., Орлов С.Г., Чахунашвили Г.Б.* Измеритель расхода газа "Поток-1"
- 62 *Бутурлин А.И., Гладков Ю.И., Орлов С. Г., Чистяков Ю.Д.* Индикаторы влажности газов ИВА-1 и ИВА-2
- 63 *Бутурлин А.И., Дикевич А.Я., Крутоверцев С. А., Овчинников Е.Н.* Индикатор микровлажности и концентрации кислорода в водороде ОКА-1
- 63 *Бутурлин А.И., Орлов С.Г., Сушков В.М., Чистяков Ю. Д.* Индикатор влажности и температуры
- 64 *Ильинский Д.В., Коледов Л.А., Ласынков В.Л., Шитулин В. А.* Кварцевый мультиметр
- 64 *Видорович В. Н., Марков Ф.В., Молодцов В.А.* Датчик давления
- 65 *Геранькин С.С., Деревенко Н.К.* Прецизионный датчик линейных перемещений

ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС И КАДРЫ

- 66 *Горбач С.С., Мазуренко С. Н., Павлов В.П.* Об опыте организации комплексных творческих молодежных коллективов в отрасли
- 69 *Арутюнов П. А., Коренев Г. Д., Сretenский В.Н.* Подготовка инженеров-метрологов электронной техники по специальности "Информационно-измерительная техника"

СООБЩЕНИЯ

- 47 *Гришин М. П., Поддубный Е.В., Сазонов А. А., Таран В. А.* Автоматическая система оптического контроля
- 65 *Афонин С.М., Иванов Е.А., Парфенов Б.Г., Сильченко В.В.* Силовые пьезоэлектрические двигатели микроперемещений
- 71 *Груздев А.В., Чернышев Н.А.* Система "Телетекст" – перспективное изделие культурно-бытового назначения
- 74 *Пащенко Н.А.* Новости зарубежной электроники

РЕКЛАМА

- 80 *Павлов М.Б.* Высокостабильный импульсный тиристор ТГИЗ-500/16.

Микрокалькулятор "Электроника МК-53" (четвертая сторона обложки)

ЭКОНОМИЯ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ — ОДНА ИЗ ГЛАВНЫХ ЗАДАЧ ОТРАСЛИ

А.А.ЗАХАРОВ

УДК 658.26

Экономное использование топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) является в настоящее время актуальной задачей, поскольку при меньших расходах позволяет увеличивать масштабы производства.

В десятой пятилетке предприятиями отрасли проделана большая работа по экономии ТЭР, в результате чего при значительном росте объемов производства расход электроэнергии увеличился только на 24%, а топлива на 28%. Создана отраслевая комиссия по экономии и рациональному использованию материальных и топливно-энергетических ресурсов, которая рассмотрела и приняла решения по ряду актуальных вопросов. В отрасли только за 1981 год внедрено 1360 энергосберегающих устройств, в том числе 656 электронных регуляторов отопления, 109 вращающихся регенеративных и 26 рекуперативных теплообменников, 109 электронных регуляторов температуры и 460 электронных фототыключателей наружного освещения.

Следует отметить, что экономия ТЭР стала заботой не только энергетических служб, но также технологов и разработчиков технологического оборудования, партийных, профсоюзных и комсомольских организаций. Комплекс проводимых мероприятий позволил многим предприятиям отрасли снизить ежегодный прирост расхода энергоресурсов с 5—6 до 2—3% в год. Благодаря замене действующего оборудования на более высокопроизводительное и менее энергоемкое стало возможным работать без увеличения расхода электроэнергии при ежегодном росте объемов производства.

Анализ расхода ТЭР показал, что в среднем 75% электроэнергии потребляет основное производство и примерно столько же теплоэнергии расходуется на системы вентиляции, кондиционирования и отопления. Поэтому основными направлениями в работе по экономии ТЭР являются:

— внедрение в производство нового высокопроизводительного технологического оборудования и новых менее энергоемких технологических процессов, затрачивающих на единицу продукции меньшее количество энергии по сравнению с ранее действующим оборудованием и технологическими процессами;

— внедрение в производство автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП);

— организация учета и контроля расхода ТЭР по цехам, участкам, отдельным энергоемким агрегатам;

— внедрение автоматизированных систем управления энергохозяйством предприятия (АСУЭ);

— использование вторичных энергоресурсов;

— внедрение в производство технических средств по экономии ТЭР (вращающихся регенеративных и стационарных рекуперативных теплообменников, электронных регуляторов отопления «Электроника Р-1М», электронных регуляторов температуры, электронных фототыключателей наружного освещения и т.п.);

— развитие социалистического соревнования за экономию ТЭР.

Большое значение для работы предприятий имеет их своевременная и качественная подготовка к зиме, поскольку в осенне-зимние периоды возрастает расход ТЭР. Требуется регулярно обеспечивать предприятия и организации отрасли материалами на ремонтно-эксплуатационные нужды.

Предприятиями и организациями отрасли должны быть разработаны долгосрочные программы по выполнению Постановления Совета Министров СССР от 7 июня 1979 г. «О мерах по сокращению потерь тепла в зданиях жилищно-гражданского и производственного назначения в тепловых сетях», предусматривающие:

— своевременный ремонт зданий, сооружений и тепловых сетей и подготовку их к эксплуатации в зимних условиях;

— осуществление при капитальном и текущем ремонтах надлежащей тепловой защиты зданий и сооружений;

— предотвращение приема в эксплуатацию зданий, сооружений и тепловых сетей с нарушениями предусмотренных в проектах требований по тепловой защите;

— улучшение состояния ремонтно-эксплуатационных служб, укрепление их квалифицированными кадрами и обеспечение необходимыми техническими средствами и материальными ресурсами;

— снижение расхода топлива и тепловой энергии на отопление не меньше чем на 7—8% за счет утепления жилых домов и общественных зданий во время капитального и текущего ремонта.

Статья поступила 14 июля 1982 г.

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 658.26

Е. П. Волков

РЕЗЕРВЫ ЭКОНОМИИ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

Положительные результаты работы по экономии топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) стали возможными благодаря внедрению в производство прогрессивной технологии и высокопроизводительного, менее энергоемкого технологического оборудования и технических средств, дающих значительную экономию энергии, а также благодаря использованию вторичных энерго-ресурсов.

В одиннадцатой пятилетке предусмотрено создание технологического оборудования с улучшенными техническими характеристиками, увеличенной производительностью не менее чем в два раза и сокращением показателя удельной энергоемкости — параметра, который в настоящее время введен в технические задания и условия на вновь разрабатываемое оборудование. Намечено снижение (на 25–30%) удельной энергоемкости оборудования: ростового, для механической обработки пластин, эпитаксиального выращивания, осаждения поликристаллических и диэлектрических слоев, плазмохимического и оптико-механического. Значительное снижение энергоемкости оптико-механического оборудования для производства фотошаблонов и переноса изображений на полупроводниковую пластину достигнуто за счет увеличения производительности генераторов изображений до 600–800 тыс. экспоз./ч, установок совмещения — до 150 пластин/ч.

В результате внедрения высокопроизводительного оборудования снижена удельная энергоемкость установок для намотки конденсаторов, линий изготовления магнитопроводов, линий сборки трансформаторов. Комплекс работ по внедрению прогрессивной технологии (ионно-плазменного напыления и травления, лазерной подгонки резисторов, сварки и др.) в производстве постоянных пленочных резисторов обеспечил за счет повышения производительности и выхода годных изделий рост объемов производства за период с 1979 по 1981 гг. в 1,3 раза при сохранении энергопотребления на уровне 1979 г.

Разработка методов эквивалентного режима испытаний и тренировки мощных газоразрядных приборов, импульсных модуляторных ламп и высоковольтных кенотронов и внедрение их в про-

изводство позволили за счет сокращения длительности тренировки с 25 до 11 ч сэкономить в десятой пятилетке 4,5 млн. кВт·ч электроэнергии.

Значительную экономию электроэнергии дает сокращение времени откачки электровакуумных приборов, которое за последние годы уменьшено в 10 раз у приборов более 120 типов. Сокращение на 30% времени откачки цветных кинескопов 61ЛКЗЦ позволило сэкономить 130 тыс. кВт·ч электроэнергии.

Использование радиационных методов в производстве радиодеталей значительно уменьшило продолжительность цикла их изготовления и сократило потребление электроэнергии на операциях полимеризации резиста в 10 раз.

Внедрение в производство ИС процесса осаждения диэлектрических слоев при пониженных давлении и температуре на установке "Изотрон-2" дало возможность сократить энергопотребление в четыре-пять раз.

Разработана технология получения окисных слоев на установке "Термоком", позволяющая снизить температуру с 1150 до 700–800°C и сократить время обработки с 10–12 до 1–2 ч. Потребление электроэнергии сократилось в десятки раз. Одна установка "Термоком" на операции окисления заменяет три диффузионные печи СДО-125/3-15.

С целью снижения энергопотребления при ионной имплантации созданы агрегатированные образцы ионно-лучевого оборудования с модулями для импульсного лазерного и фотонного отжига. Применение импульсного отжига сокращает потребление электроэнергии в десятки раз.

Внедрение в производство полуавтомата карусельного типа для герметизации плоских лучевых индикаторов дает возможность снизить расход электроэнергии в десять раз против существующих стандартных печей СК-11/16, 6-8 или СК-10/16, 6-5.

В настоящее время разрабатывается оборудование для энергосберегающих процессов, к которому относятся, например, преобразователи для рекуперации электроэнергии при торможении скоростных автооператоров гальванических линий, обеспечивающие экономию электроэнергии до 20%. Перевод управления температурой гальванических ванн на автоматическое регулирование обеспечивает экономию электроэнергии до 15–20%.

Использование при проведении операций обезжиривания органических добавок типа ДХТИ, обе-

спечивающих снижение температуры с 90 до 65–70°C и времени протекания процесса с 10 до 2–5 мин, позволяет сократить расход электроэнергии в два раза.

Внедрение холодного хромирования обеспечивает экономию электроэнергии до 30–50% за счет снижения температуры электролитов до комнатной. Использование высокоскоростных электролитов экономит до 50% электроэнергии.

Применение автоматической системы регулирования расхода воды на промывку дает на одном предприятии экономию до 10 тыс. м³ питьевой воды и до 20% электроэнергии. Предварительная очистка воды для гальванических ванн от органических и солевых загрязнений будет проводиться методом обратного осмоса вместо дистилляции. При этом для очистки 1 м³ воды требуется 3–4 кВт·ч электроэнергии, в то время как для получения дистиллированной воды требуется 80 кВт·ч.

Следует отметить, что для ряда технологических процессов еще используется оборудование с нерациональным расходом энергии. Например, в печи для обжига керамики ВП-22 потери тепла с уходящими газами составляют 80%, на нагрев тары расходуется 12,5% тепла и только 3,5% тепла идет на нагрев изделий.

Большое количество природного газа расходуется в стекловаренных печах. Так, полезный расход тепла на варку стекла составляет лишь 10%, а потери через кладку – 50%, с дымовыми газами – 40%. Потери тепла с дымовыми газами наиболее эффективно можно снизить с помощью контактно-экономайзерных установок нагрева воды для технологических нужд.

Большое количество вырабатываемой тепловой энергии расходуется на нагрев холодного воздуха в системах кондиционирования, приточной вентиляции и отопления. По условиям технологии в производственных помещениях необходим постоянный обмен воздуха. Каждая тысяча кубометров теплого (22–24°C) воздуха, выбрасываемого вентиляторами в атмосферу, уносит с собой столько тепла, сколько получается при сжигании почти килограмма условного топлива. А во многих заводских корпусах мощность вытяжных систем вентиляции составляет сотни тысяч кубометров воздуха в час. Вернуть это тепло обратно в здание можно с помощью вращающихся регенеративных теплообменников, которые используют тепло вентиляционных выбросов для нагрева холодного воздуха. Опыт применения вращающихся теплообменников показал, что до 75% тепла, выбрасываемого в атмосферу, можно вернуть в рабочее помещение. Изготовление теплообменника и реконструкция системы вентиляции окупаются примерно за год. Один теплообменник экономит до 85 т условного топлива в год, что соответствует 60 т мазута.

При заполнении вращающегося теплообменника алюминиевой стружкой (отходами от обработки деталей) его стоимость снижается в несколько раз при незначительном уменьшении КПД. Однако вращающиеся теплообменники можно применять при использовании условно-чистых теплых вентиляционных выбросов. Задачу использования тепла загрязненных вентиляционных выбросов можно решить с помощью стационарных рекуперативных теплообменников, в которых загрязненный теплый воздух нагревает холодный чистый воздух через стенку, разделяющую потоки. У таких теплообменников коэффициент полезного действия несколько ниже. Тем не менее они позволяют вернуть в цех до 60% тепла, которое раньше выбрасывалось в атмосферу. Такие теплообменники для оснащения предприятий выпускаются промышленностью.

Крупным потребителем вырабатываемой тепловой энергии являются системы отопления, в которых отсутствует автоматическое регулирование. Весной и осенью для систем отопления в зависимости от наружной температуры требуется более низкая температура воды, чем для горячего водоснабжения. Поэтому возникает необходимость разделить эти два потока горячей воды. Разработанный электронный регулятор отопления "Электроника Р-1М" предназначен для автоматического регулирования температуры воды в системах отопления жилых и промышленных зданий и сооружений с целью экономии топлива. Электронный регулятор отопления, подсоединенный к реле времени, может в автоматическом режиме понижать температуру в производственных и общественных зданиях в нерабочее время, что дает дополнительную экономию топлива. Регулятор обеспечивает пропорционально-интегральный закон регулирования с точностью $\pm 1,5^\circ\text{C}$ по температуре наружного воздуха. Испытания регуляторов, проведенные в течение нескольких отопительных сезонов, выявили их высокую эксплуатационную надежность и экономическую эффективность применения. Регуляторы "Электроника Р-1М" серийно выпускаются промышленностью.

Осваивается промышленный выпуск электронного регулятора температуры ЭРТ-1, который предназначен для автоматического регулирования расхода теплоносителей на абонентских вводах, температуры воды кондиционеров, установок приточной вентиляции и индивидуальных бойлерных установок. Регулятор обеспечивает автоматическое поддержание заданной температуры воды, используемой в системах отопления и технологических процессах. Для помещений, загрязненных парами кислот, щелочей и другими веществами, выпускается электронный регулятор температуры ЭРТ-2 с выносной электронной частью.

Серийно выпускается электронный фотовыключатель ФВ-2 для наружного освещения пред-

приятый, улиц в городах и поселках, сельскохозяйственных ферм и т.д. ФВ-2 имеет небольшие габариты и малую стоимость, надежен в работе. Своевременное включение и выключение освещения дает экономию 10–15% электроэнергии.

В системах охлаждения различного оборудования имеется большое количество теплой воды, которая на некоторых заводах используется для подогрева холодного воздуха перед первой ступенью кондиционеров. Имеется опыт реконструкции кондиционеров, в которых ликвидирована полностью первая ступень подогрева. Она заменена камерой орошения с использованием низкопотенциального тепла оборотной воды с температурой 32–34°C, что позволило сэкономить 100 т условного топлива в год.

Большое значение имеет учет и контроль расхода ТЭР в цехах и отдельных энергоемких агрегатах, а также внедрение в производство автоматизированных систем управления энергохозяйством предприятия. На многих предприятиях внедрены информационно-измерительные системы ИИЭС-1-48 с выводом на ЭВМ для учета расхода электроэнергии, а также автоматизированные системы управления энергохозяйством.

Для наиболее эффективной разработки мероприятий по экономии ТЭР необходимо прежде всего проанализировать на каждом предприятии расход электроэнергии, теплоэнергии, топлива. Резервы экономии энергоресурсов велики. И если работа по экономии ТЭР будет проводиться систематически по всем основным направлениям их расхода, то выявится возможность сэкономить миллионы киловатт-часов электроэнергии и тысячи тонн топлива.

Статья поступила 14 июля 1982 г.

УДК 658.26

А. П. Бенедиктов

ЭКОНОМИЯ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ В КАПИТАЛЬНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Для экономного использования энергоресурсов в сфере капитального строительства имеются значительные резервы. Рациональное использование энергии и вторичных энергоресурсов в строящихся и реконструируемых предприятиях стало неотъемлемой частью проектов уже в десятой пятилетке. В целях организации работы в этом направлении создана перспективная программа мероприятий по экономии топливно-энергетических ресурсов и использованию вторичных энергоресурсов на

период до 1990 г., предусматривающая экономию в объеме 500 тыс. т условного топлива. На предприятиях отрасли потребление электроэнергии составляет 20–40%, тепловой энергии 60–80%. Например, в производстве полупроводниковых приборов и интегральных схем для технологического и инженерного оборудования расходуется соответственно 30–45 и 40–62%, для электроосвещения 8–15% электроэнергии; в то же время тепловой энергии для технологического оборудования расходуется 13–20%, а для отопления и вентиляции 80–87%. Таким образом, значительная экономия энергии может быть получена от упорядочения ее использования в технологических процессах, при отоплении и вентиляции.

При разработке проекта промышленного предприятия может быть использован достаточный набор средств экономии энергии. Известный путь борьбы с теплотерями — сокращение площади ограждающих конструкций зданий и их совершенствование. Например, промышленное предприятие можно построить из отдельных четырех объемов или из одного объема. Во втором варианте периметр ограждающих конструкций, а соответственно и площадь охлаждаемых стен сокращаются примерно в два раза, при этом достигается сокращение расхода тепла на отопление на 30%. Поэтому метод блокирования зданий находит все более широкое применение. При строительстве многоэтажных промышленных зданий широкой застройки (шириной 54 м и более) может быть достигнуто наибольшее сокращение площади ограждающих конструкций. При этом удельная площадь ограждений, приходящихся на 1 м² развернутой площади, может быть сокращена до 0,6–0,3 м² по сравнению с 1,5–2 м² обычно применяемых у производственных зданий (т.е. в два–три раза). В такой же пропорции сокращаются тепловые потери здания.

Другой возможностью экономии энергии является снижение объема проектируемых зданий. При этом применяется сокращение этажности здания и высоты помещений до рациональных размеров при исключении технических этажей и использовании для прокладки энергокоммуникаций межферменного пространства, шахт, технических коридоров. Расчеты показывают, что таким образом можно уменьшить объем зданий на 15–20% и при этом сократить расход тепла на отопление на 13–15%. Потребность в энергии существенно зависит от архитектурного решения фасада здания. Большие размеры светопрозрачных участков ограждающих конструкций (окон) имеют ряд преимуществ (выразительность в архитектуре зданий, улучшенное освещение внутренних помещений, психологическая комфортность) и ряд недостатков (повышенные потери тепла в холодное время года, потребность в увеличении холодильных мощ-

ностей летом, незначительная теплонакопительная способность, трудность мойки).

Эти недостатки устранены в новых решениях фасадов. Прежде всего рационально уменьшена площадь остекления фасадов. В результате этого отношение площадей остекления и ограждения уменьшено с 0,5 до 0,3, что позволило сократить расходы тепла на отопление на 7–10 %. Очень эффективным является остекление с устройством герметичного пакета из двух или трех стекол снаружи и одного внутри. При этом часть теплого воздуха удаляется из здания через шахту, образуемую наружным изолирующим стеклопакетом и внутренним стеклом. В результате уменьшается теплоотдача фасадом, поддерживается достаточная температура поверхности окон, отсутствует поток воздуха возле окон, не требуются радиаторы, достигается выигрыш площади благодаря комфортности приоконных пространств, обеспечивается хорошая звукоизоляция и др. При этом расход тепла сокращается на 15 %. В проекте только одного предприятия это позволит сэкономить 340 т условного топлива в год.

Совершенствуя и рационализируя отопление, вентиляцию и теплоснабжение, можно получить достаточно высокую экономию энергии. Так в последние годы для систем отопления разработана и применяется схема автоматического регулирования подачи теплоносителя с помощью установки в тепловых узлах электронного регулятора "Электроника Р-1". При этом экономия тепла на отопление составляет 10–15 %. В проекты промышленных предприятий за 1981 г. включено 105 таких регуляторов, что позволит сэкономить 1500 т условного топлива в год.

Расход энергии на вентиляцию промышленных залов, лабораторий и административно-бытовых помещений существенно сокращается за счет регенерации тепла методом максимально возможной рециркуляции воздуха, свободного от механических и химических загрязнений, а также с низким уровнем концентрации CO_2 . В данном случае экономится энергия на подогрев повторно используемого воздуха. Этот метод применяется практически во всех проектах, что позволило сэкономить за годы десятой пятилетки 39 тыс. т условного топлива.

Существенная экономия (3500 т условного топлива в год) получена при использовании в проектах теплоснабжения промышленных объектов от ТЭЦ и на основе строительства кустовых котельных, централизации и автоматизации бойлерных, а также перевода технологических потребителей на единый теплоноситель — перегретую воду вместо пара.

Значительным потребителем топливно-энергетических ресурсов являются стекольное производ-

ство. В настоящее время разработан и осуществляется в проектах нового строительства и реконструкции печей ряд эффективных мероприятий, позволяющих экономить энергоресурсы: тепловая изоляция стен печи, нижний подвод газа к горелкам, применение ящичных регенераторов и теплоотражающих экранов. Это позволило получить за годы десятой пятилетки экономию 18,5 тыс. т условного топлива.

Большие возможности экономии энергии имеются и при проектировании электрообеспечения и электроосвещения предприятий. Потери в системе электроснабжения могут составлять 7 % потребляемой энергии. Для сокращения потерь предусматриваются схемы электроснабжения с минимальным количеством ступеней трансформации, приближением питающих центров к центрам электрических нагрузок, переход на напряжение 10 кВ вместо 6 кВ. Предусматриваются наиболее короткие трассы линий электроснабжения, силовые трансформаторы повышенной мощности, линии связи между подстанциями и распределительными устройствами, обеспечивающие отключение части трансформаторов при низких уровнях нагрузки предприятия в ночные часы и праздничные дни. Для исключения перетоков реактивной мощности, вызывающей в сети дополнительные потери, определяются оптимальные варианты размещения конденсаторных установок с учетом реактивной мощности, генерируемой синхронными электродвигателями.

Автоматическое регулирование конденсаторных установок по ступеням мощности позволяет учитывать суточное изменение электрической нагрузки предприятия. При этом достигается экономия электроэнергии 2–3 %.

Для сокращения расхода электроэнергии на электроосвещение, составляющего 8–15 %, применяются рационально размещенные экономичные светильники, комбинирование общего и местного освещения, автоматическое управление электроосвещением. Это обеспечивает экономию электроэнергии до 6–7 %.

Существенная экономия ТЭР достигается внедрением на предприятиях отрасли автоматизированных систем управления энергоснабжением (АСУЭ), что обеспечивает дистанционное управление энергообъектами, контроль качества энергоресурсов, микроклимата в помещениях, почасовой контроль и регулирование распределения энергоресурсов в зависимости от плановых и оперативных требований ведения технологического процесса производства ИЭТ. Внедрение АСУЭ на 52 предприятиях отрасли обеспечит экономию 3,1 тыс. т условного топлива в год.

Одним из источников тепловой энергии может служить использование вторичных энергоресурсов. На промышленных предприятиях вторичное тепло

содержится в вытяжном вентиляционном воздухе, в уходящих газах печей и котельных, в оборотной воде, охлаждающей производственное оборудование, в отдельных видах сточных вод.

Весьма эффективным мероприятием по экономии вторичных энергоресурсов является использование тепла уходящих дымовых газов от стекловаренных печей с помощью котлов-утилизаторов, которые позволяют, утилизируя тепло уходящих газов с температурой 350–400°C, образующихся при сжигании 400 м³ природного газа, получить 1 т пара в час. Наряду с котлами-утилизаторами предполагается использовать тепло уходящих газов стекловаренных печей с помощью теплоутилизаторов ТКП-10. В данном случае нагрев воды до 65°C происходит в две ступени в закрытых теплообменниках. Подогреваемая вода не вступает в контакт с уходящими газами, не загрязняется и может быть использована для горячего водоснабжения в бытовых, технологических и других целях. Расчет показывает, что экономия тепла составит 5,6 ГДж/ч на один теплообменник.

Большое значение имеет утилизация тепла вытяжного воздуха, которая является основным источником снижения эксплуатационных расходов на тепловую обработку наружного приточного воздуха в системах отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. Для этих целей применяются утилизационные системы с регенеративными вращающимися теплообменниками. Передача или отбор тепла в таких теплообменниках осуществляется через ротор, оснащенный ячеистой или сотовой насадкой, выполненной из алюминиевой фольги или других теплопроводных материалов. КПД теплообменника достигает 70%. Вращающиеся теплообменники ВРТ-2, освоённые отраслью, все шире используются на предприятиях. Если вытяжной воздух химически загрязнен, применение вращающихся теплообменников невозможно из-за частичного перетекания этого воздуха в чистый приточный воздух. Тогда целесообразным становится установка других типов теплообменников с промежуточным теплоносителем (чаще всего водный раствор гликоля). Примером является утилизация тепла печного отделения с помощью рекуперативных теплообменников, позволяющая экономить до 20–25% тепла, потребляемого системой отопления и вентиляции.

Существенная экономия вторичных энергоресурсов получается в случае применения схемы испарительного нагрева приточного воздуха в камерах орошения с использованием тепла воды системы оборотного водоснабжения.

Расширение возможностей использования низкопотенциальной энергии воды проектировщики видят сегодня в более широком применении оборотной воды системы отопления. В настоящее время тепло этой воды используется для первой ступени

подогрева воды, идущей на горячее водоснабжение, для подогрева исходной воды, поступающей на ионообменные колонны, и других целей. Проводятся работы по утилизации тепла от энергоёмкого технологического оборудования. Проектные институты отрасли решают вопрос экономии энергоресурсов не только в проектах новостроек, но и на действующих предприятиях.

Последовательное и целенаправленное выполнение программы по экономии энергоресурсов на 1978–1990 гг. позволило сэкономить уже в 1978–1981 гг. в проектах новостроек и реконструкции предприятий отрасли 289 тыс.т условного топлива и тем самым выполнить долгосрочную программу на 60%.

Накопленный опыт убеждает, что существенная экономия энергоресурсов может быть достигнута только при полном использовании всех резервов. Решение этой актуальной проблемы должно в наибольшей мере находить воплощение при комплексном проектировании вновь строящихся и реконструируемых объектов отрасли, а также при разработке проектов технического перевооружения действующих производств.

Статья поступила 13 апреля 1982 г.

УДК 658.26.012.011.56

П. П. Курбацкий, А. Ф. Фузик

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГООБЪЕКТАМИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Разработка и внедрение автоматизированной системы управления энергохозяйством (АСУЭ) является одним из главных направлений экономного и рационального расходования энергетических ресурсов. Задача создания полностью автоматизированного управления энергохозяйством предприятия решается путем поэтапного внедрения средств автоматического регулирования энергообъектами и вычислительной техники. В составе разработанной АСУЭ (рис. 1) 70% функций управления технологическими процессами осуществляется автоматически, а остальные – дистанционно с центрального диспетчерского пункта.

Созданная на базе двух машин централизованного контроля и управления процессами типа "Сокол-1М" АСУЭ предприятия осуществляет централизованный сбор, обработку и отражение информации о состоянии технологических параметров в энергетическом хозяйстве, а также автоматизированное управление энергообъектами предприятия.

Для организации оперативного контроля и управления работой служит центральный диспетчерский пункт,

на котором размещены мозаичный диспетчерский щит, пульт управления энергообъектами и машины централизованного контроля. На диспетчерском щите размещены мнемонические схемы объектов энергохозяйства со встроенными в них световыми индикаторами состояния контролируемых параметров. На этом же щите смонтированы ключи выбора режимов управления соответствующими функциональными группами оборудования и ключи дистанционного управления ими.

Информация об отклонениях от заданных параметров энергоносителя и температурного режима в производственных помещениях поступает на преобразующие устройства машин централизованного контроля и специальное табло допускового контроля, размещенное на пульте диспетчера.

Для оперативного поиска неисправностей, возникающих на объектах, предусмотрено устройство участковой сигнализации, высвечивающей название объектов, где произошли сбои в работе. Дежурный персонал имеет прямую телефонную связь с основными службами энергохозяйства, что обеспечивает оперативное руководство работами по ликвидации аварийных режимов и неисправностей.

В результате внедрения АСУЭ, выполнения комплексных планов и организационно-технических мероприятий при увеличении объемов производства более чем в четыре раза расход электроэнергии увеличился только на 30%, потребление теплотенергии уменьшилось на 9%, удельные нормы потребления тепло- и электроэнергии на 1000 руб. валового выпуска продукции уменьшились соответственно на 59 и 38%. Экономический эффект от использования АСУЭ в течение пятилетки составляет 260 тыс. руб. Кроме того, внедрение АСУЭ позволило высвободить около 120 человек персонала, обслуживающего энергохозяйство предприятия, повысить качество энергоносителей, что способствовало увеличению выхода годных изделий на 2-3%, значительному улучшению условий труда, повышению культуры производства на объектах.

Развитие системы в одиннадцатой пятилетке предполагает освоение и внедрение управляющего вычислительного комплекса УВК СМ-3, параллельное внедрение двух систем цветных мнемосимвольных видеотерминалов "Соди-3" (рис. 2). Ввод в действие новых комплексов более высокого уровня управления объектами и контроля параметров

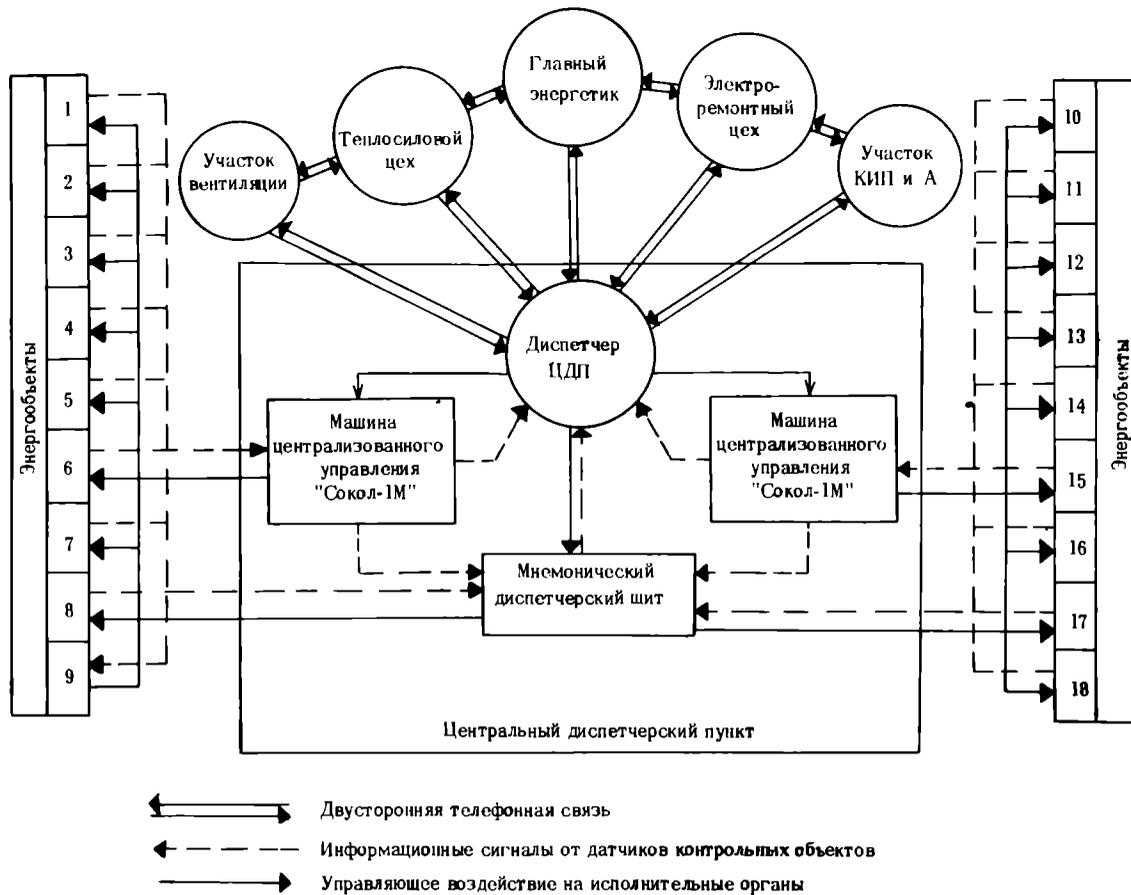


Рис. 1. Структурная схема автоматизированной системы управления энергетическим хозяйством: 1 – система электро-снабжения, 2 – тепловый пункт, 3 – система вентиляции, 4 – кондиционеры, 5 – производственные помещения, 6 – насосная станция смешивания воды, 7 – насосная станция кондиционного водоснабжения, 8 – насосная станция горячего водоснабжения, 9 – насосная станция хозяйственно-производственного водоснабжения, 10 – насосная станция оборотного водоснабжения, 11 – холодильная станция, 12 – воздушно-компрессорная станция, 13 – азотно-компрессорная станция, 14 – гелиевая станция, 15 – участок очистки и осушки газов, 16 – станция деионизованной воды, 17 – станция стабилизации обратной воды, 18 – станция нейтрализации промышленных стоков

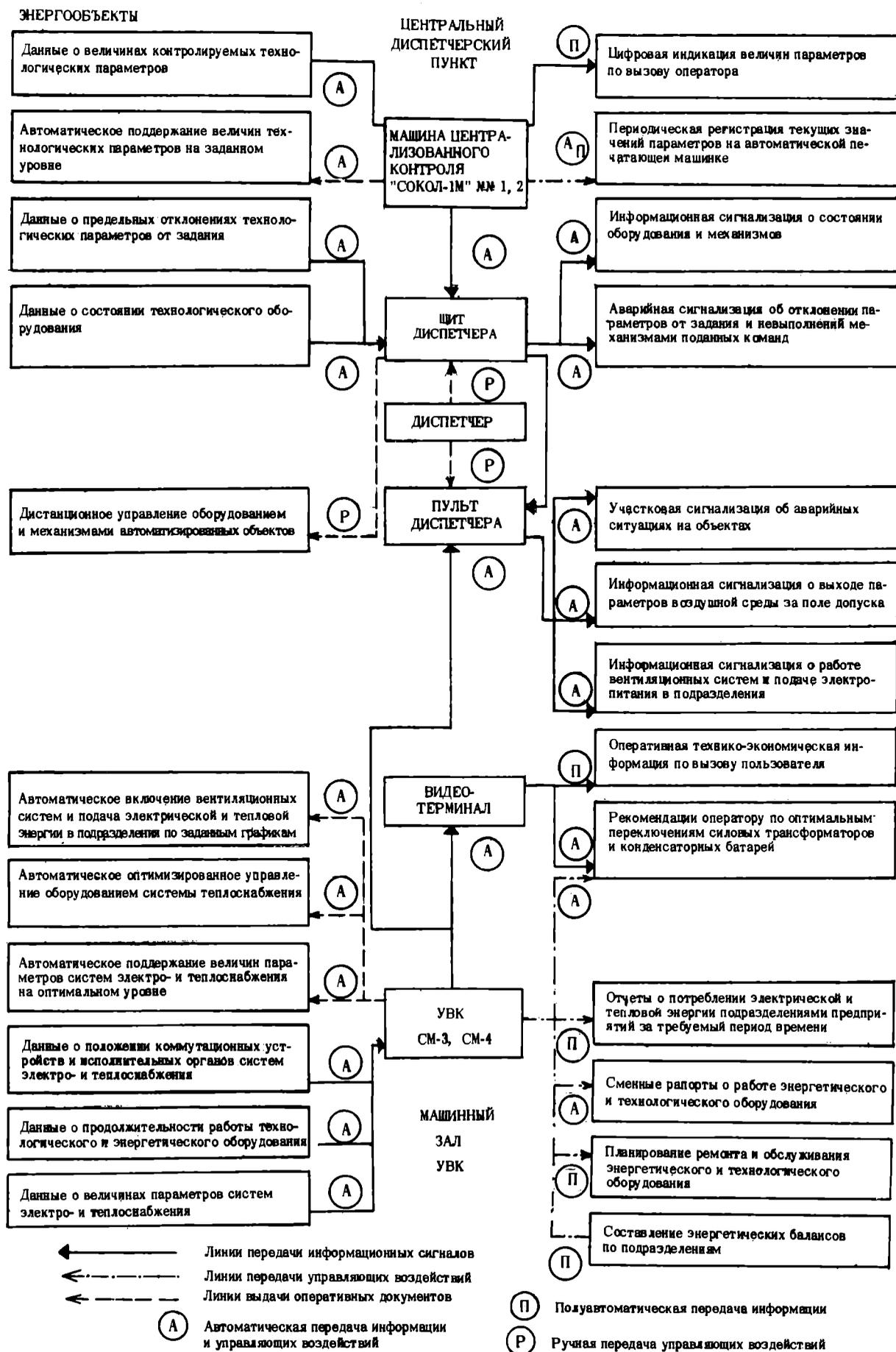


Рис. 2. Схема входных и выходных информационных управляющих потоков в АСУЭ второй очереди

энергоносителей позволит осуществить оптимизацию режимов работы систем энергохозяйства, расчет технико-экономических показателей, автоматический контроль и регулирование величины потребления электроэнергии цехами и предприятиями согласно установленным лимитам с выдачей ежесуточных рапортов, регулирование нагрузок в часы утреннего и вечернего максимума энергосистемы, разработку графиков профилактического ремонта энергооборудования и ряд других задач.

На предприятии создан постоянно действующий совет по внедрению АСУЭ и рациональному использованию энергоресурсов, под постоянным контролем которого находятся мероприятия перспективного развития энергохозяйства на 1981–1985 гг. От выполнения задач развития АСУЭ во многом зависит эффективное использование трудовых ресурсов, основных фондов, топлива, энергии и сырья.

Статья поступила 13 апреля 1982 г.

УДК 658.26:658.012.011.56

**В.Я. Конотол, С.Е. Сердечный,
А.В. Супрун, Ю.А. Челембий**

УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕМ ПРЕДПРИЯТИЯ НА БАЗЕ КОМПЛЕКСНОЙ АСУТП

Один из наиболее эффективных путей совершенствования работы энергетических служб предприятий – создание комплексных АСУТП, основными задачами которых являются повышение качества, экономия энергетических ресурсов и высвобождение обслуживающего персонала. Тенденцией развития АСУТП можно считать расширение масштабов систем – переход от автоматизации управления одним агрегатом к управлению группой агрегатов, а в дальнейшем к управлению предприятием.

При формировании АСУТП в целях эффективной работы необходимо, чтобы она органически вписывалась в организационную структуру энергетической службы предприятия. Этому требованию соответствует созданная на предприятии комплексная трехуровневая АСУТП энергетики, в состав которой входят вычислительный центр и ряд подсистем.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР (рис. 1) имеет двухмашинный комплекс АСВТ-М 6000 с оперативной памятью 32 К каждый, двумя накопителями на МД ИЗОТ 1370, УБП А522-5 и семью дисплейными модулями пользователей ДМ 2000 (ДМ 500). Работает в круглосуточном, непрерывном режиме. Имеет стандартное программное



Рис. 1. обеспечение АСВТ-М 6000 и специальное, выполненное согласно требованиям ДОСРВ-М 6000. Язык программирования – МНЕМОКОД М 6000.

ПОДСИСТЕМА УЧЕТА И КОНТРОЛЯ ПОСТУПАЮЩИХ И РАСХОДУЕМЫХ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ (рис.2) предназначена для своевременного получения достоверной информации о фактическом расходе энергоресурсов подразделениями пред-



Рис. 2.

приятия и осуществления контроля за соблюдением лимитов. Обеспечивает учет и контроль поступающих и расходуемых энергоресурсов и лимитов расхода по каждому потребителю, а также выдачу на дисплей или УБП данных о расходе энергоресурсов за час, смену, сутки, месяц и нарастающим итогом с начала месяца по всем потребителям. Предусмотрены ввод запретов на выдачу информации на любой дисплей пользователя и оперативное изменение формул расчета.

ПОДСИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВОДОСНАБЖЕНИЕМ И ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕМ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОКОВ предназначена для управления насосными станциями первого и второго подъема – хозяйственно-питьевого, оборотного, кондиционного водоснабжения, оборудованием нейтрализации кислотно-щелочных, хромосодер-

жащих и кислотосодержащих промышленных стоков. Предусмотрены с помощью УВК контроль параметров, выявление утечки воды, управление производительностью насосной станции хозяйственно-питьевого водоснабжения.

ПОДСИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВЕНТИЛЯЦИЕЙ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЕМ предназначена для управления системами кондиционирования, приточными и вытяжными вентиляционными установками. С помощью УВК предусмотрен контроль параметров микроклимата в помещениях.

ПОДСИСТЕМА УЧЕТА ТОВАРНО-МАТЕРИАЛЬНЫХ ЦЕННОСТЕЙ предназначена для оперативного учета поступления и расхода товарно-материальных ценностей. Дает информацию службам предприятия о движении материалов и комплектующих изделий, производит их расчет с помощью шифров производственных затрат по складам и по предприятию, расчет оборотной ведомости движения материальных ценностей. В подсистеме предусмотрена выдача информации о движении материалов и комплектующих изделий по складам в любой момент времени на дисплей пользователя или печатающее устройство.

ПОДСИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТУРБОКОМПРЕССОРНОЙ И ХОЛОДИЛЬНОЙ СТАНЦИЯМИ предназначена для управления турбокомпрессорами, установками для очистки воздуха, поршневыми и турбохолодильными. Предусмотрены с помощью УВК определение в режиме совета количества работающих холодильных установок, управление установкой осушки воздуха, расчет удельных энергозатрат, контроль параметров энергоресурсов.

ПОДСИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВОДОРОДНО-КИСЛОРОДНОЙ СТАНЦИЕЙ предназначена для управления электролизерами воды, установками очистки водорода и кислорода. Предусмотрены с помощью УВК регулирование производительности электролизеров, контроль параметров газов, управление электропотреблением.

ПОДСИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕМ (рис. 3) предназначена для управления котлами, водоподготовкой, мазутным хозяйством, тепловыми пунктами. Предусмотрены с помощью УВК контроль и усреднение параметров, определение расхода топлива и воды, теплопроизводительности.

На первом уровне АСУТП осуществляется программно-логическое управление агрегатами, стабилизация энергетических параметров, а также необходимые блокировки и защиты, обеспечивающие работу объектов без обслуживающего персонала; на втором уровне — объединение ряда объектов, агрегатов в подсистему, контроль работы автоматизированных объектов и при необходимости дистанционное управление ими (при

этом дежурный оператор периодически обходит автоматизированные объекты); на третьем уровне — координация работы подсистем, контроль энергетических параметров на рабочих местах и расхода энергоресурсов, выдача корректирующих воздействий на автоматизированные подсистемы и цеха-потребители энергоресурсов с целью оптимизации их расходов. Этот уровень АСУТП возглавляется дежурным инженером-энергетиком, осуществляющим оперативную связь с энергоснабжающими организациями.

Задачи, стоящие перед энергетическими службами предприятия, можно разделить на два класса. Решение задач первого класса обеспечивается на первых двух уровнях АСУТП средствами программно-логического управления, в которые входят комплексы технических средств КМ2401, СМ-1800. Решение задач второго класса требует обработки большого количества информации и решается с помощью средств вычислительной техники (двухпроцессорного вычислительного комплекса АСВТ М-6000). К этим задачам, кроме контроля энергетических параметров и учета расхода, относится расчет фактического и планового удельного потребления энергоресурсов, а также оптимизация энергопотребления и максимальной часовой нагрузки. Вычислительный комплекс АСУТП энергетики работает в многозадачном режиме, в реальном масштабе времени.

Для контроля параметров энергоносителей у потребителей, удаленных от вычислительного комплекса, оборудованы периферийные пункты сбора и предварительной обработки информации средствами АСВТ М-6000М, позволяющие принимать сигналы от датчиков по радиальным линиям связи, предварительно обрабатывать их и передавать двухпроцессорному УВК центрального пункта контроля по уплотненной линии связи с помощью модулей быстрой передачи данных.

Периферийные пункты сбора информации принимают следующие виды сигналов: сухой контакт — для сигнализации отклонений от нормы давления, влажности, чистоты газов, загазованности поме-



Рис. 3.

шений и др.; аналоговые – для текущего измерения величины параметра; число-импульсные – для измерения расхода, применение которых обусловлено необходимостью снижения машинного времени на обработку канала, повышения точности интегрального измерения и помехоустойчивости.

Для измерения и ввода в УВК данных о расходах газов были модернизированы серийно-выпускаемые комплекты приборов измерения расхода (путем замены камерных диафрагм струйными преобразователями и доработки вторичного прибора с целью выдачи число-импульсного сигнала).

Поступающие на третий уровень АСУТП сигналы подвергаются обработке в двухпроцессорном УВК АСВТ М-6000М по заложенной программе, результаты обработки выдаются главному энергетнику, дежурному энергетнику, операторам подсистем по инициативе УВК или по запросу пользователей.

С целью контроля соблюдения нормативных расходов энергоресурсов важно иметь о них объективную и своевременную информацию. В связи с этим необходимо обеспечить дифференцированный учет расхода энергоресурсов по цехам и выделение их в соответствии со статьями энергобаланса. Функции должностных лиц, ответственных за потребление электроэнергии, распределены в организационной структуре предприятия следующим образом (см. таблицу):

Должность	Обязанности и ответственность	Права	Необходимая информация для принятия решения
Главный энергетик	Соблюдение лимитов потребления по заводу. Соблюдение часового лимита и удельных норм потребления по заводу	Распределение лимитов по цехам. Разработка системы ограничений	Потребление энергоресурсов за месяц, сутки, час. Сравнение максимальных мощностей с лимитом. Удельное потребление энергоресурсов на единицу продукции
Дежурный инженер-энергетик	Регистрация оперативной информации Соблюдение сменного и часового лимита потребления и часового лимита мощности по заводу	Введение ограничений в соответствии с утвержденными очередями разгрузки. Оперативные отключения подразделений, не соблюдающих лимит	Информация для главного энергетика. Часовое потребление энергоресурсов по цехам. Максимальная мощность по цехам и по заводу
Начальники цехов (участков)	Соблюдение сменных, суточных и месячных лимитов и максимальной мощности по цеху (участку)	Отключение незагруженного оборудования	Данные о потреблении энергоресурсов по цеху, за смену, сутки, месяц

Система учета электроэнергии должна выдавать оперативную информацию о расходе электроэнергии в виде таблиц ежемесячно во все подразделения предприятия, вычислять удельные расходы электроэнергии за месяц по цехам на основное производство и на выработку собственных энергоресурсов (воздух, тепло, газы и т.д.). При этом начальники цехов, получая ежедневно данные о расходе электроэнергии за смену и нарастающим итогом с начала месяца, могут заблаговременно определить, каким образом организовать работу цеха, чтобы довести потребление энергии до установленной нормы.

Дежурный энергетик, получая через дисплейные модули данные о максимальных нагрузках, может изменять работу цехов, не соблюдающих нормативные режимы разгрузки.

В соответствии с этими задачами на базе двухмашинного вычислительного комплекса АСВТ М-6000, работающего в реальном времени, организована автоматизированная система учета электроэнергии.

В связи с частыми перепланировками цехов из-за постоянного роста объемов производства и освоения новых изделий единственно возможным вариантом организации учета по цехам является установка счетчиков по каждому распределительному пункту. В таком случае достоверные данные о расходе электроэнергии по цеху можно получить в результате сложения показаний счетчиков, установленных в распределительных пунктах, питающих оборудование цеха и вычитая показания счетчиков отходящих линий.

Для сбора и передачи информации применены серийно выпускаемые счетчики К-672Д с датчиком импульсов. Ряд ранее используемых счетчиков модернизирован с помощью установки в них датчика импульсов.

Информация от счетчиков поступает на групповые пункты сбора информации. При этом импульсы от счетчиков поступают на формирователи импульсов, где они формируются по фронту и уровню, который соответствует требованиям, предъявляемым штатными модулями комплекса АСВТ. Импульсы накапливаются в модулях ввода число-импульсных сигналов (МВвЧИС) и при их переполнении (более 1024) формируется инициативный сигнал, после чего процессор с помощью счетчика считывает данные. МВвЧИС является буферным устройством. Работая непосредственно с датчиком, он разгружает процессор от переработки излишней информации. Модули связаны с УВК посредством серийно выпускаемых блоков АСВТ, обеспечивающих передачу данных по коаксиальному кабелю на расстояние до 1 км. В вычислительном комплексе информация обрабатывается по специальной программе, после чего в виде файлов записывается в накопителе на магнитных дисках и выводится на дисплей (ДМ-2000), а

также может документироваться на устройстве быстрой печати.

При нарушении лимитов информация выводится на щит мнемосхем и пульт дежурного энергетика в виде звуковых и световых сигналов. Программа обработки данных предусматривает масштабирование, учет коэффициентов счетчиков, формирование необходимых документов. В случае изменения схемы учета из-за перепланировки цехов программа может быть откорректирована оператором с пульта управления вычислительного комплекса без остановки системы. Предусмотрен контроль работоспособности счетчиков, линий связи, формирователей импульсов.

Взаиморезервирование УВК обеспечивает высокую надежность системы. Основные формы документов, выводимых на дисплеи пользователей, а также устройство быстрой печати служат для выдачи данных в виде таблиц о потреблении каждым цехом электроэнергии, а также о потреблении электроэнергии для производства энергоресурсов (сжатого воздуха, кислорода, теплоты и др.).

По запросу пользователя системы (с учетом приоритета) выдаются данные о получасовых максимальных нагрузках и тангенсе мощности. Накопленные устойчивые статистические данные могут быть в дальнейшем использованы для построения методами математической статистики модели энергопотребления предприятия.

Создание комплексной АСУТП энергетики предприятия позволило повысить стабильность и качество подаваемых в цеха энергоресурсов, высвободить 80% оперативного обслуживающего персонала и улучшить условия труда работников энергетической службы, обеспечить непрерывный контроль параметров энергоресурсов в сетях и на производственных участках, создать единый банк данных по потреблению и расходу энергетических ресурсов предприятием и его подразделениями. В результате внедрения АСУТП получена годовая экономия электроэнергии 3169,2 тыс.кВт·ч, воды 251,9 тыс.м³, газа 635 тыс.м³.

Статья поступила 14 июля 1982 г.

УДК 536.24

А.А.Егоркин, А.Ф.Пичугин

СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ РАСХОДА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

Анализ расхода тепловой энергии показывает, что в зависимости от характера производства на отопление затрачивается от 15 до 43% тепла, на приточную вентиляцию и кондиционирование — от 35 до 76%, на горячее водоснабжение — от 10

до 35%, на технологические нужды — от 5 до 52%. Надежными средствами экономии тепловой энергии является автоматизация расхода тепла, идущего на отопление, вентиляцию, кондиционирование и технологические нужды, а также утилизация тепловой энергии воздуха, удаляемого из помещения.

Среди технических средств, позволяющих автоматизировать расход тепла, а также использовать низкопотенциальное тепло вентиляционных выбросов разработаны и серийно выпускаются электронный регулятор температуры (ЭРТ), вращающийся регенеративный теплообменник, стационарный и рекуперативный теплообменник.

Регулятор температуры (рис. 1) предназначен для автоматической подачи тепловой энергии, регулирования температуры теплоносителя кондиционеров и установок приточной вентиляции, регулирования температуры воды для горячего водоснабжения, а также для регулирования расхода теплоносителя в технологических процессах.

Максимальная температура рабочей среды, °С	150
Максимальное давление рабочей среды, МПа	1,6
Время перехода выходного вала исполнительного механизма из положения ОТКРЫТО в положение ЗАКРЫТО, с	17
Пропускная способность клапана, м ³ /ч	2,5–6,3
Чувствительность, Ом	0,5
Период повторения выходных импульсов, с	5–100
Длительность выходных импульсов, с	0,35–1,7

При автоматическом регулировании температуры воды (рис. 2) датчик температуры устанавливается на трубопроводе горячего водоснабжения. Сигнал от него идет на ЭРТ, расположенный на трубопроводе сетевой воды. При уменьшении



Рис. 1. Электронный регулятор температуры: 1 — электронный блок; 2 — исполнительный механизм; 3 — регулирующий клапан

(увеличении) температуры ниже (выше) заданной регулятор увеличивает (уменьшает) расход сетевой воды до заданной температуры горячей воды.

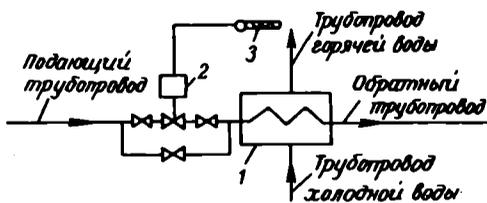


Рис. 2. Схема автоматического регулирования температуры воды: 1 – подогреватель; 2 – ЭРТ; 3 – термосопротивление

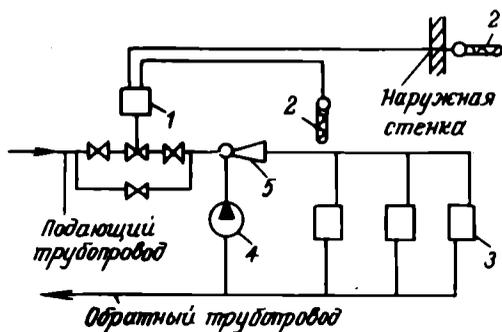


Рис. 3. Схема автоматического регулирования расхода тепла на отопление: 1 – ЭРТ; 2 – термосопротивление; 3 – приборы отопления; 4 – насос смещения; 5 – элеватор

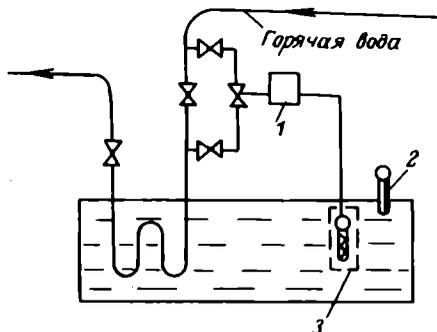


Рис. 4. Схема автоматического регулирования температуры электролита в гальванических ваннах: 1 – ЭРТ; 2 – ртутный термометр; 3 – термосопротивление в титановом чехле

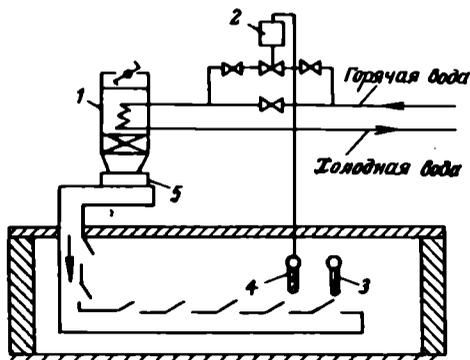


Рис. 5. Схема автоматического регулирования температуры в сушильной камере: 1 – калорифер; 2 – ЭРТ; 3 – ртутный термометр; 4 – термосопротивление

Схема автоматического регулирования температуры приточного воздуха аналогична приведенной на рис. 2. По сигналам датчика, установленного в потоке подогретого воздуха, ЭРТ управляет расходом сетевой воды.

Автоматическое регулирование расхода тепла на отопление (рис. 3) осуществляется при установке насоса на "перемычке", ЭРТ – на подающем трубопроводе, датчиков температуры – на подающем трубопроводе после узла смешения и на наружной стороне здания. Дополнительный водяной элеватор позволяет при температуре наружного воздуха, которая меньше температуры, соответствующей точке излома отопительного графика, отключать насос.

В схеме автоматического регулирования температуры электролита в гальванических ваннах (рис. 4) электронный регулятор поддерживает заданную температуру, оказывая влияние на расход теплоносителя. Другим примером использования ЭРТ служит устройство автоматического регулирования температуры в сушильной камере (рис. 5).

Приведенные примеры не исчерпывают области применения ЭРТ в народном хозяйстве. Экономический эффект от применения одного ЭРТ в зависимости от климатических условий и теплотехнических схем составляет 10–50 т условного топлива в год.

Вращающийся регенеративный теплообменник ВРТ-2 (рис. 6) предназначен для утилизации тепловой энергии удаляемого из помещения воздуха с температурой до 60°C. Теплообменник в качестве вспомогательного оборудования служит для уменьшения тепло- и холодопроизводительности основных воздухоприготовительных устройств.

Диапазон температуры воздушных потоков, °С	от -35 до +60
Расход воздуха по одному потоку, м ³ /ч	20000
Аэродинамическое сопротивление, Па	200
Термический КПД	0,73
Потребляемая мощность, кВт	0,55
Напряжение питания привода, В	380
Скорость вращения ротора, об/мин	10
Габаритные размеры, мм	2200×500×2230

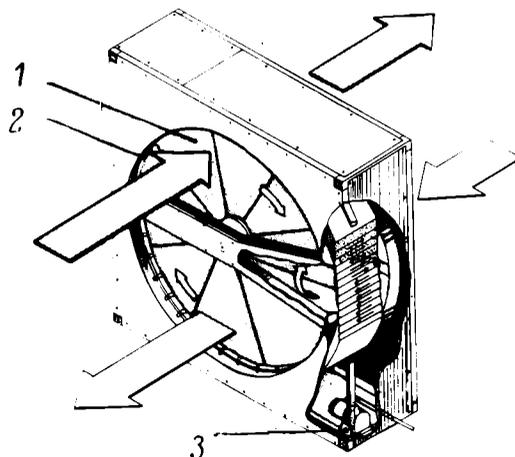


Рис. 6. Вращающийся регенеративный теплообменник ВРТ-2

Корпус теплообменника 2 сборно-сварной. Боковые и торцевые стенки закрыты стальным листом. В нижней части корпуса расположен привод 3, состоящий из асинхронного двигателя, червячного редуктора и клиноременной передачи. Ротор состоит из обечайки, внутри которой расположена теплоаккумулирующая насадка 1, выполненная из чередующихся гофрированных и плоских полос алюминиевой фольги толщиной 0,15 мм, намотанных на втулку ротора.

Удаляемый из помещения вытяжным вентилятором воздух проходит через один из секторов насадки ротора и отдает ему часть тепла. При перемещении нагретой части насадки в потоке приточного воздуха происходит его нагрев. В летний период удаляемый холодный воздух из кондиционируемого помещения используется для предварительного охлаждения приточного воздуха. Экономический эффект от применения ВРТ-2 в зависимости от климатических и производственных условий составляет 50–200 т условного топлива в год.

Стационарный рекуперативный теплообменник (рис. 7) предназначен для подогрева (охлаждения) приточного воздуха за счет использования тепла (холода) удаляемого воздуха в системе приточно-вытяжной вентиляции и кондиционирования воздуха. В каркасе 1 теплообменника расположен теплообменный блок 2, представляющий собой пластинчатый теплообменник из алюминиевой фольги толщиной 0,2 мм.

Диапазон температуры воздушных потоков, °С	..... от -25 до +60
Расход воздуха по одному потоку, м ³ /ч	..... 2100
Площадь поверхности теплообмена, м ²	..... 20
Термический КПД	..... 0,5
Аэродинамическое сопротивление, Па	..... 50
Габаритные размеры, мм	..... 300×700×500

Удаляемый из помещения вытяжным вентилятором воздух проходит через щелевые зазоры теплообменника и отдает часть тепла через пластины приточному воздуху. В отличие от регенеративных теплообменников рекуперативные теп-

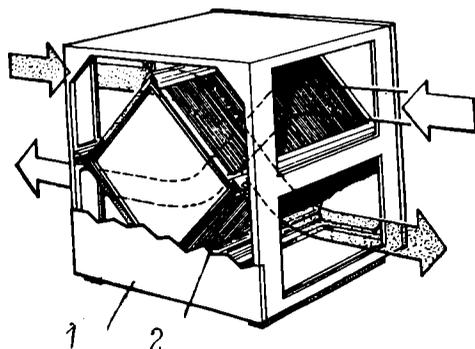


Рис. 7. Стационарный рекуперативный теплообменник

лообменники могут устанавливаться в системах приточно-вытяжной вентиляции промышленных предприятий с вредными условиями работы: в гальванических и кузнечных цехах, в цехах, изготавливающих детали из пластмасс, в помещениях с повышенной влажностью и т.д.

Экономический эффект от применения одного рекуперативного теплообменника в зависимости от климатических и производственных условий составляет 2–10 т условного топлива в год.

Статья поступила 13 апреля 1982 г.

УДК 536.27

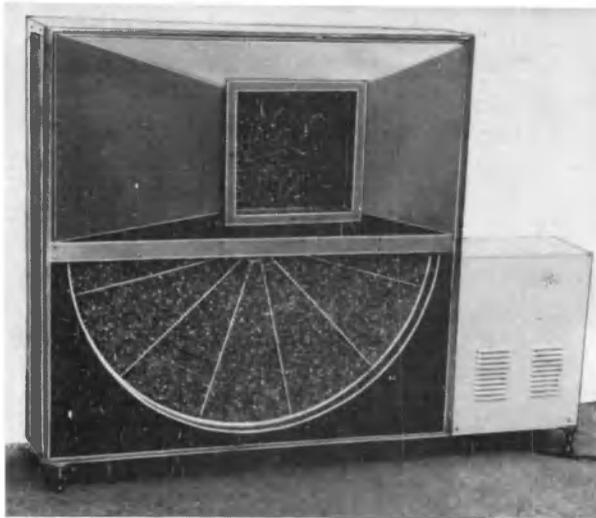
Н. Е. Фомин

РЕГЕНЕРАТИВНЫЕ ТЕПЛООБМЕННИКИ

Системы приточной вентиляции и кондиционирования воздуха на предприятиях нередко потребляют более половины всей расходуемой энергии, унося большое количество тепла с потоком воздуха. Задачу отбора и возвращения тепла можно решить при использовании регенеративных теплообменников. Например, теплообменник типа ВРТ-2 производительностью 20 000 м³/ч с теплоаккумулирующей насадкой из алюминиевой фольги толщиной 0,08 мм возвращает до 86% тепла. Использование вместо фольги алюминиевой стружки, являющейся отходами производства, позволяет в несколько раз уменьшить затраты на изготовление ротора и сэкономить дорогостоящий и дефицитный алюминий. Коэффициент теплопередачи такого теплообменника составляет 75–80%. Использование ВРТ-2 с теплоаккумулирующей насадкой из алюминиевой стружки в системе вентиляции в течение трех лет обеспечило экономию 4800 ГДж энергии, а затраты на его изготовление окупались в течение 5,5 месяцев.

Технико-экономические показатели теплообменников

	ВРТ-2	ВРТ-1
Диаметр ротора, мм	2000	1000
Толщина теплоаккумулирующей насадки, мм	200	200
Скорость вращения ротора, об/мин	10,5	10,5
Мощность двигателя привода, кВт	0,55	0,27
Максимальная производительность (по воздуху), м ³ /ч	20000	10000
Давление воздуха, МПа	1–1,5	1–1,5
Температура при максимальном тепловом напоре, °С	19,5	19,5
Расход тепла на 1 кг сухого воздуха при температуре вытяжного воздуха 23–24°С, кДж	20	20
Тепловой эффект, Дж/ч	320	240
Годовой экономический эффект, т усл. топлива	50	40
Эксплуатационные расходы, руб./год	42	37
Срок окупаемости, мес.	4	4



Вращающийся регенеративный теплообменник ВРТ-1

В связи с тем, что производительность вентиляционных систем, установленных на промышленных предприятиях, как правило, меньше $20000 \text{ м}^3/\text{ч}$, возникла необходимость в разработке малогабаритного регенеративного теплообменника. Вращающийся регенеративный теплообменник ВРТ-1 (см. рисунок) производительностью $10\,000 \text{ м}^3/\text{ч}$ рассчитан на установку в системе приточной вентиляции.

Статья поступила 13 апреля 1982 г.

УДК 621.383.062.8

Н.В.Безгин, О.Ф.Кирпу, С.С.Попов

АВТОМАТИЧЕСКИЙ ФОТОВЫКЛЮЧАТЕЛЬ ФВ-2 ДЛЯ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК



Фотовыключатель ФВ-2 предназначен для автоматического управления наружным освещением в зависимости от уровня естественной освещенности.

Освещенность, лк

при включении нагрузки $1,3 \pm 1$

при отключении нагрузки 7 ± 2

Мощность коммутируемой нагрузки, кВт 13

Температура окружающей среды, °С от -40 до +40

Потребляемая мощность, В · А 35

Напряжение питания, В 220 (50 Гц)

Масса, кг 5

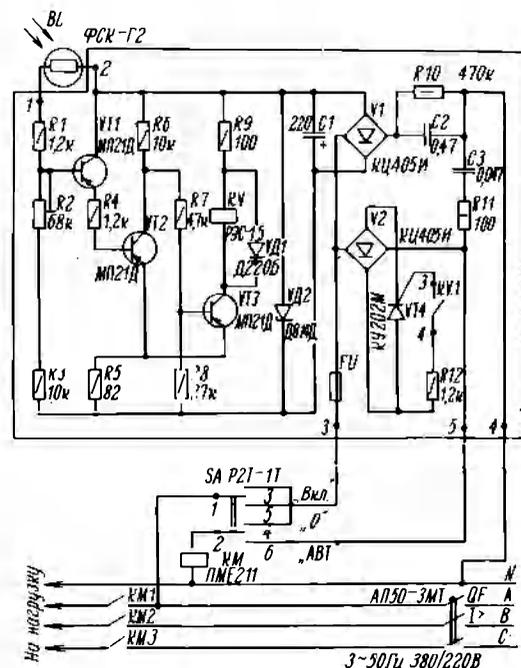
Габаритные размеры, мм $325 \times 280 \times 150$

В основе работы выключателя (см. рисунок) лежит принцип изменения сопротивления фотодатчика в зависимости от освещенности. В качестве датчика используется фоторезистор ФСК-ГА. Прибор состоит из автоматического выключателя QF, триггера Шмитта на транзисторах VT1, VT2, VT3, мостового тиристорного ключа на выпрямительном блоке V1, тиристора VT4 и магнитного пускателя КМ. Управление тиристорным ключом осуществляется контактами реле типа РЭС-15.

Прибор ориентирован на применение в составе сельскохозяйственных объектов (в том числе в животноводческих комплексах и в наружных электроустановках), поэтому он имеет ряд специфических особенностей:

- максимально упрощены монтаж и подключение к электрическим сетям, что не требует привлечения электротехнического персонала высокой квалификации;

- предусмотрен полный комплект коммутирующих устройств, обеспечивающих непосредственное и дистанционное автоматическое и ручное включение и отключение осветительной нагрузки;



Принципиальная электрическая схема фотовыключателя ФВ-2

— обеспечена автоматическая защита от перегрузок и коротких замыканий в осветительных сетях;

— предусмотрена плавная регулировка порогов освещенности (до $\pm 50\%$ нормированных значений), что делает практически неограниченным круг сельскохозяйственных объектов, освещением которых можно управлять с помощью фотовыключателя ФВ-2.

Применение одного фотовыключателя на объектах сельского хозяйства позволяет экономить до 1,6 тыс. кВт·ч электроэнергии в год.

Конструктивные особенности прибора не ограничивают возможности использования его на объектах промышленности, транспорта, строительства, если управление освещением реализуется в зависимости от уровня естественной освещенности.

Статья поступила 13 апреля 1982 г.

УДК 62-69:621.38

В.М.Елагин, А.А.Неизвестнов

ЭЛЕКТРОННЫЙ РЕГУЛЯТОР ОТОПЛЕНИЯ «ЭЛЕКТРОНИКА Р-1М»

С целью экономии тепла и воды целесообразно автоматизировать подачу тепла на отопление путем установки на тепловые вводы струйных насосов (гидроэлеваторов) с регулируемым сечением сопла [1–4]. Установлено, что экономия тепла от их внедрения составляет 15–25% за отопительный период. Программное регулирование подачи тепла с понижением температуры в ночное время в жилых помещениях и в нерабочее время в производственных и административных зданиях дает дополнительную экономию тепла до 10–12% [5,6].

Электронные регуляторы отопления, включающие электронное устройство, исполнительный механизм и гидроэлеватор, создавались из элементов, серийно выпускаемых промышленностью. Использовались, например, регуляторы температуры типа РПИВ-2С, ПТР-17-04, Р-25 и исполнительные механизмы типа ПР-1М, БС-2, ИМ-2/120. В качестве датчиков температуры применялись терморезисторы.

Электронный регулятор "Электроника Р-1М" (рис. 1) представляет собой устройство для автоматического регулирования температуры в отопительных системах жилых и производственных зданий. Электронный блок 1, включающий печатную плату с компонентами схемы и панель управления, на которой расположены пускорегулирующие элементы, установлен при помощи стоек на литом корпусе исполнительного механизма 2. На корпусе, кроме того, установлен приводной электродвигатель и блок конечных выключателей. Внутри корпуса находится редуктор с выходом на винтовую передачу, осуществляющую поступательное

перемещение штока со сменным наконечником 6 относительно штока 5.

Максимальный расчетный ход штока — 20 мм, скорость перемещения — 3,8 мм/мин. Привод осуществляется тихоходным малогабаритным синхронным электродвигателем мощностью 5 В.А и частотой вращения 375 об/мин. Струйный насос 4 стыкуется на резьбовом соединении с исполнительным механизмом. Уплотнение штока осуществляется подпружиненными манжетами, расположенными в уплотнительном узле 3. В комплект регулятора входят датчики температуры смешанной воды 8 и температуры наружного воздуха 7. Манжеты изготавливаются из наполненного графитом фторопласта Ф4ГЗ, что позволило при весьма низких потерях мощности на трение получить на надежно работающее уплотнение при давлении 2,4 МПа и температуре 155°C. Перемещение штока с наконечником приводит к изменению выходного сечения сопла гидроэлеватора и, как следствие, к изменению коэффициента смешения — отношения массового расхода инжектируемой и сетевой воды. Как видно из графика, представленного на рис. 2, при перемещении наконечника на 14 мм (т.е. на 2 мм меньше, чем требуется для полного закрытия сопла) коэффициент смешения составляет в среднем 7. Эти данные получены экспериментально для регулятора, у которого проходное сечение сопла — 6 мм, а диаметр камеры смешения — 20 мм.

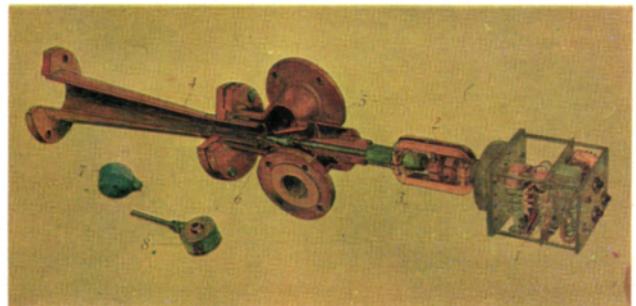


Рис. 1. Электронный регулятор отопления "Электроника Р-1М"

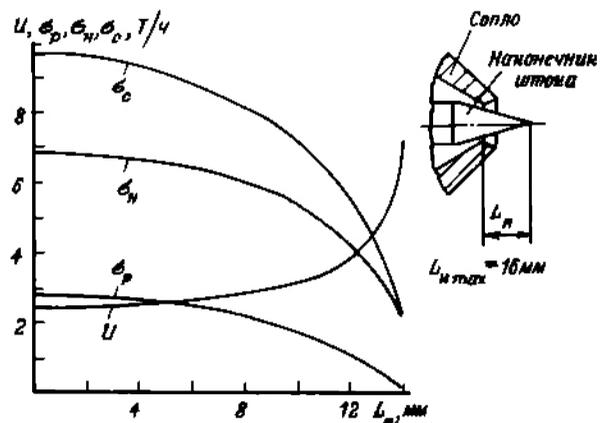


Рис. 2. Зависимость массовых расходов сетевой σ_p , инжектируемой σ_n и смешанной σ_s воды и коэффициента смешения α от положения регулирующего наконечника относительно выходного сечения сопла

Основной гидродинамической характеристикой струйных насосов является относительный перепад давлений, который они могут создать в зависимости от величины коэффициента смешения μ . Экспериментальные характеристики разработанных струйных насосов (рис. 3) близки к теоретическим характеристикам, рассчитанным по методике, приведенной в работе [7]. В таблице представлены основные технические характеристики различных струйных насосов регулятора "Электроника Р-1М".

Тип струйного насоса	Максимальная теплопроизводительность, ГДж/ч ($\pm 15\%$)	Диаметр сопла, мм	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
1	0,4	6	965 × 160 × 220	21
2	0,8	8	965 × 160 × 220	21
3	1,2	10	1130 × 195 × 285	32
4	1,72	12	1130 × 195 × 285	32
5	2,32	14	1225 × 215 × 325	54
6	3,04	16	1225 × 215 × 325	54
7	3,88	18	1225 × 215 × 325	54

Серийно выпускается регулятор "Электроника Р-1М" четырех типоразмеров, имеющих максимальную теплопроизводительность 0,4; 1,2; 1,72; 3,04 ГДж/ч. В регуляторах "Электроника Р-1М" зна-

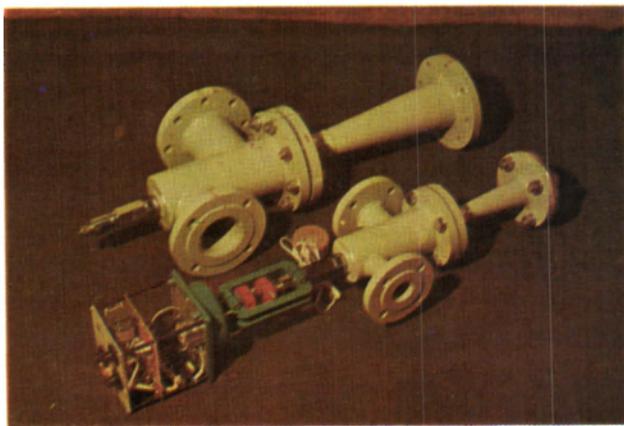


Рис. 3. Струйные насосы № 1 и № 6 регулятора "Электроника Р-1М"

чительно уменьшен консольный вылет регулирующего штока и применен корректирующий электронный блок, позволяющий автоматически, с большой точностью поддерживать температуру воды в системе отопления в соответствии с отопительным графиком энергопоставляющей организации. Датчиком температуры наружного воздуха служит терморезистор СТ4-16, датчиком температуры смешанной воды – терморезистор СТ4-17. Из-за нелинейности характеристик терморезисторов точность поддержания температуры смешанной воды составляет $\pm 2,5^\circ\text{C}$.

Описанный регулятор является модифицированным вариантом электронного регулятора отопления "Электроника Р-1", который по сравнению с манометрическим регулятором РТК-ЭР1 обладает рядом эксплуатационных преимуществ. Электронная схема регулятора, осуществляющая пропорционально-интегральный закон регулирования, позволяет установить индивидуальный отопительный график, обеспечивающий наиболее экономичный и комфортный тепловой режим для каждого конкретного здания. Регулятор пригоден для пофасадного регулирования и дает возможность осуществить автоматическое или ручное дистанционное снижение температуры воды отопительной системы в ночное время и в нерабочие дни. Электромеханический привод штока с регулирующим наконечником не создает ограничений как по длине хода, так и по усилию. Это важное качество способствует созданию рациональной конструкции струйных насосов с оптимальными гидравлическими характеристиками.

Регулятор "Электроника Р-1М" включается в отопительную систему по схеме, которая не отличается от схемы включения нерегулируемых гидрозаводов (рис. 4). Регулирование тепла в этом случае осуществляется по температуре смешанной воды. Рекомендуется во избежание возможной гидравлической разрегулировки отопительной системы из-за снижения расхода циркулирующей воды при больших значениях коэффициента μ осуществлять регулирование подачи тепла по температуре обратной воды. Надо иметь в виду, что в этом случае качество регулирования ухудшится из-за заметного возрастания постоянной времени регулирования.

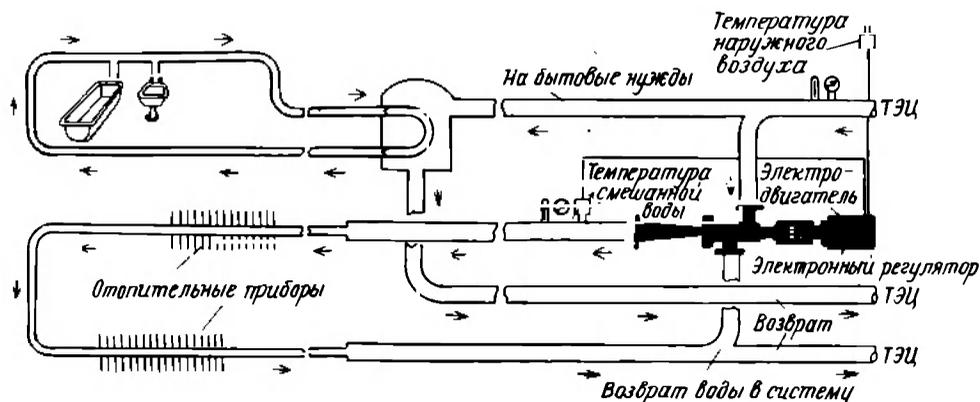


Рис. 4. Схема включения регулятора в отопительную систему

На рис. 5 приведены графики расхода сетевой воды и тепла систем отопления двенадцати-этажного дома с регулятором "Электроника Р-1" и с нерегулируемым элеваторным вводом. В установившемся режиме расходы воды и тепла в обеих системах были приблизительно одинаковы. При скачкообразном увеличении напора и температуры сетевой воды на 10°C происходит сначала одинаковое повышение расхода тепла и сетевой воды, затем в системе с регулятором "Электроника Р-1" эти параметры принимают исходное значение, а в системе с нерегулируемым вводом сохраняют завышенное значение, что приводит к перерасходу тепла на 22%. Дальнейшее повышение температуры в трубопроводе тепловой сети от 75 до 87°C при неизменной температуре наружного воздуха повышает расход тепла в нерегулируемой системе на 50%.

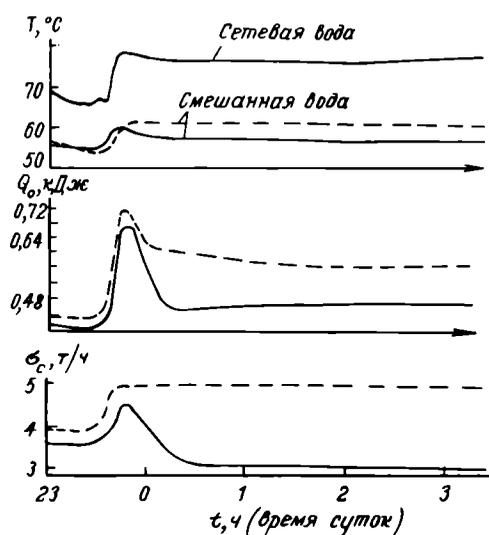


Рис. 5. Влияние изменения температуры сетевой воды на режим работы систем отопления с автоматическим регулятором (—), без автоматического регулятора (---): T — температура смешанной воды; Q_0 — расход тепла на отопление; σ_p — расход сетевой воды

Эксплуатация регуляторов "Электроника Р-1" в тепловых сетях в течение двух лет показала высокую надежность отдельных узлов и устройства в целом. Экономия тепла от внедрения этих регуляторов составляет 15% годового потребления, а с использованием понижения температуры ночью в жилых зданиях 20–22%. Дополнительную экономию тепла можно получить благодаря повышенной точности поддержания регулятором заданного температурного графика и применения его для пофасадного регулирования, учитывающего воздействие ветра и солнечного тепла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Копьев С. Ф., Воронков Н. А., Сафонов А. П. Экспериментальное исследование элеватора с регулируемым выходным сечением сопла. — Водоснабжение и санитарная техника, 1972, № 9, с. 25–28.
2. Громов Н. К. Применение элеваторов в системах теплоснабжения от ЦТП. — Водоснабжение и санитарная техника, 1976, № 7, с. 27–29.

3. Давыдов Ю. С., Давыдов М. Ю. Применение регулируемых гидроэлеваторов. — Водоснабжение и санитарная техника, 1977, № 5, с. 19–22.

4. Воронкова Н. А., Сафонов А. П. Исследование режима работы автоматического регулятора на отопительном вводе. — Водоснабжение и санитарная техника, 1977, № 6, с. 18–19.

5. Сафонов А. П., Шиповских И. А. Автоматизированные системы отпуска тепла на отопление с программным регулированием. — Водоснабжение и санитарная техника, 1975, № 9, с. 30–31.

6. Чистович С. А., Мелентьев А. П. О внедрении программного отпуска тепла. — Водоснабжение и санитарная техника, 1974, № 8, с. 25–28.

7. Соколов Е. А., Зингер Н. М. Струйные аппараты. — М., Энергия, 1970. — 287 с.

Статья поступила 22 апреля 1982 г.

УДК 536.58

И. Д. Колотило, Л. И. Теплов

ЭЛЕКТРОННЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ ТЕМПЕРАТУРЫ

Одним из направлений рационального использования тепловой энергии в системах горячего водоснабжения, отопления, вентиляции и технологического оборудования является применение электронных регуляторов температуры (ЭРТ). Их можно использовать в установках теплоснабжения с теплоносителем в виде воды и пара при температуре не более 150°C и давлении 1,6 МПа.

Регулятор ЭРТ-1 (рис. 1, 2), установленный на водоподогревателях, дает возможность исключить перегрев горячей воды; стабилизировать температуру в пределах $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$, прекратить или уменьшить подачу теплоносителя при прекращении или уменьшении потребления горячей воды.

Применение регулятора ЭРТ-2 (рис. 3) в системах регулирования температуры воздуха (рис. 4, а и б) позволяет устранить перегрев помещений; поддерживать заданную температуру воздуха с погрешностью не более $\pm 2^{\circ}\text{C}$ независимо от изменения температуры окружающей среды; исключить замораживание калорифера при понижении температуры теплоносителя, при выходе из строя регулятора, при резком понижении температуры наружного воздуха; автоматически снизить температуру в помещении в нерабочее время и повысить до заданной в рабочее (при комплектации электронного блока таймером).

При понижении температуры окружающего воздуха для поддержания постоянной температуры подогретого воздуха электронный блок подает команду исполнительному механизму на увеличение подачи теплоносителя на калорифер. При повышении температуры воздуха электронный блок дает команду исполнительному механизму на уменьшение подачи теплоносителя вплоть до полного прекращения.

Система автоматического регулирования отопления (рис.5) предусматривает автоматическое регулирование смешанной воды в зависимости от температуры наружного воздуха и исключает перегрев здания, особенно в переходный осенне-весенний период.

При понижении температуры наружного воздуха по сигналу от датчиков электронный блок дает



Рис.1. Электронный регулятор температуры ЗРТ-1

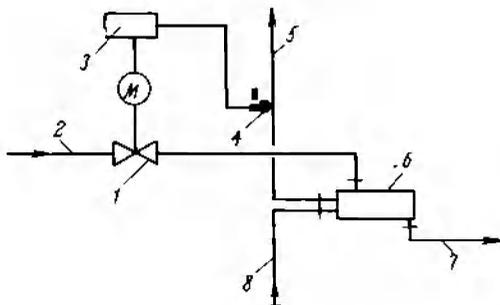


Рис. 2. Схема регулирования подогрева воды: 1 – исполнительный механизм; 2 – подающий трубопровод; 3 – электронный блок; 4 – датчик температуры; 5 – подогретая вода; 6 – теплообменник; 7 – обратный трубопровод; 8 – холодная вода



Рис.3. Электронный регулятор температуры ЗРТ-2 с выносной электронной частью

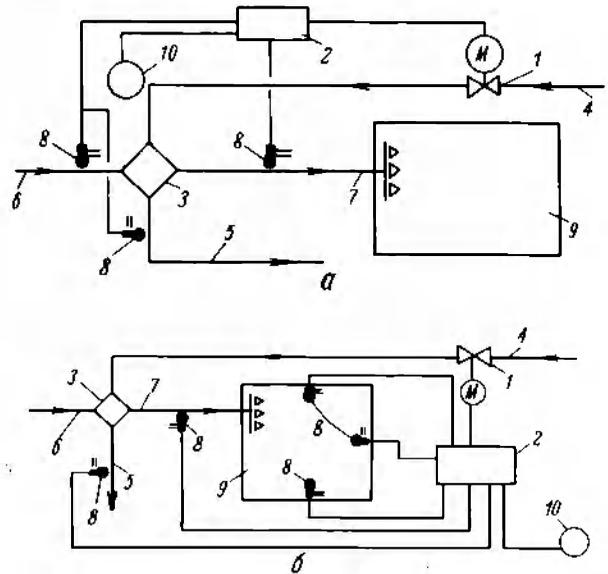


Рис. 4. Схема автоматического регулирования температуры воздуха в помещениях с малым (а) и большим (б) выделением тепла: 1 – исполнительный механизм; 2 – электронный блок; 3 – калорифер; 4 – подающий трубопровод; 5 – обратный трубопровод; 6 – холодный воздух; 7 – подогретый воздух; 8 – датчики температуры; 9 – помещение с регулируемой температурой; 10 – вентилятор

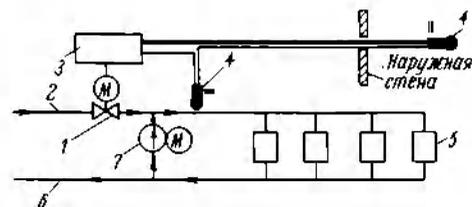


Рис. 5. Схема автоматического регулирования отопления: 1 – исполнительный механизм; 2 – подающий трубопровод; 3 – электронный блок; 4 – датчики температуры; 5 – приборы отопления; 6 – обратный трубопровод; 7 – насос смещения

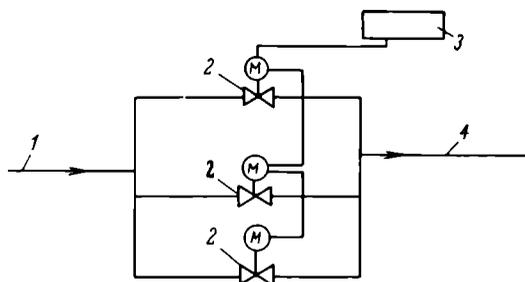


Рис. 6. Схема работы ЭРТ с несколькими исполнительными механизмами: 1 — подающий трубопровод; 2 — исполнительный механизм; 3 — электронный блок; 4 — обратный трубопровод

команду исполнительному механизму на увеличение подачи теплоносителя, температура смешанной воды увеличивается. При повышении наружной температуры — наоборот. Насос смешения с электроприводом может быть заменен струйным насосом (элеватором).

ЭРТ может работать в системе с несколькими исполнительными механизмами (рис. 6). При этом исполнительные механизмы электрически включаются последовательно. После полного открытия регулирующего клапана одного исполнительного механизма электронный блок автоматически подает команду на второй исполнительный механизм и т.д. Закрытие регулирующих клапанов происходит в обратной последовательности.

Применение одного электронного регулятора дает экономию тепловой энергии около 376 ГДж/год в зависимости от регулируемого объекта.

ЭРТ, кроме перечисленных примеров, могут найти широкое применение и в других областях народного хозяйства.

Статья поступила 1 февраля 1982 г.

УД 66.1.031

Н.В. Гесслер, П.И. Литвинов,
С.И. Матюша, В.М. Фирсов

ПУТИ ЭКОНОМИИ ПРИРОДНОГО ГАЗА В ПРОИЗВОДСТВЕ СТЕКЛА

Для производства изделий из стекла на предприятиях отрасли применяются различные газовые стекловаренные печи: от малых горшковых и ванн печей периодического действия до ванн печей непрерывного действия большой емкости, электростекловаренные печи и разнообразное вспомогательное энергоемкое оборудование.

Для повышения эффективности использования топлива в технологических установках (экономии

природного газа) необходима правильно поставленная система нормирования, основой которой является разработка научно-обоснованных агрегатных норм расхода топлива.

На основе расчетно-технических и опытно-статистических данных, а также теплотехнических балансовых испытаний, проведенных на стекловаренных печах предприятий отрасли, разработана "Методика определения норм удельного расхода топлива на стекловарение" и на ее основе рассчитаны агрегатные нормы расхода природного газа, учитывающие состав стекла, удельный съем стекломассы, тип, особенности конструкции и степень износа печи.

В зависимости от режима работы и способа выработки все пламенные печи можно разделить на две группы: печи непрерывного и периодического действия с механизированной выработкой; печи непрерывного и периодического действия с ручной выработкой, в том числе горшковые.

Для печей первой группы получена основная зависимость удельного расхода условного топлива от удельного съема стекломассы (рис. 1, а и б). Агрегатная норма расхода топлива для таких печей определяется по формуле:

$$b_1 = b_{уд} \cdot A \cdot H,$$

где $b_{уд}$ — удельный расход топлива, определяемый в зависимости от планируемого удельного съема стекломассы по графикам (см. рис. 1, а и б); A — коэффициент износа печи, выбираемый в зависимости от продолжительности срока службы печи (до 1 года — 1,0; от 1 до 2 лет — 1,03; от 2 до 3 лет — 1,075; от 3 до 4 лет — 1,135; более 4 лет — 1,23); H — коэффициент, учитывающий способ обогрева печи (1,0 — для регенеративных печей; 1,2 — для рекуперативных печей; 1,5 — для печей прямого нагрева).

Для печей второй группы определена зависимость годового расхода условного топлива от площади варочной части печи (рис. 2). Агрегатная норма расхода топлива для таких печей определяется по формуле:

$$b_2 = \frac{V_{год} \cdot P \cdot H}{365 G \cdot 10^3},$$

где $V_{год}$ — годовой расход условного топлива, определяемый в зависимости от площади варочной части по графику (см. рис. 2). Для горшковых печей величина $V_{год}$ определяется по площади пода печи; P — предполагаемая продолжительность ра-

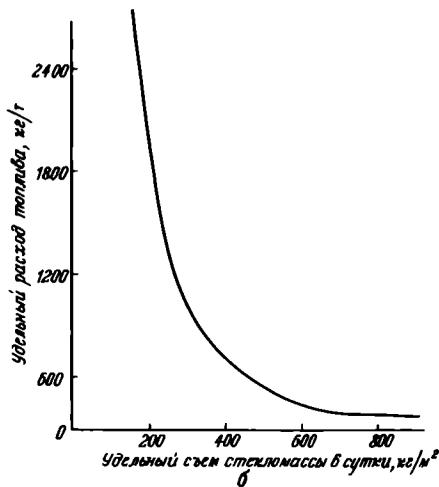
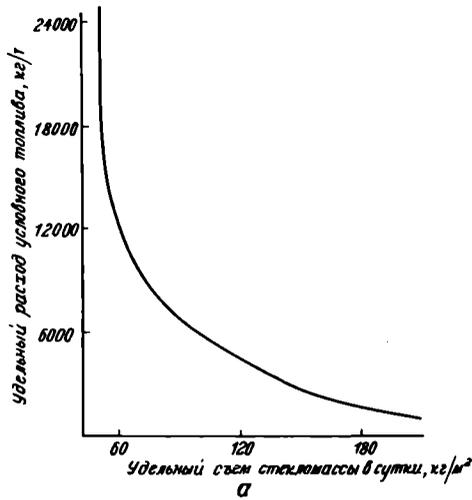


Рис. 1. Зависимость удельного расхода условного топлива от удельного съема стекломассы: а — для печей с удельным съемом менее 200 кг/м² в сутки; б — для печей с удельным съемом более 200 кг/м² в сутки

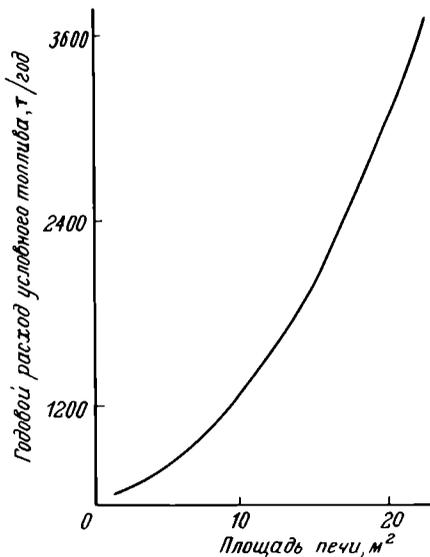


Рис. 2. Зависимость годового расхода топлива от площади варочной части печи

боты печи в планируемом году; G — планируемый выпуск стекломассы за год на одну печь. При расчете цеховой нормы учитывается усредненная агрегатная норма расхода топлива:

$$b_{ст} = \frac{\sum_{i=1}^k b_i \cdot G_i}{\sum_{i=1}^k G_i},$$

где i — порядковый номер печи в цехе; G_i — предполагаемый выпуск стекломассы на каждой из печей, т.

Внедрение агрегатных норм расхода топлива позволило полнее использовать теплотехнические возможности газовых стекловаренных печей, стабилизировать режимы их работы при строгом соблюдении условий эксплуатации. Это дало возможность сэкономить около 43 тыс. т условного топлива в год.

В настоящее время разработан руководящий материал по эксплуатации стекловаренных печей, внедрение которого на предприятиях отрасли будет способствовать поддержанию надлежащего рабочего состояния печей и регенераторов, приведет к экономии топлива и продлит межремонтный период печей.

В одиннадцатой пятилетке намечается провести ряд работ по *замене газовых стекловаренных печей на электрические* на технологических процессах, где по экономическим соображениям это выгодно и целесообразно. При переводе производства стекла на электрическую варку разница в стоимости энергетических ресурсов сравнительно небольшая из-за высокой стоимости электроэнергии. Однако при применении электроварки дополнительно достигается большой экономический эффект за счет снижения улетучивания сырьевых материалов и значительного повышения процента выхода годных благодаря улучшению качества стекла.

Внедрение прогрессивной технологии стекловарения с применением электроварки только на двух заводах даст возможность высвободить природный газ в количестве, эквивалентном 33 тыс. т условного топлива.

Действенным методом экономии природного газа является и *совершенствование конструкций газовых стекловаренных печей* для увеличения коэффициента полезного действия и снижения удельного расхода природного газа. Для стекловаренных ваннных печей с площадью варочной части 75–124 м² фактический КПД находится в диапазоне 15–22 %; для печей с площадью варочной ча-

сти 35–60 м³ КПД при стабильной загрузке определяется в диапазоне 7–15 %; для печей с площадью варочной части до 35 м² КПД составляет 1–8 %.

В настоящее время ведется разработка стекловаренных печей для производства экранов и конусов цветных кинескопов, предусматривающая применение щековых загрузчиков, устанавливаемых в полностью загерметизированный узел загрузки шихты и боя. Ликвидация загрузочного кармана обеспечивает снижение потерь тепла с выбивающимися газами, удлинит срок службы узла загрузки и, соответственно, всей печи, что в итоге позволит сэкономить более 200 тыс. м³ природного газа в год для одной печи. При увеличении толщины сводов типовых печей для производства стеклодеталей цветных кинескопов с 300 до 400 мм экономия природного газа составит 350 тыс. м³ в год для одной печи.

Для стекловаренных газовых печей в производстве стеклодеталей цветных кинескопов разрабатывается автоматическая система управления процессом сжигания топлива, основанная на использовании кислородных датчиков. Эта система в зависимости от содержания кислорода в уходящих газах автоматически устанавливает необходимое для полного сгорания топлива соотношение газовой смеси, исключая возможность неполного сгорания топлива и не допуская подачи избытка воздуха, на нагрев которого затрачивается дополнительная энергия. По предварительным подсчетам экономия природного газа на печи для производства стеклодеталей цветных кинескопов составит 420 тыс. м³ в год.

В стекловаренных печах значительное количество тепловой энергии уходит через кладку в окружающую среду. Правильный выбор теплоизоляции верхнего строения и свода стекловаренных печей даст возможность снизить теплопотери на 10–12 % и, соответственно, уменьшить расход природного газа на 8–10 %.

Для создания теплоизоляционного покрытия необходимы изоляционные материалы — диоксид кремния и корундовый легковесы, специальные баделито-корундовые огнеупоры хорошего качества, огнеупоры для свода и выработочных узлов.

Значительную экономию энергоресурсов обеспечивает рациональное использование тепла уходящих газов, температура которых на выходе из регенераторов составляет 400–450°C. Тепло этих газов целесообразно использовать в теплообменных устройствах для получения вторичных энергоресурсов — горячей воды или пара, используемых на технологические или бытовые нужды предприятий. Например, при установке двух котлов-утилизаторов экономия природного газа для одной печи составит 2,4 тыс. т условного топлива в год. Для печей малой емкости рекомендуется установка про-

стейших теплообменных устройств — экономайзеров для подогрева воды теплом уходящих газов.

Таким образом, в одиннадцатой пятилетке намечено проведение целого комплекса мероприятий по стабилизации и оптимизации процессов горения, внедрению прогрессивной технологии электроварки, совершенствованию конструкций стекловаренных печей, применению высококачественных изоляционных огнеупоров, а также более полное использование вторичных энергоресурсов, что позволит сэкономить в год более 80 млн. м³ природного газа или более 100 тыс. т условного топлива.

Статья поступила 13 апреля 1982 г.

УДК 666.1.031.2/6

В. П. Навицкас

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛА УХОДЯЩИХ ГАЗОВ СТЕКЛОВАРЕННЫХ ПЕЧЕЙ

Стекловаренные печи потребляют большое количество высокоценного топлива — природного газа, причем собственно на варку стекла расходуется небольшая часть получаемого тепла, остальное тепло уходит в окружающую среду с дымовыми газами и через кладку печи.

Решить проблему более эффективного использования тепла уходящих газов стекловаренных печей, существенно снизить потери тепла с уходящими газами и следовательно уменьшить расход природного газа можно путем применения контактных экономайзерных установок для нагрева воды на технологические нужды. Установка содержит два контактных экономайзера типа ЭК-Б-2, в которых вода нагревается в слое насадки при непосредственном контакте с уходящими из варочной части печи газами. Нагретая вода накапливается в двух баках-аккумуляторах и подается потребителю.

Для улучшения режима работы печь имеет частично принудительную тягу: к борову, соединяющему печь с кирпичной дымовой трубой, подключены параллельно два дымососа, работающие на отдельную металлическую дымовую трубу.

В контактном экономайзере нагреваются поверхности пленки, капель и струек воды, через которые и происходит теплообмен между газами и водой и массообмен между теплоносителями. При соприкосновении горячих дымовых газов с холодной водой протекают процессы диффузии, а также теплообмена конвективного и связанного с изменением агрегатного состояния и теплопро-

водности. Эффективность контактных экономайзеров увеличивается с уменьшением начальной и конечной температуры воды, поэтому целесообразно, чтобы начальная температура воды не превышала 20–25°C, а конечная – точку росы (50–60°C).

Основной частью экономайзера является контактная камера, которая должна обеспечить развитую поверхность контакта дымовых газов и, как следствие, высокую интенсивность теплообмена в единице объема при относительно незначительном сопротивлении газового тракта. Камера заполняется насадкой из керамических колец Рашига. Стекающая по насадке вода нагревается восходящим потоком дымовых газов. При высоких температурах газов использование контактных экономайзеров позволяет экономить не только тепловую энергию, но и электрическую. Резкое уменьшение объема газов (примерно в 2 раза) вследствие снижения их температуры от 380 до 50–60°C приводит к уменьшению аэродинамического сопротивления (примерно в 2,5 раза).

Газовый тракт установки оборудован байпасным газоходом экономайзеров с шибером, что позволяет регулировать относительную влажность газов, поступающих в металлическую дымовую трубу. Влага удаляется через гидрозатворы, установленные в нижней части дымовой трубы, корпуса дымососов и каплеуловителя, размещенного на участке газохода от дымососа до дымовой трубы. Все газоходы, контактные экономайзеры, аккумуляторные баки и трубопроводы установки имеют тепловую изоляцию.

Испытания экономайзеров с насадками из керамических колец Рашига размерами 50×50×5 мм и "Инталокс-50" показали, что первая насадка работает надежнее при обеспечении непрерывающейся подачи воды в контактную камеру, в то время как вторая недостаточно надежно работает при запыленности газов и требует чистки в нижней части.

Испытания велись на действующем блоке контактного экономайзера, загруженного кольцами Рашига размерами 50×50×5 мм (общая высота насадки 900 мм, нижнего слоя упорядоченной насадки – 200 мм, верхнего слоя беспорядочно загруженной насадки – 700 мм). Максимальный расход продуктов сгорания через экономайзер составлял 17500–18600 м³/ч (в расчете на сухие газы 21000–22400 кг/ч). Расход воды через экономайзер при испытаниях составлял 39,51 и 63 т/ч.

Измерялись начальная и конечная температуры воды и газов, а также температура газов перед поступлением в металлическую дымовую трубу. Одновременно измерялось разрежение газов до и после экономайзера и у входа в дымосос,

а также аэродинамические сопротивления блока экономайзера в целом.

Тепловая мощность одного блока экономайзера в ходе испытаний достигала 2,53 МВт при расходе воды 63 т/ч и с уменьшением расхода воды до 39 т/ч снижалась до 1,85 МВт. Температура нагрева воды изменялась от 49,5 до 56,9°C, а уходящих из экономайзера газов – от 33,7 до 39°C.

Анализ состава воды после контактного экономайзера показал, что несмотря на растворение в ней углекислоты от продуктов сгорания она имеет щелочную реакцию (рН = 7,6). Объясняется это наличием соды (Na₂CO₃) в составе шихты, загружаемой в стекловаренную печь. Таким образом, исключается необходимость в использовании декарбонизаторной колонки, и вода, нагретая в контактных экономайзерах, может подаваться непосредственно в баки-аккумуляторы. Анализ состава газов показал, что концентрация пыли в них достигает 13,8 мг/м³.

Конструкция контактного экономайзера, предназначенного для работы на чистых газах, была модифицирована с учетом запыленности уходящих газов стекловаренных печей. Вместо керамических колец размером 50×50×5 мм были применены кольца размером 80×80×8 мм с увеличенным по высоте слоем рабочей насадки (упорядоченная укладка – 1 м, засыпка внавал – 0,2 м). Опорная решетка с шагом 60 мм под рабочую насадку выполнена из стали диаметром 8 мм. Для частичного улавливания пыли до поступления ее в насадку у входного патрубка установлен наклонный козырек, направляющий газы к уровню воды в поддоне, поддерживаемому с помощью перегородки с поворотной заслонкой. Стекающая с козырька вода способствует дополнительной очистке газов от пыли. Установка при тепловой мощности 1,74 МВт обеспечивает нагрев 30–50 т/ч воды до температуры 45–55°C. Годовая экономия тепла при использовании установки составляет 50230 ГДж, что обеспечивает годовой экономический эффект 147 тыс. руб.

С учетом первого опыта наладки и эксплуатации контактных экономайзеров разрабатывается специальная конструкция контактного теплоутилизатора для стекловаренных печей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Блочные контактные газовые экономайзеры для котлов ДКВР/И.З.Аронов, Л.С.Меркулов, С.Г.Александров и др. – Газовая промышленность, 1973, № 4, с. 40–42.
2. Блочные контактные экономайзеры НИИСТА/И.З. Аронов, Г.А.Пресич, Е.Н.Солодовникова и др. – Использование газа в народном хозяйстве, 1970, вып.6, с.8–16.
3. Кононко В.П. Передовой опыт использования природного газа в производстве стекла: Науч.-техн.обзор. – М.: ВНИИГаз-пром, 1978. – 64 с.

4. Пресич Г.А. О размещении дымохода в котельных установках с контактными экономайзерами. — Промышленная энергетика, 1968, № 1, с. 47–49.

5. Соснин Ю.П. Контактные водонагреватели. 1974.

Статья поступила 13 апреля 1982 г.

УДК 658.26

Н.Е.Волков, В.М.Ткаченко

ОПЫТ РАБОТЫ ЗАВОДА ПО ЭКОНОМИИ ТОПЛИВНО- ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

В основу работы по экономному расходованию топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) положен комплексный план организационно-технических мероприятий, за выполнение которого отвечает комиссия содействия ТЭР под председательством главного инженера завода. В штат отдела главного энергетика введена должность инженера по рациональному использованию ТЭР.

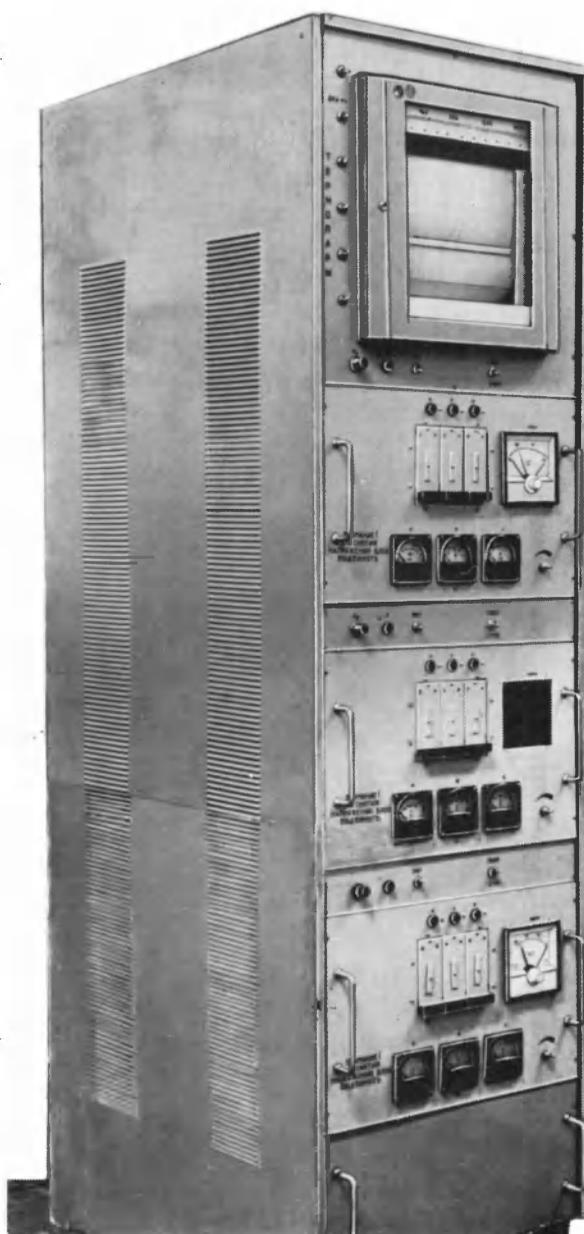
На заводе установлен ежедневный учет и контроль за соблюдением лимита расхода топлива и электрической энергии. На все виды продукции введены утвержденные удельные нормы расхода энергоресурсов, ежегодно разрабатываются лимитные карты. Во всех цехах имеются ответственные за рациональное использование топлива, электрической и тепловой энергии. Разработаны графики работы вентиляционных систем и обжиговых устройств. Предусмотрено систематическое премирование рабочих и ИТР за экономию ТЭР. Проводятся ежегодные конкурсы на лучшее рационализаторское предложение по экономии ТЭР. В тематических планах изобретателей и рационализаторов завода 27 % тем направлено на использование вторичных энергоресурсов и сокращение потребления ТЭР.

На заводе разработана и осуществлена теплоизоляция электрических и пламенных технологических печей совелитовыми и вулканитовыми плитами. Печи с такой теплоизоляцией потребляют топлива и электроэнергии почти на 30 % меньше обычных. От внедрения теплоизоляции на электропечах и пламенных печах за год сэкономлено 101 тыс. кВт·ч электроэнергии, 175 т условного топлива. В целях экономии энергии на теплоиспользующих установках поставлены сильфонные регуляторы прямого действия РПД-2, которые помимо поддержания заданной температуры экономят 160 ГДж тепловой энергии в год на один регулятор.

Использование трехканальных тиристорных пультов управления электропечами ПУЭП-3К (см. рисунок), исключая применение печных автотранс-

форматоров, дает экономию 97 тыс. кВт·ч электроэнергии в год. В системе центрального отопления производственных и административных помещений завода установлены электронные регуляторы отопления "Электроника Р-1", экономический эффект от применения которых составляет 176 ГДж тепловой энергии в год на один регулятор. Ведется работа по увеличению срока оборачиваемости огнеприпасов пламенных печей, в результате которой срок службы огнеприпасов на основе связки АХФС увеличится более чем в три раза.

В целях экономии электроэнергии на освещение внедрены автоматические фотовыключатели освещения ФВ-2, работающие в зависимости от естественной освещенности. Для поддержания за-



Тиристорный пульт управления электропечами ПУЭП-3К

данного энергоинспекцией коэффициента реактивной мощности электрических установок на заводе введены в эксплуатацию четыре автоматические системы.

Для снижения тепловых потерь электропечей через стенки обеспечена их экранизация.

Для утилизации тепловой энергии воздуха, удаляемого из цехов, смонтирован и работает вращающийся регенеративный теплообменник вентиляции ВРТ-2. Экономия от его внедрения составляет 2520 ГДж тепловой энергии в год.

В целях сокращения потребления электроэнергии для технологических процессов на заводе внедрены автоматические линии. Благодаря внедрению метода прессовки вместо холодного литья из технологического процесса исключена операция полимеризации, в результате чего получена экономия электрической энергии 114 тыс. кВт·ч в год. Внедрение метода прессования в размер позволило сэкономить 84 тыс. кВт·ч электроэнергии.

В результате организационных и технических мероприятий коллективом завода в 1981 г. сэкономлено 930 тыс. кВт·ч электрической энергии, 800 т условного топлива и 10648 ГДж тепловой энергии.

Статья поступила 13 апреля 1982 г.

УДК 621.38.002

В.А.Васильев, Б.А.Воробьев

ЭКОНОМИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ГАЗОВ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ИЭТ

Применяемые в производстве ИЭТ технологические газы (водород, кислород, азот, аргон, сжатый воздух и др.) должны проходить тщательную очистку от примесей, что сопряжено с большими затратами электроэнергии. Кроме того, для обеспечения бесперебойного технологического процесса на предприятиях необходим аварийный запас газов. Эффективность работ по экономии газов и электроэнергии, требуемой для их производства, характеризуется как относительным изменением затрат электроэнергии к темпам роста объема выпуска продукции, так и фактическим удельным расходом электроэнергии. С этой целью проводится работа по следующим основным направлениям:

– модернизация и внедрение нового технологического оборудования, позволяющего снизить расход газов при производстве ИЭТ;

– модернизация оборудования по производству газов, разработка и внедрение новых технологических систем для их очистки;

– повышение качества централизованной очистки газов до параметров, позволяющих обеспечить их использование потребителем без дополнительных финишных очисток;

– перевод технологического оборудования на газы, выработка которых требует меньшего количества электроэнергии;

– оснащение оборудования, потребляющего газ, приборами учета и средствами регулирования расхода;

– ведение систематического контроля за рациональным расходом газов.

Например, при технологических процессах пайки металлокерамических изделий значительная экономия водорода (до 88,7 тыс.м³ в год на одну печь) и электроэнергии (более 2 млн.кВт·ч в год) может быть достигнута благодаря замене колпачковых печей водородными туннельными печами.

Кроме того, замена газообразного сетевого азота в шкафах для хранения ИЭТ на осушенный воздух низкого давления позволяет благодаря снижению энергоемкости используемой защитной среды экономить в год 262,6 тыс. кВт·ч электроэнергии.

Перевод технологических операций отжига и пайки ИЭТ на печах нескольких типов с водорода на формиргаз дает экономию водорода 156 тыс.м³, электроэнергии – 930 тыс. кВт·ч в год.

Внедрение высокоэффективной схемы очистки и осушки водорода позволило повысить качество централизованной очистки до параметров, исключающих необходимость его финишной диффузионной очистки перед операциями эпитаксиального наращивания. В результате экономия водорода составила 22,6 тыс.м³, а электроэнергии – 175,2 тыс.кВт·ч в год.

Реконструкция установок для получения жидкого азота ЖА-300-2 позволила поднять их производительность и сэкономить более 1 млн. кВт·ч электроэнергии в год.

Таким образом, основным резервом экономии энергетических ресурсов является внедрение высокоэффективного оборудования для централизованного получения газовых энергоносителей без дополнительной очистки, в частности, воздуходелительных установок, позволяющих вырабатывать одновременно газообразные азот и кислород и жидкий азот с параметрами, полностью отвечающими действующим требованиям.

Статья поступила 13 апреля 1982 г.

УДК 658.26

А.Н.Акулов, В.Д.Горохов, А.В.Митяшин

ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ЭКОНОМИИ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ НА ЗАВОДЕ

В целях экономии топливно-энергетических ресурсов коллектив завода под руководством партийной организации разработал и осуществил ряд организационно-технических мероприятий по совершенствованию технологических процессов, системы нормирования и учета топлива, электрической и тепловой энергии, внедрению достижений науки, техники и передового опыта.

Функции контроля за выполнением плана мероприятий по экономии ресурсов возложены на постоянно действующую заводскую комиссию и комиссии в цехах и отделах. Вопросы рационального использования топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), изучения и распространения опыта передовиков и новаторов производства регулярно обсуждаются на открытых партийных собраниях, на заседаниях бюро цеховых партийных организаций. Регулярно проводятся рейды, проверки, направленные на бережное расходование энергоресурсов, организуются смотры-конкурсы на звание «Лучшее подразделение по экономии электроэнергии». Вопросы экономии электро- и теплоэнергии находят отражение в лицевых счетах эффективности рабочих бригад. В производственных подразделениях оформлены стенды наглядной агитации по экономии электрической и тепловой энергии, которые содержат перечень основных направлений по бережному расходованию ТЭР.

Составляются графики потребления электроэнергии в течение месяца с разбивкой по дням, что позволяет постоянно контролировать расход энергии.

Для увеличения заинтересованности всех работающих и привлечения к работе по экономии ТЭР всех подразделений внедрено «Положение о социалистическом соревновании коллективов по экономии электроэнергии», на основании которого производится премирование коллективов, добившихся наилучших показателей. Итоги работы подразделений по экономии ТЭР учитываются наравне с основными технико-экономическими показателями их хозяйственной деятельности. Контроль за выполнением мероприятий и взятых социалистических обязательств осуществляется информационно-вычислительным центром.

В процессе планирования организационно-технических мероприятий по экономии ТЭР большое внимание уделяется совершенствованию производственных процессов, использованию менее энергоемкого и более производительного технологического оборудования, внедрению новых современных технических средств контроля, учета и управления потреблением электрической и тепловой энергии.

На заводе введен в эксплуатацию автоматизированный информационно-измерительный комплекс контроля, учета и анализа потребления электроэнергии участками, цехами и предприятием в целом. Основу комплекса составляют четыре автоматизированные информационно-вычислительные системы ИИСЭ-48, блок последовательного вывода информации на перфоратор ПЛ-80 и ЭВМ «ЕС-1022». При-

менение комплекса дало возможность наряду с сокращением трудозатрат и численности производственного персонала, занятого расчетами, контролем и анализом расхода электроэнергии, устанавливать подразделениям обоснованные ограничения на потребление электроэнергии, контролировать получасовую нагрузку как в целом по предприятию, так и по каждому подразделению, в любое время получать информацию и принимать меры для соблюдения режима энергопотребления.

Значительная экономия тепловых ресурсов получена в результате реконструкции котельной и замены маломощного парового котла ШБ-А-7 на водогрейный котел с улучшенным экранированием топочного объема и развитыми конвективными поверхностями нагрева.

В целях экономии вторичных энергоресурсов в системах кондиционирования и вентиляции применяется вращающийся регенеративный теплообменник типа ВРТ-2, позволяющий использовать тепло (или холод) удаляемого из цеха воздуха на подогрев (или охлаждение) забираемого наружного воздуха.

Использование электронного регулятора отопления «Электроника Р-1» позволило автоматизировать отпуск тепла на отопление зданий, автоматически поддерживать температуру воды в соответствии с заданным отопительным графиком в зависимости от температуры наружного воздуха, а также решить проблему понижения температуры воды в ночное время и в выходные дни.

Для автоматизации работы кондиционеров и вентиляционно-калориферных установок по поддержанию заданной температуры нагреваемого воздуха применяются регуляторы с тепловыми решетками. Приточный воздух, проходя через тепловую решетку и секции подогрева кондиционеров, нагревается до заданной температуры. Всякое изменение его параметров вызывает колебания температуры теплоносителя. Колебания воспринимаются сильфоном, выполняющим функции исполнительного органа. Его внутренняя полость заполнена жидкостью с большим коэффициентом объемного расширения. В зависимости от температуры теплоносителя сильфон увеличивает или уменьшает подачу сетевой воды в подогреватели. Экономический эффект на единицу оборудования (кондиционер КТ-80) в этом случае составляет 2160 ГДж в год.

Осуществление мероприятий по рациональному размещению и монтажу компенсационных установок позволило без реконструкции электрических сетей подключить к силовым трансформаторам дополнительное оборудование и сэкономить 560 тыс. кВт·ч электроэнергии.

Внедрение фотовыключателей ФВ-2, предназначенных для автоматического включения и отключения цепей наружного освещения в зависимости от уровня естественной освещенности позволяет значительно экономить электроэнергию на объектах, удаленных от места нахождения дежурного персонала.

Последовательная и целенаправленная работа коллектива завода по совершенствованию технологических процессов, внедрению новейших достижений науки, техники и передового опыта в комплексе с организаторской и массово-политической работой, проводимой партийной и общественными организациями, позволила добиться значительного снижения удельных затрат всех видов энергии на выпуск продукции.

Статья поступила 5 апреля 1982 г.

ИССЛЕДОВАНИЯ. РАЗРАБОТКИ. МЕТОДЫ РАСЧЕТОВ

УДК 621.38.001.2:681.3.004

А.А. Ступаченко

ЦЕЛЕВАЯ И ФУНКЦИОНАЛЬНО- СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛИ САПР ИЭТ

Введены основные определения понятия САПР, предложены подходы к построению ее компонентов и форма их организации. Рассмотрена возможность использования ЭВМ при реализации специфических действий, выделяемых в процессах проектирования ИЭТ. Описаны целевая и функционально-структурная модели САПР ИЭТ, требования к условиям функционирования, принципы построения.

За систему проектирования можно принять совокупность взаимосвязанных объектов, образуемых средствами, субъектами и средой деятельности, которые доступны для использования, способны обеспечить создание, а также поддержание условий, необходимых и достаточных для организации и реализации процессов проектирования объектов данного класса (классов) по одной или нескольким точно определенным технологиям [1].

Обобщенная функция любой системы проектирования (СП) состоит в организации и реализации процессов проектирования (ПП) объектов определенного класса. Полный и замкнутый набор специфических функций СП может быть установлен, исходя из перечня особых единиц (действий) проектировочной деятельности. Под последней понимаются ПП, рассматриваемые в совокупности с потребностями, мотивами, целями, результатами и условиями их реализации. Анализ показывает, что в составе особых единиц проектировочной деятельности могут быть выделены действия следующих видов: организационные, собственно проектировочные, информационного обеспечения, познавательные, коммуникативные, управления деятельностью.

Совокупность специфических (частных) функций СП составляют три основные группы: достижение общесистемного результата; повышение эффективности функционирования системы; совершенствование, развитие и сохранение системы.

К специфическим функциям СП, ориентированным на достижение основного общесистемного результата, относятся функции, связанные с реализацией действий организационных, собственно проектировочных, информационного обеспечения, коммуникативных, управления деятельностью.

Специфические функции, ориентированные на повышение эффективности функционирования СП,

связаны с реализацией действий: познавательных [2], защиты задач проектирования (ЗП) и процессов, обучения (повышения квалификации) субъектов проектирования и т.д.

Специфические функции систем по защите задач и процессов проектирования можно определить как способность предотвращать несанкционированный доступ к задачам и процессам, а также защищать последние от искажения и уничтожения. Ниже представлена функциональная модель СП (табл. 1).

САПР можно определить как целеориентированную и упорядоченную совокупность (множества) объектов [3]:

а) каждый из которых обладает свойством реализовывать не менее чем одну специфическую функцию СП;

б) часть из которых реализует собственно проектировочные функции, используя при этом ЭВМ и модели объектов проектирования в логико-математической, наглядно-образной или предметно-математической формах представления;

в) между свойствами которых фиксировано отношение такого взаимодополнения (концепт системы), которое обеспечивает устойчиво воспроизводимую организацию и реализацию процессов (ряда этапов процессов) проектирования объектов определенного класса (классов), завершающихся формированием продуктивных моделей (комплекта производственно-технологической документации) спроектированных объектов.

Использование концепта реляционного (системообразующее отношение), а не атрибутивного (системообразующее свойство) характера принципиально важно, поскольку допускает определение степени "системности" САПР [3]. Оценку степени "системности" САПР представляется целесообразным производить, используя ряд показателей, характеризующих, соответственно:

– степень операциональной полноты каждой данной системы (показатель должен отображать состав и относительное число этапов, операций, процедур ПП объектов данного класса [1], для реализации которых система предоставляет необходимые условия – среду, средства, действия, методы, ресурсы);

– степень функциональной полноты системы (показатель должен отображать состав и долю специфических функций СП, реализуемых данной САПР);

– степень автоматизированности проектировочных функций (показатель должен отображать состав и относительное число собственно проектировочных функций, реализуемых данной САПР в

Таблица 1

Функциональная модель систем проектирования

Функции системы		
Обобщенная	Специфические	Основные единицы деятельности (действия), подлежащие реализации
Организация и реализация процессов проектирования объектов определенного класса	<i>Достижение общесистемного результата</i> Организационные Собственно проектировочные	Установление и (или) изменение состава компонентов деятельности: задач, объектов, процессов, субъектов, операций, средств проектирования Формирование, обработка, модификация постановок ЗП Формирование тактик решения ЗП Реализация тактик решения ЗП: изменение, анализ, оценка состояний задач, объектов, процессов проектирования
	Информационного обеспечения Коммуникативные Управления процессами	Формирование, систематизация, накопление, хранение, поиск, отбор, представление фактографической информации, характеризующей состояния: объектов, задач, процессов проектирования, реализуемых системой; предметной области, к которой относится система; самой системы Установление, изменение, реализация информационного взаимодействия (обмена данными) между компонентами деятельности: субъектами, задачами, объектами, средствами проектирования Преобразование данных (сообщений) Изменение состояний проектировочных процедур — действий различных видов и (или) средств, реализующих эти действия: их активацию, приостановку, продолжение, повторение, модификацию, завершение и т.п.
	<i>Повышение эффективности функционирования системы</i> Познавательные Защиты задач и процессов Обучения	Формирование, систематизация, накопление, хранение, отбор и предоставление субъектам проектирования методологических проектировочных знаний Предотвращение несанкционированного доступа к задачам и процессам проектирования Защита задач и процессов проектирования от искажения и уничтожения Подготовка субъектов проектирования и повышение их квалификации — развитие знаний, умения, навыков
<i>Совершенствование, развитие, сохранение системы</i>	Развитие (модификация) структуры, ресурсов, средств системы Защита системы и ее компонентов от разрушения	

автоматизированном и автоматическом режимах и другие.

Структура САПР зависит от особенностей объектов проектирования, целевой ориентации системы, состава этапов и операций ПП, охваченных системой для реализации, состава специфических функций, реализация которых предусмотрена назначением системы.

Под компонентами САПР понимаются выделяемые части целого, структурные единицы, взаимодействие которых вызывает, порождает присутствие целому качественные особенности [4].

Для построения компонентов САПР можно использовать два подхода. В первом случае компоненты создаются для реализации заранее выделяемых и точно определенных специфических функций СП, потребность в осуществлении которых возникает на различных этапах и операциях ПП. К таким функциям можно отнести связанные с реализацией коммуникативных действий, основных действий по информационному обеспечению, части собственно-проектировочных действий по документированию, визуализации и т.п.

При втором подходе компоненты САПР реализуют не функции, а определенные единицы проектировочной деятельности (типовые фрагменты или "предопределенные стереотипные ситуации" ПП).

Идея использования возможно более крупных структурных элементов для представления (отображения, восприятия, хранения, переработки) информации, характеризующей стереотипные ситуации, развивается в границах теории фреймов (фрейм — структура данных для представления стереотипной ситуации [5]). Эта теория предполагает обобщенное и широкое содержание основных понятий в базовом определении фрейма: ситуация — это любой процесс, операция, процедура акт, схема, план или сценарий действий, а также повествование, описание, образ, модель и т.п.; данные фрейма — это объекты (модели объектов) любой природы; связи между объектами в структуре фрейма также любой природы, однако особо выделяются связи, обеспечивающие информационное взаимодействие объектов.

Типовые этапы и операции ПП, так же как и специфические действия, выделенные в проектировочной деятельности, могут рассматриваться как предопределенные стереотипные ситуации [1]. Для отображения информации, характеризующей указанные стереотипные ситуации ПП, необходимы и достаточны фреймы следующих видов:

— повествовательные ("скелетные формы объяснений и аргументаций" [5] для реализации познавательных действий);

– фреймы-описания ("пакеты", упорядоченные наборы данных, отображающие состояния объектов, задач, процессов);

– фреймы-сценарии (целесообразные структуры, образованные наборами связей между описательными элементами, отображающими задачи, объекты, субъекты, средства деятельности, а также процедуральными элементами, отображающими различные действия).

При втором подходе каждый компонент САПР должен представлять собой специализированный реализатор фреймов, т.е. обладать способностью реализовывать многократно и воспроизводимо не менее чем один, точно определенный фрейм ПП. Фреймовый подход включает в себя функциональный и сводится к нему во всех случаях, когда в качестве стереотипной ситуации рассматривается одна определенная типовая процедура или несколько постоянно связанных типовых процедур, реализуемых единообразно и многократно на различных этапах и операциях ПП. Вместе с тем, фреймовый подход, который базируется на полных и замкнутых наборах действий, организующих и реализующих выделяемые стереотипные ситуации (некоторые единицы проектировочной деятельности), позволяет сократить и существенно упростить как межкомпонентные, так и внутрикомпонентные связи в системе.

В качестве основной формы организации функционирующих компонентов САПР в общем случае

можно использовать комплексные системы "человек – машина", структура которых способна обеспечить устойчиво воспроизводимое взаимодействие субъекта проектирования и (или) ЭВМ с другими средствами проектирования (техническими, программными, информационными, лингвистическими, методологическими), входящими в состав каждого данного компонента. Если отдельные единицы проектировочной деятельности реализуются только самим субъектом (без ЭВМ и связанных с ней средств системы), то он считается компонентом САПР [6]. Если отдельные единицы проектировочной деятельности реализуются в автоматическом режиме вычислительными машинами совместно с прочими средствами системы, то ЭВМ будут продолжать оставаться лишь элементами компонентов САПР (средствами деятельности), только элементами компонентов более высокого уровня иерархии.

В качестве формы организации нефункционирующих компонентов САПР могут быть использованы упорядоченные наборы средств проектирования, входящих в состав данных компонентов, между которыми установлены и сохраняются связи, необходимые и достаточные для перевода соответствующих компонентов в состояние функционирования.

В системах "человек – машина" между деятельностью человека и функционированием машины устанавливается отношение "наложения" одного на другое [7]. При организации таких систем

Реализаторы особых действий при проектировании ИЭТ

Таблица 2

Основные реализаторы действий	Действия, выделяемые в процессах проектирования ИЭТ
Субъект проектирования	<p>Формирование постановки ЗП (отработка требований к объекту и условий задачи)</p> <p>Изучение и понимание постановки (условий) ЗП</p> <p>Получение и усвоение методологических знаний, необходимых для решения данной ЗП</p> <p>Формирование замысла решения задачи</p> <p>Принятие решений на основе получения и оценки информации, формируемой при реализации типовых этапов и операций проектировочной деятельности</p> <p>Оценка промежуточных и окончательных состояний объекта, задачи, ПП</p>
Субъект проектирования совместно с ЭВМ	<p>Формирование плана-схемы решения и выбор типа представлений для решения задачи</p> <p>Реализация решения ЗП: построение, заимствование, отбор моделей объектов проектирования; синтез или выбор методов формирования и оптимизации проектных решений; выбор средств реализации принятых методов</p> <p>Формирование проектных решений: интерпретация модели-описания или выбор модели-интерпретатора объекта, наилучших (оптимальных) в смысле постановка ЗП</p> <p>Отбор и систематизация данных, сведений, информации при реализации различных операций (процедур) проектировочной деятельности</p> <p>Обмен данными между основными компонентами системы</p> <p>Управление процессом решения ЗП</p>
Преимущественно ЭВМ	<p>Накопление, хранение, поиск и выдача данных при реализации основных процедур проектировочной деятельности</p> <p>Преобразование форм представления данных из вида, естественного и удобного для одного компонента системы, к виду, естественному и удобному для другого компонента</p> <p>Реализация операций логической и вычислительной обработки данных в процедурах формирования и оптимизации проектных решений, а также в процедурах подготовки информации для принятия решений субъектом проектирования</p>

обычно используют условие взаимодополняемости, а главными задачами назначают те, которые эффективно решаются человеком и ЭВМ в режиме диалога [7, 8].

В табл. 2 отображена возможность использования ЭВМ при реализации особых действий, выделяемых в проектировании ИЭТ. Учитывая известные к настоящему времени цели создания и использования САПР в различных областях техники, разработаны состав и приоритеты целей типовой САПР ИЭТ (табл. 3). Требования к условиям функционирования типовой САПР ИЭТ, вытекающие из функционального и целевого назначения системы, предполагают, что САПР должна создаваться с ориентацией:

- на разработчиков ИЭТ (научно-технический персонал, не имеющий специальной подготовки программистов ЭВМ). При этом система не должна препятствовать проявлению знаний, умения, навыков высококвалифицированных разработчиков и, в то же время, не должна допускать реализации действий, заведомо явно ошибочных или представляющих опасность для компонентов системы, состояния процессов и задач проектирования;
- на коллективные формы проекторочной де-

ятельности (в качестве прототипа системы рассматриваются КБ и НИИ);

- на одновременное решение потока ЗП разных уровней сущности, сложности, актуальности;
- на поэтапное построение, развитие системы в направлении последовательного расширения состава и числа этапов (операций, процедур) ППИЭТ, охватываемых САПР, а также реализуемых специфических функций;
- на совместимость и преемственность с существующими формами организации и реализации проектирования ИЭТ в такой степени, которая не противоречит целевому назначению данной САПР.

При построении САПР ИЭТ целесообразно использовать следующие принципы:

- *концептуальной целостности* (единства), утверждающий, что соотношение между функциональными возможностями и концептуальной сложностью является высшим критерием системного проекта [9];
- *взаимодополняемости субъекта проектирования и ЭВМ*, при котором соответствующие достоинства одной стороны компенсируют недостатки другой и который организуется, прежде всего, для задач, подлежащих решению человеком совместно с ЭВМ;

Целевая модель (ориентация, состав и приоритеты целей) типовой САПР ИЭТ

Таблица 3

Ориентация целей	Уровни целей		Приоритеты целей
	Глобальные	Локальные	
Объект проектирования	Максимизировать эффективность новых ИЭТ	Максимизировать степень соответствия целевых ориентаций задач, объектов, процессов проектирования установкам Главного конструктора изделий Максимизировать уровни критериев эффективности ИЭТ Минимизировать функциональную, материалоемкую, трудоемкую и прочую избыточность в новых ИЭТ Максимизировать степень достоверности (безошибочности) и (или) точности проектных решений (минимизировать число проектных решений, дорабатываемых по результатам технологической подготовки производства)	Абсолютно необходимо То же " "
Процесс проектирования	Минимизировать ресурсы, реализуемые при проектировании ИЭТ: сроки, трудоемкость, стоимость	Максимизировать степень преемственности проектных решений различных уровней сущности Максимизировать степень использования типовых тактик и автоматизированных процедур формирования проектных решений Минимизировать долю проектных решений, формируемых с использованием натуральных и физически-подобных моделей объектов	" " "
Система проектирования	Максимизировать эффективность использования ресурсов, предоставляемых для проектирования ИЭТ	Максимизировать степень соответствия между приоритетами важности, сложности, актуальности задач проектирования и условиями, предоставляемыми для их решения Минимизировать степень зависимости качества организации, реализации, результатов ПП ИЭТ от уровня знаний, умения, навыков отдельных субъектов проектирования Повысить эффективность реализации и развития коллективных форм проектирования ИЭТ прежде всего в смысле преемственности и расширения круга проектировщиков, решающих любую данную задачу Увеличить творческое содержание труда проектировщиков ИЭТ	Необходимо " " Желательно

– *самоорганизации*, предполагающий определенную свободу выбора решений на всех основных этапах, операциях и процедурах проектирования;

– *интеграции*, который предполагает совместимость с системами равного уровня общности: АСНТИ ИЭТ, АСТПП ИЭТ, АСНИ ИЭТ и т.д., а также возможность включения в состав систем более высокого уровня (интегрированной САПР ИЭТ и т.п.);

– *иерархической многоуровневой и модульной организации системы с высшим командным компонентом в лице субъекта проектирования*;

– *максимальной независимости, автономности подсистем, компонентов, элементов компонентов*, который предполагает повышение надежности функционирования, а также уменьшение общей сложности построения системы;

– *адаптивности и незамкнутости*, предполагающий возможность модификации (заранее обусловленного расширения состава или развития) функций системы, возможно меньшую степень ее зависимости от типа используемых технических, общесистемных программных и прочих средств, а также присоединения новых (замену) подсистем, компонентов, элементов компонентов;

– *типизации, унификации, стандартизации компонентов и элементов системы*.

Как и любая большая искусственная система, САПР может быть представлена только определенным набором (иерархией) своих моделей (описаний). Описание и анализ больших систем обычно производят на уровнях системы в целом, подсистем, основных компонентов системы и элементов компонентов.

Исходя из функциональной (см. табл. 1) и целевой (см. табл. 3) моделей, а также принципов построения САПР, учитывая форму организации и специализации ее основных компонентов, разрабо-

тана функционально-структурная модель типовой САПР ИЭТ (см. рисунок). Выделение в САПР ИЭТ трех категорий подсистем выполнено в соответствии с ГОСТ 23501.0–79. Мониторная (операционная) система САПР может быть организована как самостоятельная обслуживающая подсистема с учетом того, что средствами последней реализуются операции автоматического проектирования и через ее посредство в процессы автоматизированного проектирования включаются субъекты, представляется более правильным рассматривать мониторную систему САПР как часть подсистемы организации и управления ПП.

Число и состав проектирующих объектно-ориентированных подсистем САПР ИЭТ определяются классом объектов (подобъектов) проектирования, а также составом этапов и операций ПП, охваченных системой для реализации. Проектирующие объектно-ориентированные подсистемы САПР ИЭТ могут быть подразделены на три основных класса: конструкторских решений (формирование функционально-логических, структурно-морфологических, схемотехнических, топологических, оптических, механических и других решений); технологических решений (формирование технологических операций и процессов); материаловедческих решений (формирование рецептур материалов). В состав каждой конкретной САПР ИЭТ, в зависимости от ее предметной ориентации и степени развития, может входить различное число объектных подсистем.

В терминах общесистемных параметров [3] САПР ИЭТ должна быть охарактеризована как многоцелевая, иерархическая, многоуровневая система, содержащая высший командный компонент (субъекты проектирования), открытая (допускающая присоединение новых подсистем, компонентов, элементов), централизованная и нецелная, упорядоченная (порядок компонентов существенен).



Функционально-структурная модель типовой САПР

ЛИТЕРАТУРА

1. Ступаченко А.А. Процесс проектирования ИЭТ как объект автоматизации. — *Электронная промышленность*, 1982, вып. 4, с. 25–27.
2. Соколов А.В., Манкевич А.И. Информатика в перспективе. — *НТИ*, сер. 2, 1971, № 10, с. 5–9.
3. Уемов А.И. Системный подход и общая теория систем. — М.: Мысль, 1978. — 272 с.
4. Афанасьев В.Г. Системность и общество. — М.: Политиздат, 1980, — 368 с.
5. Минский М. Фреймы для представления знаний. — М.: Энергия, 1979. — 150 с.
6. Дубровский В.Я., Щедровицкий Л.П. Проблемы системного инженерно-психологического проектирования. — М.: Изд-во МГУ, 1971, — 94 с.
7. Смолян Г.Л. Концепция взаимодействия человека и машины: истоки, развитие, значение. — *Вопросы философии*, 1978, № 4, с. 115–129.
8. Зинченко В.П., Мунипов В.М. Основы эргономики. — М.: Изд-во МГУ, 1979. — 343 с.
9. Брукс Ф.П. Как проектируются и создаются программные комплексы. — М.: Наука, 1979. — 152 с.

Статья поступила 11 мая 1982 г.

УДК 681.3.01:76

Л.С. Пискунова, Э.Т. Романычева,
В.А. Сереченко, Т.Ю. Трошина

МАШИННАЯ ГРАФИКА В ПРОЦЕССЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИХ И ЧЕРТЕЖНО-ГРАФИЧЕСКИХ РАБОТ

С развитием электронно-вычислительной техники стала возможна автоматизация проектно-конструкторских работ, связанных с массовой обработкой графической информации. Исследования в этом направлении проводились на базе ЕС ЭВМ-1033, СМ-3, графопостроителя ЭМ-722, графического дисплея ЭПГ СМ с использованием графического пакета ФАП-КФ (формализованного аппарата геометрического моделирования на основе компилятора ФОРТРАН). Вывод графической информации на графопостроитель ЭМ-722 осуществлялся с помощью пакета базисных программ, адаптированного для совместной работы с графическим пакетом ФАП-КФ.

Созданная библиотека стандартных графических элементов чертежей печатных узлов значительно ускоряет процесс их формирования, поскольку он сводится к определению расположения базовых точек элементов на чертеже платы.

Разработанная программа формирования чертежа параметризированной типовой детали позволяет автоматизировать процесс его получения. Путем изменения значения параметров (или приняв их равными нулю, если какой-либо элемент детали отсутствует) можно получить любой вариант детали данного типа.

Таким же образом можно автоматизировать процесс выпуска чертежно-графической документации на технологическую оснастку для изготовления типовых деталей. Входными параметрами программы проектирования технологической оснастки могут служить параметры изготавливаемой детали и различная текстовая информация (материал, шифр изделия и др.). С помощью головной программы возможно проведение необходимых расчетов. Графическая информация в виде детализированных чертежей элементов оснастки выводится на графопостроитель. Для оформления чертежа по ГОСТ ЕСКД используются стандартные подпрограммы. Все программы функционируют в среде ОС ЕС.

Статья поступила 17 мая 1982 г.

УДК 621.385.64.019.3

В.П. Марин

ИССЛЕДОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПРИБОРОВ М-ТИПА

В основу прогнозирования долговечности прибора М-типа при известном заранее изменении эмиссионных характеристик катода положено определение процентного изменения накапливаемой плотности объемного заряда в прикладной ступке и последующее сравнение получаемого изменения с допустимым изменением параметров приборов.

Срок службы приборов СВЧ связан с установленными критериями годности (выходной мощностью, искрением, пропуском импульсов, изменением частоты от импульса к импульсу, флуктуациями переднего фронта импульса и др.). Чаще всего в качестве критерия годности выбирается допустимое уменьшение выходной мощности прибора. Причинами ухудшения выходных параметров являются физико-химические изменения катодного покрытия, зерна катода и подогревателя, ухудшение вакуума, разрушение замедляющих систем и др. [1].

Основным узлом, ограничивающим срок службы прибора М-типа, является катод. Установлено, что в процессе работы происходит изменение эмиссионных свойств катода, приводящее к ухудшению выходных параметров прибора.

Обычно величину максимального коэффициента вторичной электронной эмиссии σ_M связывают с величиной предельного анодного тока [2,3], с тем чтобы, оценив изменение этого тока на специально сконструированных макетах диодного типа, прогнозировать срок службы реального прибора.

Прогнозирование срока службы прибора М-типа можно провести с помощью математической модели, учитывающей изменения эмиссионных характеристик катода. Предположим, что известны изменения термо- и вторично-эмиссионной характеристик катода, применяемого в приборе. Например, первичная эмиссия медленно и монотонно уменьшается (рис. 1, а), а вторичная эмиссия, характеризуемая параметром σ_M , как-то меняется во времени (рис. 1, б).

Для оценки предельного срока службы, который может быть реализован при таких характеристиках применяемого катода, необходимо связать термо- и вторично-эмиссионные характеристики катода с выходными параметрами лампы (ее выходной мощностью, КПД, анодным током и др.). При общей постановке задачи достаточно выделить параметр, от которого зависят все эти характеристики. Таким параметром в приборах М-типа является усредненная по пространству взаимодействия плотность объемного заряда

$$q = e\rho_0 / m\epsilon_0 \omega_c^2,$$

где ρ_0 — объемный заряд; m — масса электрона; ϵ_0 — диэлектрическая проницаемость вакуума; $\omega_c = eB_0/m$ — циклотронная частота (B_0 — индукция магнитного поля).

Электронная мощность взаимодействия $P_{Эл}$ в приборах М-типа определяется соотношением [4]

$$P_{Эл} \approx Kq^2, \quad (1)$$

где K — функция, сложным образом зависящая от геометрии пространства взаимодействия элект-

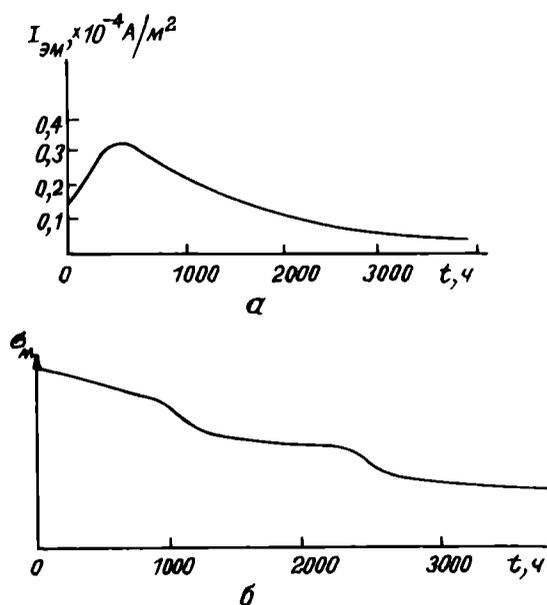


Рис. 1. Изменение термоэмиссионной (а) и вторично-эмиссионной (б) характеристик катода при испытаниях на срок службы

родинамических параметров анодной системы магнитного поля, анодного напряжения и др. Изменение выходной мощности прибора ΔP определяется изменением плотности объемного заряда Δq :

$$\frac{\Delta P}{P} = \left(2 + \frac{\Delta q}{q}\right) \cdot \frac{\Delta q}{q}, \quad (2)$$

где P и q — значения мощности и плотности, соответствующие номинальному режиму работы.

Таким образом, задачу прогнозирования срока службы можно свести к оценке допустимого изменения в процессе работы параметра q под воздействием меняющихся во времени эмиссионных характеристик катода (см. рис. 1), что позволяет оценить запас по первичной и вторичной эмиссии, который необходим для реализации заданного срока службы прибора. Так как параметр q прямо пропорционален выходной мощности, то, задавая допустимое изменение ее уровня, можно наложить ограничения на величину q .

Величина суммарной плотности тока эмиссии J связана с параметром q соотношением [5]

$$J = m\epsilon_0 B_0 U_a q / edN(q), \quad (3)$$

где U_a — величина анодного напряжения; d — расстояние между анодом и катодом; $N(q)$ — параметр, зависящий от геометрии пространства взаимодействия, режима работы и плотности объемного заряда.

В этом случае процесс вторично-эмиссионного умножения и накопления заряда в пространстве взаимодействия может быть описан следующим образом. Пусть имеется начальная плотность тока термоэмиссии с катода J_T и соответствующая ей величина заряда q_T . При наличии внешнего ВЧ поля в пространстве взаимодействия электроны, вылетающие из катода, будут взаимодействовать с полем, способствуя развитию вторично-эмиссионного процесса. При ударе первичных электронов о катод, будут вылетать вторичные электроны, увеличивая плотность тока эмиссии:

$$J = J_T \sum_j^{N_j} \sigma_j / N_j, \quad (4)$$

где σ_j — парциальные значения коэффициентов вторичной эмиссии; N_j — число электронов, бомбардирующих катод.

Исследуя процесс накопления заряда в пространстве взаимодействия в зависимости от характеристик катода, можно проследить изменение предельной плотности объемного заряда в какой-

то период времени и оценить возможные изменения характеристик прибора. Например, если прибор должен иметь срок службы 1000 ч, к концу которого выходная мощность будет не ниже номинальной, то, зная изменения эмиссионных характеристик катода во времени (см. рис. 1), можно оценить изменение плотности объемного заряда во времени и определить запас по характеристикам катода, который необходим для сохранения оптимальной мощности.

Другим возможным критерием оценки работоспособности прибора может явиться время образования объемного заряда в пространстве взаимодействия (или длины области взаимодействия, на которой нарастает заряд до предельного значения). Эта длина выражается в числе замедленных длин волн и оказывает влияние на величину флуктуаций переднего фронта ВЧ импульса в генераторах или время запаздывания фронта усиленного импульса относительно входного в усилителях.

Для проверки пригодности модели прогнозирования долговечности приборов М-типа проводились расчеты процесса накопления объемного заряда в пространстве взаимодействия при варьировании исходных параметров режима работы прибора: U_a , B , амплитуды ВЧ поля, начальной плотности тока эмиссии $J_{эм}$, характеристики вторично-эмиссионного катода σ_M и U_M . Амплитуда ВЧ поля вдоль прост-

ранства взаимодействия (параметра $n = \frac{l_c}{\lambda_3}$, где

l_c — длина системы, λ_3 — замедленная длина волны) при расчетах оставалась постоянной. Как видно из рисунка 2, а, предельная плотность объемного заряда q слабо зависит от термоэмиссионных свойств катода, в то же время длина пространства взаимодействия n резко уменьшается с увеличением плотности тока термоэмиссии, снимаемого с катода. Иными словами, при снижении термоэмиссии с катода возрастают флуктуации переднего фронта ВЧ импульса прибора.

Более резко на выходную мощность влияют изменения максимального коэффициента вторичной эмиссии σ_M (см. рис. 2, б). При снижении σ_M в 1,5 раза плотность объемного заряда падает в 3 раза. При этом ухудшаются параметры ВЧ импульса, так как возрастает время, необходимое для образования объемного заряда.

Следует отметить, что на величину объемного заряда оказывает влияние также величина напряжения обратной бомбардировки U_M , соответству-

ющая номинальной величине коэффициента вторичной эмиссии σ_M . При постоянной величине σ_M смещение вторично-эмиссионной характеристики

катода в область малых энергий обратной бомбардировки вызывает падение плотности объемного заряда, накапливаемой в пространстве взаимодействия (см. рис. 2, в). Длина области накопления заряда при этом несколько увеличивается.

Таким образом, слабое изменение характеристик катода вызывает достаточно сильное изменение плотности объемного заряда, которое в соответствии с уравнением (2) можно пересчитать в выходную мощность. Зная изменение характеристик катода во времени (см. рис. 1) и располагая зависимостями, приведенными на рис. 2, можно, исходя из заданного уменьшения выходной мощности, оценить возможный срок службы прибора. При этом, зависимости длины области накопления от эмиссионных характеристик могут служить добавочными критериями, которые ограничивают срок службы приборов по величине выходного ВЧ импульса. Следует заметить, что учет изменения ВЧ поля вдоль пространства взаимодействия слабо меняет характер полученных зависимостей.

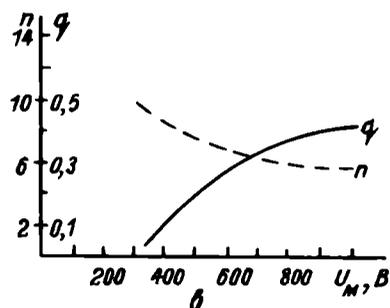
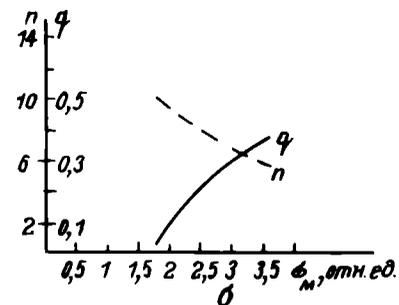
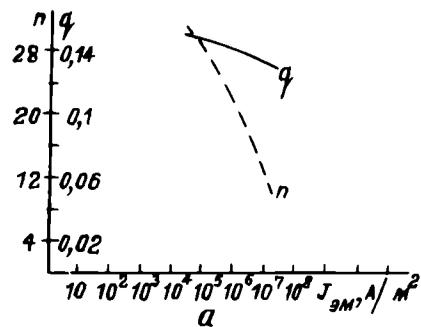


Рис. 2. Зависимости плотности объемного заряда q и длины области накопления n от плотности тока эмиссии $J_{эм}$ (а), характеристики вторично-электронной эмиссии σ_M (б) и напряжения обратной бомбардировки U_M (в)

Оценку долговечности прибора можно проводить также по таким параметрам, как искрение, пропуски импульсов и др. Для этого потребуются другие, более сложные, модели электронного потока.

ЛИТЕРАТУРА

1. Исследование структуры металлокерамического катода на основе $W-Y_2O_3-Al_2O_3$ / В.Н.Барышев, В.А.Батырев, М.Р.Кудряков и др. — Электронная промышленность, 1980, вып.11-12, с.55-58.
2. Д ж е г с е н, М ю л л е р. Вторичная электронная эмиссия в приборах М-типа. — В сб. Электронные приборы СВЧ со скрещенными полями / Пер. с англ. под ред. М.М.Федорова. — М.: ИЛ, 1961, т.1, с. 217.
3. С т е п а н о в Ю.Д. О предельных токах в приборах М-типа с катодом в пространстве взаимодействия. — Электронная техника. Сер. 1, Электроника СВЧ, 1966, вып. 1, с. 104-112.
4. Б ы ч к о в С.И. Вопросы теории и практическое применение приборов магнетронного типа. — М.: Советское радио, 1967. — 53 с.
5. Г а й д у к В.И., М а к а р о в В.Н. Избранные задачи электроники. — М.: Наука, 1977. — 78 с.

Статья поступила 11 мая 1982 г.

УДК 621.3.032.21

В.П.Марин

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАБОТЫ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКОГО КАТОДА

Полупроводниковая модель работы металлокерамического катода позволяет количественно определить изменение коэффициента вторично-электронной эмиссии.

Эффективные вторично-эмиссионные катоды содержат в качестве активного компонента окисел щелочного, щелочно-земельного или редкоземельного металла в виде равномерно распределенных по объему мелкодисперсных включений или тонкого поверхностного слоя. В зависимости от толщины окисного слоя (или размера окисных включений) и технологии изготовления различают металлосплавные поверхностно-окисленные и объемно-окисленные, синтезированные и композитные металлокерамические вторично-эмиссионные катоды.

Процесс спекания металлокерамического катода в атмосфере водорода сопровождается его активированием, проявляющимся в снижении работы выхода электрона с 4-5 эВ до 2,5-3,5 эВ. Физико-химическая природа материала металлической матрицы не влияет на величину изменения работы выхода, но определяет максимальную плотность тока насыщения термоэмиссии активированного катода [1]. Установлено, что активирование эффективного катода приводит к образованию в его активном компоненте кислородных вакансий, создающих донорные уровни в запрещенной зоне [2].

Очевидно, что образование кислородных вакансий должно существенно влиять на величину коэффициента вторичной электронной эмиссии (КВЭЭ) окисных включений, поскольку кислородную вакансию можно рассматривать как атом примеси с малой массой, который является высокоэффективным центром неупругого рассеяния медленных вторичных электронов.

Измеряемая величина КВЭЭ двухфазного материала (каким является металлокерамический катод)

$$\sigma = \sigma_M S_M + \sigma_{D_0} S_{D_0}, \quad (1)$$

где σ_M и σ_{D_0} — исходные КВЭЭ материалов металлической матрицы и окисных включений; S_M и S_{D_0} — относительные площади поверхности катода, занятые металлом и окислом. Если принять, что σ_M и S_M не меняются в процессе работы катода, то относительное изменение КВЭЭ можно представить в виде

$$\frac{\Delta \sigma}{\sigma_0} = \frac{1 - \frac{\sigma_{D_0}}{\sigma_0}}{1 + \frac{S_M}{S_{D_0}} \cdot \frac{\sigma_M}{\sigma_{D_0}}}, \quad (2)$$

где σ_{D_0} — значение КВЭЭ материала окисного включения, установившееся в процессе работы катода.

Согласно одномерной модели вторичной электронной эмиссии однородного материала, основанной на предположении о независимости механизмов образования и выхода вторичных электронов, зависимость КВЭЭ от энергии первичных электронов можно представить в виде [3]

$$\sigma = \frac{B}{\xi} \left(\frac{A_n}{\alpha} \right)^{1/n} \cdot (\alpha R)^{1/n-1} \cdot (1 - e^{-\alpha R}), \quad (3)$$

где B — вероятность выхода вторичных электронов; ξ — средняя энергия образования одного вторичного электрона; A_n — тормозная способность вещества катода; α — константа, характеризующая неупругое расстояние медленных вторичных электронов; $n = 1,35$; $R = E_p^n / A_n$ — глубина проникновения первичных электронов (E_p — энергия первичных электронов).

Величина максимального КВЭЭ

$$\sigma_{\max} = 0,9 \frac{B}{\xi} \left(\frac{A}{\alpha} \right)^{0,74}, \quad (4)$$

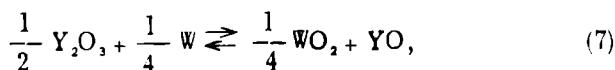
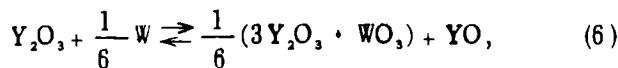
а изменение КВЭЭ окисных включений

$$\frac{\sigma_{\text{д}}}{\sigma_{\text{д}_0}} = \frac{B}{B_0} \left(\frac{\alpha_0}{\alpha} \right)^{0,74}, \quad (5)$$

что обусловлено изменением B и α вследствие увеличения рассеяния медленных вторичных электронов на кислородных вакансиях, которые тоже являются избытку металлической компоненты окисла, например иттрия для оксидно-итриевого металлокерамического катода. Причем, величина B связана в этом случае с изменением концентрации иттрия на поверхности.

Избыток иттрия на поверхности зерен Y_2O_3 в оксидно-итриево-металлокерамическом катоде образуется вследствие химического взаимодействия этого окисла с материалом металлической матрицы и с газовой средой прибора (в частности с кислородом), приводящего к окислению избыточного иттрия, а также из-за различия в скоростях испарения компонентов Y_2O_3 .

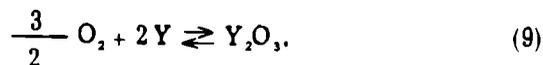
Взаимодействие между компонентами металлокерамического катода типа $W-Y_2O_3$, приводящее к образованию избытка иттрия, происходит по реакциям [4]:



каждую из которых можно дополнить реакцией, приводящей к избытку иттрия в зернах.

Известно, что основными продуктами испарения окиси иттрия являются атом O и молекула YO , причем испарение одного атома кислорода создает в среднем полтора избыточных атома иттрия, а испарение молекулы YO — половину вакансий итриевого атома [5]. Взаимодействие избыточных атомов иттрия на поверхности катода с

кислородом газовой среды прибора приводит к их окислению по реакции



В одномерном случае поверхностную концентрацию избыточных атомов иттрия можно найти из уравнения диффузии с учетом граничных условий, вытекающих из уравнений (6) — (9). В первом приближении получаем

$$\sigma(t) = \frac{\{1 - \alpha_1 [1 - \exp(-\frac{t}{t_0})]\}^{1/18}}{\{1 + \alpha_2 [1 - \exp(-\frac{t}{t_0})]\}^{0,74}}, \quad (10)$$

где α_1, α_2 и t_0 — параметры теории, зависящие от констант термодинамического равновесия реакций (6) — (9), плотности тока и энергии бомбардирующих электронов; t — время.

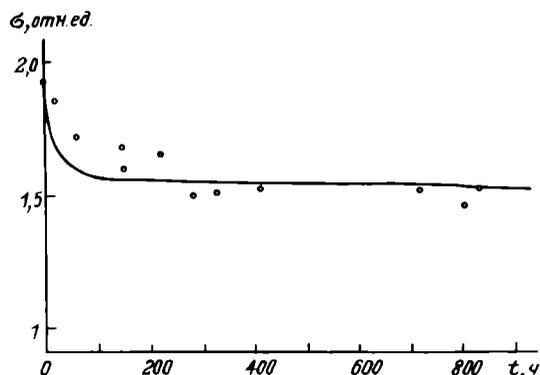
Экспериментальные данные по определению изменения КВЭЭ катода $W + Y_2O_3$ (6 %) в процессе испытаний в диоде на долговечность при плотности тока $J = 64 \text{ мА/см}^2$ хорошо согласуются с результатами расчета в соответствии с уравнениями (2) и (10) при $\alpha_1 = 0,15$; $\alpha_2 = 1$; $t_0 = 1 \cdot 10^{11} \text{ с}$ (см. рисунок). Однако следует отметить, что расчет параметров α_1, α_2 и t_0 для конкретных условий работы катода требует более детального рассмотрения параметров термодинамического равновесия.

Таким образом, с помощью полупроводниковой модели работы металлокерамического катода можно количественно определить изменение КВЭЭ без применения его пленочной модели. При дальнейшем развитии такая модель может быть использована для прогнозирования долговечности эффективных вторично-эмиссионных катодов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кульварская Б.С., Масловская Р.С. Термоэмиссия и давление пара окислов редкоземельных металлов. — Радиотехника и электроника, 1960, т. 5, № 8, с. 1254—1260.
2. Кульварская Б.С., Дмитриев С.Г. Методология выбора катодного материала с меньшей работой выхода. — Изв. АН СССР. Сер. Физическая, 1979, т. 43, № 3, с. 492—496.
3. Dionne G.F. Origin of secondary-electron-emission yield-curve parameters. — J. Appl. Phys., 1975, vol. 46, № 8, p. 3347—3351.
4. Исследование взаимодействия окислов иттрия, лантана и диспрозия с вольфрамом и продуктами его окисления / В.А. Левицкий, В.П. Марин, А.Н. Клименко и др. — Неорганические материалы, 1980, т. 16, № 10, с. 1829—1833.
5. Физико-химические свойства окислов. Справочник под ред. Г.В. Самсонова. — М.: Металлургия, 1978. — 472 с.

Статья поступила 11 мая 1982 г.



Изменение коэффициента вторично-электронной эмиссии катода $W + Y_2O_3$ (6 %) при $J = 64 \text{ мА/см}^2$

УДК 681.325.65

Л. П. Гаврилов

ПРИМЕНЕНИЕ РЕКУРРЕНТНЫХ МЕТОДОВ В ПРОГРАММАХ АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ

Программы анализа переходных процессов в электронных схемах включают подпрограмму численного интегрирования системы дифференциальных уравнений, эффективность работы которой в значительной степени определяет эффективность работы программы анализа в целом. В результате сопоставления методов и программ на их основе путем оценки затрат машинного времени было показано [1, 2], что для интегрирования жестких систем дифференциальных уравнений целесообразно применение неявных методов интегрирования. Рекуррентные методы интегрирования при этом сопоставлении не рассматривались.

Сопоставление аппроксимирующих функций, оценки шага интегрирования. Рассмотрим аппроксимацию функции действительной переменной $x(t)$ рядом вида:

$$x(t) = \sum_{r=0}^n X_r \phi_r(t), \quad (1)$$

где $t \in [a, b]$ — независимая переменная, $x(t)$ на указанном интервале — непрерывная аналитическая функция, имеющая n непрерывных производных, X_r — действительные коэффициенты.

В качестве функций $\phi_r(t)$ рассматривались ряды Тейлора, ряды по смещенным полиномам Чебышева первого рода, Чебышева второго рода, по полиномам Эрмита, Лагерра, Лежандра.

Исследовалось применение рядов вида (1) для решения систем обыкновенных дифференциальных уравнений, поскольку такими системами уравнений описываются переходные процессы в электронных схемах:

$$\dot{x} = Ax + F \quad (2)$$

$$\dot{x} = \Phi(x) + F, \quad (3)$$

где F — вектор воздействия, $\Phi(x)$ — нелинейная вектор-функция.

Представим каждый элемент векторов x и F рядами вида (1), подставим их в уравнение (2) или (3) и приравняем коэффициенты при функциях $\phi_r(t)$ с одинаковыми индексами. Для рядов по полиномам Чебышева, Лагерра, Лежандра при этом приходится применять r -метод Ланцоша [3].

В результате получаем систему рекуррентных соотношений для определения коэффициентов ряда (1). Так, для системы (2) при аппроксимации рядами Тейлора получаем: $X_{r+1} = AX_r + F_r$, $r = 0, n$; при аппроксимации рядами по полиномам

Эрмита: $2(r+1)X_{r+1} = AX_r + F_r$; аналогичные соотношения получаются и при аппроксимации другими рассмотренными рядами.

Для системы (3) также получаются рекуррентные соотношения вида $X_{r+1}(X_r, \dots, X_0, t_a)$, что позволяет по вектору начальных значений $x(t_a)$ определять коэффициенты ряда (1) и продолжать решение. Применительно к анализу электрических цепей эти вопросы более подробно рассмотрены в работах [4, 5].

Исследование методов численного интегрирования во многих работах выполняется путем исследования решения тестового уравнения

$$\dot{x} + \alpha x = 0, \quad (4)$$

аналитическое решение которого $x = x(0)e^{-\alpha t}$.

При аппроксимации решения уравнения (4) рядами вида (1) относительная погрешность приближения определяется выражением

$$\delta = (e^{-\alpha t} - \sum_0^n X_r \phi_r(t)) / e^{-\alpha t} \quad (5)$$

Пусть приближенное численное решение дифференциального уравнения находится с h верными десятичными знаками. Для этого модуль относительной погрешности решения $|\delta|$ не должен превосходить величину $0,5(0,1)^h$. Следовательно, $\lg|\delta|$ соответствует числу верных десятичных знаков приближенного решения. Зависимости $\lg|\delta|$ от αt в случае применения в качестве аппроксимирующей функции ряда Тейлора при изменении n до 20 представлены на рис. 1, аналогичные зависимости для ряда по полиномам Чебышева второго рода при $n=4$ — на рис. 2. Если на этих графиках провести горизонтальную линию, соответствующую требуемому значению $\lg|\delta|$, до пересечения с линией $n = \text{const}$, то можно определить соответствующую величину αt . Сопоставляя величины αt , полученные на рис. 1 и 2, можно установить, у какого из рядов больше шаг интегрирования. Из сопоставлений, выполненных для рядов Тейлора и рядов по полиномам Эрмита, Чебышева, Лагерра, Лежандра, следует, что при значениях $\alpha = 10 \div 10^6$ ряды по полиномам Эрмита, Чебышева, Лагерра, Лежандра имеют шаг интегрирования, значительно уступающий шагу при применении ряда Тейлора; при значениях $\alpha = 1 \div 10^{-6}$ указанные ряды позволяют вести интегрирование с шагом, соизмеримым с величиной шага при применении ряда Тейлора.

При применении ряда Тейлора коэффициент $X_0 = x(0)$, ряда по полиномам Эрмита $X_0 = x(0) / (1 - \frac{\alpha^2}{4} + \frac{\alpha^4}{32})$, для рядов по полиномам Чебышева, Лагерра, Лежандра определение коэффициента X_0 является еще более сложным.

Отсюда следует, что применение рядов Тейлора для численного интегрирования дифференциальных уравнений, обладающих решением экспоненциального вида, является предпочтительным по сравнению с применением рядов по полиномам Эрмита, Чебышева, Лагерра, Лежандра.

Если на рис. 1 провести горизонтальную линию до пересечения с линиями $n = \text{const}$, то можно установить, что увеличение n позволяет увеличить шаг интегрирования. (Например, увеличение n от 2 до 20 позволяет увеличить шаг интегрирования почти в 26 раз). При численном интегриро-

вательных значений p_i определять величину шага следует по величине относительной погрешности аппроксимации (см. рис. 1), так как из спектральной оценки качественного соответствия решения значения шага получаются больше.

Для определения величины шага интегрирования при значении $p_i = \pm j\beta_i$ рассмотрим тестовое уравнение

$$\dot{x}^2 + x^2 = 1, \tag{6}$$

решением которого является функция $x = \sin t$. Относительная погрешность приближения решения

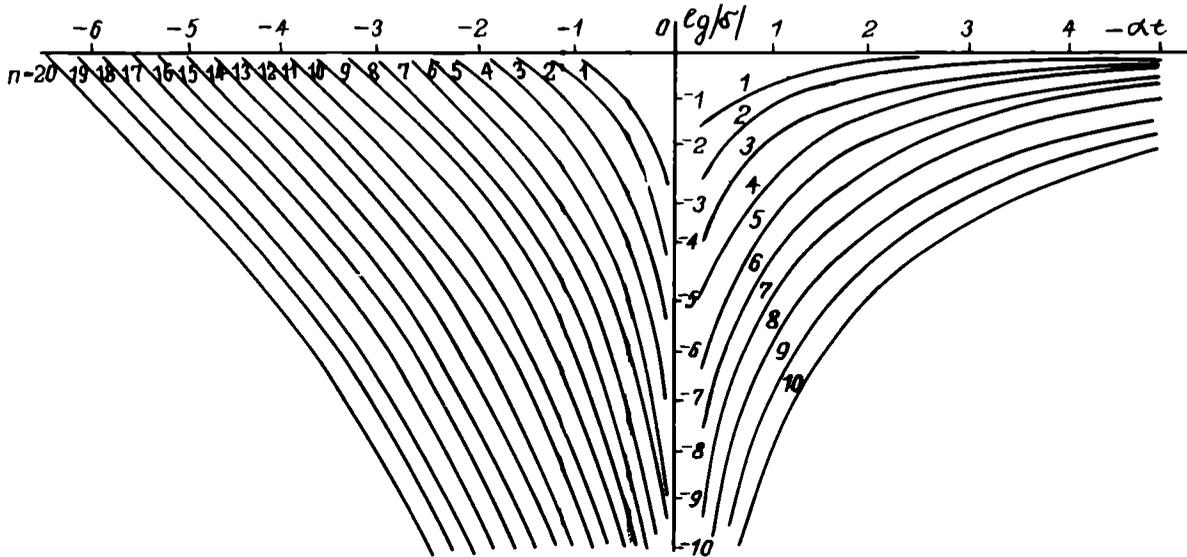


Рис. 1. Зависимости $|\delta|$ от αt в случае применения в качестве аппроксимирующей функции ряда Тейлора

вании жестких систем дифференциальных уравнений, когда скорости изменения переменных в системе различны, шаг интегрирования можно увеличить, вычисляя значения медленно изменяющихся переменных при помощи ряда с малым числом членов, а быстро изменяющиеся переменные с большим числом. Оценка числа членов ряда для каждой переменной производится программой численного интегрирования автоматически по допустимой погрешности вычислений.

При исследовании методов численного интегрирования производится спектральная оценка качественного соответствия решения. Пусть собственными числами матрицы A в уравнении (2) являются числа $p_i = \alpha_i + j\beta_i$, $i = 1, m$. Тогда для каждого p_i должно выполняться условие $|\exp(p_i t)| \geq 1$ при $\alpha_i \geq 0$.

Построены области значений $\alpha_i t, \beta_i t$, для которых выполняются записанные неравенства при разложении функции $\exp(p_i t)$ в ряд Тейлора ($n = 0 \div 20$) [4], что позволяет определить допустимую величину шага интегрирования. Для дей-

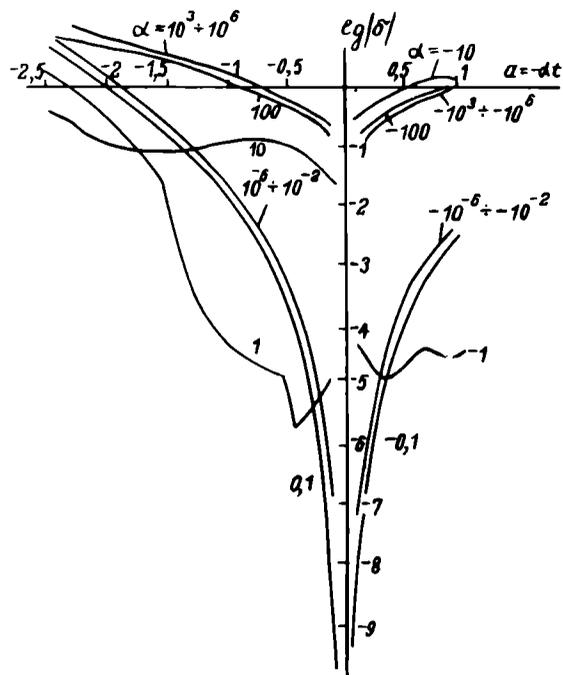


Рис. 2. Зависимости $|\delta|$ от αt в случае применения в качестве аппроксимирующей функции ряда по полиномам Чебышева второго рода при $n = 4$

уравнения (6) рядом (1), когда $\phi_r(t) = t$, т.е. рядом Тейлора, определится выражением:

$$\delta = (\sin t - \sum_0^n X_r t^r) / \sin t. \quad (7)$$

На рис. 3 представлены зависимости $|\delta|$ от t при $n = 1 \div 23$.

Проводя горизонтальные линии до пересечения с линией $n = \text{const}$, определим величину t . Из сопоставления значений t при одинаковых n на рис. 1 и 3 видно, что величина шага, определяемая из рис. 3, в 1,5 - 2 раза больше соответствующего значения, полученного из рис. 1. Увеличение шага интегрирования при наличии у матрицы A комплексных собственных чисел подтверждается сокращением затрат машинного времени при решении задач классов B и C , что будет рассмотрено дальше.

Описание алгоритма подпрограммы численного интегрирования рекуррентным методом. Подпрограмма численного интегрирования систем линейных и нелинейных дифференциальных уравнений, записанных в форме Коши, основана на аппроксимации каждой переменной системы и воздействующих функций рядами Тейлора. Коэффициенты рядов, аппроксимирующих переменные системы, определяются рекуррентно, как это бы-

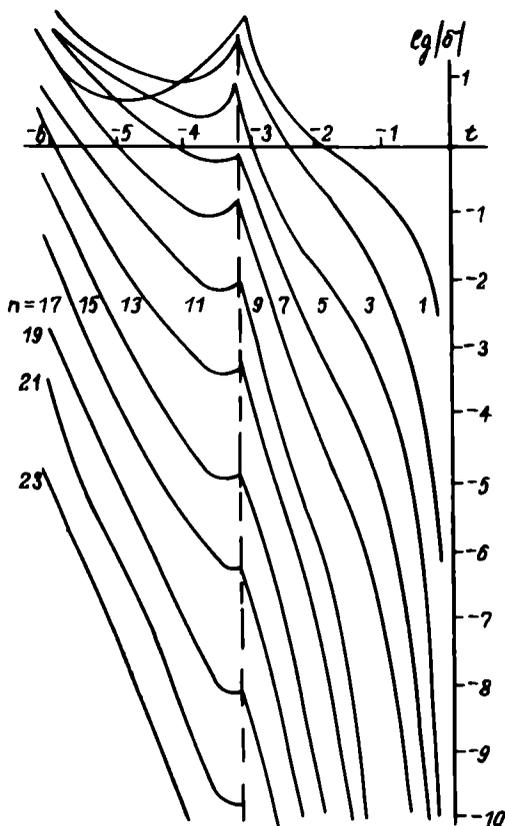


Рис. 3. Зависимости $|\delta|$ от t при аппроксимации синусоидальной функции рядом Тейлора

ло рассмотрено выше. Коэффициенты матрицы A вводятся в подпрограмму в виде вектора ненулевых элементов и вектора адресов, указывающего места расположения коэффициентов в матрице. Нелинейности вида произведения двух переменных или степенные функции реализуются специальной подпрограммой, работающей по следующему алгоритму. Пусть требуется вычислить произведение функций $y = x_i x_j = \sum_0^n X_{ir} t^r \sum_0^n X_{jr} t^r = \sum_0^n Y_r t^r$. Тогда коэффициенты Y_r выразятся через X_{ir} и X_{jr} , т.е. $Y_r = \sum_{k=0}^n X_{ik} X_{j,r-k}$. На алгоритмиче-

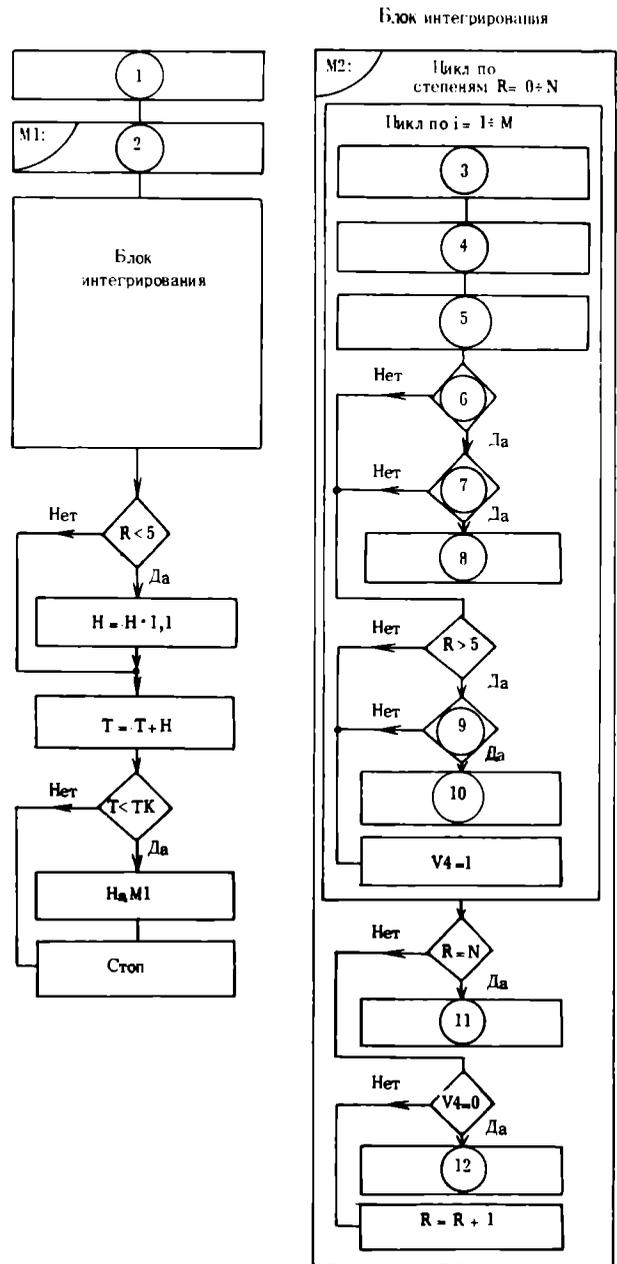


Рис. 4. Структурная схема подпрограммы численного интегрирования для линейных систем дифференциальных уравнений

ском языке $PL-1$ это запишется:

```

Y (R) = 0;
DO K = 0 TO R;
Y (R) = Y (R) + X (i, k) * X (i, R-K);
END.

```

Можно также проводить вычисления при кусочно-линейной аппроксимации нелинейных зависимостей [6]. При этом дифференциальные параметры либо вводятся в исходных данных, либо вычисляются на каждом шаге интегрирования. Подпрограмма численного интегрирования для линейных систем дифференциальных уравнений (рис. 4) имеет следующие блоки:

1. Задание входного списка, при котором вводятся коэффициенты A , коэффициенты при нелинейных и при воздействующих функциях, параметры входных сигналов, начальный шаг интегрирования H , максимальное число членов ряда (1), размерность системы m , предельно допустимое значение абсолютной погрешности вычислений $\delta_{пр}$, относительная погрешность вычислений K , конечное время интегрирования TK .

2. Вычисление абсолютной погрешности $\delta_{абс.,i} = K |x_i(0)|$ для каждой переменной. Обычно принимается $K = 10^{-2} \div 10^{-3}$.

Если $\delta_{абс.,i}$ меньше $\delta_{пр}$, то принимается $\delta_{абс.,i} = \delta_{пр}$, $i = 1 \div m$.

3. Уход на конец цикла по i при положении ключа $KL(i)$, равном 1.

4. Расчет по рекуррентной формуле коэффициентов ряда

$$X_{r+1,i} = \left(\sum_1^m a_{ij} X_{rj} + \sum_1^m b_{ij} f_{rj} \right) H.$$

5. Вычисление суммы членов ряда

$$x_i = \sum_0^R X_{s,i} + X_{r+1,i}.$$

6. Проверка достижения требуемой погрешности

$$X_{r+1,i} < \delta_{абс.,i}.$$

7. Проверка условия сходимости ряда

$$X_{r+1,i} < X_{r,i} \text{ или } X_{r,i} = 0.$$

8. Ключ $KL(i)$ принимает значение 1, переход на конец цикла по i .

9. Проверка условия $|X_{r+1,i}| > |X_{r,i}|$ и $|X_{r+1,i}| > |X_{r-1,i}|$. При выполнении этого условия устанавливаем, что ряд является расходящимся и требуется уменьшение шага интегрирования.

10. Уменьшение шага по формуле $H_{нов} = H \times 0,95 H_{r,i} / H_{r+1,i}$. Присвоение всем переменным начальных значений, переход на начало цикла по R , метка $M2$.

11. Дробление шага пополам, присвоение всем переменным x_i их начальных значений, переход на начало цикла по R , метка $M2$.

12. Выход из цикла по R .

Экспериментальная проверка эффективности работы подпрограммы численного интегрирования рекуррентным методом. Оценка эффективности применения подпрограммы численного интегрирования производилась по затратам машинного времени на решение задач классов A, B, C, D [1,2]. Расчеты выполнялись на ЦВМ ЕС-1022. При расчетах принималось, что величина относительной погрешности равна 10^{-3} , величина предельной абсолютной погрешности $\delta_{пр} = 10^{-6}$.

Интервал интегрирования обозначен TK . Задачи класса A — линейные, с действительными собственными значениями p матрицы состояния A , различающиеся на два — шесть порядков; класса B — линейные, с комплексными p ; класса C — нелинейные, содержащие быстро осциллирующие компоненты; класса D — нелинейные с действительными p .

Оценка точности вычислений выполнялась по сопоставлению результатов расчета с известными аналитическими решениями задач $A1, A2, A41, A42, B2-B5$. Например, в задаче $A1$ первая переменная для значения независимой переменной 2,12799 равнялась 0,34507, вместо 0,345075 (относительная погрешность — $1,44 \cdot 10^{-3}\%$), а в конце интервала интегрирования для значения независимой переменной 18,6198 равнялась $8,69529 \cdot 10^{-5}$, вместо $9,1 \cdot 10^{-5}$. Относительная погрешность при этом составляла 4,44%. Среди задач класса A рассматривалась дополнительно задача $A42$ большой размерности $x_i = -i^3 x_i$, $i = 1 \div 50$, $TK = 1$, значения p которой различаются на шесть порядков.

Результаты эксперимента приведены в таблице, где указана задача, время на ее выполнение, среднее значение шага интегрирования, число членов степенных рядов (порядки). Для сопоставления в таблице приведены результаты решения этих задач по данным работы [2] при решении их на ЦВМ ЕС-1020 и использовании программы $STINT$, где затраты машинного времени были меньше среди исследованных программ. Быстродействие ЦВМ ЕС-1020 в четыре раза ниже быстродействия ЦВМ ЕС-1022 [7]. Результаты решения задачи $B5$ программой $STINT$ при $\epsilon_{ps} = 10^{-5}$, рекуррентным методом при $K = 10^{-3}$, $\delta_{пр} = 10^{-6}$ и аналитического решения близки. Объясняется это следующим. Абсолютные погрешности вычислений в обоих методах определяются на каждом шаге интегрирования по вычисленным значениям переменных. В программе $STINT$ абсолютная погрешность

вычислений определяется по модулю максимальной переменной, при использовании рекуррентного метода для каждой переменной вычисляется своя абсолютная погрешность по абсолютному значению переменной. На этом основании в таблице приведены результаты вычислений с использованием программы *STINT* при $\epsilon_{pr} = 10^{-6}$. Задачи класса *D* просчитывались при начальных значениях, принятых в работе [1], и при значениях, принятых в работе [2]. Изменение начальных значений переменных не вызвало дополнительных трудностей.

Задача	Рекуррентный метод ЦВМ ЕС-1022 $\delta_{pr} = 10^{-6}, K = 0,001$			Композиционный метод ЕС-1020 (погрешность 10^{-6})		
	время, с	шаг	порядок	время, с	число шагов	порядок
A1	6	$6,65 \cdot 10^{-2}$	0-23	99	198	6
A2	344,77	$1,8 \cdot 10^{-3}$	2-10	274	179	6
A3	605	$4 \cdot 10^{-4}$	8-9	142	174	6
A41	40,6	$3 \cdot 10^{-2}$	6-11	430	333	6
A42	274	$2,5 \cdot 10^{-2}$	11	-	-	-
B1	17,3	$2,5 \cdot 10^{-2}$	6-11	432	813	7
B2	3,1	$3 \cdot 10^{-1}$	3-9	127	171	6
B3	3,15	$2,5 \cdot 10^{-1}$	2-8	152	202	5
B4	5,2	$2,5 \cdot 10^{-1}$	2-8	201	276	7
B5	21,25	$3,6 \cdot 10^{-2}$	2-9	1093	1731	7
C1	16	$5 \cdot 10^{-2}$	8	115	222	6
C2	15,04	$5 \cdot 10^{-2}$	9-10	111	213	5
C3	16,03	$5 \cdot 10^{-2}$	9-10	111	219	6
C4	19,6	$5,5 \cdot 10^{-2}$	9-16	138	240	6
C5	17,3	$6,5 \cdot 10^{-2}$	11-14	137	241	6
D1	61,15	$1 \cdot 10^{-1}$	5-11	89	181	6
D2	257	$1,5 \cdot 10^{-1}$	0-10	95	217	5
D3	66	$6,14 \cdot 10^{-1}$	8	144	274	5
D4	136	$3,7 \cdot 10^{-1}$	1-6	15	39	4
D5	300	$1 \cdot 10^{-1}$	0-6	36	149	6
D6	56	$1,26 \cdot 10^{-1}$	0-6	33	76	5

Проанализируем результаты эксперимента. Задачи A1, A41, A42 представляют собой системы линейных дифференциальных уравнений с независимыми друг от друга переменными и действительными p , различающимися в задаче A1 на два порядка, в задаче A41 — на пять порядков, в задаче A42 — на шесть порядков. Интегрирование каждой переменной ведется с различным числом членов ряда, вследствие чего достигается значительное увеличение шага интегрирования. Число членов ряда для быстро изменяющихся переменных равно 1 после того, как они становятся меньше принятой абсолютной погрешности. Затраты машинного времени в задачах A1 и A41 меньше при применении рекуррентного метода. В задачах A2 и A3, представляющих собой системы с действительными p , различающимися на четыре-пять порядков, переменные зависят друг от друга. В этих задачах затраты машинного времени меньше при применении неявного метода интегрирования.

Задаче A2 соответствует цепная схема из R - C элементов, на вход которой подается постоянный сигнал $E = 1$. Все $R = 1$, первая и послед-

няя емкости равны 0,001, а все остальные равны 1, переменным x соответствуют напряжения на емкостях. Пусть на вход схемы подается не постоянный сигнал, а синусоидальный $e = E \cdot \sin \omega t$. Для частот, соизмеримых с максимальным по модулю p (в задаче A2 это число равно 2000) и больших его, когда шаг интегрирования как в неявном, так и в рекуррентном методах определяется частотой воздействующей функции, затраты машинного времени будут меньше при применении рекуррентного метода, где число выполняемых операций на один шаг интегрирования гораздо меньше. Обозначим R_i число членов степенного

ряда, с которым вычисляется i -я переменная на рассматриваемом шаге; α — коэффициент, учитывающий разреженность матрицы состояния ($\alpha \leq 1$); γ_i — коэффициент, учитывающий скорость изменения переменной ($\gamma_i = 1$, если интегрирование ведется с числом членов ряда, большим 5; $\gamma_i = 0$, если число членов ряда меньше 5).

Обозначим также операции присвоения, сложения, умножения, сравнения, логические операции начальными буквами П, СЛ, У, СР, Л, а число уравнений в системе — буквой М. Тогда на один шаг интегрирования в рекуррентном методе затрачивается число операций, определяемое форму-

лой $(9П + У + С)М + \sum R_i[(У + С) + М] + 5П + 4СР + 3Л + 3СЛ + У + \alpha(3СЛ + П + У + Л) + \gamma_i(П + СЛ + 3СР + 3У + Л)$. Если сопоставить число операций в неявном методе, например, реализующим алгоритм Гира-Нордсика [8], то можно убедиться, что число операций будет более чем на порядок превышать число операций в рекуррентном методе.

В задачах классов B и C затраты машинного времени при применении рекуррентного метода значительно меньше, чем при применении неявного метода интегрирования. Объясняется это следующим. Как следует из рис. 3, величина шага интегрирования для комплексных p возрастает с увеличением числа членов степенного ряда, так что величина $|p_i h|$ может быть больше единицы. В

работе [9] исследовался вопрос устойчивости неявных методов интегрирования. Из голографа, приведенного на рис. 3, следует, что для $n > 1$ величина $Im |p_i h|$ должна быть близка к единице, причем повышение порядка приводит к ухудшению условий устойчивости. Поскольку величина шага интегрирования при применении рекуррентного метода интегрирования может быть больше, а число выполняемых операций на один шаг меньше, то затраты машинного времени в этих задачах при применении рекуррентного метода меньше. Это подтверждается еще одним численным примером, принятым в работе [10], где приведена схема фильтра с высокой добротностью. Время

счета на ЦВМ ЕС-1033 при использовании программы СПАРС составляло 1130 с. Рекуррентным методом эта же задача на ЦВМ ЕС-1022 решается в течение 780 с. Интервал интегрирования принимался равным 20000 , $K=10^{-3}$, $\delta_{\text{пр}} = 10^{-8}$.

Из выполненного численного эксперимента следует, что рекуррентный метод целесообразно применять для численного интегрирования систем дифференциальных уравнений с воздействующими функциями, частоты которых близки или выше наибольшего из собственных чисел матрицы A , в системах с быстроосциллирующими переменными, при наличии в матрице A комплексных собственных значений, в задачах, где переменные не зависят друг от друга.

ЛИТЕРАТУРА

1. Enright W.H., Hull T.E., Linberg B. Comparing numerical methods for stiff systems of ordinary differential equations, — ВИТ, 1975, N 1, p. 10—48.
2. Петренко А.И., Смирнов А.М., Гумен Н.Б. Сравнительное исследование неявных методов интегрирования систем дифференциальных уравнений при решении модельных задач. — Электронное моделирование, 1981, № 3, с. 8—16.
3. Ланцош К. Практические методы прикладной математики. — М., Физматгиз, 1961. — 224 с.
4. Гаврилов Л.П. Аналитический метод расчета электрических цепей с применением ЦВМ. — М.: МИЭМ, 1975. — 202 с.
5. Пухов Г.Е. Преобразования Тейлора и их применение в электротехнике и электронике. — Киев.: Наукова думка, 1978. — 257 с.
6. Гаврилов Л.П. Применение метода степенных рядов к расчету нелинейных цепей. — Изв. вузов СССР. Сер. Радиоэлектроника, 1974, т. 17, № 7, с. 24—31.
7. Королев Л.Н. Структура ЭВМ и их математическое обеспечение. — М.: Наука, 1978. — 352 с.
8. Gear C.W. The automatic integration of ordinary differential equations. — CASM, 1971, vol. 14, N 3, p. 185—190.
9. Петренко А.И., Власов А.И., Тимченко А.П. Табличные методы моделирования электронных схем на ЭЦВМ. — Киев: Вища школа, 1977. — 186 с.
10. Бармаков Ю.Н., Бахов В.А., Ильин В.Н. и др. Результаты исследования ряда программ анализа электронных схем. — Изв. вузов СССР. Сер. Радиоэлектроника, 1981, т. 24, № 6, с. 27—37.

Статья поступила 25 мая 1982 г.

УДК 543.42

С.Д. Гумляева

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СПЕКТР СИГНАЛА С ДВУКРАТНОЙ ФАЗОВОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ И ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ФАЗОЙ

Для корреляционной обработки фазомодулированных (ФМ) сигналов в демодуляторе необходимо устройство выделения тактовых импульсов (УВГИ). Поскольку в спектре основных ФМ сигналов отсутствует дискретная составляющая, по которой можно было бы формировать тактовые импульсы

(ТИ), при использовании обычных ФМ сигналов в УВГИ помещают нелинейный преобразователь, на выходе которого появляется необходимая дискретная линия. Далее она фильтруется и очищается от помех, а гармоническое колебание тактовой частоты преобразуется в ТИ.

Однако известно, что при длительной передаче единиц и нулей бинарной информационной последовательности уровень дискретной линии, формирующей ТИ, понижается в результате уменьшения отношения сигнал—помеха на выходе УВГИ. Это приводит к увеличению флуктуаций ТИ, и следовательно, к уменьшению помехоустойчивости. Поэтому используются ФМ сигналы, названные сигналами с вращающейся фазой [1]. В них информация о ТИ присутствует всегда, независимо от вида передаваемой информации.

Ранее были исследованы корреляционная функция, энергетический спектр и помехоустойчивость с учетом флуктуаций ТИ при использовании однократных ФМ сигналов с вращающейся фазой. В данной работе исследовались те же характеристики применительно к сигналам двукратной ФМ с вращающейся фазой.

Рассмотрим корреляционную функцию и энергетический спектр сигнала с вращающейся фазой при наличии помехи. В этом случае сигнал имеет вид:

$$S(t) = U_0 \cos(\omega_0 t + f_p(t) + \theta(t) + \Delta), \quad (1)$$

где U_0 — амплитуда сигнала; ω_0 — центральная частота сигнала; $f_p(t)$ — вращающаяся фаза, представляющая собой ступенчатую функцию с периодом $8T_0$; $\theta(t)$ — функция, характеризующая случайный марковский процесс (представляет собой телеграфный сигнал, принимающий четыре значения $0, \frac{\pi}{2}, \pi, \frac{3\pi}{2}$; вероятность каждого из них равна $0,25$, смена значений может происходить в фиксированные моменты времени, кратные T_0); Δ — случайная величина, которая распределена равномерно в диапазоне $(-\pi \div +\pi)$.

Предположим также, что помеха, действующая на вход УВГИ, вводится аддитивно с сигналом и представляет собой нормальный случайный процесс $n(t)$ с корреляционным моментом $r(\tau) = e^{-\alpha|\tau|} \cos \omega \tau$ и дисперсией σ^2 . Математическое ожидание полагаем равным нулю. Сигнал и помеха статистически независимы.

Следует найти $F(t) = (S(t) + n(t))^2$. Корреляционную функцию этого процесса $K_F(t, \tau)$ определим по формуле:

$$K_F(t, \tau) = M[F(t + \tau) \cdot F(t)] - m_F^2.$$

Учитывая, что $M[S] = M[S^2] = 0$ из-за равномерной составляющей фазы Δ , найдем:

$$m_F = M[S^4] + 6M[S^2]M[n^2] + M[n^4].$$

Очевидно, что

$$M[S^4] = \frac{3}{8} U_0^4; \quad M[S^2] = \frac{1}{2} U_0^2;$$

$$M[n] = M[n^3] = 0; \quad M[n^2] = \sigma^2; \quad M[n^4] = 3\sigma^4.$$

Поэтому

$$m_F = \frac{3}{8} U_0^4 + 3U_0^2 \sigma^2 + 3\sigma^4.$$

Найдем далее $M[F(t+r)F(t)]$.

Обозначим

$$\begin{aligned} S(t+r) &= S_1; & S(t) &= S_2; \\ n(t+r) &= n_1; & n(t) &= n_2. \end{aligned} \quad (2)$$

Тогда

$$\begin{aligned} M[F(t+r) \cdot F(t)] &= \\ &= M[(S_1^4 + 4S_1^2 n_1^2 + 6S_1^2 n_2^2 + 4S_1 n_1^3 + n_1^4) \times \\ &\times (S_2^4 + 4S_2^2 n_2 + 6S_2^2 n_1^2 + 4S_2 n_2^3 + n_2^4)] \end{aligned} \quad (3)$$

Из выражения (3) следует, что $M[F(t+r)F(t)]$ представляет собой линейную комбинацию выражений

$$\begin{aligned} M[S_1^k \cdot S_2^l \cdot n_1^{4-k} \cdot n_2^{4-l}] \quad (4) \\ \text{при } k = 0, 1, 2, 3, 4; \\ l = 0, 1, 2, 3, 4. \end{aligned}$$

Нетрудно показать, что при нечетном значении $k + l$ выражения вида (4) обращаются в нуль. Учитывая это, получаем:

$$\begin{aligned} M[F(t+r)F(t)] &= M(S_1^4 \cdot S_2^4) + \\ &+ 6\sigma^2 M[S_2^2 S_1^4] + 3\sigma^4 M[S_1^4] + \\ &+ 16M[S_1^3 S_2^3] \cdot M[n_1 n_2] + 6\sigma^2 M[S_2^3 S_1^3] + \\ &+ 36M[S_2^2 S_1^2] M[n_1^2 n_2^2] + 6M[S_1^2] M[n_2^2 n_1^2] + \\ &+ 16M[S_1 S_2] M[n_1^3 n_2^3] + M[S_2^4] \cdot 3\sigma^4 + \\ &+ 6M[S_2^3] M[n_2^3 n_1^3] + M(n_1^4 n_2^4) + \\ &+ 16M[S_2 S_1^3] M[n_2^3 n_1] + \\ &+ 16M[S_2^2 S_1] M[n_2^2 n_1^2]. \end{aligned} \quad (5)$$

Произведя элементарные преобразования входя-

щих в выражение косинусов и обозначив

$$\Delta\phi(t, \tau) = \theta(t+r) + f(t+r) - \theta(t) - f(t) \text{ и}$$

$$M_k(t, \tau) = M[\cos(k\omega_0 \tau + k\Delta\phi(t, \tau))] \quad (6)$$

при $k = 1, 2, 3, 4$

получим с учетом (6) из (5) и (2)

$$\begin{aligned} K_F(t, \tau) &= \frac{U_0^8}{128} M_4 + \frac{U_0^8}{8} M_2 + \frac{3}{2} U_0^6 \sigma^2 M_2 + \\ &+ \frac{1}{2} U_0^6 \sigma^2 \tau M_3 + \frac{9}{2} U_0^6 \sigma^2 \tau M_1 + 18\sigma^4 U_0^4 \tau^2 + \\ &+ 9\sigma^4 U_0^4 \tau^2 M_2 + 96\sigma^6 U_0^2 \tau^2 + 48\sigma^2 U_0^2 \tau^3 M_1 + \\ &+ 12\sigma^2 U_0^4 M_1 \tau + 12\sigma^2 \tau^2 + 24\sigma^4 \tau^4. \end{aligned} \quad (7)$$

После вычислений получим:

$$M_k(t, \tau) = \begin{cases} \cos(k\omega_0 \tau + k(f_p(t+r) - f_p(t))) \times \\ \times \left[\frac{1}{2} \left(1 - \frac{|\tau|}{T_0}\right) \left(2 - \cos^2 \frac{\pi k}{2} - \right. \right. \\ \left. \left. - \cos^3 \frac{\pi k}{2}\right) + \frac{1}{2} \cos^3 \left(\frac{\pi k}{2} + \right. \right. \\ \left. \left. + \cos^3 \frac{\pi k}{2}\right) \right] \quad (8) \\ \text{при } |\tau| \leq T_0 \\ \text{при } |\tau| > T_0 \end{cases}$$

$k = 1, 2, 3;$

$$M_4(t, \tau) = \cos(4\omega_0 \tau + 4(f_p(t+r) - f_p(t))) \quad (9)$$

при $\forall \tau$.

Из выражений (8) и (9) следует, что $K_F(t, \tau)$ зависит от t . Тогда, чтобы применить аппарат спектральной теории, усредним $K_F(t, \tau)$, разложив ее в ряд Фурье по переменной t в диапазоне $(0, 8T_0)$, с учетом, что она имеет период, равный $8T_0$ по этой переменной. Первый коэффициент этого разложения считаем усредненной по времени корреляционной функцией $K_F(t, \tau)$ [2], которую запишем в виде:

$$\begin{aligned} 2K_F(t, \tau) &= \frac{U_0^8}{27} a_4(\tau) + a_2(\tau) \left(\frac{U_0^8}{8} + \right. \\ &+ \left. \frac{3}{2} U_0^6 \sigma^2 \right) + a_1(\tau) \tau(\tau) \cdot \left(\frac{9}{2} U_0^6 \sigma^2 + 12\sigma^4 U_0^4 \right) + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &+ r^2(\tau) (18\sigma^3 U_0^4 + 96\sigma^6 U_0^2 + 12\sigma^9) + \\
 &+ \frac{1}{2} U_0^4 \sigma^2 r(\tau) a_1(\tau) + 9\sigma^4 U_0^4 r^2(\tau) a_2(\tau) + \\
 &+ 48\sigma^6 U_0^2 r^3(\tau) a_3(\tau) + 24\sigma^8 r^4(\tau), \quad (10)
 \end{aligned}$$

где

$$a_k(\tau) = \begin{cases} \frac{1}{2} \left(1 - \frac{|\tau|}{T_0}\right) \left(1 - \frac{|\tau|}{T_0}\right) \cos k\omega_0 \tau + \\ + \frac{|\tau|}{T_0} \cos\left(k\omega_0 \tau \mp \frac{\pi}{4} \sin \tau\right) \\ 0, \end{cases} \quad \begin{cases} \text{при } |\tau| \leq T_0 \\ \text{при } |\tau| > T_0 \end{cases} \quad (11)$$

$k = 1, 2, 3;$

$$\begin{aligned}
 a_4(\tau) &= \frac{(-1)^{n+1}}{2} \left(\frac{2|\tau|}{T_0} - (2m+1) \right) \cos 4\omega_0 \tau; \\
 m T_0 &< \tau < (m+1) T_0; \\
 -(m+1) T_0 &< \tau < -m T_0; \\
 m &= 0, 1, 2, 3, \dots \quad (12)
 \end{aligned}$$

Таким образом, корреляционная функция содержит составляющую $a_4(\tau)$ с периодом $2T_0$. Поэтому спектральная плотность имеет дискретные линии на частотах $\pm 4\omega_0$, которые позволяют формировать ТИ.

Остальные слагаемые формулы (10) дают непрерывную часть спектра $K_F(\tau)$ и их сумма обуславливает мощность помехи. Обозначим далее эту сумму $\theta_n(\tau)$ и вычислим мощность помехи по формуле

$$P_n = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} K^2(\omega) \left\{ \int_{-\infty}^{\infty} Q_n(\tau) \cos \omega \tau d\tau \right\} d\omega, \quad (13)$$

где $K^2(\omega)$ — квадрат передаточной функции фильтра, настроенного на частоту дискретной составляющей $4\omega_0$:

$$K^2(\omega) = \frac{\alpha_0^2}{\alpha_0^2 + (4\omega_0 - \omega)^2}. \quad (14)$$

Вычисления в формуле (13) производились приближенно с учетом вида входящих в нее функций. С достаточной степенью точности можно полагать, что

$$P_n = \frac{1}{16} \left\{ \frac{\alpha_0 U_0^4 \sigma^2}{\alpha + \alpha_0} + 9 \frac{\alpha_0 U_0^4 \sigma^4}{\alpha_0 + 2\alpha} + \right.$$

$$\left. + 12 \frac{\alpha_0 \sigma^6 U_0^2}{\alpha_0 + 3\alpha} + 3 \frac{\alpha_0 U_0^8}{\alpha_0 + 4\alpha} \right\}, \quad (15)$$

где $\alpha = \frac{\pi}{T_0}$.

Разложив далее в ряд Фурье периодическую составляющую $a_4(\tau)$, получим:

$$a_4(\tau) = \frac{4}{\pi^2} \sum_0^{\infty} \frac{1}{(2k+1)^2} \cos \frac{\pi(2k+1)}{T_0} \tau \cos 4\omega_0 \tau. \quad (16)$$

Положим $a_4(\tau) \cong \left\{ \cos\left(4\omega_0 + \frac{\pi}{T_0}\right) \tau + \cos\left(4\omega_0 - \frac{\pi}{T_0}\right) \tau \right\}$, так как амплитуды остальных гармоник быстро убывают.

Соответствующая этой составляющей спектральная функция

$$\begin{aligned}
 S_c(\omega) &= \frac{U_0^4}{64\pi^2} \left\{ \sigma \left(\omega - 4\omega_0 + \frac{\pi}{T_0} \right) + \right. \\
 &+ \left. \sigma \left(\omega - 4\omega_0 - \frac{\pi}{T_0} \right) \right\}. \quad (17)
 \end{aligned}$$

Тогда мощность сигнала

$$P_c = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{U_0^4}{64\pi^2} \cdot \frac{\alpha_0^2}{\alpha_0^2 + \left(\frac{\pi}{T_0}\right)^2}.$$

Качество системы оценивается по критерию отношение сигнал-помеха $\frac{P_c}{P_n} =$

$$\begin{aligned}
 &\frac{P_c}{P_n} = \\
 &= \frac{\frac{U_0^4}{32\pi^2} \cdot \frac{\mu^2}{1+4\mu^2}}{\frac{1}{16} U_0^4 \sigma^4 \frac{\mu}{1+\mu} + \frac{9}{16} U_0^4 \sigma \frac{4\mu}{2+\mu} + \frac{12}{16} U_0^2 \sigma \frac{6\mu}{3+\mu} + \frac{3\sigma^2 \mu}{16(4+\mu)}} \quad (18)
 \end{aligned}$$

где $\mu = \frac{\alpha_0}{\alpha}$; $\alpha = \frac{\pi}{T_0}$.

Вводя коэффициент $N^2 = \frac{U_0^2}{2\sigma^2}$, получим

$$\begin{aligned}
 \frac{P_c}{P_n} &= \frac{N^4 \frac{\mu^2}{1+4\mu^2}}{\frac{1}{2} N^4 \frac{\mu}{1+\mu} + \frac{9\mu}{2(2+\mu)} + 24 N^2 \frac{\mu}{3+\mu} + 6 \frac{\mu}{4+\mu}} \quad (19)
 \end{aligned}$$

Результаты вычисления этого отношения при различных μ и N приведены в таблице.

μ	N									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,1	0,0004	0,05	0,125	0,268	0,45	0,67	0,93	1,23	1,57	1,95
0,5	0,003	0,09	0,403	0,934	1,65	2,55	3,61	4,85	6,26	7,82
1	0,002	0,08	0,367	0,87	1,56	2,43	3,46	4,65	6,03	7,55
2	0,002	0,07	0,32	0,79	1,43	2,25	3,67	4,35	5,65	7,09
10	0,001	0,04	0,21	0,55	1,01	1,65	2,46	3,24	4,22	5,31

Из этой таблицы следует, что в учетверителе частоты происходит заметное подавление сигнала помехой, особенно при малых μ .

Наибольшую величину отношение P_c / P_n имеет

при $\mu = 1$ и практически не изменяется при дальнейшем увеличении полосы фильтра учетверителя частоты. Отсюда следует, что ширина полосы пропускания фильтра квазисинхронного детектора должна быть примерно такая же, как фильтра учетверителя частоты.

После квазисинхронного детектора следует поместить узкополосный фильтр тактовой частоты.

При этом отношения сигнал-помеха на выходе тактового фильтра и на выходе фильтра учетверителя частоты связаны формулой:

$$(P_c / P_n)_{\text{вых}} = 2/\gamma(P_c / P_n),$$

где γ — отношение полосы тактового фильтра к полосе фильтра учетверителя частоты. Из уравнения (19) определим P_c / P_n для различных N при $\mu = 1$ и $\gamma = 0,04$:

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$(P_c / P_n)_{\text{вых}}$	0,1	3,95	18,35	43,5	78	121	173	232	301	377

Отсюда следует, что при полосе тактового фильтра в 25 раз уже полосы учетверителя ($\gamma = 0,04$), отношение сигнал-помеха на выходе устройства выделения тактовых импульсов достаточно велико и не будет вызывать заметного снижения помехоустойчивости демодулятора.

ЛИТЕРАТУРА

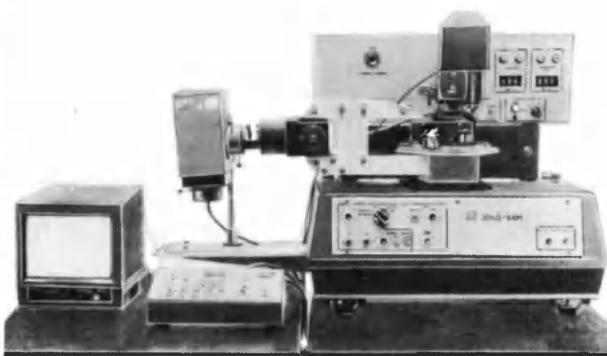
1. Назаров В.И. Прием сигналов двукратных систем ОФТ с вращающейся фазой. — Электросвязь, 1965, вып.6, с.1-9.
2. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. Книга I. — М: Сов.радио, 1965. — 21 с.
3. Тихонов В.И., Миронов М.А. Марковские процессы. — М.: Сов.радио, 1977. — 8 с.
4. Горяинов В.Г., Журавлев А.Г., Тихонов В.И. Примеры и задачи по статистической радиотехнике. — М.: Сов.радио, 1970. — 14 с.

Статья поступила 25 мая 1982 г.

ЭП СООБЩЕНИЯ ЭП

УДК 620.179.1:621.3.049.75.014.2

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОПТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ



Предназначена для оптического контроля отверстий на полиимидных коммутационных платах и состоит из устройства сканирования, преобразователя видеосигнала, процессора и видеоконтрольного устройства.

Техническая характеристика

Максимальное число контролируемых отверстий	9999
Максимальное число дефектных отверстий	999
Погрешность измерения, мкм	не более 6
Время контроля платы размером 80x80 мм, мин	не более 12
Габаритные размеры, мм	1300x1400x1300
Потребляемая мощность, кВт	не более 1

Объект контроля обрабатывается по частям методом электронного окна. Система позволяет работать в диалоговом автоматическом режиме, обеспечивающем изображение на экране видеоконтрольного устройства участков платы, содержащих бракованные отверстия. При этом отверстие, диаметр которого выходит за допустимые значения, подчеркивается. Система производит подсчет суммы коммутационных и бракованных отверстий. Результаты высвечиваются на цифровом индикаторе.

М.П.Гришин, Е.В.Поддубный,
А.А.Сазонов, В.А.Таран

Статья поступила 19 мая 1982 г.

ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА

УДК 539.293.25:546.681.19

**В.С.Банников, Ю.Г.Качуровский, И.В.Петренко,
В.Н.Подшивалов, А.В.Родионов,
Ю.Н.Свешников**

ИЗМЕРЕНИЕ ПОДВИЖНОСТИ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА МЕТОДОМ СВЧ МАГНИТОСОПРОТИВЛЕНИЯ

Метод СВЧ магнитосопротивления целесообразно применять для контроля подвижности носителей заряда в пленках арсенида галлия толщиной менее 1 мкм.

Контроль параметров полупроводников методом СВЧ имеет существенные преимущества перед зондовым, поскольку является бесконтактным и позволяет получить усредненные по объему параметры полупроводника. Это особенно важно для измерения электрофизических параметров полупроводниковых пленок толщиной 0,1–1 мкм, с которых невозможно удалить контакты, не нарушив пленки. Кроме того, при малой толщине пленки состояние ее поверхности оказывает существенное влияние на результаты измерения при постоянном токе, так как поверхностные заряды, вызванные какими-либо загрязнениями, могут привести к полному перекрытию зоны проводимости.

При исследовании СВЧ магнитосопротивления в субмикронных слоях арсенида галлия [1] изучалась зависимость СВЧ потерь от величины магнитного поля в слоях, изготовленных методом ионного легирования. Полученные значения СВЧ подвижности оказались на 20% ниже значений холловской подвижности, что объясняется формой образцов (прямоугольных пластин с соотношением сторон 1:2) и сильными магнитными полями (~10 Тл), в которых проводились измерения.

Исследовалась зависимость СВЧ потерь в пленках арсенида галлия от индукции постоянного магнитного поля в диапазоне 0–1 Тл. Образцы имели прямоугольную форму с соотношением длины к ширине больше 4, что исключало влияние поля Холла на проводимость образца [2].

Как известно, подвижность носителей заряда определяется соотношением [1]

$$\mu = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{\alpha_0 - \alpha}{\alpha}},$$

где B — индукция постоянного магнитного поля; α_0 — высокочастотные потери в образце полупроводника при нулевом магнитном поле; α — высокочастотные потери при индукции магнитного поля, равной B .

Соотношение справедливо в случае, когда электрическая составляющая высокочастотного поля

перпендикулярна постоянному магнитному полю, произведение круговой частоты высокочастотного поля на время релаксации по импульсу значительно меньше 1, а полем Холла можно пренебречь. В эксперименте все эти условия были выполнены.

Таким образом, для определения подвижности необходимо измерить затухание отрезка волновода с образцом при нулевом магнитном поле и при индукции магнитного поля, равной B .

Измерения проводились на установке, о которой сообщалось ранее [3]. Образец помещался в отрезок прямоугольного волновода сечением 16 × 8 мм, который располагался в магнитном поле электромагнита. Затухание определялось с точностью ±0,05 дБ при использовании балансной схемы либо более простым методом замещения [4].

Исследовались структуры арсенида галлия типа n^+n^-i и n^+i , где n^+ — активный эпитаксиальный слой толщиной 0,13–1 мкм, в котором концентрация носителей заряда изменялась в пределах 10^{16} – $2 \cdot 10^{17}$ см⁻³; i — высокоомная монокристаллическая подложка, легированная Cr, с удельным сопротивлением 10^9 Ом·см; n^- — буферный слой толщиной ~3 мкм и концентрацией носителей заряда ~ $1 \cdot 10^{14}$ см⁻³.

Слои выращивались эпитаксиальным осаждением из газовой фазы в системе Ga–AsCl–H₂ [5]. При получении эпитаксиальных субмикронных слоев на легированной подложке не удается избежать переноса примесей из подложки в эпитаксиальный слой, что приводит к образованию плавных профилей концентраций переходов типа $n-i$ и уменьшению подвижности носителей заряда в области активного слоя. В связи с этим для улучшения параметров активного эпитаксиального слоя у части структур с минимальной толщиной рабочего слоя был создан буферный слой.

Результаты измерения подвижности носителей заряда в пленках арсенида галлия

Толщина пленки, мкм	Концентрация носителей заряда, $\times 10^{16}$ см ⁻³	Тип структуры	Затухание при $B=0$, дБ	Затухание при $B=1,1$ Тл, дБ	СВЧ подвижность, см ² /В·с	Холловская подвижность, см ² /В·с	$\mu_{СВЧ} - \mu_{Холла}$, %	
							$\mu_{СВЧ}$	%
0,13	20	$i-n^-n^+$	2,75	2,45	3244	—	—	—
0,15	20	"	2	1,8	3264	—	—	—
0,7	7	"	7,35	5,95	4370	3714	15	—
0,7	9	"	9,83	7,75	4652	—	—	—
0,22	10	"	10,2	8,6	3885	3371	13	—
0,23	8	"	8,75	7,25	4106	4117	-0,3	—
0,32	10	"	12,2	10,15	4220	3385	20	—
0,32	9,4	"	—	—	4371	3840	12	—
0,32	10,5	"	—	—	4424	4032	9	—
0,35	8,6	"	—	—	4273	4357	-2	—
0,5	2	$i-n^+$	5,6	4,6	4156	3680	11,5	—
0,5	2	"	3,2	2,72	3884	2900	25	—
1	2	"	6,9	5,3	3516	3945	-12	—
1	2	"	6,5	5,6	3689	3610	2	—
1	1	"	4,3	2,8	6440	5694	11,6	—
1	1	"	4,3	2,9	6054	5801	4	—

Измерение холловской подвижности и концентрации носителей заряда проводилось по методу Ван-дер-Пау [6]. Точность определения подвижности составляла $\pm 15\%$.

Результаты измерений показывают, что в большинстве измерений (85%) СВЧ подвижность совпадает с холловской — с ошибкой 15% (см таблицу). Под СВЧ подвижностью подразумевается подвижность, рассчитанная по вышеприведенному соотношению из результатов измерения высокочастотных потерь в полупроводниковой пленке при различной индукции постоянного магнитного поля. Причем, затухание, вносимое полуизолирующей подложкой, было примерно на два порядка меньше затухания эпитаксиальной пленки такой же площади и при расчетах не учитывалось.

Измерение СВЧ подвижности гораздо проще измерений на постоянном токе и не оказывает каких-либо необратимых воздействий на структуры. Поэтому контроль подвижности носителей заряда в пленках арсенида галлия толщиной меньше 1 мкм целесообразно осуществлять методом СВЧ магнитосопротивления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Molnar B., Kennedy T.A. Evaluation of S and Se implanted GaAs by contactless mobility measurement. — J. Electrochem. Soc., 1978, vol. 125, N 8, p. 1318–1320.
2. Jervis T.R., Jonson E.F. Geometrical magnetoresistance and Hall mobility in Gunn effect devices. — Solid state electronics, 1970, vol. 13, N 2, p. 181–189.
3. Определение подвижности носителей заряда в пленках арсенида галлия бесконтактным методом / Ю. Г. Качуровский, Л. И. Кравченко, В. И. Подшивалов, А. В. Родионов. — В кн.: Метрология в радиоэлектронике. Тезисы докладов V Всесоюзной научно-технической конференции, ВНИИФТРИ, 1981. — 157 с.
4. Валитов Р. А., Сретенский В. Н. Радиотехнические измерения. — М.: Сов. радио, 1970, с. 662–666.
5. Родионов А. В., Свешников Ю. Н. Получение тонких эпитаксиальных слоев арсенида галлия хлоридным методом. — Изв. АН СССР. Сер. Неорганические материалы, 1977, № 2, с. 245–249.
6. Батавин В. В. Контроль параметров полупроводниковых материалов и эпитаксиальных слоев. — М.: Сов. радио, 1976, с. 27–29.

Статья поступила 8 февраля 1982 г.

УДК 621.317.799:621.3.049.77.037.33

В. С. Сафонов, В. А. Цветков

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АНАЛОГОВЫХ ИС НА ПЛАСТИНЕ

Для обеспечения устойчивости аналоговых ИС при измерении динамических параметров на пластине необходим выбор зондового контактирующего устройства с определенными паразитными параметрами.

Создание методов технологического контроля динамических параметров аналоговых ИС (АИС) на пластине является в настоящее время актуаль-

ной проблемой, поскольку контроль лишь статических параметров кристаллов АИС не гарантирует поступление на операцию сборки только годных кристаллов и приводит к тому, что на финишном контроле обнаруживается необратимый брак по таким динамическим параметрам, как коэффициент усиления на высокой частоте, отношение сигнал-шум, коэффициент гармоник и т.п.

Одним из основных требований, предъявляемых к технологическому контролю динамических параметров АИС на пластине является обеспечение единства методов измерения этих параметров на пластине и в корпусе. Выявление дефектов и отклонений параметров схем от нормы с помощью единой методики измерения на ранних стадиях технологического процесса позволит вводить в него своевременные корректировки, что будет способствовать значительному повышению процента выхода годных изделий.

Для измерения динамических параметров АИС на пластине используются зондовые контактирующие устройства (ЗКУ). Работа с ними требует обеспечения устойчивости АИС и необходимой точности измерений. Однако в существующих конструкциях ЗКУ возникают паразитные обратные связи, приводящие к искажениям измеренных значений динамических параметров АИС или к самовозбуждению АИС при измерениях.

Причиной этих связей являются паразитные емкости C_{Π} и взаимдуктивности M_{Π} между зондами и присоединенными к ним проводниками, а также переходное сопротивление зонд — контактная площадка $R_{\Pi з}$ и индуктивность L_{Π} зонда и присоединенного к нему проводника.

В связи с этим для контроля АИС на пластине особое значение приобретает выбор зонда такой конструкции, которая обеспечивала бы приемлемые паразитные параметры. Выпускаются ЗКУ с отдельной регулировкой каждого зонда и с жестко фиксированным расположением зондов под конкретный тип кристалла (пробкарты). Разработано также специальное высокочастотное ЗКУ, обладающее минимальными паразитными параметрами [1]. Усредненные значения параметров, рассчитанные для разных типов зондов, приведены в таблице.

Типы зондов	Паразитные параметры зондов		
	C_{Π} , пФ	L_{Π} , нГн	$R_{\Pi з}$, Ом
Регулируемые отдельно [2]	10	300	1
Жесткофиксированные (пробкарты) [2]	1	30	1
Высокочастотные [3, 4]	0,1	10	1

Одним из главных критериев достоверности технологического зондового контроля динамических параметров АИС на пластине является отсутствие паразитного возбуждения испытываемой АИС

(ее устойчивость). Схемы, иллюстрирующие возникновение паразитной обратной связи через C_{Π} , L_{Π} и $R_{\Pi 3}$ в усилительных АИС, приведены на рис. 1

Оценка возможности использования представленных в таблице зондов для измерения динамических параметров АИС на пластине была проведена по данным источника [5]. Устойчивый режим измерения динамических параметров АИС обеспечивается при величине

$$C_{\Pi} \leq \frac{\omega_{\text{в}} \cdot R_{\text{э}} \cdot C_{\text{вх}} + 1}{\omega_{\text{в}} \cdot R_{\text{э}} (K_0 - 1)}, \quad (1)$$

где $\omega_{\text{в}}$ — верхняя граничная круговая частота АИС;

$$R_{\text{э}} = \frac{R_G \cdot r_{\text{вх}}}{R_G + r_{\text{вх}}} - \text{эквивалентное входное сопротивление}$$

ление (см. рис. 1, а).

Значение C_{Π} , определяющее заданную величину изменения динамического параметра АИС, находится из формулы

$$C_{\Pi} \leq \frac{\delta}{K_0} \left[\frac{\delta C_{\text{вх}}}{K_0} + \frac{\sqrt{1 + (\omega_{\text{и}} C_{\text{вх}} R_{\text{э}})^2}}{\omega_{\text{и}} R_{\text{э}}} \right], \quad (2)$$

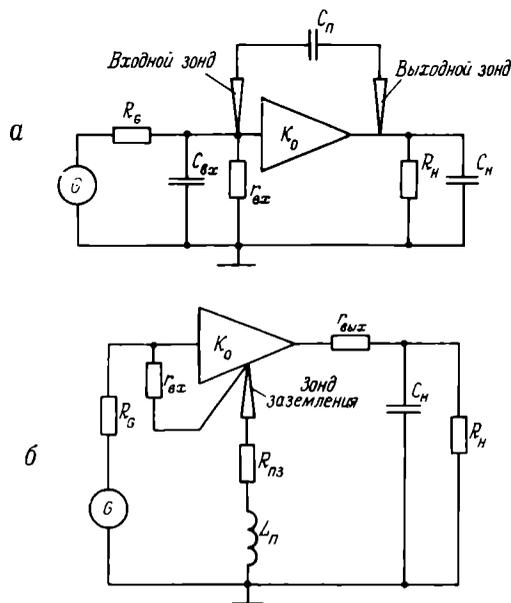


Рис. 1. Эквивалентные схемы обратной связи через паразитную емкость между иглами зондов, подключаемых к входу и выходу АИС (а), и через переходное сопротивление зонд-контактная площадка $R_{\Pi 3}$ и паразитную индуктивность L_{Π} заземляющего зонда (б): G — эквивалентный генератор входного сигнала; R_G — внутреннее сопротивление генератора; $C_{\text{вх}}$ — емкость, подключаемая к входу АИС; $r_{\text{вх}}$ — входное сопротивление АИС; R_n — сопротивление нагрузки; $r_{\text{вых}}$ — выходное сопротивление АИС; R_n , C_n — емкость и сопротивление цели нагрузки)

Земляющего зонда (б): G — эквивалентный генератор входного сигнала; R_G — внутреннее сопротивление генератора; $C_{\text{вх}}$ — емкость, подключаемая к входу АИС; $r_{\text{вх}}$ — входное сопротивление АИС; R_n — сопротивление нагрузки; $r_{\text{вых}}$ — выходное сопротивление АИС; R_n , C_n — емкость и сопротивление цели нагрузки)

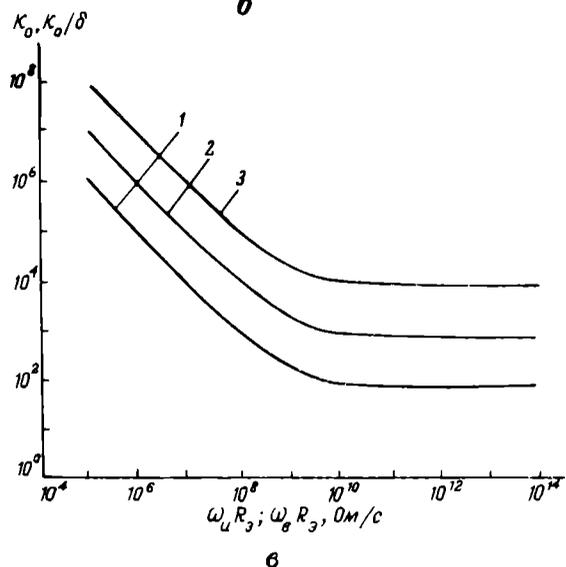
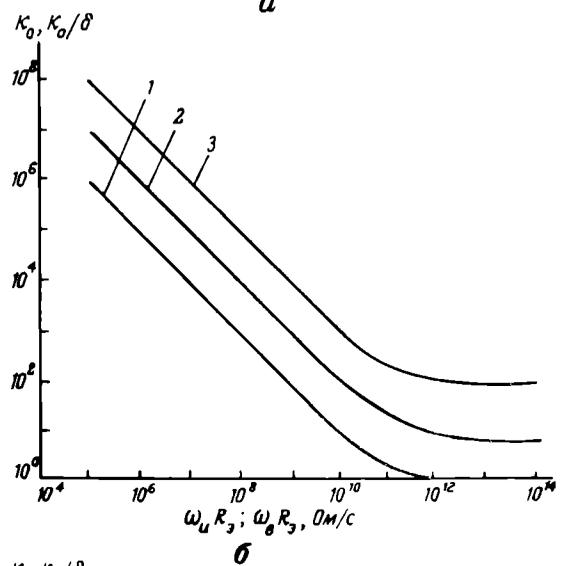
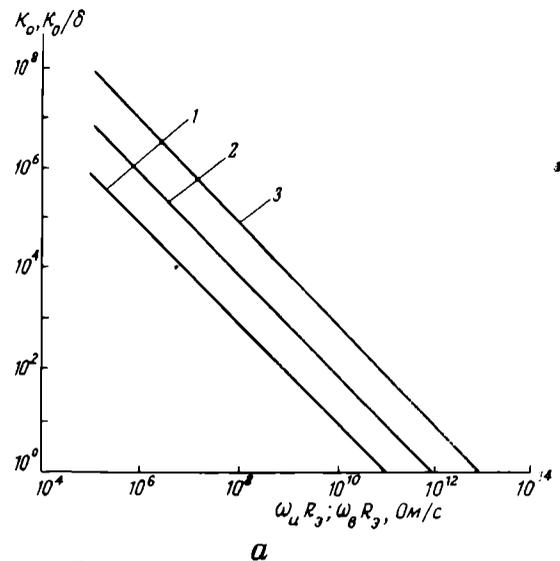


Рис. 2. График устойчивой работы АИС и относительного изменения ее динамических параметров для разных значений паразитной емкости зондов при $R_n = \infty$, $C_n = 0$, $C_{\text{вх}} = 0$ (а); $C_{\text{вх}} = 10$ пФ (б); $C_{\text{вх}} = 1000$ пФ (в); 1 — зонды, регулируемые раздельно ($C_{\Pi} = 10$ пФ); 2 — зонды жесткофиксированные ($C_{\Pi} = 1$ пФ); 3 — зонды высокочастотные ($C_{\Pi} = 0,1$ пФ)

где δ – относительное изменение динамического параметра АИС за счет влияния C_{Π} ; K_0 – коэффициент усиления по напряжению в области низких частот; $\omega_{\text{И}}$ – круговая частота входного сигнала при измерении.

При $K_0 \gg 1$ и при $\frac{\delta C_{\text{ВХ}}}{K_0} \ll C_{\text{ВХ}}$ формулы (1),

(2) преобразуются соответственно в выражения:

$$K_0 < \frac{1}{\omega_{\text{В}} \cdot R_{\text{Э}} \cdot C_{\Pi}} + \frac{C_{\text{ВХ}}}{C_{\Pi}}, \quad (3)$$

$$\frac{K_0}{\delta} \leq \sqrt{\frac{1}{(\omega_{\text{И}} \cdot R_{\text{Э}} \cdot C_{\Pi})^2} + \left(\frac{C_{\text{ВХ}}}{C_{\Pi}}\right)^2}. \quad (4)$$

На основании расчета, проведенного по формулам (3), (4) для разных значений $C_{\text{ВХ}}$, построены графики (рис. 2), которые показывают, что области устойчивой работы и относительного изменения динамических параметров АИС на величину, не превышающую δ , расположены ниже кривых, характеризующих каждый тип зонда.

Важным фактором, влияющим на устойчивость и определяющим стабильность значения динамических параметров АИС, является величина переходного сопротивления между зондом и контактной площадкой структуры $R_{\text{ПЗ}}$. Устойчивая работа АИС в режиме усиления обеспечивается при величине

$$R_{\text{ПЗ}} < \frac{r_{\text{ВЫХ}}}{K_0} \left(1 + \frac{R_G}{r_{\text{ВХ}}}\right) \left(1 + \frac{R_{\text{Н}}}{r_{\text{ВЫХ}}}\right). \quad (5)$$

Значение $R_{\text{ПЗ}}$, определяющее заданное изменение δ величины динамических параметров, находится из формулы

$$R_{\text{ПЗ}} \leq \frac{\delta A}{r_{\text{ВХ}} \cdot K_0}, \quad (6)$$

где

$$A = \sqrt{\frac{[(r_{\text{ВЫХ}} + R_{\text{Н}})^2 + (\omega_{\text{И}} r_{\text{Н}} r_{\text{ВЫХ}})^2] [(r_{\text{ВХ}} + R_G)^2 + (\omega_{\text{И}} r_{\text{ВХ}} r_{\text{ВХ}})^2]}{(1 + \omega_{\text{И}}^2 r_{\text{ВХ}}^2) (1 + \omega_{\text{И}}^2 r_{\text{Н}}^2)}}.$$

$$r_{\text{Н}} = R_{\text{Н}} C_{\text{Н}}, \quad r_{\text{ВХ}} = R_{\text{Э}} \cdot C_{\text{ВХ}}.$$

Поскольку при измерении динамических параметров АИС в большинстве случаев $R_G / r_{\text{ВХ}} \ll 1$,

то можно считать, что вход АИС закорочен на общий провод ($r_{\text{ВХ}} = 0$). При этом условии, а также если $\omega_{\text{И}} R_{\text{Н}} C_{\text{Н}} < 1$, из формул (5), (6), получим выражения $K_0 < R_{\text{Н}} / R_{\text{ПЗ}}$, $K_0 / \delta \leq R_{\text{Н}} / R_{\text{ПЗ}}$, по которым можно построить график (рис. 3), характеризующий три вида зондов, обладающих примерно одинаковым переходным сопротивлением. Область устойчивой работы АИС и область относительного изменения параметров на величину, не превышающую δ , расположены ниже линии, показанной на графике.

Исходя из условия устойчивости и заданного изменения динамических параметров АИС при зондовом контроле, значения паразитной индуктивности зонда L_{Π} могут быть определены по формуле

$$L_{\Pi} < \frac{r_{\text{ВЫХ}} r_{\text{ВХ}} r_{\text{Н}}}{K_0 (r_{\text{ВХ}} + r_{\text{Н}})} \left[1 + \frac{1}{\omega_{\text{В}}} \left(\frac{1}{C_{\text{Н}} R_{\Pi}} + \frac{1}{C_{\text{ВХ}} R_{\text{Э}}} \right) \right]. \quad (7)$$

После преобразования формулы (7) и с учетом выражения (5) получим

$$L_{\Pi} < R_{\text{ПЗ}} \cdot \frac{1 + \omega_{\text{В}} (C_{\text{ВХ}} R_{\text{Э}} + C_{\text{Н}} R_{\Pi})}{\omega_{\text{В}}}, \quad (8)$$

где $R_{\Pi} = \frac{r_{\text{ВЫХ}} \cdot R_{\text{Н}}}{r_{\text{ВЫХ}} + R_{\text{Н}}}$ – эквивалентное выходное сопротивление (см. рис. 1, б).

Величина L_{Π} , обеспечивающая достоверность зондового контроля динамических параметров АИС в заданных пределах, определяется выражением

$$L_{\Pi} \leq \frac{\delta}{\omega_{\text{И}} r_{\text{ВХ}} K_0}. \quad (9)$$

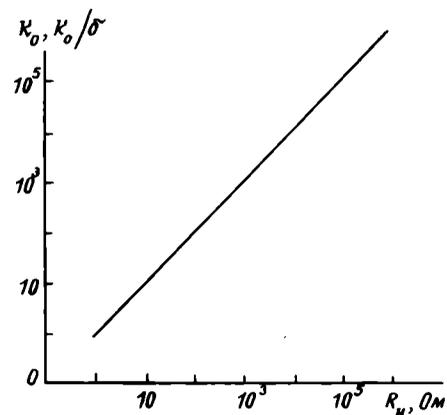


Рис. 3. График устойчивой работы АИС и относительного изменения ее динамических параметров для $R_{\text{ПЗ}} = 10 \text{ Ом}$ при $r_{\text{ВХ}} = 0$, $C_{\text{ВХ}} = 0$, $\omega_{\text{И}} C_{\text{Н}} R_{\text{Н}} < 1$

При коротком замыкании на входе выражения (8) и (9) преобразуются в формулы:

$$\omega_B K_0 < \frac{R_H}{L_{II}}, \quad \omega_H \frac{K_0}{\delta} \leq \frac{R_{II}}{L_{II}}.$$

На рис. 4 показаны графики этих выражений для трех типов указанных в таблице зондов.

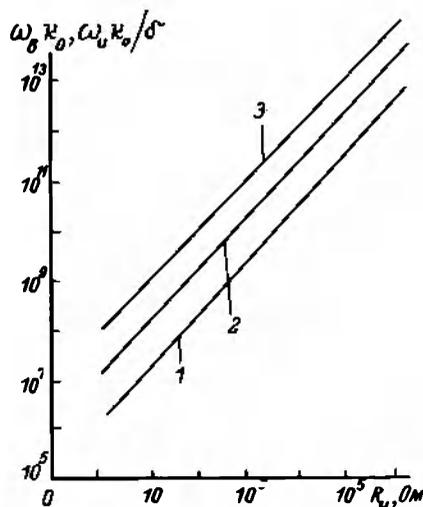


Рис. 4. График устойчивой работы АИС и относительного изменения ее динамических параметров для разных значений L_{II} зондов при $C_{вх} = 0$, $r_{вх} = 0$: 1 — зонды, регулируемые раздельно ($L_{II} = 300$ нГн); 2 — зонды жесткофиксированные ($L_{II} = 30$ нГн); 3 — зонды высокочастотные ($L_{II} = 10$ нГн)

Таким образом, можно определить область устойчивого режима измерения динамических параметров АИС на пластине при известных значениях параметров этой схемы (K_0 , ω_B , $r_{вх}$ и $r_{вых}$).

По приведенным графикам оцениваются также значения параметров внешних цепей ω_H , R_G , $C_{вх}$, R_H , C_H , обеспечивающие устойчивую работу АИС и требуемую погрешность измерения ее динамических параметров в процессе зондового контроля для данных конкретных значений паразитных параметров (C_{II} , L_{II} , R_{II}) зондового контактирующего устройства.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.с. 790372 (СССР). Зондовая головка для измерения электрических параметров микросхем / В.С. Сафонов, А.И. Вдовкин. — Оpubл. в Б.И., 1980, № 47.
2. Справочник по радиотехнике / Под ред. Б.А. Смиренина. — М.: Госэнергоиздат, 1950, с. 44–46; 86–90.
3. Сафонов В.С. Контактное устройство с высокочастотными зондами для измерения полупроводниковых приборов на пластине. — Электронная техника. Сер. 2. Полупроводниковые приборы 1977, вып. 1, с. 49–55.
4. Сафонов В.С. Оценка возможности измерения постоянной цепи коллектора—транзистора на пластине. — Электронная техника. Сер. 2. Полупроводниковые приборы, 1978, вып. 2(120), с. 45–54.

5. Цветков В.А., Антонов Ю.И., Самиуллин А. Устойчивость и точность измерения динамических параметров аналоговых интегральных схем при испытаниях. — В кн.: Микроэлектроника и полупроводниковые приборы. — М.: Радио и связь, 1981, вып. 6, с. 193–202.

Статья поступила 29 апреля 1982 г.

УДК 621.317.78:621.373.826.095

В.И.Кричевский, А.Н.Рабодзей, А.М.Сапронов

ПРИБОР ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ МАЛОМОЩНЫХ ЛАЗЕРОВ ИМЛ-1



Портативный прибор с автономной системой питания позволяет проводить экспресс-диагностику технического состояния маломощных газовых, полупроводниковых и твердотельных лазеров.

Во всех случаях использования лазеров в народном хозяйстве, в частности при проведении строительных, дорожных и земляных работ, а также в системах для посадки самолетов в плохих метеоусловиях и установках для медицинских целей, необходимо проведение технической диагностики лазеров, поскольку они в первую очередь определяют работоспособность всей оптико-электронной аппаратуры. Известные в настоящее время типы и конструкции измерителей мощности лазерного излучения [1,2] не позволяют осуществлять экспресс-диагностику технического состояния встроенных в аппаратуру лазеров, особенно в условиях ее эксплуатации. Это связано с большими габаритами и массой таких измерителей, необходимостью питания от промышленной электросети, большой продолжительностью одного измерения.

Решить указанную задачу позволяет портативный измеритель мощности лазеров ИМЛ-1. Прибор создан на основе малогабаритного измерителя мощности излучения гелий-неонового лазера, который входит в комплект терапевтической установки УТЛ-2 [3]. Прибор ИМЛ-1 имеет усовершенствованную по сравнению с

аналогичными измерителями ИПМ-1 [4] и ИПМ-2 [5] конструкцию и характеризуется следующими параметрами:

Рабочий диапазон длин волн, мкм	0,4–1,1
Пределы измерения мощности, мВт	0,01–500
Погрешность измерения, %	15–20
Входная апертура, мм	10
Время измерения, с	не более 10
Потребляемый ток, мА	15–20
Питание, В	±9
Габаритные размеры, мм	150×65×60
Масса, г	200

Принцип действия ИМЛ-1 основан на преобразовании оптического излучения в электрический сигнал, усилении и измерении этого сигнала. В качестве фотоприемника использован кремниевый фотодиод ФД-24К. Основным элементом электронной схемы является операционный усилитель К284УД1А, который обеспечивает преобразование фототок — напряжение. Для обеспечения заданного динамического диапазона измерений мощности весь диапазон разбит на пять поддиапазонов. Питание прибора осуществляется от двух батарей типа "Крона".

Прибор ИМЛ-1 выполнен в пластмассовом корпусе, с боковой стороны которого расположены переключатель поддиапазонов и кнопка включения. Включение того или иного поддиапазона измерений индицируется с помощью светодиодов типа АЛ-102А. Фотодиод расположен в держателе, который в нерабочем положении утоплен в корпусе, а при подготовке прибора к работе выдвигается с помощью телескопического устройства.

Погрешность измерения прибора не превышает 12–15%. Прибор градуирован на длине волны гелий-неонового лазера ($\lambda = 0,6328$ мкм). При измерениях на других длинах волн показания прибора необходимо умножить на указанный на задней крышке коэффициент, соответствующий длине волны.

Прибор ИМЛ-1 при определенной калибровке и несложных конструктивных дополнениях может быть использован также для измерения плотности светового потока, измерения яркости свечения объектов или освещенности поверхности.

ЛИТЕРАТУРА

- Хирд Г. Измерение лазерных параметров: Пер. с англ. — М.: Мир, 1970. — 539 с.
- Валитов Р.А., Кокодий М.Г., Кубарев А.В. Измерение характеристик оптических квантовых генераторов. — М.: Изд-во стандартов, 1969. — 148 с.
- Кричевский В.И., Смсарян А.А. Лазерная терапевтическая установка УГЛ-2. — Электронная промышленность, 1974, вып. 9, с. 60–61.
- Макеева Н.С., Миронычев Г.В. Индикатор плотности мощности лазерного излучения. — Электронная техника. Сер. 8. Управление качеством, метрология, стандартизация, 1980, вып. 2–3, с. 277–279.
- Физиотерапевтическая установка на основе гелий-неонового лазера / В.С. Алейников, В.П. Беляев, Б.В. Григорьев, Н.Д. Девятков, Г.В. Миронычев, Н.И. Степанцева. — Электронная промышленность, 1981, вып. 5–6, с. 147–250.

Статья поступила 31 декабря 1981 г.

УДК 621.317.799:621.38-76

Н.М.Блинные, В.Т.Кузьмина, В.А.Химушкин

УСТАНОВКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ШИРОКОДИАПАЗОННОГО КОНТРОЛЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ИЭТ



Высокопроизводительная промышленная установка автоматизированного контроля герметичности малогабаритных ИЭТ позволяет за одну операцию выбраковывать изделия с течами в широком диапазоне — от малых (10^{-9} м³·Па/с) до грубых (видимых щелей и трещин).

Установка предназначена для контроля герметичности диффузионно-магниторазрядным (ДМР) методом [1,2], который основан на регистрации гелия, вытекающего из внутренней полости негерметичных изделий. Гелий может быть введен в изделие путем опрессовки или герметизации в атмосфере этого газа. В качестве датчика используется ДМР индикатор гелия [3,4]. Преобразователь индикатора, представляющий собой замкнутую полость со встроенным миниатюрным магниторазрядным насосом, контактирует с испытуемой средой через мембрану из кварцевого стекла, проникаемого преимущественно для гелия. Изменение давления гелия перед мембраной приводит к изменению разрядного тока насоса.

Установка, выполненная в виде восьмипозиционной карусели (см. рисунок), включает в себя устройство дополнительной опрессовки (УДО), восемь контрольных камер (позиции К1–К8) и два устройства разбраковки УР1–УР2, соединенных с ДМР датчиками. Камеры закреплены на карусели,

которая за каждый цикл поворачивается на 45° . Необходимый вакуум в системе контроля ($\sim 2 \cdot 10^{-2}$ Па) достигается при откачке механическим форвакуумным насосом (ФН).

Контроль ДМР методом проводится следующим образом. Изделия вначале опрессовываются при давлении гелия $5 \cdot 10^5$ Па в течение 3 ч, а затем выдерживаются на воздухе 15–20 мин для уменьшения потока гелия, десорбирующегося с их поверхности. В УДО изделия подвергаются кратковременному (10–15 с) соприкосновению с гелием при давлении $1,2 \cdot 10^5$ Па [5]. Затем они поступают в контрольную камеру (позиция К1). Камера перемещается в позицию К2, где без откачки подсоединяется к УР1. При этом выявляются изделия с большими течами. Если не обнаружено больших течей, то камера в позиции К2 откачивается. При прохождении позиций К3–К5 в ней происходит накопление гелия. При подсоединении камеры в позиции К6 к УР2 выявляются изделия с малыми и средними течами. На позиции К7 происходит выгрузка изделий. Позиция К8 – подготовительная.

Контроль, разбраковка и выгрузка изделий в бункеры брака и годных производится автоматически по предварительно выставленным пределам отбраковки. Оператор лишь помещает изделия в ячейки устройства загрузки. Возможен групповой контроль по пять и более изделий.

Техническая характеристика

Диапазон выявляемых течей, $\text{м}^3 \cdot \text{Па}/\text{с}$	от $1 \cdot 10^{-6}$ до грубых (видимых щелей и трещин)
Производительность при поштучном контроле, шт/ч	900
Необходимый предельный вакуум, Па	$\sim 2 \cdot 10^{-2}$
Время включения, мин	10–15
Время выключения, мин	~2
Потребляемая мощность, кВт · А	~ 0,7
Габаритные размеры, мм	760×650×1150
Масса, кг	250

Установка контроля ДМР методом применяется вместо двух установок производственного кон-

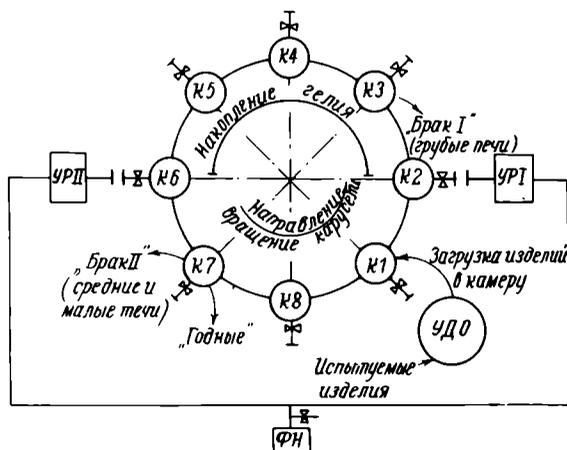


Схема автоматизированной установки контроля герметичности диффузионно-магниторазрядным методом

троля, основанных на масс-спектрометрическом и пузырьковом методах, и обладает по сравнению с ними следующими преимуществами: большей надежностью, объективностью контроля и возможностью полной автоматизации испытаний, отсутствием в процессе контроля веществ, отрицательно влияющих на ИЭТ, и токсичных веществ, большей производительностью, простотой вакуумной схемы, сокращением занимаемой площади примерно в 6 раз, потребляемой электроэнергии в 10 раз, обслуживающего персонала в 3 раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьмина В.Т. Диффузионно-магниторазрядный метод неразрушающего контроля герметизируемых корпусов малогабаритных изделий. – Дефектоскопия, 1980, № 12, с. 48–54.
2. А.с. 632922 (СССР). Способ регистрации пробного газа и устройство для его осуществления / В.Т.Кузьмина – Опубл. в БИ, 1978, № 42.
3. Магниторазрядный индикатор гелия / В.В.Голоскоков, В.Т.Кузьмина, Л.Е.Левина и др. – ПТЭ, 1973, № 1, с. 175–178.
4. Кузьмина В.Т., Левина Л.Е., Пименов В.В. Магниторазрядный гелиевый теческатель. – Электронная промышленность, 1973, вып. 8, с. 90–92.
5. А.с. 917019 (СССР). Способ контроля герметичности замкнутых изделий / В.Т.Кузьмина – Опубл. в БИ, 1982, № 12.

Статья поступила 25 мая 1982 г.

УДК 666.3/7.002

В. И. Лалшин

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ ДИЛАТОМЕТР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ СПЕКАНИЯ РАДИОКЕРАМИКИ

Регистрация усадки при спекании изделий из радиокерамики осуществляется с помощью дилатометра с индукционным датчиком и устройством компенсации механической нагрузки на исследуемый образец.

Для исследования технологических процессов спекания пористых заготовок из радиокерамики, объемнопористых анодов электролитических конденсаторов широко используются методы дилатометрии [1]. Выпускаемые дилатометры обычно применяются для низкотемпературного (до 1000°C) спекания материалов [1–4], однако спекание изделий из радиокерамики требует нагрева образца до температуры 1200 – 1800°C . Разработана лабораторная установка (рис. 1), предназначенная для исследования процессов спекания изделий из радиокерамики, порошков металлов в атмосфере воздуха или инертного газа при температуре до 1600°C . При использовании вакуумирован-

ной рабочей камеры температурный интервал может быть расширен до 2000°C.

В качестве чувствительного элемента в установке использован индукционный датчик (дифференциальный трансформатор) с чувствительностью к изменению размеров образца не хуже 10^{-3} мм и линейными характеристиками выход-

ного сигнала в диапазоне перемещений сердечника трансформатора не менее 2 мм. Использование такого датчика в dilatометрической схеме позволяет автоматически регистрировать абсолютное и относительное изменение размеров образца в аналоговой или цифровой форме, а также применять метод дифференциального термомеханического анализа при введении в схему блока дифференцирования, с помощью которого можно определять производную dilatометрической кривой.

Установка обеспечивает возможность регистрации изменений линейных размеров образцов при нагреве или охлаждении с заданной скоростью и при изотермических условиях. Образец можно вводить в рабочую камеру печи, разогретой предварительно до заданной температуры, чем достигается уменьшение ошибок, возникающих при обработке экспериментальных данных на основе изотермических моделей [5]. Время, необходимое для разогрева образца массой 1–2 г до требуемой температуры, не превышает 0,5 мин. В установке предусмотрена возможность компенсации механической нагрузки на исследуемый образец с помощью весов с точностью не хуже 0,01 г. Необходимость такой компенсации обусловлена тем, что вследствие резкого уменьшения вязкости материалов при высоких температурах даже небольшие нагрузки на образец могут привести к заметному искажению результатов анализа. На рис. 2 приведены кинетические кривые усадки при изотермическом спекании керамики Т-250, полученные с помощью описываемого прибора при минимальной нагрузке на образец (1 Па) и серийного прибора УКТА-58, где при отсутствии точной компенсации давления на образец результаты измерений искажены (3 и 20 кПа).

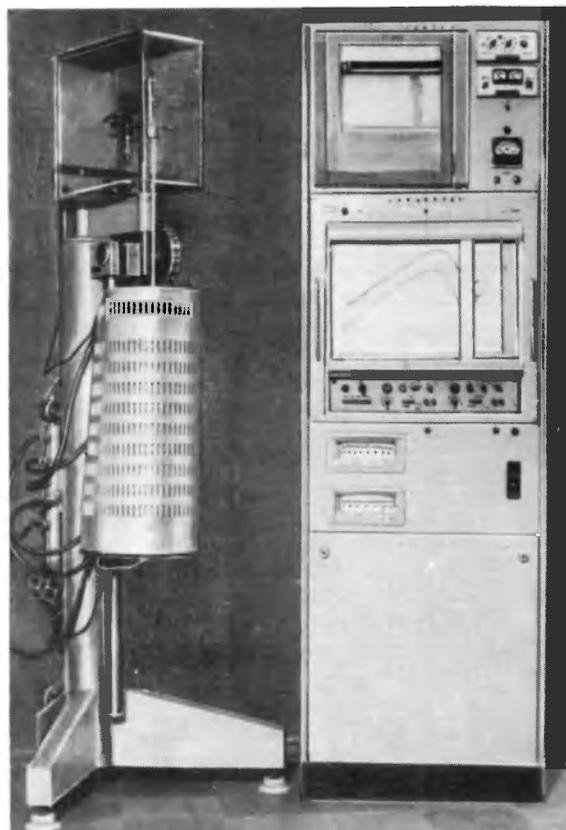


Рис. 1. Дилатометр для исследования кинетики спекания

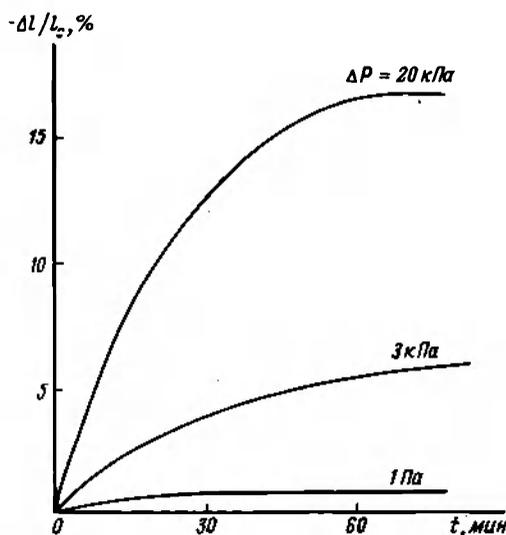


Рис. 2. Зависимость регистрируемой величины усадки керамики Т-250 от величины давления измерительного стержня на поверхность образца при спекании на воздухе (1300°C)

Тепловое расширение измерительных элементов dilatометрической схемы и самого образца при нагреве и охлаждении может быть компенсировано за счет использования дополнительного (эталонного) образца, изменения линейных размеров которого могут автоматически вычитаться из результирующего эффекта вместе с изменениями размеров измерительных элементов прибора. Для исследований в атмосфере воздуха или инертного газа применяются нагреватели из карбида кремния или платинородия, а в вакууме при температурах до 2000°C – из тантала или вольфрама. Весы, используемые для компенсации нагрузки на образец, позволяют также производить с помощью dilatометра термогравиметрический анализ. Прибор снабжен дифференциальной термопарой и устройством для измерения электросопротивления образца при термообработке, что позволяет обнаружить ряд процессов, которые могут не выявляться на dilatограммах (выгорание связок, рост поверхности межчастичных контактов при отсутствии усадки, начало интенсивного испарения или рекристаллизации и др.) [2].

Дилатометр может быть использован для изучения уплотнения окисной керамики при ее спекании, окислительно-восстановительных процессов, анализа теплового расширения моно- и поликристаллических материалов и др.

Прибор прост в изготовлении, что делает возможным его применение для лабораторных исследований и для технологического контроля качества материалов в условиях производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кислый П.С., Кузенкова М.А. Спекание тугоплавких соединений. — Киев: Наукова думка, 1980. — 168 с.
2. Уэндландт У. Термические методы анализа. — М.: Мир, 1978. — 528 с.
3. Новикова С.И. Тепловое расширение твердых тел. — М.: Наука, 1974. — 290 с.
4. Бессонов А.Ф. Установки для высокотемпературных комплексных исследований. — М.: Машиностроение, 1974. — 190 с.
5. Гегузин Я.Е. Физика спекания. — М.: Наука, 1987. — 360 с.

Статья поступила 26 апреля 1982 г.

УДК 620.179.1

С.К.Максимов

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО РЕЛЬЕФА ДЛЯ ЭТАЛОННЫХ ОБРАЗЦОВ

Для изучения работы микросхем и при обработке их технологии необходимо знать свойства поверхности (состав, структуру, рельеф). Поверхностный рельеф можно исследовать различными методами: световым, профилометрическим и другими. Однако применяемые методики исследования обладают недостаточным разрешением в плоскости поверхности и малой чувствительностью (фиксируются ступеньки высотой не менее нескольких нанометров).

Просвечивающая электронная микроскопия характеризуется высоким пространственным разрешением. Но чувствительность этого метода к изменениям толщины невелика (особенно, если используются микрофотографии кристаллов в ориентации, близкой к брегговской). Экспериментально удается различить участки кристалла, отличающиеся по толщине на 5—7 нм. Чувствительность к малым изменениям толщины можно существенно повысить при использовании дефокусированных электронных изображений, в процессе формирования которых происходит интерференция электронных волн, покидающих выходную поверхность кристалла [1]. Если на этой поверхности существует линия, при переходе через которую фазы проходящей и дифрагированной волн изменяются скач-

кообразно, то в результате интерференции интенсивность вблизи изображения данной линии отличается от интенсивности на изображении остального кристалла (фоновой интенсивности) [1, 2].

Интерференционные эффекты резко повышают чувствительность электронных микрофотографий к малым изменениям толщины [1, 2]. Однако использование методики исследования поверхностного рельефа с помощью дефокусированных изображений ограничено, поскольку рекомендуются дефокусировки в десятки микрон при апертурных диафрагмах диаметром около 50 нм, применение которых связано с ухудшением качества изображения из-за загрязнения краев диафрагмы.

Для оптимизации методики дефокусированных электронно-микроскопических изображений дополнительно изучались закономерности изменения фазы при распространении электронных волн через рассеивающий кристалл и исследовались закономерности электронных микрофотографий с учетом особенностей электронной оптики. Теоретические выводы были проверены с помощью дефокусированных изображений кристаллов.

В результате проведенных исследований установлено, что на выходной поверхности неоднородного по толщине кристалла существуют различия фаз, обусловленные коэффициентом преломления [3], а также вызванные динамическими эффектами рассеяния электронов (если кристалл находится в положении, близком к отражающему). Так, при наличии на поверхности кристалла ступеньки высотой 2 нм, различие в фазах, связанное с коэффициентом преломления, составляет около 5° , а различия, обусловленные динамическими эффектами, могут достигать нескольких десятков градусов [4].

Для кристаллов клиновидной формы имеются области толщин, в пределах которых различия фаз на выходе колонок разной протяженности связаны с коэффициентом преломления, и особые точки, около которых наблюдаются динамические «фазовые всплески».

Изменением параметра отклонения от точного отражающего положения можно достичь выполнения условий, обеспечивающих динамические изменения фазы для любых диапазонов толщин. Динамические изменения фазы позволяют резко повысить чувствительность электронных микрофотографий к неровностям рельефа высотой в моноатомный слой.

С помощью динамических изменений фазы можно отличить собственные ступеньки от некогерентных (например, островков окисных пленок). На дефокусированных микрофотографиях исследуется распределение интенсивности, обусловленное наличием деталей поверхностного рельефа в

условиях, когда динамические изменения фазы не наблюдаются. Путем наклона образца исследуемая деталь совмещается с экстинкционным контуром таким образом, чтобы она оказалась вблизи середины области пониженной интенсивности. Если контраст (разность интенсивностей) на дефокусированном изображении объекта при совмещении его с темным контуром возрастает, то деталь рельефа когерентно связана с матрицей, если нет — то когерентная связь отсутствует.

Независимо от механизма возникновения фазового скачка существуют оптимальная дефокусировка, близкая к 0,5 мкм, и диафрагма диаметром 20—30 мкм. Установлено, что при малых дефокусировках контраст зависит от расстояния дефокусировки, но при достижении критического расстояния его дальнейшее увеличение не приводит к увеличению контраста. Абсолютная величина контраста связана с различием в фазах волн на выходной поверхности кристалла.

Исследованы конкретные особенности дефокусированных изображений различных деталей поверхностного рельефа (прямоугольные и плавные поверхностные ступеньки различных знаков, канавки, выступы), что позволяет идентифицировать наблюдаемые особенности рельефа и создавать количественные модели поверхности.

Таким образом, предлагаемая методика характеризуется чувствительностью к неровностям поверхностного рельефа высотой в моноатомный слой, возможностью измерения абсолютной высоты наблюдаемых объектов, распознавания их истинных конфигураций и определения кристаллографических направлений дефектов. К недостаткам методики следует отнести ее разрушающий характер, большую сложность и трудоемкость, а также высокие требования к квалификации персонала. Кроме того, используемое оборудование должно функционировать в пределах его возможностей. Методика может быть рекомендована для измерения поверхностного рельефа на эталонных образцах, применяемых, например, при калибровке эллипсометра.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каули Дж. Физика дифракции. — М.: Мир, 1979. — 431 с.
2. Безрядин С.Н., Безрядина М.Г., Максимов С.К. Фазовый контраст на электронно-микроскопических изображениях, формируемых одним рефлексом. — ДАН СССР, 1981, т. 260, № 2, с. 339—342.
3. Применение дефокусированных электронных микрофотографий для исследования деталей поверхностного рельефа/С.Н. Безрядин, В.Л. Егоров, Н.И. Майсурадзе, С.К. Максимов. — Заводская лаборатория, 1981, т. 47, вып. 11, с. 61—65.
4. Боргардт Н.И., Егоров В.Л., Максимов С.К. Использование динамических эффектов для повышения чувствительности электронных микрофотографий к малым неоднородностям поверхностного рельефа. — Поверхность. Физика, химия, механика, 1982, т. 1, № 4, с. 127—131.

Статья поступила 11 мая 1982 г.

УДК 621.317.799:621.382

В. И. Мошкин

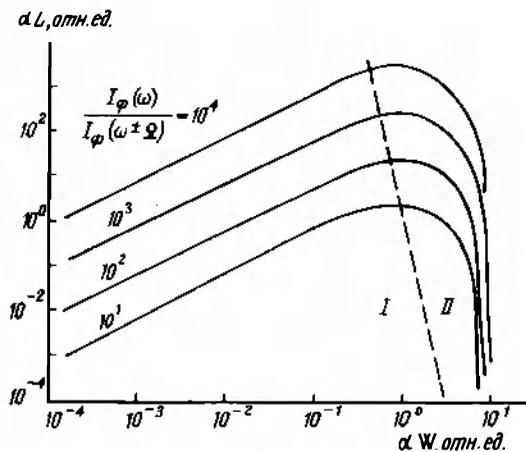
КОНТРОЛЬ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУР ПО СПЕКТРАЛЬНОЙ ЗАВИСИМОСТИ СИГНАЛА ФОТООТКЛИКА

Одной из перспективных методик неразрушающего контроля является методика контроля электрофизических параметров полупроводниковых подложек, эпитаксиальных, биполярных и МДП-структур с диффузионными или ионно-легированными слоями по результатам измерения координатной и спектральной зависимостей сигнала фотоотклика. Измерения проводят следующим образом. Модулированный с частотой ω оптический луч воздействует на локальный участок полупроводниковой структуры, в результате чего возникает сигнал фотоотклика — фототок или фото-ЭДС. Для исходных полупроводниковых подложек, эпитаксиальных структур и структур с $p-n$ -переходами можно регистрировать спектральную зависимость емкостного фототока (фото-ЭДС) МДП-структуры или прижимного контакта, образующего барьер Шотки с полупрозрачным металлическим электродом. Другой способ заключается в регистрации спектральной зависимости добротности высокочастотного контура, в который внесена подложка или структура. Регистрация спектральной зависимости фототока с помощью омических зондов используется для структур с $p-n$ переходами и тестовых структур.

В общем случае сигнал фотоотклика является функцией электрофизических и конструктивных параметров полупроводниковых структур, интенсивности возбуждающего луча света и длины волны. Контролируемые параметры определяют путем минимизации расхождения расчетных и измеряемых спектральных зависимостей сигналов фотоотклика с помощью ЭВМ или микропроцессоров, встроенных в измерительную аппаратуру. Для исключения трудоемкой операции калибровки, которая является основным источником погрешности описываемой методики, целесообразно осуществлять измерение амплитуд гармонических составляющих сигнала фотоотклика $I_{\phi}(\omega)$ и $I_{\phi}(\omega \pm \Omega)$, возникающих при одновременной модуляции интенсивности потока излучения с частотой ω и напряжения смещения на МДП структуре, барьере Шотки или $p-n$ -переходе с частотой Ω . При этом определение совокупности электрофи-

зических и конструктивных параметров сводится к минимизации расхождения расчетных и измеренных спектральных зависимостей отношения фототоков $I_{\phi}(\omega)/I_{\phi}(\omega \pm \Omega)$.

О чувствительности предлагаемой методики к изменению параметров полупроводниковой структуры можно судить по линиям постоянных значений отношения $I_{\phi}(\omega)/I_{\phi}(\omega \pm \Omega)$, приведенных на диаграмме (см. рисунок), связывающей численные значения коэффициента поглощения излучения α (λ) на длине волны λ и диффузионной длины неосновных носителей заряда L с шириной W приповерхностной области объемного заряда полупроводниковых подложек. Величина W определяется концентрацией N , легирующей примеси в подложке ($W \sim N^{-1/2}$). Из приведенной диаграммы видно, что рассматриваемая методика применима для области I, где $\alpha W < 1$ и изменение параметров L и W (N) вызывает существенные изменения отношения гармонических составляющих сигнала фотоотклика. В области II при $\alpha W > 1$ данная методика не применима, что налагает определенные ограничения на выбор используемого диапазона длин волн.



Линии постоянных значений отношения фототоков на диаграмме диффузионная длина — концентрация примеси

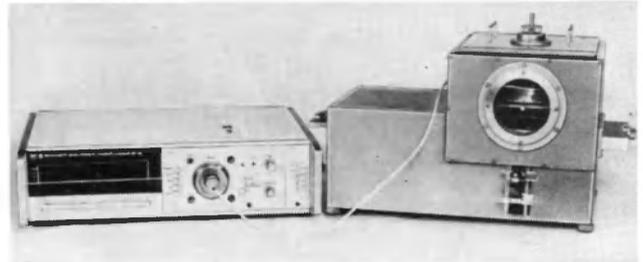
Одновременная регистрация координатной и спектральной зависимостей сигнала фотоотклика позволяет осуществлять трехмерное зондирование полупроводниковых структур (с целью межоперационного контроля их качества), результаты которого обрабатываются на ЭВМ для введения в АСУТП или отображаются на телевизионном мониторе.

Статья поступила 11 мая 1982 г.

УДК 621.317.321

В.И.Дымович, Е.К.Ковшиков, В.П.Коробцов

ПРИБОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КОНТАКТНОЙ РАЗНОСТИ ПОТЕНЦИАЛОВ «АЛЬФАТЕСТ»



Разработанный экспрессный, неразрушающий метод измерения контактной разности потенциалов (КРП) при химическом, ионном, плазмохимическом и других методах обработки поверхности позволяет также проводить исследование кинетики поверхностных реакций, адсорбции, десорбции, коррозии, диффузии, окисления и др. В основу метода положено использование явления КРП значения которой являются мерой загрязнения поверхности, поскольку зависят от наличия на ней адсорбированных и хемосорбированных примесей, окисных пленок и др.

Разработан прибор "Альфатест", в котором использован метод измерения КРП*, основанный на ионизации рабочего промежутка между измеряемым образцом и эталонным электродом α -излучением радиоактивного источника. Прибор предназначен для контроля состояния поверхности металлов, полупроводников и их пленок. Позволяет проводить измерение распределения КРП по поверхности образцов путем дискретного сканирования. Использование эталонного электрода с известной работой выхода электрона (например, золотого) дает возможность измерять этот параметр для исследуемых образцов.

Техническая характеристика

Размеры измеряемых образцов, мм	..... от 10×10 до 100×100
Время одного измерения, с	.....
Чувствительность прибора, г/см ²	..... 10 ⁻⁷
Диаметр измерительного зонда, мм	..... 3—30
Ионизационный ток в измерительной цепи, А	..... не более 10 ⁻¹⁰
Активность источника α -излучения ²³⁹ Pu, МБк	..... 60
Напряжение питания, В	..... 220
Потребляемая мощность, Вт	..... 50
Габаритные размеры, мм	..... 560×370×450

Прибор состоит из измерительного устройства и цифрового электрометрического вольтметра

* Дымович В.И., Ковшиков Е.К., Кочаров Э.А. Измерение контактной разности потенциалов ионизационным методом. — В кн.: Сб. научных трудов по проблемам микроэлектроники. — М.: МИЭТ, 1976, вып. 23, с. 64—69.

В7-30. Измерительное устройство смонтировано в герметизированном корпусе, что позволяет проводить измерения в воздухе и среде инертных и защитных газов при атмосферном давлении. Для помещения исследуемых образцов внутрь прибора используется шлюзовая система с шелевым уплотнением.

Достоинствами прибора являются отсутствие подвижных частей в измерительной ячейке, большой зазор между образцом и эталонным электродом (3-6 мм) и высокая эксплуатационная надежность.

Статья поступила 17 мая 1982 г.

УДК 621.317.795.3

Г.П.Жигальский, Ю.Н.Лякишев, А.С.Федоров

АНАЛИЗАТОР СПЕКТРА СИГНАЛОВ НИЗКИХ ЧАСТОТ

Предназначен для измерений спектра электрических сигналов в диапазоне частот 2-500 Гц и может быть использован для измерений среднеквадратичного значения напряжения электрических сигналов любой формы в различных областях науки и техники. Чувствительность анализатора позволяет исследовать шумы, спектральная плотность которых находится на уровне $1 \cdot 10^{-19} \text{ В}^2/\text{Гц}$.

Прибор состоит из отдельных блоков, выполненных на транзисторах и интегральных микросхемах. Блочная конструкция позволяет эффективно экранировать входные цепи от внешних помех.

При исследовании спектра сигналов с низким уровнем гармонических составляющих анализатор работает с предварительным усилителем, охлаждаемым парами азота до 77 К. Эквивалентное шумовое сопротивление усилителя, приведенное к входу, без охлаждения составляет на частоте 10 Гц примерно 1000 Ом, а с охлаждением — 20 Ом. Анализатор снабжен делителем напряжения, позволяющим исследовать сигналы до 100 В и схемой защиты от перегрузок на входе до 300 В. Питание прибора — автономное от аккумуляторных батарей или от стабилизированных источников типа ЛИПС-II-30

Техническая характеристика

Ширина полосы пропускания, Гц	0,2
Уровень собственных шумов, приведенных ко входу на частоте 10 Гц, $\text{нВ}/\text{Гц}^{1/2}$	2
Промежуточная частота, Гц	265
Ослабление сигналов промежуточной частоты по входу, дБ	70
Напряжение питания, В	± 15

Анализатор работает по принципу супергетеродинного приемника. Составляю-

щие спектра сигнала измеряются при последовательной перестройке частоты гетеродина, в качестве которого используется генератор инфранизких частот ГЗ-39 (анализатор допускает работу с любым декадным генератором низкой частоты).

Результаты исследований, проведенных на данном приборе, были использованы при разработке методики контроля качества металлизации интегральных схем.

Статья поступила 19 мая 1982 г.

УДК 621.375

Г.П.Жигальский, А.С.Федоров

ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ УСИЛИТЕЛЬ

Предназначен для прецизионных измерений электрических сигналов нановольтового диапазона, имеющих различное физическое происхождение.

Принцип работы прибора заключается в следующем. Исследуемые сигналы подаются на малошумящие предварительные усилители, после которых в одном канале поставлен переключатель фазы, а в другом — фазовращатель. Сигналы в фазе или противофазе поступают на сумматор и затем, после окончательного усиления, — на выход. Перед измерениями производится балансировка установки, при которой максимально подавляется синфазная составляющая сигналов, подаваемых на входы.

Техническая характеристика

Коэффициент усиления по напряжению, дБ	50-100
Рабочий диапазон частот по уровню 3 дБ, Гц	2-100000
Входное сопротивление, МОм	5
Выходное сопротивление, кОм	2
Эффективное значение приведенных ко входу собственных шумов на частотах выше 100 Гц, $\text{нВ}/\text{Гц}^{1/2}$	3
Эквивалентное шумовое сопротивление, приведенное ко входу, на частоте 2 Гц, Ом	800
Коэффициент подавления когерентной составляющей входного сигнала сумматором при вычитании, дБ	50
Максимальный размах выходного напряжения (двойная амплитуда), В	20
Напряжение питания, В	± 15

Настройка системы осуществляется при подаче на ее входы напряжения от генератора гармонических сигналов. Регулировкой усиления и фазы в каналах добиваются того, чтобы на выходе сумматора была удвоенная амплитуда входного напряжения каждого из каналов (при поступлении сигналов на сумматор в фазе) или нуль (при поступлении сигналов в противофазе). При отсутствии входного сигнала собственные

шумы каналов некоррелированы и поэтому дадут одинаковый результат на входе как при их суммировании, так и при вычитании. Исследуемый шум в обоих каналах коррелирован, поэтому в случае вычитания сигналы на выходе будут отличаться от сигналов при суммировании, т.е. появляется возможность различить собственные шумы аппаратуры и исследуемые. Благодаря этому изучаемый сигнал может быть измерен, даже если уровень его мощности на входе ниже мощности шума аппаратуры, приведенного ко входу, на 20—40 дБ.

Усилитель изготовлен на латунном секционированном шасси. Монтаж всех каскадов выполнен на печатных платах. Для исключения наводок по питанию в первых каскадах применяется отдельный источник напряжения. Разработанный корреляционный усилитель использован в установке неразрушающего контроля качества металлизации интегральных схем по уровню избыточного шума.

Статья поступила 19 мая 1982 г.

УДК 535.243

В.П.Гаранин, Ю.П.Лебедев, Г.А.Ухлинов

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПЛЕНОЧНЫЕ РАДИОМЕТРЫ РТП-12



Предназначены для определения интенсивности теплового излучения в широком спектральном диапазоне. Позволяют

бесконтактным способом измерять температуру поверхности неподвижных и движущихся объектов.

Чувствительным элементом радиометра РТП-12 является двенадцатиспайный пленочный термоэлектрический преобразователь, выполненный на слюдяной подложке толщиной 10 мкм с радиальным расположением ветвей. В результате нагрева тепловым излучением рабочих спаев, сконцентрированных на приемной площадке, в них возникает термо-ЭДС.

В зависимости от требуемых величин чувствительности и внутреннего сопротивления радиометра ветви пленочной термопары выполняются из различных материалов. Для *n*-ветвей используются висмут, сплав висмут-сурьма (12%), *n*-германий, соединение свинец-теллур; для *p*-ветвей — сурьма, сплав висмут-свинец (2%), *p*-германий. Поглощающее покрытие — бислойный низковакуумный конденсат сурьмы и теллура. Излучение концентрируется зеркальным алюминиевым конусом с отношением площадей входного и выходного отверстий 3:1. Для локального измерения температуры РТП-12 может использоваться в сочетании со световодами.

Радиометр РТП-12 работает в комплекте с цифровым вольтметром Щ1413 или магнитоэлектрическими приборами М1200, М265, М94 и др.

Техническая характеристика

Диапазон измерения, Вт/см ²	10 ⁻⁴ —1
Чувствительность, В/Вт	1—5
Внутреннее сопротивление, Ом	100—3000
Спектральный диапазон, мкм	0,4—28
Диаметр приемной площадки, мм	3
Постоянная времени, с	0,5
Габаритные размеры, мм	∅48x15
Масса, г	60

Прибор может быть использован в вакуумно-термической технологии, высокотемпературной металлургии, прокатном производстве, метеорологии, медицине, сельском хозяйстве и др. Преимуществами разработанного радиометра являются высокие чувствительность и быстродействие, малая трудоемкость изготовления по сравнению с радиометрами «Тера» с фольговым термопреобразователем.

Радиометр РТП-12 применяется в производстве для дистанционного контроля высокотемпературных процессов.

Статья поступила 15 мая 1982 г.

УДК 681.121

В.И.Бурякин, А.Л.Гостик,
Н.Д.Дубовой, А.А.Сазонов

ИЗМЕРИТЕЛИ РАСХОДА ГАЗА ИРГ И ИМРГ



Переносные измерители расхода газа предназначены для оперативного контроля работы стационарных расходомеров и измерения расхода газа в магистрали.

Технические характеристики

	ИРГ	ИМРГ
Диапазон измеряемого расхода газа, л/ч	0,5—1000	0,3—1
Число диапазонов	4—5	1
Время измерения, с	2	2
Приведенная погрешность, %	5	5
Напряжение питания, В	220(50 Гц)	220(50 Гц)
Потребляемая мощность, Вт	1	1
Габаритные размеры, мм		
корпуса	220x160x155	280x160x155
выносного датчика	140x90x26	85x55x35
Масса, кг	3	2,5

Преимуществом приборов ИРГ и ИМРГ является широкий диапазон измерения, высокая чувствительность и быстродействие, что позволяет использовать их также для поиска незначительных утечек газа в магистралях.

Приборы, являющиеся тепловыми расходомерами термоанемометрического типа, имеют аналоговый выходной сигнал. В качестве чувствительных элементов в них использованы полупроводниковые терморезисторы типа СТЗ-19. Один из терморезисторов установлен в контролируемом потоке газа и включен в схему измерительного моста, другой — в аэродинамической тени и включен в компенсационную мостовую схему с целью компенсации температуры окружающей среды.

Сигналы разбаланса мостовых схем после предварительного усиления подаются на вход усилителя-вычитателя и далее на

стрелочный индикатор. Усилители и вычитатель питаются от источника постоянного напряжения. Напряжение питания мостовых схем подается с выходов усилителей, что существенно повышает быстродействие мостовой схемы.

Измерители расхода газа состоят из индикаторного блока и выносного датчика. Электронная схема приборов выполнена на полупроводниковых элементах и микросхемах. Расширение диапазона измерения достигается благодаря тому, что корпус датчика в приборе ИРГ выполнен с байпасным каналом, в котором установлена калиброванная втулка, для доступа к которой предусмотрена специальная заглушка с вмонтированным в нее устройством, позволяющим быстро закрывать и открывать отверстие втулки байпасного канала. Это позволяет без смены втулки производить быстрое переключение диапазонов прибора.

Статья поступила 17 мая 1982 г.

УДК 681.121

А.И.Бутурлин, С.А.Крутоверцев,
С.Г.Орлов, Г.Б.Чахунашвили

ИЗМЕРИТЕЛЬ РАСХОДА ГАЗА «ПОТОК-1»

Предназначен для непрерывного контроля малого расхода неагрессивных технологических газов (водорода, кислорода, азота, аргона и др.) и может быть использован в комплексе с регулятором для автоматического поддержания необходимого расхода газа. Индикация показаний прибора осуществляется с помощью встроенного стрелочного микроамперметра, внешнего регистрирующего милливольтметра или самописца со шкалой до 10 мВ.

По принципу действия прибор "Поток-1" относится к тепловым расходомерам. В качестве чувствительного элемента используется пьезокварцевый термочувствительный резонатор Y- или LC-среза, подогреваемый с помощью излучения двух ИК светодиодов. Изменение расхода газа через камеру с чувствительным элементом приводит к изменению коэффициента теплоотдачи от нагретого резонатора, что, в свою очередь, вызывает изменение температуры пьезокварцевого термочувствительного резонатора, собственная частота колебаний которого линейно зависит от температуры.

Таким образом, по изменению частоты колебаний резонатора можно судить об изменении расхода анализируемого газа. Для исключения погрешностей, вносимых флуктуациями температуры и состава газа, применяются два аналогичных термочувствительных элемента, которые помещены в

проточную и диффузионную камеры и включены по дифференциальной схеме. Преобразование частотного сигнала в аналоговый осуществляется по обычной схеме, в которую входят два кварцевых генератора, смеситель, формирователь импульсов разностной частоты и преобразователь частота-напряжение.

Техническая характеристика

Диапазон измеряемого расхода газа, л/ч	0–50
Допустимое избыточное давление газа, кПа	не более 200
Постоянная времени чувствительного элемента, с	не более 15
Относительная погрешность измерения, %	не более 5
Максимальная величина выходного сигнала для подключения внешнего регистрирующего прибора, мВ	10
Потребляемая мощность, Вт	не более 10
Напряжение питания, В	220
Габаритные размеры, мм	100×200×250
Масса, кг	3

Прибор обладает высокой чувствительностью, быстрым действием, простотой и удобством эксплуатации.

Статья поступила 18 мая 1982 г.

УДК 533.275

А. И. Бутурлин, Ю. И. Гладков,
С. Г. Орлов, Ю. Д. Чистяков

ИНДИКАТОРЫ ВЛАЖНОСТИ ГАЗОВ ИВА-1 И ИВА-2

Предназначены для непрерывного контроля микровлажности и влажности неагрессивных газов (кислорода, водорода, азота, аргона и др.).



По принципу действия приборы относятся к гигрометрам сорбционно-частотного типа, в которых в качестве чувствительного элемента используется кварцевый резонатор АТ-среза с нанесенной на его поверхность тонкой пленкой сорбента, актив-

ного к парам воды. Собственная частота колебаний чувствительного элемента является линейной функцией величины влагосодержания (точки росы). Приборы выполнены на цифровых микросхемах по частотно-разностной схеме и содержат измерительный и опорный кварцевые генераторы, смеситель, формирователь импульсов разностной частоты. ИВА-1 снабжен также преобразователем частота-напряжение, а ИВА-2 – декадными счетчиками, генератором временных импульсов и блоком индикации.

Технические характеристики

	ИВА-1	ИВА-2
Диапазон измерения влажности (точки росы), °С	от –30 до –90	от 0 до –99,9
Допустимое избыточное давление газа, кПа	не более 200	не более 200
Расход анализируемого газа при давлении 100 кПа, см ³ /с	0,25–2,5	0,25–2,5
Частота резонанса кварцевого резонатора, МГц	9	5
Постоянная времени чувствительного элемента, с	не более 2	не более 3
Относительная погрешность измерения, %	± 7	± 5
Максимальная величина выходного сигнала для подключения внешнего индикатора или самописца, мВ	10	–
Потребляемая мощность, Вт	12	20
Габаритные размеры, мм	250×180×160	230×75×260
Масса, кг	5,5	3,5

С помощью прибора ИВА-1 измерения проводятся путем визуального считывания показаний встроенного стрелочного индикатора или записи на бумажную ленту, с помощью ИВА-2 – цифрового светодиодного индикатора.



Приборы ИВА-1 и ИВА-2 характеризуются высокими надежностью и долговечностью чувствительного элемента, быстрым действием, удобством эксплуатации.

Статья поступила 18 мая 1982 г.

УДК 533.275

**А. И. Бутурлин, А. Я. Дикевич,
С. А. Крутоверцев, Е. Н. Овчинников**

ИНДИКАТОР МИКРОВОЛЖНОСТИ И КОНЦЕНТРАЦИИ КИСЛОРОДА В ВОДОРОДЕ ОКА-1

Предназначен для непрерывного контроля содержания влаги и кислорода в потоке водорода. Прибор позволяет также измерять суммарную концентрацию кислородосодержащих примесей ($O_2 + H_2O$) в водороде и может быть использован для измерения микровлажности других неагрессивных технологических газов (азота, аргона, гелия, кислорода и др.). Регистрация показаний прибора производится с помощью встроенного стрелочного индикатора или внешнего регистрирующего устройства (милливольтметра или самописца).

Принцип действия прибора ОКА-1 основан на селективном каталитическом преобразовании кислорода и водорода в пары воды и измерении концентрации влаги до и после преобразования. Разность концентраций показывает содержание кислорода в водороде. Измерение концентрации паров воды осуществляется пьезокварцевыми сорбционными датчиками влажности (пьезокварцевыми резонаторами АТ-среза с пленкой сорбента на поверхности).

Прибор выполнен на основе частотно-разностной схемы, содержащей два кварцевых генератора, смеситель, формирователь импульсов разностной частоты и преобразователь частота-напряжение.

Техническая характеристика

Диапазон измерения влажности (точки росы), °С	..... от -30 до -90
Диапазон измерения объемного содержания кислорода в водороде, %	..... $10^{-4} - 10^{-1}$
Допустимое избыточное давление подводимого газа, кПа	..... 200
Расход анализируемого газа, л/ч	
при давлении 100 кПа	..... 1-100
проходящего через блок химического преобразования	..... 2-5
Частота резонанса кварцевого резонатора, МГц	..... 10
Постоянная времени чувствительного элемента, с	
влажности	..... не более 2
расхода газа	..... не более 15
Относительная погрешность измерения, %	
влажности	..... не более 7
концентрации кислорода	..... не более 15
Максимальная величина выходного сигнала при подключении внешнего индикатора или самописца, мВ	..... 10
Потребляемая мощность, Вт	..... 10
Напряжение питания, В	..... 220 (50 Гц)
Габаритные размеры, мм	..... 320 × 180 × 160
Масса, кг	..... 8

Для поддержания расхода анализируемого водорода на заданном уровне используются встроенный в прибор пьезокварцевый тепловой расходомер и регулирующий дроссель.

Статья поступила 19 мая 1982 г.

УДК 681.586'36

**А. И. Бутурлин, С. Г. Орлов,
В. М. Сушков, Ю. Д. Чистяков**

ИНДИКАТОР ВЛАЖНОСТИ И ТЕМПЕРАТУРЫ

Прибор предназначен для непрерывного контроля относительной влажности и температуры газовой среды в технологических и складских помещениях, климатических камерах и т.п. Измерения величины относительной влажности и температуры проводятся путем визуального считывания показаний встроенных стрелочных индикаторов или записи на бумажную ленту.

Индикатор состоит из двух идентичных каналов для измерения влажности и температуры. Гигрометрическая часть построена по сорбционно-частотному принципу (в качестве чувствительного элемента используется кварцевый резонатор АТ-среза, имеющий на поверхности тонкую пленку сорбента, активного к парам воды).

Прибор содержит три кварцевых генератора (для измерения относительной влажности и температуры и для получения опорной частоты), два смесителя, два формирователя импульсов разностных частот, два преобразователя частота-напряжение и усилители аналоговых сигналов по каналу влажности и температур. В качестве чувствительного элемента температуры используется кварцевый резонатор температурно-чувствительного среза.

Техническая характеристика

Диапазон измерения относительной влажности, %	..... 0-100
Диапазон измерения температуры, °С	..... от -50 до +50
Относительная погрешность измерения, %	
влажности	..... ± 5
температуры	..... ± 1
Изменение выходного сигнала, В	
по каналу влажности	..... 0-6
по каналу температуры	..... 0-6
Частота резонанса кварцевого резонатора, МГц	..... 5
Постоянная времени чувствительного элемента, с	
влажности	..... не более 20
температуры	..... не более 30
Габаритные размеры, мм	
блока датчиков	..... 65 × 40 × 190
блока индикации	..... 590 × 415 × 195
Масса, кг	..... 1,5

Индикатор характеризуется высокой надежностью и быстродействием чувствительного элемента влажности, точностью измерения температуры, возможностью дистанционного измерения температуры и влажности.

Статья поступила 19 мая 1982 г.

УДК 681.586'3/2

Д.В. Ильинский, Л.А. Коледов,
В.Л. Пасынков, В.А. Шитулин**КВАРЦЕВЫЙ МУЛЬТИМЕТР**

Кварцевый мультиметр предназначен для оперативного измерения температуры, влажности и давления. Характеризуется многоканальностью, повышенной точностью измерения, возможностью автоматического выбора последовательности и интервалов измерения, наличием цифрового выхода для связи с цифропечатающим устройством.

В качестве датчиков измеряемых величин использованы кварцевые резонаторы. Для компенсации технологического разброса параметров датчиков в приборе применено перепрограммируемое запоминающее устройство.

Прибор изготовлен на семи печатных платах, помещенных в металлический корпус. Индикация осуществляется с помощью шести светодиодных индикаторов АЛ325. Цифровая часть прибора выполнена на микросхемах серии К155.

Техническая характеристика

Число каналов измерения	
температуры	4
давления	2
влажности	2
Диапазон измерения	
температуры, °С	от -60 до +140 ($\pm 0,01$)
давления, мм рт. ст.	680-900 ($\pm 0,1$)
влажности, %	0-100 ($\pm 0,1$)
Время одного измерения, с	не более 0,7
Период вывода на ЦПУ, с	1,25; 10; 60; 600
Напряжение питания, В	220
Потребляемая мощность, Вт	35
Габаритные размеры, мм	110x220x270
Масса, кг	4,5

Разработанный прибор может быть использован в технологических и исследовательских установках, калориметрах, термокамерах, термостатах, камерах климатических испытаний, может найти широкое

применение для контроля параметров окружающей среды, а также на метеорологических станциях для измерения параметров атмосферы. Кварцевый мультиметр по сравнению с другими измерителями температуры, влажности и давления может выполнять измерение параметров среды удаленных объектов.

Статья поступила 27 мая 1982 г.

УДК 681.586'3

В.Н. Вигдорович, Ф.В. Марков, В.А. Молодцов

ДАТЧИК ДАВЛЕНИЯ

Принцип действия датчика давления основан на тензорезистивном эффекте — явлении изменения электросопротивления металлов и полупроводников при их деформации.

Датчик выполнен на основе полупроводникового тензометрического преобразователя и состоит из мембраны и двух пар напыленных на нее пленочных тензорезисторов, которые соединены по мостовой схеме. В одну из диагоналей моста включается источник питания. При воздействии давления мембрана деформируется и пары тензорезисторов испытывают противоположные по знаку напряжения. В результате в измерительной диагонали моста появляется электрический сигнал, пропорциональный давлению.

Техническая характеристика

Номинальное давление, МПа	0,14
Номинальный выходной сигнал, мВ/В	20
Допустимая перегрузка	8 г
Погрешность, %	
нелинейности	0,5-1,0
температурного дрейфа нуля на 1°С	
(от -10 до +60°С)	$\pm 0,001$
температурного дрейфа коэффициента преобразования на 1°С	
(от -10 до +60°С)	0,01-0,02

Высокая точность и линейность датчика достигаются при равных по величине и противоположных по знаку чувствительностях тензорезисторов в смежных плечах моста. Это возможно при оптимальном размещении пары резисторов относительно кристаллографических направлений $[011]$ и $[\bar{0}\bar{1}1]$, которое определено с помощью расчета зависимости от него механических напряжений и чувствительностей резисторов к давлению на квадратной кремниевой мембране, ориентированной в плоскости $\{100\}$. Оптимальный угол находится в диапазоне 28-32°. Угловое расположение тензорезисторов уменьшает влияние остаточных механических напряжений, возникающих при соединении первичного преобразователя с кристаллодержателем корпуса.

Статья поступила 18 мая 1982 г.

УДК 681.586.73

С.С.Геранькин, Н.К.Деревенко

ПРЕЦИЗИОННЫЙ ДАТЧИК ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИИ

Разработан прецизионный датчик линейных перемещений (ДЛП), который может быть использован для автоматического прецизионного позиционирования подвижных частей механизмов (карок координатных столов фотоповторителей, генераторов изображения), а также в различных измерительных устройствах. Повышение чувствительности и дискретности отсчета ДЛП достигнуто благодаря применению оптического способа интерполяции шага плоской амплитудной дифракционной решетки.

Современные измерительные звенья ДЛП с прозрачной и отражательной фазовыми дифракционными решетками позволяют иметь частоту пропускания более высокую, чем частота решетки. Однако такие ДЛП обладают малым диапазоном измерений (меньше 150 мм), что связано с трудностью изготовления решеток большой длины.

Сущность оптического способа интерполяции шага амплитудной дифракционной решетки заключается в том, что фотоприемники располагают в направлении формирования главных интерференционных максимумов картины, образованной в результате дифракции на измерительном сопряжении. При этом интенсивность $I_m(S)$ в m -м интерференционном максимуме определяется в зависимости от изменения результирующей ширины щели S из соотношения:

$$I_m(S) = C_m \left(1 - \cos \frac{2\pi m}{d} S\right),$$

где $C_m = \frac{N^2 L d^2}{2\pi^2 \lambda m^2}$ — коэффициент пропорциональности (N — количество освещенных щелей; L — длина щели; λ — длина волны света; d — шаг решетки).

На период изменения оптического сигнала $T_n = d/m$ накладываются ограничения: $\lambda/2 < T_n \leq d$.

Простейшее измерительное устройство ДЛП состоит из монохроматического источника света, измерительного и индикаторного растров и фотоприемника. Измерительный растр перемещается вдоль линии измерения. Дифрагирующие на освещенном участке измерительного сопряжения лучи интерферируют, образуя дискретно расположенные главные максимумы, в направлении одного из которых размещен фотоприемник. Индикаторный растр может иметь зеркальную поверхность. В этом случае фотоприемник должен быть помещен со стороны источника света. Для прецизионного измерения углов поворота применяют радиальные растры.

Система автоматизированного прецизионного позиционирования с ДЛП внедряется в производство.

Статья поступила 11 мая 1982 г.

ЭП СООБЩЕНИЯ ЭП

УДК 681.586.773

С.М.Афонин, Е.А.Иванов,
Б.Г.Парфенов, В.В.Сильченкова

СИЛОВЫЕ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ДВИГАТЕЛИ МИКРОПЕРЕМЕЩЕНИИ



Силовые пьезоэлектрические двигатели применяются на окончательных ступенях совмещения в оборудовании фото-, рентгено- и электронолитографии для перемещения координатного стола в пределах 1–40 мкм с точностью 0,1 мкм. Весьма перспективно их применение для приводов автоматических систем совмещения.

Силовой пьезоэлектрический двигатель представляет собой пьезопреобразователь, в котором эффект перемещения достигается за счет продольной деформации пьезоэлемента при приложении внешнего электрического напряжения. Разработана серия силовых пьезоэлектрических двигателей микроперемещений (см. таблицу).

Параметр	Пьезоэлектрические двигатели		
	ДП-10	ДП-20	ДП-40
Диапазон перемещений, мкм	1–10	1–20	1–40
Чувствительность, мкм/В	0,025	0,05	0,1
Нагрузочная способность, Н	500	500	500
Полоса пропускания, Гц	120	80	60
Габаритные размеры, мм	70×70×160	70×70×160	70×70×160
Масса, кг	0,7	1	1,4

Силовые пьезодвигатели имеют простую технологичную конструкцию, малые габариты и лучшие динамические характеристики по сравнению с другими двигателями микроперемещений. Поэтому пьезодвигатели являются наиболее перспективными для использования в качестве исполнительных двигателей в быстродействующих прецизионных следящих системах с ограниченным диапазоном перемещения.

Статья поступила 11 мая 1982 г.

ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС И КАДРЫ

УДК 658.012.011.56

С.С.Горбач, С.Н.Мазуренко, В.П.Павлов

ОБ ОПЫТЕ ОРГАНИЗАЦИИ КОМПЛЕКСНЫХ ТВОРЧЕСКИХ МОЛОДЕЖНЫХ КОЛЛЕКТИВОВ В ОТРАСЛИ

В речи на ноябрьском (1979 г.) Пленуме ЦК КПСС Л.И.Брежнев сказал: "В будущей пятилетке предстоит осуществить крупные изменения в структуре и пропорциях экономики, ... выявить те звенья, где ценой минимальных затрат можно получить наибольший и быстрый эффект". Одним из таких звеньев может стать повышение творческой отдачи молодого специалиста в научном уч-ждении, на промышленном предприятии.

Проблема адаптации молодого специалиста на производстве — проблема не только экономическая, но и нравственная, так как именно здесь закладываются социальные основы коммунистического отношения к труду у молодой научной интеллигенции. Эффективными формами участия молодых ученых и специалистов в ускорении научно-технического прогресса стали общественные конструкторские, патентные бюро, лаборатории экономического анализа и другие творческие объединения молодежи. Среди них особое место занимают комплексные творческие молодежные коллективы (КТМК). Их возникновение явилось результатом поисков комитетам комсомола, советам молодых ученых и специалистов новых, прогрессивных форм повышения трудовой активности молодежи, создания обстановки коллективного творчества, позволяющей в полной мере раскрыться способностям молодого человека.

Специалист, пришедший на предприятие из института, иногда обладает недостаточным профессиональным уровнем, а психологическая неподготовленность к принятию серьезных самостоятельных решений препятствует развитию организаторских навыков. В то же время молодой работник, как правило, стремится к активной деятельности и полон желаний применять свои знания на практике. И если случается, что ему поручают заниматься незначительной, малоинтересной работой, он испытывает разочарование, а порой перестает верить в свои силы. По этой причине предприятия нередко теряют по-настоящему способных молодых людей, из которых могли бы выйти хорошие ученые, специалисты, руководители производства, столь нужные отрасли. Поэтому необхо-

димо всемерно поддерживать творческие начинания молодого инженера, его стремление к активной деятельности. Именно эту цель и преследуют комплексные творческие молодежные коллективы. КТМК как творческие объединения молодых ученых, специалистов, техников, рабочих и студентов являются формой добровольного участия молодежи в решении конкретных проблем производства, науки и техники. Они могут функционировать в рамках стабильного или временного административного звена внутренней структуры предприятия (группа, бригада, лаборатория, КБ и т.д.) либо в рамках объединения, созданного из сотрудников различных подразделений предприятий и работников предприятий-смежников для проведения плановой или инициативной работы.

Основными задачами КТМК являются:

— развитие и стимулирование технического творчества молодежи, ее изобретательской и рационализаторской деятельности, воспитание коммунистического отношения к труду;

— участие в решении коренных вопросов реконструкции и технического перевооружения действующего производства, во внедрении новой техники и прогрессивной технологии, в повышении производительности труда и качества продукции, наиболее рациональном использовании энергетических и материальных ресурсов, улучшении условий и организации труда на основе наиболее полного использования результатов научных исследований, изобретений и творческих разработок;

— развитие стремления к настоящему овладению современными знаниями, ускорение профессионального роста, совершенствование навыков самостоятельной научной, практической и организаторской работы;

— широкая подготовка молодых ученых и специалистов к руководству общественными творческими объединениями.

Первые КТМК в стране и отрасли созданы в 1974–1976 гг. В их работе было немало трудностей, и чувствовалось, что каждый из них стремится по-своему определить свой статус, "приспособиться" к окружающей обстановке. Появилось много различных положений о КТМК. Учитывая это, Отдел научной молодежи ЦК ВЛКСМ совместно с советом молодых специалистов по согласованию с министерством и дирекцией одного из научно-производственных объединений провел эксперимент по созданию КТМК в рамках объединения и опробовал типовое положение в 33 комплексных творческих молодежных коллективах, в

результате чего совместным постановлением Госкомитета СССР по науке и технике, Секретариата ЦК ВЛКСМ, Президиума Академии наук СССР, Президиумов ВСНТО и ЦС ВОИР 3 апреля 1979 г. утверждено типовое положение о КТМК.

Опыт работы КТМК в отрасли показал, что их создание оказывает серьезное влияние на становление молодых ученых и специалистов, способствует решению многих научно-технических проблем. В 1980 г. на первой Всесоюзной школе руководителей КТМК был обобщен передовой опыт создания комплексных творческих молодежных коллективов и руководства их деятельностью. Подробно и всесторонне были рассмотрены результаты эксперимента по созданию КТМК в рамках объединения, опыт работ КТМК на различных предприятиях, обсуждены важнейшие вопросы, связанные с созданием и деятельностью КТМК, такие как

- организация КТМК и функции органов, руководящих их деятельностью (комитетов ВЛКСМ, советов молодых ученых и специалистов предприятий);

- выбор тематики, основные формы КТМК и завершающий этап деятельности;

- права и обязанности членов КТМК, роль руководителя коллектива;

- планирование и организация работ КТМК в процессе решения научно-технической задачи;

- совершенствование навыков самостоятельной научной и организаторской работы молодежи в рамках КТМК;

- повышение эффективности процесса исследования–разработка в рамках КТМК;

- работа представителей смежных предприятий в рамках КТМК;

- реализация возможностей КТМК при разработке изделий культурно-бытового назначения;

- решение производственных и исследовательских задач совместно с администрацией предприятий;

- организация социалистического соревнования между КТМК.

Анализ работ КТМК показал, что независимо от характера работы, выполняемой предприятием, в становлении КТМК и его деятельности можно выделить следующие основные этапы:

- анализ целесообразности создания КТМК, изучение предпосылок и возможностей для их деятельности;

- разработка положения и форм отчетности, учитывающих условия конкретного предприятия или учреждения, на основе типового положения;

- утверждение положения приказом администрации;

- выбор тематики, формирование коллектива, его утверждение;

- выполнение задания коллективами, организация обмена опытом работы между КТМК, проведение между ними социалистического соревнования;

- периодическое подведение итогов производственной работы, осуществление контроля деятельности КТМК, заслушивание результатов их деятельности на соответствующих научно-технических (ученых) советах, поощрение работ КТМК (различные виды), поощрение отдельных членов КТМК.

При анализе целесообразности создания КТМК следует исходить из того, что КТМК должны носить временный, добровольный характер и направлять все свои усилия на решение конкретной научно-технической задачи. К предпосылкам создания таких коллективов прежде всего следует отнести наличие задачи (или комплекса задач), находящейся на стыке интересов различных лабораторий, отделов, предприятий, отраслей или наук, а следовательно, требующей участия в работе специалистов различного профиля. Кроме того, предпосылкой может явиться невозможность выполнения в обычной форме плановых или крупных внеплановых задач, а также предложение о проведении инициативных работ, поступившее от молодых ученых, или общественных организаций (парткома, комитета комсомола, НТО, ВОИРа).

Создание комплексных творческих молодежных коллективов целесообразно и при необходимости проведения идеологической работы с молодыми специалистами. В КТМК возможен индивидуальный подход к каждому специалисту, коллективная ответственность за принятие и выполнение технических решений. Это позволяет комсору, администрации, общественным организациям максимально использовать свое влияние и авторитет для формирования характера начинающего самостоятельную жизнь человека.

Стадия выполнения задания коллективами должна быть проработана в положении о КТМК с учетом его специфики – постоянного руководителя и научного консультанта, состава исполнителей. Представляется целесообразным обязательное согласование полномочий, предоставляемых руководителю положением, с планово-финансовой и юридической службами предприятия (учреждения).

Комплектование коллектива на добровольных началах при активном участии общественных организаций обеспечивает здоровый морально-психологический климат, работу с учетом желания молодого специалиста, правильную расстановку кадров, т.е. создаются все необходимые условия для творческой деятельности. С другой стороны, временный характер КТМК позволяет администрации оперативно перераспределять трудовые ресурсы, а значит, и более гибко осуществлять расстановку кадров. В процессе выполнения работы коллектив нацелен на конечный результат, а его достижение является лишь очередной ступенькой в творческом и профессиональном росте молодого специалиста.

Участие в формировании КТМК общественных организаций и администрации повышает их ответственность за ход работы, обуславливая, в частности, регулярный контроль и своевременную помощь, причем основную часть этой работы выполняет совет молодых ученых и специалистов.

Важная роль в работе коллективов отводится организации социалистического соревнования между КТМК. В ходе выполнения социалистических обязательств особое внимание членов КТМК направляется на повышение эффективности научных исследований и разработок, скорейшее внедрение в производство достижений науки и передового опыта, новой технологии и техники использования имеющихся резервов и возможностей для увеличения выпуска и повышения технического уровня продукции при одновременном снижении затрат на научные исследования.

Опыт показывает, что комплексные творческие молодежные коллективы работают в полтора-два раза эффективнее обычных групп и отделов. В них начинают действовать иные мотивы и стимулы. Возможность самостоятельного поиска оптимального решения поставленной задачи, использования в полной мере своего творческого потенциала, стремление сказать свое слово в науке, проявить организаторские способности, повышенное чувство ответственности каждого за успех всего коллектива, увлеченность — все это мобилизует молодежь и в значительной степени содействует быстрому профессиональному становлению молодых ученых и специалистов, приобретению ими глубоких научно-технических знаний и организаторских навыков, уверенности в своих силах, позволяет администрации предприятий смело выдвигать молодежь, прошедшую школу КТМК, на руководящие должности. Кроме того, выполнение таким коллективом полного цикла исследований от разработки до внедрения обеспечивает соблюдение научных интересов и авторских прав каждого участника работ и всего коллектива в целом.

Проиллюстрируем вышесказанное конкретными примерами. Так, например, четыре года назад группа молодых специалистов одного из научно-исследовательских институтов заинтересовалась проблемами новой технологии. Хотя в то время решение данных проблем не входило в тематические планы института, администрация разрешила поставить инициативную научно-исследовательскую работу. Так возник КТМК "Поиск", силами которого в дальнейшем проведено 6 НИР и 2 ОКР. Творческая атмосфера, сложившаяся в коллективе, способствовала тому, что вскоре после начала работ два человека поступили в аспирантуру, члены КТМК активно участвовали в смотрах научно-технического творчества, являлись победителями конкурсов, проводимых на предприятии на звание "Лучший молодой специалист" и "Лучший молодой

ученый", один из членов КТМК удостоен звания "Лучший молодой рационализатор". Экспонат, представленный коллективом на ВДНХ, был награжден золотой медалью, три члена КТМК из пяти удостоены звания лауреатов Всесоюзного смотра научно-технического творчества молодежи 1978 г. Членами КТМК "Поиск" получено 11 авторских свидетельств, подано 16 заявок на изобретения, 52 рационализаторских предложения, опубликовано 33 статьи, сделано 19 докладов на конференциях. КТМК "Поиск" награжден Почетной грамотой ЦК ВЛКСМ, решением бюро МПК ВЛКСМ в 1979 г. ему присвоено почетное звание "Коллектив имени 60-летия ВЛКСМ".

Если КТМК "Поиск" функционирует в рамках одного подразделения, то другой коллектив создан на основе кооперации усилий специалистов двух разных подразделений: отдела НИИ и цеха завода. Результаты работы показывают, что по настоящему творческое сотрудничество молодых ученых института и специалистов завода помогло преодолеть многие трудности, обычно возникающие при взаимодействии подразделений такого рода, позволило в сжатые сроки провести замену остродефицитных материалов менее дефицитными, сохранив при этом высокое качество выпускаемых изделий. Тесный контакт производственников и исследователей способствовал их профессиональному росту. Молодые ученые из института имели все возможности для более глубокого ознакомления с технологическим процессом, для проведения опытных партий в условиях крупномасштабного производства. В свою очередь молодые специалисты завода получили прекрасную возможность использовать для экспериментальных работ приборы и оборудование института. Кроме того, общая цель — внедрение и обоюдная заинтересованность в результатах — способствует сокращению сроков цикла исследование — производство. Создание таких "сквозных" КТМК из сотрудников предприятия-изготовителя и предприятия-заказчика обеспечивает не только значительное сокращение сроков внедрения, но и модернизацию и доводку оборудования с учетом конкретных особенностей технологического процесса. В результате в подобных коллективах заметно возрастает активность молодых специалистов. Так, например, число заявок на изобретения, авторских свидетельств, рационализаторских предложений в расчете на одного человека в КТМК выше, чем в среднем по предприятию. В 1979—1980 гг. только на одном из предприятий отрасли при активном участии членов КТМК было внедрено 24 изобретения и 117 рационализаторских предложений с экономическим эффектом 1820 тыс.руб. Большой вклад вносят КТМК и в производство товаров культурно-бытового назначения, что особенно актуально в связи с призывом партии к работникам

отраслей тяжелой промышленности помочь в производстве товаров широкого потребления.

Анализ работы комплексных творческих молодых коллективов на предприятиях отрасли в период с 1976 по 1980 гг. позволяет сделать следующие выводы. Идея создания КТМК полностью отвечает потребностям электронной промышленности, производящей сложнейшие изделия, требующей постоянного научного поиска, совершенствования технологии, объединения усилий специалистов разных профилей — физиков, химиков, материаловедов, технологов, математиков, машиностроителей и т.д. Пожалуй, ни в одной отрасли народного хозяйства не возникает необходимости в решении такого количества сложных разноплановых задач, как в электронной промышленности. Создание комплексных творческих коллективов позволяет успешно решать данные проблемы в сжатые сроки. В "Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года" указано, что в одиннадцатой пятилетке необходимо усилить взаимные связи науки и производства, быстрее использовать результаты законченных научных разработок в народном хозяйстве, всемерно содействовать дальнейшему развитию массового научно-технического творчества изобретателей и рационализаторов. Опираясь на опыт работ КТМК в отрасли, на достигнутые ими результаты, можно выразить уверенность в том, что комплексные творческие молодежные коллективы станут эффективной формой мобилизации усилий молодежи на решение задач, поставленных партией перед отраслью в одиннадцатой пятилетке, и сыграют существенную роль в их успешном выполнении.

Статья поступила 9 июня 1981 г.

УДК 658.386:38

П.А.Арутюнов, Г.Д.Корнев, В.Н.Сретенский

ПОДГОТОВКА ИНЖЕНЕРОВ-МЕТРОЛОГОВ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ «ИНФОРМАЦИОННО- ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА»

в порядке обсуждения

Задача опережающего развития электронного машиностроения и приборостроения для электронной промышленности решается на основе новейших достижений микроэлектроники, оптоэлектроники, лазерной техники благодаря производству быстродействующих вычислительных комплексов, элек-

тронных устройств регулирования и телемеханики, исполнительных механизмов, приборов и датчиков систем комплексной автоматизации технологических процессов. Совершенствование вычислительной техники, средств и систем передачи и обработки информации, повышение эффективности АСУТП связано с разработкой новых технологических процессов, сверхчистых материалов, высокоточного и высокочувствительного технологического, контрольно-измерительного, аналитического и испытательного оборудования. Широкая автоматизация отраслей народного хозяйства привела к коренной перестройке измерительной техники, в задачу которой наряду с измерением стало входить информационное обслуживание исследуемого объекта. Поэтому основой современной измерительной техники является не отдельный измерительный прибор, а информационно-измерительная система (ИИС).

В настоящее время проектированием ИИС занимаются инженеры таких специальностей, как "Радиоэлектроника" (специальности 0701 и 0705), "Вычислительная техника" (специальности 0608 и 0648). Но поскольку теория и расчет ИИС построены на основе физики, физической химии, специальных разделов прикладной и вычислительной математики, общей теории связи, теории цифровой обработки сигналов, вычислительной техники и ряда других наук, связанных с объектом специализации, от инженеров-проектировщиков ИИС требуется энциклопедическая подготовка и активная творческая работа во всех перечисленных областях. Электронной промышленности нужны специалисты не только по созданию новой измерительной техники и использованию средств измерений, но и по обеспечению качества выпускаемой продукции, умеющие проектировать системы управления качеством ИЭТ. Этим требованиям отвечает подготовка инженеров-метрологов электронной техники по специальности "Информационно-измерительная техника" (0642). В рамках этой специальности созданы две специализации: "Информационно-измерительные системы в производстве ИЭТ" и "Метрологическое обеспечение систем управления качеством ИЭТ".

Функции инженера-метролога электронной техники определяются объектом и средствами обеспечения специализации.

Объектом первой специализации являются автоматизированные ИИС и информационно-измерительная техника (ИИТ), элементная база ИИТ (АЦП, ЦАП, специализированные микропроцессоры, датчики, аналоговые и цифровые измерительные устройства), образцовые средства измерений и эталоны поверочных схем; средствами обеспечения первой специализации — разработка требований и проектирование элементной базы и ИИТ с использованием ЭВМ (на системном, логическом, схемотехническом, конструкторском и технологическом

уровнях), эксплуатация, ремонт и испытания ИИТ, стандартизация.

Объектом второй специализации являются материалы, используемые при производстве изделий микроэлектроники (их физико-химические свойства и параметры), технология производства ИС (классификация, описание, принцип работы, система параметров и нормы на параметры ИЭТ); средствами обеспечения второй специализации — системы управления качеством ИИС, технологический контроль, физико-химические методы анализа, аттестация и проверка средств измерения, испытания и испытательное оборудование, стандартизация.

Следовательно, инженер-метролог электронной техники, получивший специальность "Информационно-измерительная техника" (0642), является не только инженером-исследователем, но и разработчиком-системотехником. После окончания института инженеры-метрологи электронной техники направляются на работу в НИИ, КБ и на заводы, связанные с производством РЗА, где они будут заниматься разработкой конструкции и технологии изготовления ИИТ и ИИС вместе с инженерами по радиоэлектронике и вычислительной технике и технологами.

Квалификационная характеристика устанавливает профессиональное назначение инженеров-метрологов электронной техники по специальности "Информационно-измерительная техника" (0642), выпускаемых высшей школой по дневной и вечерней формам обучения, а также квалификационные требования. Она необходима для планирования подготовки и прогнозирования потребности в специалистах, обоснования состава специализаций и профессионального использования выпускников вузов.

В квалификационной характеристике указывается, что специалист подготовлен для производственно-технологической, организационно-управленческой и исследовательской деятельности в области проектирования автоматизированных информационно-измерительных систем и измерительной техники в производстве ИЭТ, а также для проектирования метрологического обеспечения систем управления качеством изделий. Кроме того, сформулированы общие требования к специалисту, в соответствии с которыми он должен иметь высокий уровень профессиональной подготовки (сочетать фундаментальную научную и практическую подготовку), непрерывно пополнять свои знания, владеть основами марксизма-ленинизма, активно проводить в жизнь политику КПСС, владеть передовыми методами управления трудовыми коллективами, навыками политико-воспитательной работы среди трудящихся, ответственно относиться к порученному делу, стоять на страже общенародных интересов.

Специалист должен знать:

— общетеоретические дисциплины в объеме, не-

обходимом для решения производственных и исследовательских задач;

— инженерно-физические дисциплины (материаловедение, технология производства ИЭТ, физические основы полупроводниковой и электронной техники, электро- и радиоэлементы, теория цепей и сигналов, инженерная графика и др.);

— специальные дисциплины, необходимые для усвоения знаний по специализациям (основы метрологии и ИИТ, приборы первичной информации, аналоговые и цифровые измерительные устройства, физико-технические методы и средства высокоточных измерений, основы стандартизации, образцовые средства измерений и эталоны поверочных схем и др.);

— САПР (алгоритмические языки и программирование, теорию алгоритмов и вычислительные методы, основы вычислительной техники, микропроцессоры и микро-ЭВМ, теорию и применение цифровой обработки измерительной информации);

— все виды измерений (электрические, магнитные, времени и частоты, радиотехнические, физико-химические, оптические, теплофизические и др.);

— условия функционирования в производстве ИЭТ и основы архитектуры системы автоматизации проектирования ИИТ;

— основы автоматизации проектирования специализированных измерительных модулей на базе микропроцессоров и микро-ЭВМ, специального контрольно-измерительного и испытательного оборудования;

— принципы построения ИИС, диагностической аппаратуры, аналитических установок для анализа поверхности и их практического использования в производстве ИЭТ;

— основы технологии электронных приборов, электро- и радиоэлементов, специального контрольно-измерительного, аналитического и испытательного оборудования;

— методы оценки и прогнозирования качества ИЭТ, анализа производственных погрешностей и обеспечения точности изделий;

— управление качеством продукции на предприятии (статистическое регулирование производственных процессов, статистический приемочный контроль качества продукции);

— метрологическое обеспечение разработок и производства ИЭТ, метрологическую аттестацию методов и средств измерений, метрологическую экспертизу конструкторской и технологической документации, внедрение и соблюдение нормативно-технических документов;

— методы защиты ИИТ от дестабилизирующих факторов, включая геофизические условия и ионизирующие излучения.

Специалист должен владеть:

— современными методами машинного проектирования ИИТ и ее элементной базой, а также

машинных алгоритмов измерения и управления ИИТ;

- методами решения задач проектирования систем управления качеством и их метрологического обеспечения;

- всеми современными методами автоматических и автоматизированных измерений электрофизических величин с использованием машинной обработки измерительных сигналов и методами оценки надежности, работоспособности и отказоустойчивости ИИТ и аналитического оборудования;

- основами научно-экономической оценки эффективности разработок ИИТ.

Статья поступила 25 июня 1982 г.

ЭП СООБЩЕНИЯ ЭП

УДК 621.397.611

А.В.Груздев, Н.А.Чернышев

СИСТЕМА «ТЕЛТЕКСТ» — ПЕРСПЕКТИВНОЕ ИЗДЕЛИЕ КУЛЬТУРНО-БЫТОВОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Теледекодеры, входящие в систему «Телетекст», обеспечивают отражение на экране телевизора 96 буквенно-цифровых и 64 графических символов в виде страницы текста, переданной одновременно с телевизионным сигналом.

С ростом материального и культурного уровня советского народа возрастает потребность в улучшении информационного обслуживания населения. Широкие возможности для воспроизведения на экране телевизора дополнительной текстовой и графической информации, передаваемой по действующим телевизионным каналам одновременно с сигналами изображения и звукового сопровождения, предоставляет система "Телетекст".

Приставки к телевизорам, декодирующие сигналы телетекста (теледекодеры), могут стать

перспективными товарами культурно-бытового назначения. Теледекодеры будут входить в состав бытовых комплексов аудиовизуальной аппаратуры высшего класса, выпуск которой планируется начать в текущей пятилетке.

Система состоит из информационного центра с накопителями информации, редакционного оборудования, блока сопряжения этих устройств с трактом телевизионного передатчика, а также аппаратуры абонентов-теледекодеров.

Структура сигналов телетекста представлена на рис.1 и 2. Сигнал состоит из 45 байтовых посылок, которые вводятся в полный телевизионный сигнал в период действия 19- и 20-й (332- и 333-й) строк, расположенных в интервале кадрового гасящего импульса. Для обеспечения синхронной и синфазной работы передатчика "Телетекста" и приемника (теледекодера) сигнал содержит двухбайтовую синхропосылку и однобайтовую стартовую комбинацию. За период действия синхропосылки приемная система войдет в синхронизм с передающей, а приняв стартовую комбинацию, начнет обработку последующих 42 байтов.

Теледекодер работает по алгоритму: обнаружение сигнала телетекста, его предварительная обработка, декодирование, последовательная запись в ОЗУ, вывод из ОЗУ на экран телевизора по командам с пульта управления.

Принятая информация после обработки отображается на экране в виде страницы текста из 24 строк, в каждой из которых содержится 40

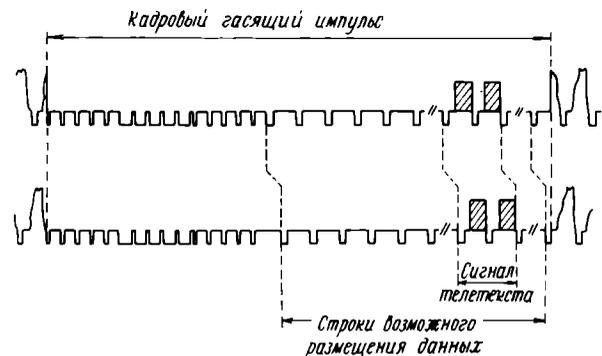


Рис.1. Размещение сигналов телетекста в стандартном телевизионном сигнале

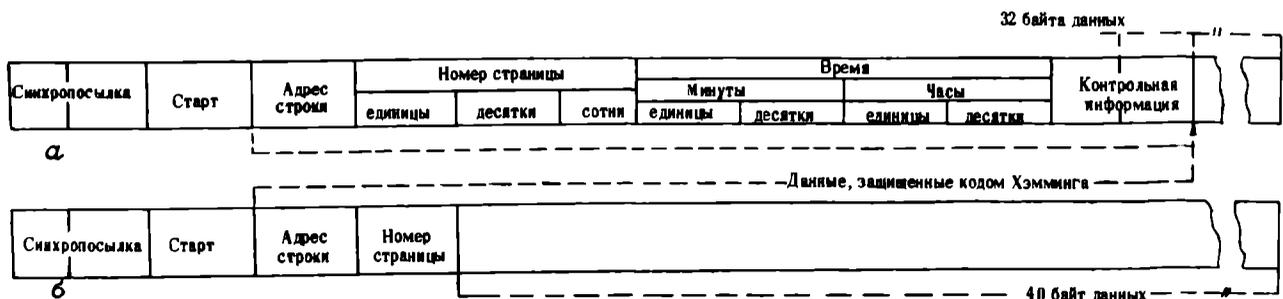


Рис.2. Структура сигнала телетекста: а – адресная строка, б – информационная строка

символов. Данная структура определяется информационной емкостью экрана телевизора, связанной с требованиями четкого воспроизведения символов. Вторым определяющим фактором является организация ОЗУ. Система позволяет воспроизводить 96 буквенно-цифровых и 64 графических символов. Дополнительные удобства создают специальные команды, управляющие работой системы: "Мерцающее изображение", "Двойная" и "Нормальная" высота символов, "Новый фон", "Разделенная" и "Совмещенная" графика и др. Всего имеется 27 команд, обеспечивающих привлекающее внимание изображение. Цвет фона отображаемой страницы и цвет символа могут быть любыми из семи возможных. Для правильной адресации при размещении в ОЗУ каждая строка снабжается этикеткой, содержащей трехзначный номер страницы телетекста (1 байт) и адрес

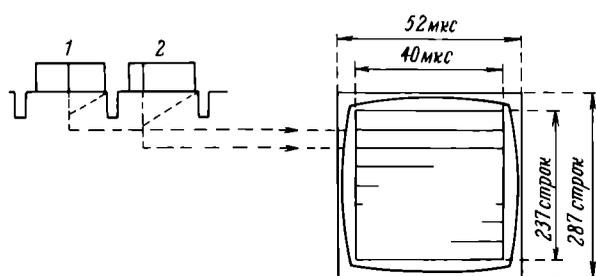


Рис.3. Размещение адресной (1) и информационной (2) строк на экране телевизора

строки (1 байт). Оставшиеся 40 байтов используются для информационных кодов. Для адресации и нумерации каждой страницы используется адресная строка (нулевая – по номеру, первая – при отображении). Адресная часть строк защищена от искажений кодом Хэмминга, поскольку ошибка в адресации страницы может привести к ложному приему всей последующей информации. Адресная строка вследствие уменьшения в ней количества информационных байтов за счет этикетки используется для отображения на экране текущего времени, числа, месяца, номера страницы, закодированных в информационной части. Структура адресной и информационной строк, размещение их в видеосигнале и на экране телевизора показано на рис.3.

Перечисленные факторы справедливы для передачи информации со скоростью 6,9375 Мбит/с. При других скоростях отношения несколько меняются. Так, при скорости 3,87 Мбит/с за период строки видеосигнала будет передаваться только 25 байтов данных, т.е. половина строки телетекста (5 байтов – для этикетки, 20 байтов – для информационного сообщения).

Существует ряд проблем, связанных с передачей и приемом цифровой информации по стандартным телевизионным каналам, среди которых важнейшими являются преобразование формы импульсов с целью сопряжения их спектра со спектральной характеристикой радиотракта на передаче и безошибочное выделение данных из теле-

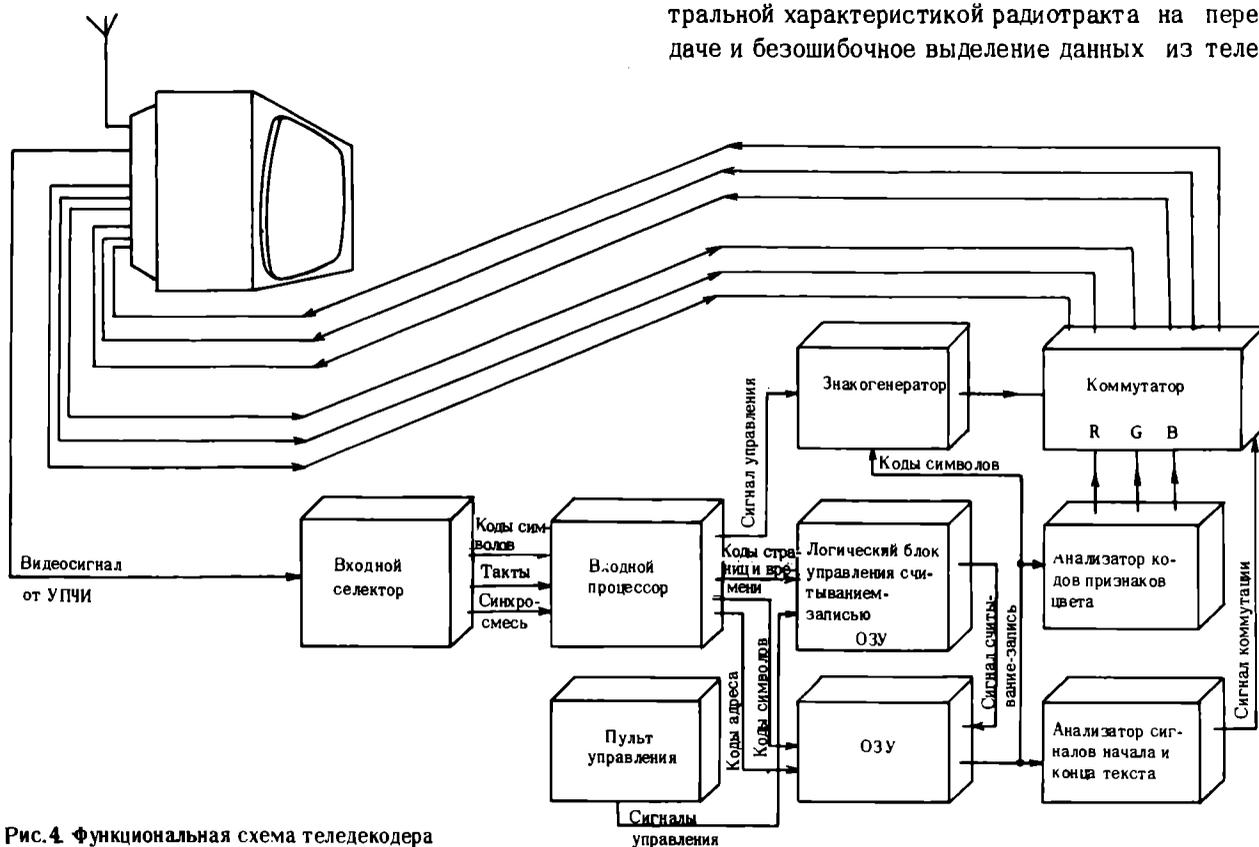


Рис.4. Функциональная схема теледекодера

визионного сигнала при наличии разного рода помех на приемной стороне. Исследования показали, что для неискаженного прохождения импульсов данных через радиотракт последний должен иметь линейные амплитудно- и фазочастотную характеристики и характеристику группового времени задержки вплоть до частоты, равной скорости передачи информации при скорости 6,9375 Мбит/с, $f_v = 7$ МГц). Любые фазовые и частотные искажения приводят к изменению формы импульсов и появлению межсимвольных искажений. Эксперименты, проведенные на телецентрах, показали, что снижение скорости передачи информации позволяет в значительной мере избавиться от частотных и фазовых искажений, а также уменьшить влияние эхо-сигнала, который представляет нередко большую опасность, чем нелинейность радиотракта. Однако снижение скорости передачи влечет за собой увеличение времени, необходимого для приема страницы телетекста, что снижает эффективность системы. Уменьшение скорости передачи до 3,87 Мбит/с представляется наиболее приемлемым вариантом, при этом увеличения времени приема информации потребитель практически не заметит.

Теледекодер состоит из девяти функциональных блоков (рис.4). Входной селектор выделяет из видеосигнала сигнал телетекста и синхросмесь, формирует тактовые импульсы, необходимые для работы входного процессора, создающего сигналы вертикальной и горизонтальной адресации ОЗУ и сигналы управления знакогенератором. Логический блок управления считыванием-записью ОЗУ разрешает запись в ОЗУ страницы телетекста по выбранному на пульте управления теледекодера номеру и дает команду на считывание из ОЗУ — отражение информации.

Предполагаемая розничная цена теледекодера не превысит 10% стоимости телевизора первого клас-

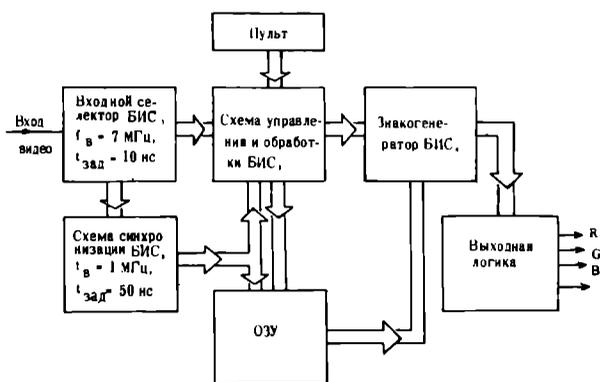


Рис.5. Структурная схема теледекодера

са. Размеры устройства должны допускать его установку внутри телевизора. Для этой цели будут использованы микропроцессоры и специализированные БИС. Применение микропроцессоров обеспечивает расширение функциональных возможностей теледекодера (например, в качестве основы домашнего компьютера). Специализированные БИС выполняют такие операции, как анализ принимаемой информации, исправление ошибок; кроме того, комплект БИС обеспечивает необходимое быстродействие, плотность упаковки, число соединений. Некоторые из них могут найти широкое применение в других областях техники. Например, БИС-знакогенератор может использоваться в дисплеях ЭВМ, БИС входного селектора — в звуковых проигрывателях с цифровой записью звука на оптическом диске и с лазерным считыванием.

Структурная схема теледекодера на четырех БИС (кроме ОЗУ), выполненных по единой технологии, представлена на рис.5.

Разработанный комплекс передающей и приемной аппаратуры, имитирующий систему типа "Телетекст", позволил отработать принцип построения систем подобного рода, подобрать необходимые изделия электронной техники, выработать рекомендации по номенклатуре перспективных изделий для комплексов аналогичных систем. Опыт проведения работ может быть полезен для специалистов, занимающихся разработками систем передачи дополнительной информации по широкоэвещательным каналам телевидения.

Статья поступила 25 мая 1982 г.

НОВАЯ
КНИГА

ПОЛУПРОВОДНИКОВАЯ СХЕМОТЕХНИКА

(Справочное руководство)

У.Титце, К.Шенк

Пер. с нем.— М.: Мир, 1983,— 42 л., ил.

Приведены параметры и описана структура современных полупроводниковых приборов и интегральных микросхем с различной степенью интеграции. Изложены принципы построения и методы расчета основных схем автоматики, радиоэлектроники и вычислительной техники.

Для специалистов в области электронной и вычислительной техники, студентов вузов и радиолюбителей.

НОВОСТИ ЗАРУБЕЖНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

МИКРОЭЛЕКТРОНИКА

В настоящее время в области полупроводникового производства наблюдается тенденция к совершенствованию всех технологических процессов изготовления интегральных схем. По мере уменьшения размеров элементов схем усиливается роль оборудования контроля дефектов материала. Большое внимание уделяется вопросам контроля содержания в исходном материале кислорода, который способствует улучшению механической прочности материала и служит средством геттерирования точечных дефектов, но в то же время является источником возникновения дефектов.

Для получения диэлектрических и полупроводниковых пленок наиболее перспективным считается метод химического осаждения из паровой фазы, проводимый при достаточно низком давлении и обеспечивающий лучший контроль толщины пленок и электрических свойств материала. За счет активации процесса световым излучением будет достигаться уменьшение температуры. Для следующего поколения полупроводниковых приборов будут шире использоваться окисные пленки, полученные методом окисления при высоком давлении, позволяющим улучшить гибкость процесса и уменьшить плотность вносимых при окислении дефектов.

В стандартных МОП и биполярных схемах в настоящее время широко применяются пленки нитрида кремния. Все большую популярность приобретает нитрид кремния для создания пассивирующего покрытия при производстве схем в пластмассовых корпусах. При этом наиболее перспективным является метод химического осаждения пленок нитрида кремния из паровой фазы с плазменным обогащением. Для получения чрезвычайно тонких (7—10 нм) диэлектрических подзатворных пленок с высокой диэлектрической постоянной все чаще будет использоваться выращенный термическим методом нитрид кремния.

В области фотолитографии осуществляется переход от контактных и проекционных систем с непосредственным переносом изображения к установкам мультиплицирования с уменьшением изображения 10:1. Освоение производства схем динамических ЗУПВ емкостью 64 кбит уже привело к тому, что полупроводниковые фирмы закупили и установили на производственных линиях более 150 систем совмещения с мультиплицированием изображения. С целью сокращения цикла освоения производства вентиляционных матриц будет увеличиваться применение установок непосредственной электролитографии. В настоящее время происходит

модернизация систем изготовления фотоматриц с помощью применения электронно-лучевого оборудования стоимостью в несколько миллионов долларов. В целом объем продаж оборудования литографии в 1981 г. увеличился по сравнению с 1980 г. на 26% (с 401 до 510 млн. долл.).

Ширина линий в современных промышленных образцах ИС равна 3—5 мкм, в перспективных схемах — 1,5 мкм, к 1985 г. она составит 2—4 мкм, в перспективных схемах — 1 мкм. В существующих схемах решающая способность всегда больше точности совмещения в 2,5—4,0 раза. Улучшение точности совмещения влечет за собой снижение производительности.

При создании структур с одним или двумя уровнями элементов субмикронных размеров будут использоваться многослойные резисты с непрозрачными красителями. Впервые о применении метода многослойного резиста, названного конформальным маскированием, сообщили в 1980 г. специалисты фирмы IBM. Сейчас этот метод осваивается в промышленных масштабах на фирме General Electric. Коммерческие установки для облучения нижнего слоя глубоким УФ излучением выпускают фирмы Optical Associates и Machine Technology Inc. В этих установках используются ртутно-ксеноновые лампы мощностью 500 Вт с эффективностью излучения в глубоком УФ спектре ~1%. Фирма General Electric использует установку экспонирования собственной разработки с кадмиевой разрядной лампой, эффективность которой в глубоком УФ спектре равна 10%. Благодаря этому производительность экспериментальной системы была увеличена с 30—60 пластин/ч (для установки с ртутно-ксеноновой лампой) до 180—200 пластин/ч.

Для получения точно очерченных линий малой ширины будут использоваться в основном методы сухого плазменного травления. В настоящее время плазменные методы используются, как правило, для травления пленок нитрида кремния и поликристаллического кремния, осажденных поверх окиси кремния. Эти методы начинают применяться для травления пленок алюминия (с 4%-ным содержанием меди) и вытравливания окисла. В результате появления на рынке моделей систем плазменного травления с планарным расположением электродов, и моделей последовательной обработки, работающих совместно с другим оборудованием и заменивших установки карусельного типа, спрос на устройства плазменного травления значительно увеличился, несмотря на их высокую стоимость (100 тыс. долл. против 50 тыс. долл. за установки, которые они заменяют). Новые установки плазменного травления в США выпускают фирмы LFE Corp., Branson / IPC, Tegal Corp., Applied Materials. Однако, по мнению специалистов фирмы Motorola, экономичные методы сухого травления, пригодные для освоения в

промышленном производстве, пока еще не отработаны. Проводятся работы по оптимизации методов плазменного травления с целью обеспечения селективности и анизотропности процесса, а также контроля крутизны стенок травяемого материала.

Быстродействующие МОП и биполярные схемы будут полностью изготавливаться методом ионной имплантации. В связи с этим увеличится спрос на установки имплантации, работающие либо с высокой, либо с низкой энергией пучка ионов. Установки с высокой энергией пучка (400—800 кэВ) позволяют проводить ионную имплантацию через толстые поверхностные слои с целью изготовления биполярных приборов или стенок р-типа в МОП-схемах. Для получения мелких сильнолегированных слоев будет создано специализированное оборудование, работающее с низкой энергией (1—30 кэВ) и высоким током пучка.

Одной из важнейших проблем изготовления СБИС является создание внутренних соединений, которые в среднем занимают около 50% площади кристалла. Уменьшение ширины металлизации при обеспечении высокой надежности, а также получение систем многослойной металлизации — очень сложные задачи. За рубежом проводится большая работа по созданию процессов изготовления многослойной металлизации с низким контактным сопротивлением, высокими проводимостью и надежностью.

Для уменьшения поверхностного сопротивления пленок поликристаллического кремния успешно применяются соединения кремния с тугоплавкими металлами (например, дисилицид титана на фирме Standard Microsystem Corp.) или двухслойная металлизация из чистого тугоплавкого металла (например, вольфрама на фирмах Hewlett-Packard и Intel). Кроме того, тугоплавкие металлы, возможно, будут использоваться в качестве электродов затвора.

Для сведения к минимуму взаимодействия между металлом и мелкими диффузионными областями при изготовлении контактов будет использоваться металлический барьер. С целью исключения этапа нанесения дополнительного металла и создания сквозных металлизированных перемычек разрабатываются процессы перекрытия сквозных отверстий, с помощью которых предполагается достичь высокой плотности монтажа и упростить автоматизацию процессов трассировки межсоединений. Однако введение в технологический процесс дополнительных этапов ионной имплантации, а также применение систем двухслойной металлизации привело к увеличению числа этапов маскирования.

В 1981 г. наблюдались опережающие темпы прироста объема продаж быстродействующих установок приварки выводов. Производительность нового автоматизированного оборудования приварки проволочных выводов фирм Kulicke & Soffa Indu-

stries и North American Philips составят 7 выводов/с против 2—4 выводов/с для современного оборудования.

В последние годы совершенствуется автоматизированное тестовое оборудование. Увеличился спрос на такие тестеры для СБИС, как установки типа GR16—18 фирмы GenRad, J941 фирмы Teradyne и 7900 фирмы Accutest стоимостью 600 тыс. долл. и выше.

В настоящее время на многих зарубежных фирмах в лабораторных условиях освоены методы изготовления схем с элементами субмикронных размеров, однако их производство является весьма трудным и дорогостоящим. Поэтому на Международной конференции по твердотельным схемам основное внимание уделялось вопросам освоения производства схем, а не их разработки.

Это в первую очередь касалось схем динамических ЗУПВ емкостью 256 кбит, предназначенных для выполнения ОЗУ пятого поколения ЭВМ, которое должно появиться в 1984 г. Для освоения производства этих схем необходимо перейти от получения линий шириной 3—4 мкм (современный промышленный стандарт) к линиям шириной 1 мкм и менее.

Интерес участников конференции вызвало сообщение специалистов фирмы IBM о создании схемы динамического ЗУПВ емкостью 288 кбит, которая экспериментально изготавливалась на промышленной линии по производству схем динамических ЗУПВ емкостью 72 кбит (самых больших схем ЗУПВ, выпускаемых в настоящее время за рубежом).

Схема фирмы IBM имеет нестандартную организацию — 32К девятиразрядных слов. В схеме предусмотрена побайтовая выборка при считывании или записи информации, время выборки равно 350 нс. Ширина линий в схеме составляет 2 мкм, изготавливается схема по технологии кремний — алюминий — металл — окисел — полупроводник (SAMOS), используемой на фирме для создания приборов с высокой плотностью размещения элементов. Площадь кристалла с новой схемой лишь в два раза больше площади кристалла со схемой емкостью 72 кбит.

Для демонстрации возможности быстрого освоения производства схем на линии по выпуску устройств емкостью 72 кбит была изготовлена опытная партия этих схем на 32 пластинах диаметром 82 мм, каждая из которых содержала 65 кристаллов. Согласно данным специалистов фирмы, выход годных приборов составил 60%. Предполагается, что создание схемы явилось результатом освоения фундаментальной технологии фирмы. Однако в настоящее время она не планирует выпуск схемы емкостью 288 кбит.

Сообщение фирмы Hewlett Packard о созданном ее специалистами шестикристалльном микропроцессоре вызвало интерес с точки зрения возможности промышленной реализа-

ции схем большой емкости. Однокристалльная схема ОЗУ этого микропроцессора содержит 600 тыс. транзисторов, что на ~50% больше, чем у других БИС ЗУ. Отмечается, что в производстве будут освоены схемы с линиями шириной 1 мкм, но удивление обозревателей вызвал тот факт, что, располагая столь совершенной технологией, фирма выполнила микропроцессор на шести схемах с ЗУПВ емкостью 128 кбит, а не на трех схемах с ЗУПВ емкостью 256 кбит.

Разработка схем динамических ЗУПВ емкостью 256 кбит ведется в основном японскими и американскими фирмами. Впервые о разработке конструкции такой схемы доложили специалисты фирмы Intel на конференции ISSCC в 1980 г., однако первые опытные образцы схем этой фирмы появятся не ранее 1983 г. Предполагается, что схемы будут изготавливаться по совершенной МОП технологии NMOS-III, позволяющей получать линии шириной 1,5 мкм, основываясь на существующих методах построения схем с линиями шириной 2 мкм.

Больших успехов в разработке схем ЗУПВ емкостью 256 кбит достигли специалисты фирмы Motorola. Схема представляет собой матрицу из восьми блоков, содержащих 128x256 ячеек площадью 84 мкм² каждая, выполненных по технологии с двойным слоем поликристаллического кремния и с линиями шириной 2 мкм. Длина шин слов равна нескольким миллиметрам, поэтому они изготовлены из низкоомного сплава тугоплавкого металла [металл не указывается].

Каждый усилитель считывания обслуживает две шины данных, изготовленных из двухслойной металлизации, что позволяет сэкономить площадь и усилить сигнал конденсатора ячейки. Возможно, для увеличения емкости конденсатора в многослойной структуре диэлектрика будет использована пленка нитрида кремния.

Схема фирмы Motorola совместна с резервными элементами, которые подключаются с помощью лазерного выжигания линий связи, размещается на кристалле площадью ~46,4 мм² и монтируется в стандартный 16-выводной DIP корпус. Фирма предполагает также выпустить вариант схемы, работающий в побайтовом режиме.

Разработка схем динамических ЗУПВ емкостью 256 кбит ведется также на фирмах Bell Telephone и Texas Instruments. Однако схема фирмы Bell Telephone совместно с резервными ячейками, занимающими восемь рядов и восемь столбцов, размещается на кристалле площадью 53 мм² и монтируется в специальный корпус. Ширина линий в схеме равна 2,3 мкм. Очевидно, требуется дальнейшая доработка схемы с целью уменьшения размеров кристалла.

Больших успехов в разработке схем динамических ЗУПВ емкостью 256 кбит достигли японские фирмы, хотя на ISSCC конференции ни один из трех основных конкурентов («Оки», «Фудзицу» и «Хитачи») не объявил о своих планах по освоению промышленного производства этих схем. Схема фирмы «Оки» выполнена по технологии с двойным поликристаллическим слоем, она размещается на кристалле площадью 46 мм² и монтируется в 16-разрядный DIP корпус. Время выборки равно 100 нс, потребляемая мощность в режиме выборки составляет 300 мВт, в режиме хранения — 20 мВт. Схема работает от источника питания на напряжение 5 В. Освоение промышленного производства планируется на 1983 г.

Фирма «Фудзицу» сообщила только о разработке схемы емкостью 256 кбит. На конференции по перспективному НИР в области СБИС (проводившейся в январе 1982 г. Масачусетским технологическим институтом) специалисты фирмы доложили, что во всех базовых ячейках памяти схем большой емкости в накопительном конденсаторе и передающем затворе будет использоваться диэлектрик, изготовленный полностью из нитрида кремния. Отмечается также, что в архитектуре схемы предусмотрена возможность работы в побайтовом режиме, позволяющем осуществлять последовательную выборку четырехразрядных слов.

Фирма «Хитачи» опубликовала в Великобритании план маркетинга, согласно которому осенью 1982 г. будут начаты поставки промышленных образцов схем ЗУПВ емкостью 256 кбит. Время выборки схем будет равно 200 и 150 нс, потребляемая мощность в режиме выборки — 330 мВт, в режиме хранения — 20 мВт. Для работы схемы требуется источник питания на 5 В. Предусмотрена возможность работы схемы в побайтовом режиме. Размеры кристалла не указываются, но поскольку фирма намерена уменьшить ширину линий с 3 до 1,5 мкм, очевидно, что кристалл со схемой емкостью 256 кбит будет ненамного больше кристалла со схемой емкостью 64 кбит. Фирма рассматривает возможность применения диэлектрика из нитрида кремния и окиси кремния с целью увеличения емкости конденсатора. Однако вследствие временного сбоя в работе, вызываемого альфа-частицами, размеры накопительного конденсатора не уменьшались по сравнению с размерами других элементов схемы.

Опытные образцы схем динамических ЗУПВ емкостью 256 кбит, разработанных в ходе выполнения совместной программы фирм «Ниппон дэнки» и «Тосибэ», поставляются американским фирмам с осени 1981 г. Время выборки схем равно 200 и 100 нс, потребляемая мощность в режиме выборки — 300 мВт, в режиме хранения — 20 мВт. Схема,

выполненная с молибденовыми затворами, размещается на кристалле площадью 43 мм² и монтируется в 16-выводной DIP-корпус.

Следует отметить, что о проектируемой стоимости промышленных образцов схем ЗУПВ емкостью 256 кбит (20—30 долл.) сообщила лишь фирма «Тосиба». По мнению специалистов фирмы Intel, приводимая оценка вполне реальна, если принять во внимание, что стоимость японских схем ЗУПВ емкостью 64 кбит в конце 1982 г. может достичь 2 долл. за прибор.

Разработка схем динамических ЗУПВ емкостью 256 кбит ведется также на фирмах «Мицубиси» (Япония), Siemens (ФРГ) и Texas Instruments (США).

По мнению специалистов Amdahl, американские фирмы при желании сохранить свое положение на рынке уже сейчас должны стремиться создать схемы динамических ЗУПВ емкостью 512 кбит.

Специалистами фирмы Telmos Inc. (США) разработана вентиляльная матрица на КМОП элементах с затворами из поликристаллического кремния, объединяющая логические вентили и линейные приборы. К основным достоинствам схемы относятся сравнительно низкая стоимость разработки аналоговой схемы частного назначения (30—50 тыс. долл. против 150—200 тыс. долл. при создании схемы обычными методами) и короткий цикл «разработка — изготовление опытных приборов» (12—16 недель для создания рисунка металлизации по сравнению с 12 месяцами на разработку схемы).

Новая схема типа ТМ6000 фирмы Telmos содержит 12 операционных усилителей с напряжением смещения 2 мВ, усилением при разомкнутом контуре 80 дБ и полосой пропускания 5 МГц. В матрицу входят биполярные транзисторы, опорные диоды, 32 триггера и 300 логических вентилях. Разброс параметров резисторов не превышает 0,5%, конденсаторов — 0,1%, источников тока — 1%.

В последнее время за рубежом было выпущено несколько типов КМОП-вентиальных матриц с металлическими затворами, содержащих аналоговые элементы. Однако, как правило, аналоговые устройства, изготавливаемые на основе КМОП-элементов, не имеют хороших рабочих характеристик, в частности, напряжение смещения операционных усилителей составляет не менее 15—30 мВ, полоса пропускания не превышает 1 МГц, а согласование параметров конденсаторов и источников тока — 5%. Высокие характеристики новой КМОП-вентиальной матрицы достигнуты благодаря совершенствованию процессов ее изготовления — применению ионной имплантации вместо диффузии (что обеспечило более точное легирование областей малой толщины имплантированных слоев р⁺-типа — 0,75 мкм, п-типа — 0,5 мкм, окисной пленки под затвором —

50 нм) и использование плазменного травления для получения требуемого рисунка на пленках нитрида кремния и поликристаллического кремния.

Матрица на КМОП элементах с поликремниевыми затворами изготавливается с помощью методов, применяемых для получения аналоговых схем. В отличие от цифровых КМОП схем, в которых п-канальные транзисторы создаются непосредственно на пластине р-типа, в новой схеме эти транзисторы изготавливаются в стенке р-типа, полученной в подложке п-типа. Такое решение обусловлено тем, что на стенку р-типа может быть подано напряжение, значение которого отличается от напряжения на подложке. В данном случае напряжение смещения стенки равно половине напряжения питания, в результате чего аналоговые сигналы могут быть положительными или отрицательными по отношению к этому напряжению смещения.

Разработка новой схемы велась совместно со специалистами фирмы Synertek, которая предоставила фирме Telmos свои производственные линии. Поставку новой схемы на рынок фирма Synertek планирует осуществить в третьем квартале 1982 г. Отмечается, что на основе новой вентиляльной матрицы можно изготавливать разнообразные аналого-цифровые, цифроаналоговые преобразователи, преобразователи напряжения в частоту и многополюсные фильтры.

На многих фирмах (Bell Laboratories, Xerox, IBM, Hewlett-Packard, RCA) исследуется возможность изготовления ИС на пленках монокристаллического кремния, полученного в результате рекристаллизации поликристаллического кремния. Специалистам фирмы Texas Instruments удалось в 40% экспериментов с помощью движущегося графитового нагревателя получать рекристаллизованный слой кремния на поверхности пластины диаметром 75 мм. По мнению специалистов фирмы, новый метод перспективен для изготовления схем, аналогичных быстродействующим КМОП схемам с высокой плотностью размещения элементов.

Технология изготовления ИС на пленках кремния, выращенных на подложке из изолирующего материала, стала осваиваться в начале 70-х годов после разработки процесса эпитаксиального выращивания пленок на сапфировых подложках. В настоящее время обрабатывается более дешевый и гибкий процесс, обеспечивающий лучшее качество монокристаллических пленок, — получение тонких рекристаллизованных пленок на изолирующем слое окиси кремния.

Пленки кремния на изолирующих подложках в отличие от пленок кремния на сапфире имеют меньшую стоимость (за счет более дешевых подложек), меньшую плотность дефектов в слоях рекристаллизованного кремния, что обуславливает большую подвижность носителей (согласно данным специалистов

фирмы Texas Instruments, по этому параметру рекристаллизованные пленки не уступают объемному материалу), а также меньшие токи утечки. Благодаря малой толщине рекристаллизованного слоя обедненная область под затвором МОП транзистора достигает пленки двуокиси кремния, что улучшает условия возбуждения транзистора. Кроме того, кремниевая подложка служит пластиной общего потенциала, что приводит к уменьшению паразитной емкости элементов малых размеров. Это увеличивает быстродействие и уменьшает чувствительность к воздействию альфа-частиц. Кремний является лучшим проводником тепла, чем сапфир. Все это делает технологию получения рекристаллизованных пленок перспективной для изготовления быстродействующих КМОП СБИС с малой потребляемой мощностью и высокой плотностью размещения элементов.

Процесс, разработанный специалистами фирмы Texas Instruments, начинается с выращивания на подложке монокристаллического кремния слоя двуокиси кремния толщиной 0,4—1,0 мкм. Свободной от двуокиси кремния остается небольшая полоска вдоль края пластины. На следующем этапе на поверхность подложки осаждается слой поликристаллического кремния, толщина которого не превышает 0,5 мкм. Затем этот материал расплавляется и рекристаллизуется с целью получения монокристаллической пленки. Процесс рекристаллизации начинается с края пластины, при этом неокисленный кремний служит затравкой. Нагрев и рекристаллизация осуществляются в атмосфере аргона с помощью полоскового графитового нагревателя, медленно движущегося (со скоростью 2 мм/с) вдоль поверхности пластины. При этом пластина помещается на другой неподвижный графитовый нагреватель, который нагревает поверхность подложки до температуры $1200 \pm 2^\circ\text{C}$ со скоростью 48°C в секунду. Перемещаемый нагреватель отстоит от поверхности пластины на 0,17 см. Его температура равна $1750 \pm 3^\circ\text{C}$. Выращиваемый монокристаллический кремний имеет ориентацию (100). Отмечается, что основное внимание при проведении процесса рекристаллизации уделяется контролю температуры перемещаемого нагревателя и расстояния между ним и подложкой. Полосковые нагреватели имеют преимущества перед другими средствами нагрева пластины (лазерными и электронными пучками, лампами и др.), поскольку они обеспечивают тепловое излучение постоянной интенсивности вдоль длинной узкой области. Аналогичная работа проводится и в Массачусетском технологическом институте.

Для того, чтобы процесс выращивания рекристаллизованного монокристаллического кремния мог использоваться при изготовлении коммерческих приборов, необходимо,

во-первых, контролировать неподвижный заряд и другие дефекты на границе раздела рекристаллизованный кремний — двуокись кремния. Во-вторых, требуется, чтобы мельчайшие дефекты самого рекристаллизованного слоя не влияли на характеристики приборов. И, наконец, процесс получения рекристаллизованных пленок должен быть пригоден для освоения на производственных линиях.

Специалисты фирмы Texas Instruments предполагают изготовить опытные СБИС на рекристаллизованных пленках кремния на изолирующей подложке в начале 1984 г.

Фирма General Dynamics разработала новый корпус для монтажа СБИС. Площадь печатной платы, занимаемая новым корпусом с 68 выводами, равна всего 3,4 см² (корпус-носители и корпусы с матричным расположением выводов занимают соответственно 5,8 и 7,8 см² печатной платы). Конструкция нового корпуса, названного Isopak, проста — он выполнен из слоя металла и слоя стекла. Корпус легко присоединяется к печатной плате и выдерживает температуру в более широком диапазоне, чем корпусы других типов.

При изготовлении нового корпуса на пластине ковара размером 165х38 мм с помощью метода мультиплексирования изображения создается 16 рисунков матрицы из 68 выводов (шаг выводов в ряду равен 12,7 мм, расстояние между рядами составляет 25,4 мм). Затем проводится селективное травление пластины для получения полостей, в которых размещаются стеклянные прокладки и матрица коваровых выводов. (При расплавлении стекла выводы проходят через него). После охлаждения стекло сошлифовывается для получения компланарного расположения выводов. Для соединения каждого вывода с контактными площадками, расположенными вокруг выступа под монтаж кристалла с ИС, на наружную пластину осаждается тонкая алюминиевая пленка, на которой создается требуемый рисунок присоединения. Кристалл со схемой присоединения к выступу с помощью эвтектического сплава, алюминиевые проволочные выводы привариваются к контактным площадкам. Корпус герметизируется металлической крышкой.

Выводы корпуса типа Isopak могут привариваться в сквозных отверстиях или припаиваться к поверхности печатной платы. В последнем случае новый корпус выдерживает механическую нагрузку 16000 г и десять циклов изменения температуры — от -187° до +175°С (диапазон термоциклирования для обычных корпусов составляет от -65 до +125°С). К достоинствам нового корпуса относятся и хороший теплоотвод, обеспечиваемый выступом под монтаж кристалла, вытравливаемым из целой пластины, а также небольшая длина тонкопленочных межсоединений, что позволяет уменьшить их влияние

на высокочастотные характеристики ИС в сравнении с обычными корпусами. Новые корпуса могут изготавливаться с помощью группового процесса, а ИС могут монтироваться и испытываться до разделения пластины ковара на отдельные корпусы. Поэтому ожидается, что корпусы Isopak будут дешевле многослойных керамических.

Отмечается, что сейчас новый корпус находится на стадии разработки, однако уже рассматривается возможность его применения для монтажа приборов, разрабатываемых по нескольким военным программам.

По мнению американских экспертов, для успешного развития полупроводниковой промышленности основное внимание надо уделять не только совершенствованию технологии, но и вопросам своевременного выпуска изделий на рынок. Для этого необходимо, чтобы потребитель принял более активное участие в проведении процесса проектирования и освоении методов автоматизированного проектирования СБИС.

Тот факт, что в настоящее время даже небольшие полупроводниковые фирмы освоили производство сложных МОП и биполярных схем, при изготовлении которых используется несколько ступеней маскирования, свидетельствует о высоком уровне развития кремниевой технологии. Специалисты консультативной фирмы Gnostic Concepts отмечают четыре признака «зрелости» технологии производства кремниевых схем:

— низкую стоимость полированных кремниевых пластин, при которой изготовители уже не могут получить большой экономии за счет исходных материалов;

— тенденцию к применению пластин большого диаметра, в результате которой общее количество обрабатываемых пластин перестанет увеличиваться начиная с 1983 г. вплоть до 1990 г.;

— ограничение размеров кристалла и повышение сложности и стоимости корпуса в результате достижения предельных значений плоскостности кристалла и рассеиваемой мощности;

— относительно высокие значения полного сопротивления соединительных линий на кристалле и внешних перекрестных помех проводников, которые в начале 90-х годов будут ограничивать увеличение быстродействия и сложности обычных ИС.

Уже сейчас освоение перспективных методов литографии и обработки пластин считается достаточным, но не главным фактором обеспечения конкурентоспособности фирмы на рынке. В середине 80-х и в последующие годы технические достижения в области обработки кремния будут носить случайный, а не непрерывный характер, как в прошедшее десятилетие. Так, переход от оптических методов экспонирования к более совершенным произойдет не так быстро, как ожидалось. Вероят-

нее всего, он будет заключаться в освоении методов рентгено-, а не электролитографии.

Несомненно, что быстродействующие коммерческие БИС и СБИС будут изготавливаться на арсениде галлия. Однако задержка в выпуске приборов из арсенида галлия на коммерческий рынок вызвана как технологическими трудностями, так и тем, что пока еще не определено, какие устройства целесообразно выполнять на этом материале. Кроме того, будет осуществляться переход от применения групповых методов обработки кристаллов на пластине к изготовлению схем на одной пластине. Эти факторы, а также сложность монтажа и сборки схем приведут к использованию полностью автоматизированных методов на всех фазах изготовления ИС.

Как и раньше, максимальное увеличение процента выхода годных изделий является важной проблемой при изготовлении кремниевых СБИС. Полемика относительно более высокого уровня качества и надежности схем динамических ЗУПВ японского производства закончилась, хотя по-прежнему этому вопросу уделяется большое внимание.

По мнению специалистов фирмы LSI Logic Corp., при разработке СБИС основным фактором является наличие средств автоматизированного проектирования; а высокоразвитая технология занимает второе место. Так, для освоения рынка СБИС ЗУПВ емкостью 64 кбит, годовой объем производства которых может составить 10 тыс.шт., большое значение будет иметь своевременное проектирование. Эффективность средств проектирования должна быть увеличена к 1990 г. с 50—100 до 10000 транзисторов в день.

При достижении уровня технологии, позволяющей создавать системы на одном кристалле, изготовители полупроводниковых приборов должны стать конструкторами систем. По данным специалистов фирмы ITT, в настоящее время стоимость проектирования СБИС в два раза ниже стоимости проектирования всей системы (пять лет назад она составляла 10%). Время, когда поставщик разрабатывал схему, уже прошло. Теперь потребитель определяет ее конструкцию, поэтому разработчики радиоэлектронного оборудования должны получить доступ к технологии изготовления ИС.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Фирма Hewlett Packard (США) выпустила новые ЭВМ серии А, относящиеся к семейству ЭВМ 1000, первые модели которого появились в 1974 г. Новые процессоры А600 и А700 имеют размеры и стоимость микро-ЭВМ, а производительность (1 млн. команд/с) — супермини-ЭВМ. ЭВМ серии А выполнены на базе четырех биполярных микропроцессорных секций, работающих с про-

граммируемым ПЗУ, в которое входят встроенные регистры и схема для ускорения процесса выборки данных.

Помимо высокого быстродействия (время цикла ЭВМ А600 равно 227 нс, ЭВМ А700 — 250 нс), новые ЭВМ характеризуются большим физическим адресным [4 Мбайт] и виртуальным пространством памяти [12 Мбайт]. Предусмотрено расширение основной памяти с помощью дополнительного ЗУ емкостью 2 Мбайт.

Обе ЭВМ являются микропрограммируемыми устройствами. Однако при разработке ЭВМ А600 усилия специалистов были направлены на повышение производительности, а при разработке ЭВМ А700 — на упрощение процесса микропрограммирования. В ЭВМ А600 длина микрослова составляет 56 бит, что позволяет обрабатывать данные в параллельном режиме и получать высокое быстродействие.

Длина слова в ЭВМ А700 равна 32 бит. Для обеспечения режима микропрограммирования используется язык высокого уровня, называемый парафразой программой. Специалисты фирмы считают, что программист может ее освоить за два дня.

ЭВМ А700 можно использовать для вычислений с высокой скоростью. С этой целью добавляется процессор с плавающей запятой, размещаемый на плате, которая содержит аппаратно-программные средства для выполнения команд, ориентированных на реализацию научных вычислений и векторных команд. Быстродействие ЭВМ с этим процессором достигает 450 тыс. операций с плавающей запятой в 1 с, что равно производительности 32-разрядных ЭВМ, реализующих матричные операции. Процессор выполнен на базе трех новых однокристалльных КМОП и КНС/КМОП микропроцессоров, работающих в режиме с плавающей запятой. Микропроцессоры при выполнении арифметических задач оперируют с 32- и 64-разрядными данными. Один из микропроцессоров реализует операции сложения и вычитания, два других — умножения и деления.

ЭВМ А600 выпускается в виде платы, настольной модели и системы. ЭВМ А700 изготавливается в настольном варианте и в виде системы.

Новые ЭВМ могут работать с имеющимся программным обеспечением фирмы Hewlett-Packard и операционной системой ЭВМ серии 1000, работающей в реальном масштабе времени. ЭВМ найдут широкое применение в системах автоматизации производственных процессов.

ЭВМ А700, выпускаемая в виде системы и оснащенная печатающим устройством, ЗУ емкостью 128 кбайт и сдвоенным ЗУ на гибких дисках, стоит 12 тыс.долл. Стоимость ЭВМ в виде платы равна 2500 долл., в настольном варианте — 10 тыс.долл.

ЭВМ А700 с возможностью обработки числовых данных большого

объема составит конкуренцию новой однокристалльной 32-разрядной микро-ЭВМ TMS320 фирмы Texas Instruments. Эта микро-ЭВМ работает на частоте синхронизации 20 МГц и обеспечивает быстродействие 5 млн.команд/с. Умножитель микро-ЭВМ выполняет операцию умножения 16х16 бит за один цикл, равный 200 нс. МикроЭВМ имеет архитектуру, отличную от архитектуры подобных однокристалльных микро-ЭВМ и обеспечивающую высокую производительность.

ЭВМ А600, выполненная в виде платы, будет конкурировать с однокристалльным 16-разрядным микропроцессором iAPX286 фирмы Intel, имеющим виртуальную память и четыре уровня защиты памяти.

Специалистами фирмы Advanced Micro Devices (США) разработан 16-разрядный биполярный микропроцессор Am29116. В отличие от известных подобных микропроцессорных секций серии Am2901, которые можно параллельно наращивать для создания 4-, 8- и 12-разрядных микропроцессорных систем, новая модель является нерасширяемым микропрограммируемым процессором. Быстродействие нового процессора превышает на 50—90% быстродействие микропроцессорных секций (время выполнения команд — 100 нс) и в 10—150 раз быстродействие 16-разрядных микропроцессоров, выполненных на базе n-канальной МОП технологии. Высокое быстродействие нового процессора достигнуто благодаря использованию ЭСЛ технологии.

Новый микропроцессор 29116 предназначен для работы в качестве контроллера. Процессор выполнен на базе биполярной технологии с окисной изоляцией IMOX-II, разработанной специалистами фирмы Advanced Micro Devices. Предполагается использовать эту технологию для разработки будущих биполярных микропроцессорных устройств.

На кристалле микропроцессора размером 6,4х7,8 мм (размер кристалла микропроцессорной секции 2901В — 2,9х3,2 мм) помимо обычных схем размещены: выполняющее функции рабочих регистров ЗУПВ, у которых емкость 16-разрядных слов равна 32; 8-разрядный регистр состояния с логической схемой, определяющей состояние микропроцессора при одновременном выполнении нескольких команд; 16-разрядный сумматор, шифратор приоритетов; две 16-разрядные внешние шины и несколько внутренних шин и схем блокировки. Одна входная 16-разрядная шина предназначена для передачи микрокодированных команд. Код операции направляется непосредственно в дешифратор операций, и точно заданная операция реализуется за один цикл (100 нс).

Разработчики нового процессора предложили несколько новых архитектурных решений. Например, применили циклический сдвиговый регистр, реализующий циклический

сдвиг 16 двоичных разрядов за один микроцикл. Арифметико-логическое устройство микропроцессора помимо выполнения таких обычных операций, как сложение, вычитание, образование дополнения, логических операций И, НЕ И, НЕ ИЛИ, способно обрабатывать до трех операндов за один цикл, выполнять операции циклического сдвига сортировки, циклического сдвига-сравнения с маскированием.

Для работы с микропроцессором 29116 пригодны периферийные схемы микропроцессорных секций серии 2901. Проектировщик микропроцессорных систем на базе нового микропроцессора может использовать такие схемы серии 2900, как устройство микропрограммного управления, задающее последовательность выборки микрокоманд из управляющей памяти, быстродействующие биполярные ЗУПВ и программируемые ПЗУ, регистр поточной обработки, направляющий выходные данные ЗУПВ на различные шины управления или к другим устройствам системы.

Выпуск микропроцессора намечен на второй квартал 1982 г., стоимость его еще не установлена. По оценкам специалистов фирмы, на разработку микропроцессора затрачено 1 млн.долл. и 17 человеко-лет.

В 1983 г. предполагается выпустить устройство микропрограммного управления 29112, работающее на частоте 10 МГц. Новая периферийная схема заменит устройство микропрограммного управления серии 2900 и будет обеспечивать прерывание стандартных программ и программ обслуживания в реальном масштабе времени.

В январе 1982 г. Управление научно-технических исследований в промышленности (Япония) организовало Исследовательскую ассоциацию с целью разработки и реализации проекта создания сверхбыстродействующей ЭВМ для научно-технических расчетов. Проекты создания сверхбыстродействующих ЭВМ подготавливаются также американскими фирмами IBM и Cray Research Inc.

Управление научно-технических исследований в промышленности, которое осуществляет руководство основными исследовательскими работами, намерено приступить к разработке аппаратного обеспечения в 1982 г., для чего потребуется выделить из национального бюджета на этот год около 3,8 млн.долл. В электротехнической лаборатории управления (основной разработчик проекта) в июле 1981 г. организована специальная исследовательская секция по разработке ЭВМ на базе устройств на переходах Джозефсона. Создана Исследовательская ассоциация, которая объединит шесть японских фирм-изготовителей больших вычислительных систем для проведения НИР. Целью работы ассоциации в начальный период является разработка быстродействующих логических и запоминающих устройств, таких как схемы на переходах Джозефсона, транзи-

стор с высокой подвижностью электронов (HEMT) и полевой транзистор из арсенида галлия, а также на создание действующего устройства, по плотности размещения сравнимого с СБИС, имеющего время переключения порядка 10 пс (что приблизительно в 100 раз превышает быстродействие любого из существующих кремниевых приборов). Время выполнения операции ЭВМ на базе таких устройств достигнет 300—400 пс. Уже сейчас время переключения наиболее быстродействующего транзистора HEMT фирмы «Фудзицу» при комнатной температуре равно 30 пс. Специалисты фирмы определили метод изготовления ИС с временем переключения 17 пс по HEMT-технологии. Предполагается, что транзистор HEMT появится на рынке через четыре—пять лет. Схемы на переходах Джозефсона, характеризующиеся более высоким быстродействием, появятся на рынке несколько позже. Создание ЭВМ на базе транзисторов HEMT и схем на переходах Джозефсона является сложной технической задачей, поскольку у таких устройств сверхбыстродействие наблюдается лишь при охлаждении до криогенных температур [HEMT работают при температуре -196°C , а схемы на переходах Джозефсона — при -270°C].

Цель разработки архитектуры сверхбыстродействующей ЭВМ — реализация системы параллельной обработки данных, включающей около 1000 процессоров.

Руководство американской фирмы IBM выделяет большие средства на разработку схем на переходах Джозефсона. Специалистами фирмы создана первая действующая система, выполненная на схемах на переходах Джозефсона и оснащенная устройствами сопряжения с внешним оборудованием. ЭВМ со схемами на переходах Джозефсона фирма планирует выпустить на рынок в середине 80-х годов.

Конструктор супер-ЭВМ Cray-1 Сеймур Крей (компания Cray Research Inc.) сообщил, что специалисты фирмы работают над созданием новой сверхмощной ЭВМ Cray-2, к производству которой планируется приступить через три—четыре года. Емкость ОЗУ этой ЭВМ будет достигать 32 млн. слов, а время цикла процессора — 4 нс. Для ЭВМ Cray-2 разработан метод охлаждения, названный методом погружения в жидкость. Суть метода заключается в том, что после сборки для дальнейшей работы ЭВМ погружается в чистую инертную жидкость. В качестве охладителя используется фтороуглеродная жидкость Fluorinert фирмы 3M. Одним из преимуществ метода погружения является возможность компоновки схем в плотные трехмерные модули, что резко уменьшает длину соединительных проводов и, следовательно, увеличивает быстродействие. В свою очередь, плотная компоновка схем позволяет уменьшить расход дорогого охладителя.

Новые сверхбыстродействующие ЭВМ для научно-технических расчетов будут эксплуатироваться в университетах, крупных научных и научно-технических центрах при решении задач ядерной физики, метеорологии, аэродинамики и т.п. Исследования, проводимые в процессе создания сверхбыстродействующих ЭВМ окажут большое влияние на развитие ЭВМ пятого поколения.

Фирма Intel выпустила новый микропроцессор семейства iAPX286, быстродействие которого в шесть раз превышает быстродействие широко применяемого микропроцессора 8086. Микропроцессор управляет виртуальной памятью объемом до 1 млрд. байт в расчете на одну задачу. Объем адресуемой памяти в 16 раз больше, чем у микропроцессора 8086.

В настоящее время решается проблема создания микропроцессоров нового поколения, характеризующихся наличием виртуальной памяти, схем защиты и управления памятью, возможностью работы в режиме коллективного пользования. Эти микропроцессоры должны иметь высокую производительность, большое адресное пространство и эффективные средства защиты программного обеспечения от несанкционированного доступа. Фирма Intel одна из первых решила эти проблемы, разработав однокристальный центральный процессор 80286, входящий в состав микропроцессорного комплекта iAPX286. Первые модели микропроцессора с частотой синхронизации 8 МГц будут выполняться по технологии HMOS-II. В дальнейшем специалисты фирмы планируют применять усовершенствованную технологию HMOS-III, что позволит изготовить модели микропроцессора с частотой синхронизации 8 и 10 МГц и уменьшить размеры кристалла до 6,8x6,8 или 6,7x6,7 мм (первые модели будут размещаться на кристалле со стороной квадрата 8,3 мм).

Микропроцессор имеет архитектуру с поточной обработкой данных, обеспечивающую параллельную реализацию последовательности таких операций, как вызов, декодирование и выполнение команды, что приводит к значительному повышению производительности. Микропроцессор осуществляет многоуровневую защиту, управление памятью и преобразование виртуального адреса. Благодаря использованию архитектуры с поточной обработкой данных микропроцессор может обнаруживать недействительные операционные коды задолго до их выполнения и обеспечивать проверку качества защиты (при этом мощность обработки не уменьшается, а доступ к памяти не ограничивается).

Микропроцессор имеет четыре параллельно работающих логических блока — шинный, адресный, командный, исполнительный. Шинный блок имеет демультимплексный интерфейс для связи с памятью и внешними устройствами ввода-вывода

и управляет запросами от других процессоров или от адресного блока. При появлении паузы команда предварительного вызова шинного блока вызывает следующую команду и размещает ее в кодовой последовательности, а затем передает в командный блок. Передача в командный блок реализуется со скоростью 1 байт за один цикл синхронизации. При приеме команды декодируются и задается их формат, затем они размещаются в кодовой последовательности. Регистры центрального процессора, арифметико-логическое устройство и программно-аппаратные средства для хранения и вызова микрокоманд входят в состав исполнительного блока. Возможность предварительного вызова команд обеспечивает высокую производительность исполнительному блоку.

Адресный блок осуществляет защиту и управление памятью, транслируя виртуальные адреса в физические при одновременной проверке правил защиты. Блок управляет кэш-буфером ЗУ, содержащим информацию об адресных преобразованиях и защите для сегментов виртуальной памяти, выбранных выполняемой задачей. Благодаря использованию кэш-буфера ЗУ исключается необходимость применения таблицы адресного преобразования для доступа к памяти. Поскольку схемы защиты и управления памятью размещены на кристалле, не требуется применения расширенного программного обеспечения или дополнительных блоков управления памятью для защиты пользователей друг от друга и программного обеспечения от пользователей. Каждый пользователь имеет доступ к виртуальной памяти объемом до 1 Гбайт, разделенной на области для коллективного пользования и выделенные конкретному пользователю.

В области памяти, выделенной для коллективного пользования, хранятся общие данные, файлы и библиотечная программа. Область памяти, выделенная конкретному пользователю, доступна только ему.

Аппаратные средства обеспечивают четыре уровня защиты: на самом высоком уровне иерархии находится центральное ядро, резервируемое для наиболее важных программ, на втором — супервизор, на третьем — программы обслуживания, на четвертом — прикладные программы. Программное обеспечение центрального ядра выполняет критические задачи, такие как распределение адресного пространства, планирование задач, связь между задачами. Супервизор управляет распределением ресурсов ввода-вывода и планированием всех работ. Программы обслуживания управляют файлами, контролируют работу, осуществляют языковую обработку, поддерживают программы — утилиты, например, редактирующие программы. Программное обеспечение самого низшего уровня изолирует потенциально ошибочные стандартные программы, имеющие доступ

в те области, где они не должны находиться.

Микропроцессор работает с комплектом команд микропроцессоров 8086 и 8088, но выполняет их с более высоким быстродействием. Так, 16-разрядная команда умножения-деления реализуется в 10 раз быстрее, чем в микропроцессорах 8086 и 8088. Команды на языке высокого уровня и параллельная обработка последовательности команд повышают производительность микропроцессора. Применение схем, реализующих мультизадачный режим, позволяет уменьшить время, требуемое для переключения от одной задачи к другой, до 18 нс. Все операции осуществляются автоматически, и для переключения задачи код не требуется. Быстрый отклик на внешние события обеспечивается схемами обработки прерываний. Время реакции на прерывание составляет 3 нс. Интеграция средств управления виртуальной памятью и ее защиты уменьшает количество программных средств, требуемых для реализации этих возможностей.

Специалисты фирмы планируют в конце 1982 г. использовать с новым микропроцессором язык высокого уровня ПАСКАЛЬ и ФОРТРАН, в качестве операционной системы будет применяться стандартная система PL/M. Для разработки программ будет использоваться система Intellect Series III совместно с комплектом средств оценки работы микропроцессора, стоимость которого равна 950 долл. Стоимость микропроцессора 80286 составляет 237 долл. В микропроцессорный комплект iAPX286 помимо микропроцессора 80286 входят следующие однокристалльные схемы: устройство синхронизации, контроллер шины, устройство адресной блокировки, приемопередатчик.

ЛИТЕРАТУРА

1. New Electronics, 1982, v. 15, N 4, pp. 41, 42, 66.
2. Electronics, 1982, v. 55, N 5, pp. 37, 38, 46, 48.
3. Electronics, 1982, v. 55, N 6, p. 10.
4. Computer Weekly, 1982, N 796, p. 2.
5. Computer Weekly, 1982, N 797, p. 3.
6. Electronics Weekly, 1982, N 1103, pp. 1, 7.
7. Electronics News, 1981, v. 27, N 1360, p. 43.
8. Electronics, 1982, v. 55, N 1, p. 125.
9. Electronics, 1982, v. 55, N 4, pp. 39, 40.
10. Electronics, 1982, v. 55, N 8, pp. 39, 40.
11. Electronics, 1982, v. 55, N 9, pp. 42, 44.
12. Electronics, 1982, v. 55, N 10, pp. 143—145.
13. Electronics, 1982, v. 55, N 11, pp. 45, 46.
14. Electronics Design, 1981, v. 29, N 25, pp. 36, 37.
15. JEE, 1982, v. 19, N 181, p. 26.
16. Industrial Research & Development, 1982, N 1, p. 60.
17. Industrial Management & Data Systems, 1982, N 1/2, pp. 24—28.
18. Computer Design, 1982, v. 21, N 4, pp. 63, 64.
19. Electronics Engineering, 1982, v. 54, N 663, pp. 9, 10, 89, 90.
20. Electronics Design, 1982, v. 30, N 4, pp. 31, 32.
21. EDN, 1982, v. 27, N 7, pp. 171, 172.

Пашенко Н.А.

РЕКЛАМА ЭП РЕКЛАМА

ВЫСОКОСТАБИЛЬНЫЙ ИМПУЛЬСНЫЙ ТИРАТРОН ТГИЗ-500/16

Предназначен для использования в качестве ключевого элемента в генераторах радиоэлектронных устройств. Высокая скорость переключения и большой срок службы определяют его широкое использование в радарх и медицинском оборудовании (в радиотерапии), схемах накачки импульсных лазеров (лазеров на парах металлов, азоте, углекислом газе).

ТГИЗ-500 / 16 конструктивно представляет собой двухсеточный импульсный тиратрон (тетрод) в металлокерамическом корпусе наполненном водородом. С помощью дополнительного электрода (сетки) осуществляется подготовительный разряд в промежутке сетка—катод прибора.

Тетродная конструкция прибора обеспечивает при воздействии дестабилизирующих факторов повышенную по сравнению с обычными импульсными тиратронами стабильность коммутируемого импульса (не хуже 50—100 нс).

Имеется возможность путем регулирования постоянного тока на сетку устанавливать необходимое значение времени запаздывания (например, при замене прибора или в случае «ухода» времени запаздывания в течение срока службы), что весьма существенно для аппаратуры, к которой предъявляются особые требования по стабильности импульса анодного тока, например в схемах лазерных затворов.

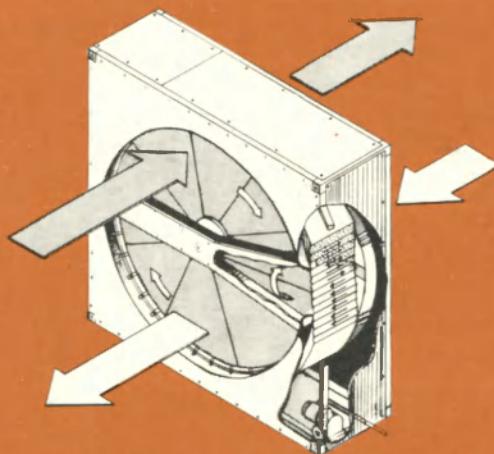
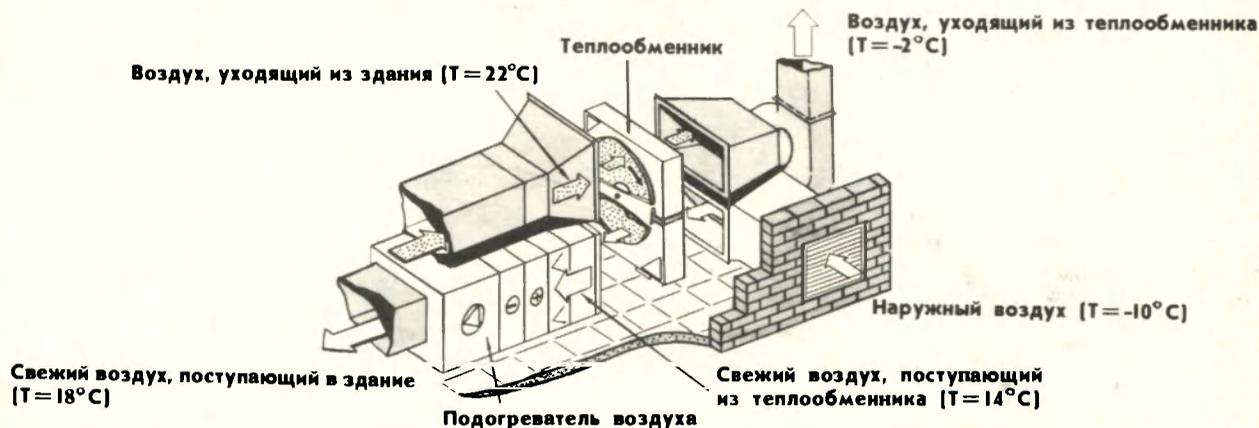
ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Напряжение анода (прямое) кВ	16
Ток анода в импульсе, А	500
Изменение времени запаздывания, нс	
при колебаниях	
напряжений накала	не более 100
в процессе разогрева	100
Время готовности, мин	5
Время разогрева в форсированном	
режиме, мин	2
Частота повторения импульсов, имп./с	до 50000
Минимальная наработка на отказ, ч	1000
Охлаждение	естественное
Габаритные размеры (максимальные), мм	127x84
Масса, г	не более 800

Прибор обеспечивает большую коммутируемую мощность (до 4 мВт в импульсе) при сравнительно небольших габаритных размерах и массе.

М.Б. Павлов

РЕГЕНЕРАТИВНЫЙ ТЕПЛООБМЕННИК ВРТ-2



Вращающийся регенеративный теплообменник ВРТ-2 предназначен для утилизации тепла воздуха, удаляемого из помещения.

Применение ВРТ-2 в системе вентиляции позволяет вернуть в рабочее помещение до 75% тепла.

Диапазон температуры воздушных потоков, $^{\circ}\text{C}$	от -35 до +60
Расход воздуха по одному потоку, $\text{м}^3/\text{ч}$	20000
Аэродинамическое сопротивление, Па . . .	200
Термический КПД	0,73
Потребляемая мощность, кВт	0,55
Напряжение питания привода, В	380
Скорость вращения ротора, об / мин	10
Габаритные размеры, мм	2200x500x2230

Ответственные за выпуск Т.Р. Крылова, Л.И. Жукова
Художник В.А. Чернецов
Технический редактор Г.М. Корнеева
Корректоры А.В. Смирнова, Л.П. Данченкова



Подписано в печать 14.9.82
Т-17711 Формат 60x90/8 Объем 10 п.л.
Уч.—изд. л. 11 Индекс 3833 46 статей. 4 реф.
Заказ 964 Тираж 4380 Цена 2 руб. 90 коп.

Производственно-издательский отдел ЦНИИ «Электроника»
Москва, 117415, проспект Вернадского, 39

ЭЛЕКТРОНИКА

МК-53

МИНИАТЮРНОЕ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО,
СОДЕРЖАЩЕЕ
МИКРОКАЛЬКУЛЯТОР,
СЕКУНДОМЕР, КАЛЕНДАРЬ И ЧАСЫ
С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ЗВУКОВОЙ
СИГНАЛИЗАЦИИ
В УСТАНОВЛЕННОЕ ВРЕМЯ.

Микрокалькулятор выполняет четыре арифметических действия, извлечение квадратного корня, вычисление процентов, операции с памятью, вычисление обратной величины, коррекцию ошибочно введенного числа.



Кварцевые часы на жидких кристаллах показывают время в часах, минутах и секундах (до полудня и после полудня). Секундомер измеряет время с точностью до одной десятой доли секунды.

Жидкокристаллический индикатор обеспечивает четкое воспроизведение даты, дня недели, текущего времени, показаний секундомера и результатов вычислений.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Основной элемент	ДМДП БИС
Диапазон представления чисел	от $\pm 10^{-7}$ до $\pm (10^8 - 1)$
Время выполнения арифметических операций, с	$\leq 0,6$
Индицируемые знаки	0—9, ., —, E, п, пп, дп, δ , ВС, ПН, ВТ, СР, ЧТ, ПТ, СБ, СТ, ПФ
Точность измерения временных интервалов секундомером, с	0,1
Точность хода часов за сутки при 20—25 °С, с	$\pm 1,5$
Потребляемая мощность, Вт	$\leq 0,00006$
Источник питания	2 элемента СЦ 32
Время работы от одного комплекта элементов, ч в режиме часов	≥ 8000
в режиме калькулятора и часов	1000
Диапазон рабочих температур, °С	10 — 35
Габаритные размеры, мм	60x45x95
Масса, кг	$\leq 0,05$

ЭЛЕКТРОНИКА

МК-53