

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ  
ИНСТИТУТ КИБЕРНЕТИКИ ИМЕНИ В.М.ГЛУШКОВА

На правах рукописи

**КРЮКОВ Юрий Владимирович**

УДК 681.32:629.7.05

**РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССОРОВ ВВОДА - ВЫВОДА  
УПРАВЛЯЮЩЕЙ БЦВМ  
В КОМПЛЕКСАХ РАДИОСВЯЗИ**

05.13.05 - элементы и устройства вычислительной  
техники и систем управления

Автореферат  
диссертации на соискание  
ученой степени кандидата технических наук

AB 29.402

Работа выполнена в Нижегородском научно-производственном объединении "Полет" и Институте кибернетики имени В.М.Глушкова АН Украины.

Научный руководитель : кандидат технических наук Семотюк М.В.

Официальные оппоненты : доктор технических наук, профессор Боюн В.П.; кандидат технических наук, доцент Устенко С.В.

Ведущая организация : АНТК им. О.К.Антонова.

Защита состоится "17" марта 1994 г. в 14 часов на заседании специализированного совета Д016.45.02 при Институте кибернетики имени В.М.Глушкова АН Украины по адресу: 252207, г.Киев, проспект Академика Глушкова, 40. С диссертацией можно ознакомиться в научно-техническом архиве института.

Автореферат разослан "16" 02 1994 г.

ЛННБ України ім.В.Стефаника



00777851 (Z)

Ученый секретарь

специализированного совета

ГУМЕНЮК-СЫЧЕВСКИЙ В.И.

ЛННБ ім. В. Стефаника  
АН України

**Актуальность.** Монопроцессорные БЦВМ по прогнозируемым характеристикам практически полностью удовлетворяют требованиям перспективы для решения широких классов авиационных задач. БЦВМ с традиционной монопроцессорной структурой наименее критичны к решаемым на них задачам, не предъявляют каких-либо специфических требований к системам математического обеспечения, отличаются простой организацией и простой операционной системой. Применение модулей памяти, центральных процессоров с универсальной системой команд коммерческих микро-ЭВМ в качестве базового ядра управляющей БЦВМ позволяет сократить сроки разработки основных узлов БЦВМ и программного обеспечения. При таком подходе к разработке управляющей ЭВМ для комплексов аппаратуры авиационной радиосвязи сводится к созданию новых типов компонентов систем ввода-вывода (процессоров): средств телеобработки данных и средств связи с объектами управления. Многообразие комплексов аппаратуры авиационной радиосвязи, большое количество параллельно и независимо работающих внешних абонентов [1] по различным стыкам, работа в экстремальных условиях, жесткие ограничения по массе и габаритам определяют необходимость разрабатывать процессоры ввода-вывода с высокими эксплуатационно-техническими показателями по надежности функционирования и унификации аппаратуры, имеющие возможность подключения абонентов с различными интерфейсами, обладающие свойствами адаптации к внешним помехам, с предварительной обработкой вводимой информации с целью разгрузки центрального процессора. Разрешение противоречивых требований при проектировании процессоров ввода-вывода БЦВМ управляющих комплексов является актуальной научно-технической задачей, имеющей важное народно-хозяйственное значение.

#### Цель работы и задачи исследования.

Целью работы и основными задачами исследования являются:

- выработка архитектурных, структурных, схемотехнических принципов и решений основных блоков процессоров ввода-вывода;

- разработка алгоритмов преобразования и обработки вво-

димой информации;

- определение оптимальной дисциплины тестирования устройств управляющей БЦВМ и самотестирования процессоров ввода-вывода;

- разработка принципов построения многоканальных приемников информации, адаптируемых под любой бортовой стык, с высокими эксплуатационными характеристиками.

Методы исследования. При решении поставленных в работе задач использовался аппарат общей теории систем, теории автоматов, теории технической диагностики, методы имитационного моделирования.

Научная новизна. На основе анализа структуры и потоков вводимой-выводимой информации и функционального программного обеспечения управляющей БЦВМ КРС:

- предложена новая технология обслуживания каналов ввода, обменивающихся последовательным кодом, предполагающая одновременный прием информации от  $n$  независимых источников методом сканирования с высокой частотой мгновенных значений и обработки группового сигнала на одном "приборе";

- разработаны способы предварительной обработки информации процессорами ввода-вывода;

- определены оптимальные структуры блока обработки вводимой информации;

- разработаны основные принципы построения и алгоритмы многоканального приемника, адаптируемого под любой тип последовательного интерфейса;

- определен необходимый и достаточный состав функциональных узлов унифицированного многоканального приемника, аппаратные затраты которого не зависят от количества обрабатываемых каналов в определенных пределах;

- получены оптимальные значения времени тестирования аппаратуры управляющей БЦВМ.

Реализация результатов работы. Практическая ценность. На основе разработанных способов и алгоритмов обработки вводимой информации, принципов построения основных узлов процессоров ввода-вывода были изготовлены и внедрены в серийном

производстве ряд контроллеров и процессоров ввода-вывода управляющих БЦВМ в КРС:

СБ7Б70-СМ ИВЗ.049.002 [7]. СБ11Б70-СМ ИВЗ.049.005 контроллеры ввода-вывода в управляющей БЦВМ "Символ";

СБ10Б70-СМ1А ИВЗ.049.014 [8]. СБ4Б30-СМ1А ИВЗ.049.019 [11] процессоры ввода-вывода в БЦВМ "Символ 1А";

СБЗБ70-Ара ИВЗ.049.032 [13]. СБ4Б70-Ара ИВЗ.049.033 [5] унифицированные контроллеры ввода-вывода разовых команд и последовательным кодом по АРИНК-429 в изделии "Арлекин А";

СБЗБ70-СМЗ ИВЗ.049.039 [13]. СБ4Б70-СМЗ ИВЗ.049.040 [6] контроллеры ввода-вывода разовых команд и последовательным кодом по ГОСТ 18977-79 в управляющие БЦВМ "Символ 3";

СБЗБ70-ИС ИВЗ.049.045 [13]. СБ2Б70-ИС ИВЗ.049.044 [15] унифицированные процессоры ввода-вывода в управляющей БЦВМ "Исток".

Кроме применения в бортовых управляющих БЦВМ КРС унифицированные модули ввода-вывода СБЗБ70-Ара, СБ4Б70-Ара нашли применение в системах сбора - обработки информации - таких как "Система голосования" Нижегородского областного и городского Советов народных депутатов, "Системе независимого наблюдения" за функционированием аппаратуры и комплексов воздушных судов гражданской авиации. Управляющая ЦВМ "Символ" имеет 18 модификаций, применяется в комплексах различного применения, наземных узлах связи, в составе авиационного комплекса радиосвязи К-ДЛУЭ и К-ДЛУАЭ экспортируется за границу.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на 4 научных конференциях и семинарах, в том числе на межотраслевых и республиканских.

Публикации. По результатам диссертационной работы опубликовано 6 статей и тезисов докладов, получено 12 авторских свидетельств на изобретения. Часть результатов отражена в научно-технических отчетах о НИР и ОКР.

Автор выносит на защиту:

- принципы построения процессоров ввода-вывода;
- способы предварительной обработки вводимой информации и аппаратная реализация;

- алгоритмы и реализация многоканального приемника и преобразователя информации, адаптивного к любому типу последовательного интерфейса;

- способы оптимального тестирования управляющей БЦВМ и самопроверки процессоров ввода-вывода.

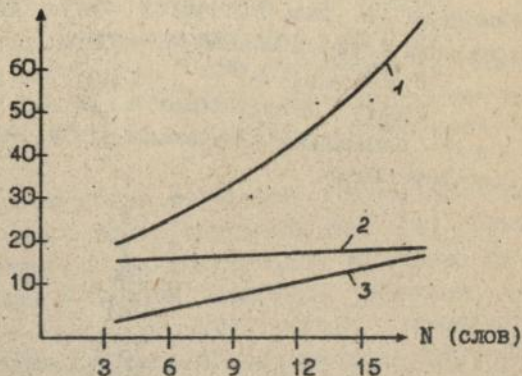
Содержание работы. Тенденция к увеличению и усложнению задач, возлагаемых на системы авиационной радиосвязи, с одной стороны, и необходимость текущего тестового контроля аппаратуры управляющей БЦВМ и системы радиосвязи в целом, с другой, заставляют искать пути увеличения производительности управляющих БЦВМ и дополнительные резервы машинного времени.

Анализ трудоемкости общего алгоритма функционирования [1] управляющей БЦВМ показывает, что значительное увеличение производительности может быть достигнуто заменой наиболее часто используемых программных модулей операционной системы аппаратными средствами. Например, программы определения расстояния от объекта до заданного абонента, ориентирование антенны в пространстве требуют быстрого вычисления таких функций как корня квадратного, синусно-косинусных функций [2], [3], в задачах адаптации КВ линий связи требуется формирование [4] и анализ линейно-частотно - модулируемых сигналов. Но такие управляющие БЦВМ становятся узкоспециализированы, а дополнительное оборудование для этих целей громозким. Использование сигнальных процессоров в качестве сопроцессоров универсального центрального процессора [18] позволяет разрешить это противоречие.

Основные непроизводительные затраты машинного времени управляющей БЦВМ в КРС происходят при обработке вводимой информации, так как БЦВМ обслуживает большое количество параллельно и независимо работающих внешних абонентов, в том числе [1]:

- линии связи на передачу и прием информации;
- датчики и приемники телекодовой информации;
- линии управления каналобразующей и телекодовой аппаратурой;
- линии автоконтроля.

Т вып.  
программ  
ПОС 10 (мс)



1. Время работы программы с поиском слов с сортировкой по адресам.
2. Время работы программы без поиска адресов.
3. Время ввода информации.

Рис.1

Большие непроизводительные затраты машинного времени обусловлены тем, что центральный процессор производит:

- селекцию вводимых данных (т.е. выбор необходимой информации из всего вводимого массива), так как на входах каналов ввода управляющей БЦВМ циркулирует избыточная для систем радиосвязи информация;

- сортировку вводимой информации, т.е. упорядочение исходных данных в соответствии с распределением памяти в обрабатываемой программе.

На рис.1 представлены зависимости времени выполнения подпрограммы ПОС10 ИВ.0004-04-1301 поиска и сортировки вводимой информации центральным процессором (быстродействием 40 тыс.оп/с типа р-р) управляющей БЦВМ "Символ" в авиационных комплексах ТИП2 от количества введенных слов.

Центральный процессор затрачивает время на выполнение программы с поиском слов с сортировкой по адресам в 3-4 раза больше по сравнению с временем ввода информации 32-битными словами последовательным кодом с частотой 48 кГц по ГОСТ 18977-79.

Распределения длин сообщений (L) и пауз ( $\tau$ ),

представленные на рис. 2, могут быть аппроксимированы геометрическим и показательным законами:

$$P(L \geq K) = \mu(1-\mu)^{K-1-a} \quad (1)$$

$$P(\tau \geq x) = \lambda \exp[-\lambda(x-\theta)],$$

где:  $a$  и  $\theta$  - минимально - возможные длины сообщений и пауз, соответственно.

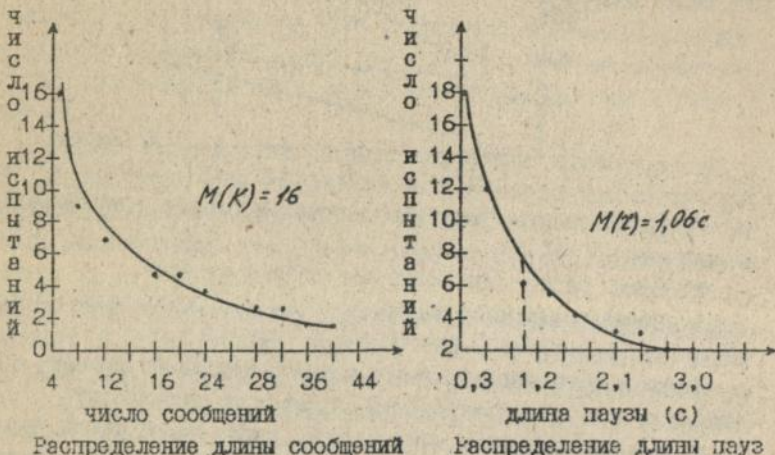


Рис.2

В общем случае, информацию можно разделить на два класса, отнести ее к значимой или незначимой [17]. Признак значимости формируется по принципу: требуется или не требуется обслуживание центрального процессора при изменении  $X(x(t))$  информации данного канала по отношению к предыдущему сеансу ввода  $X(x(t-1))$ .

Большое количество каналов ввода-вывода, с которыми должна сопрягаться БЦВМ в комплексах радиосвязи, определило состав самой БЦВМ, 70-80% от объема аппаратуры БЦВМ занимают устройства ввода-вывода.

Снижение массо-габаритных характеристик устройств ввода-вывода, создание высоконадежных процессоров ввода-вывода, разгружающих центральный процессор в условиях борта традиционными методами обслуживания каналов ввода-выводами и

известными техническими решениями не представляется возможным. Все известные методы приема информации последовательным кодом предполагают для каждого 1 канала использование собственного канального оборудования - схем электрического сопряжения, схем побайтовой и пословной синхронизации, буферных и сдвиговых регистров, схем запроса на обслуживание, схем формирования контрольного бита чет/нечет.

Предлагается изменить технологию обслуживания каналов ввода, осуществлять прием информации на одном "приборе", поочередно сканируя с высокой частотой мгновенные значения сигналов с линий в каждом независимо работающем канале. Получая тем самым групповой сигнал, запомненные и накопленные мгновенные значения за один такт обрабатываются по алгоритму соответствующему данному стыку, по которому обменивается выбранный канал. Если в данном такте обработки выполнилось условие конца приема слова процессором ввода-вывода осуществляется проверка слова на нужность, значимость, четность, новизну, формируются интегральные признаки массива введенных слов. На рис.3 показаны уровни представления данных и операции обработки вводимой информации процессора ввода-вывода.

Синтез блока приема-передатчиков при многоканальном приеме-передаче информации. Количество последовательных каналов по вводу-выводу информации для малых комплексов находится в пределах от 8 до 24, для больших от 16 до 48 независимо работающих каналов. Кроме того, для летательных аппаратов разрешены к применению и широко используются в разных бортовых системах несколько стандартов: ГОСТ 18977-79 и РТМ 1495-75, ГОСТ 27232-87 (С1-И), ГОСТ 26.765.52-87 (МКИО).

Предлагаемый алгоритм рис. 4 и структура рис.5 блока сопряжения обеспечивает обслуживание вводимой информации на одном "приборе" в режиме разделения времени [12,13,15].

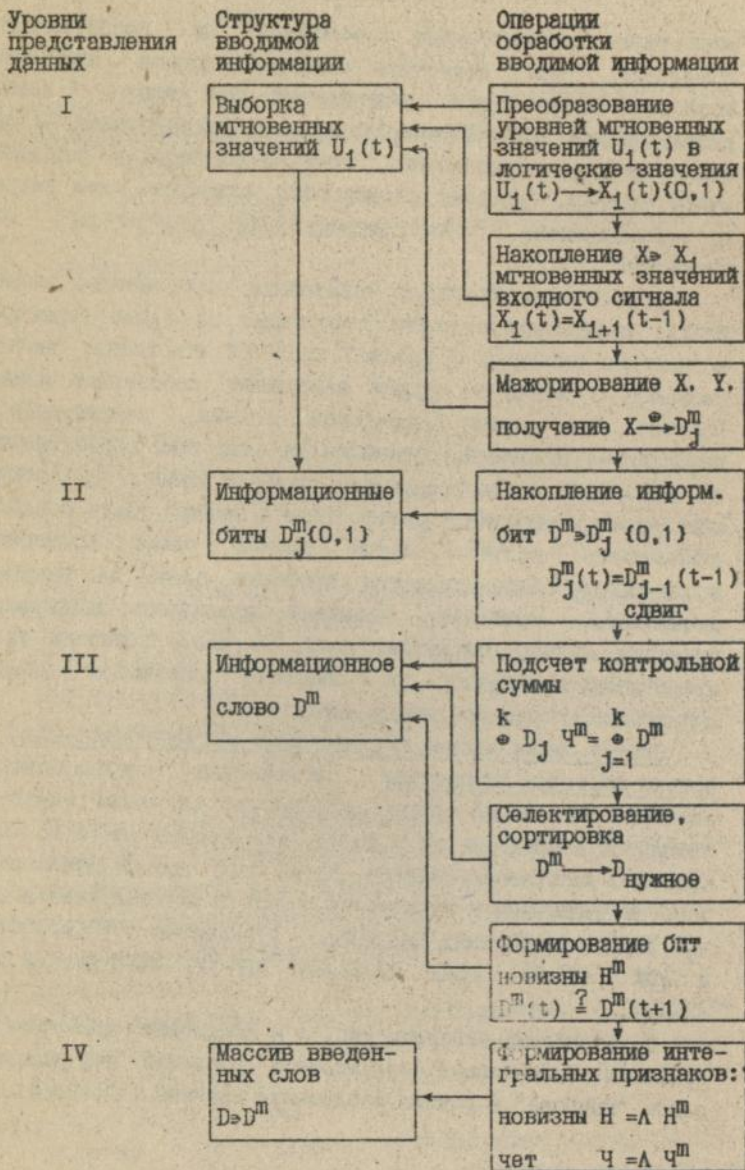


Рис. 3

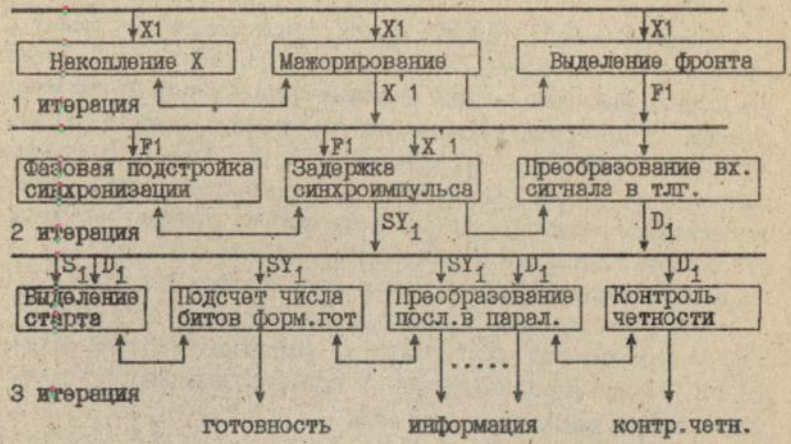


Рис. 4

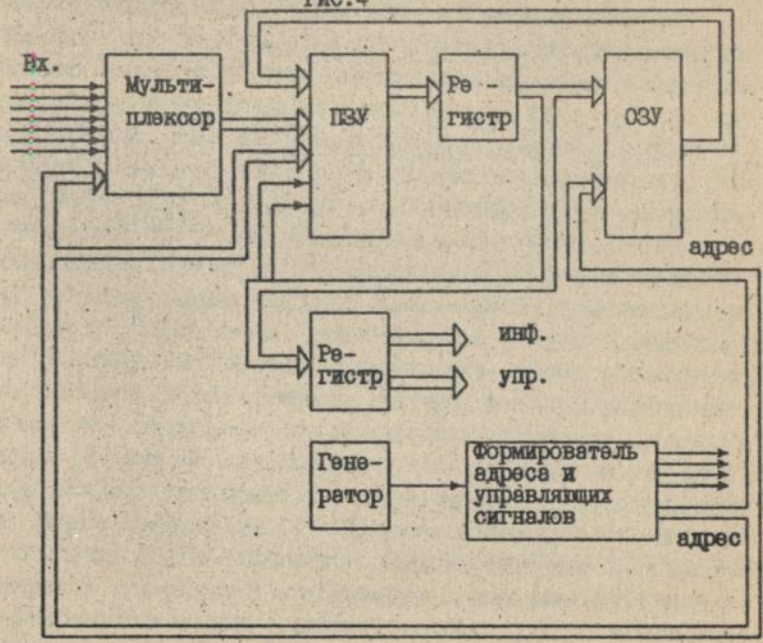


Рис. 5

Каждому 1-ому каналу ввода предоставляется квант времени, за который выполняются операции накопления мгновенных значений входного сигнала, фильтрация и принятие решения о принятом текущем информационном бите  $X \{0,1\}$ , выделение перепадов (фронтов)  $0 \rightarrow 1, 1 \rightarrow 0$ . Затем производится преобразование в телеграфный код NRZ, формирование синхроимпульса, выделение сигналов старта, готовности, чет/нечет и сдвиг информации на один бит. Представим вводимую информацию в виде функции  $U(t)$ :

$$U(t) = A_K \cdot F(t,d) \cdot S(\omega t + \varphi).$$

где  $A$  - амплитуда входного сигнала, зависящего от типа стыка;  $F(t,d)$  - модулирующая функция (в которой содержится значение вводимой информации  $d=\{0,1\}$ );  $S(\omega t + \varphi)$  - функция частоты и фазы.

Так как в функции  $U(t)$  для любого отдельно взятого стандартного стыка известны  $A$ ,  $F(t,d)$ ,  $S(\omega t + \varphi)$  для получения значения  $k$  информационного бита  $d$  необходимо иметь приемное устройство, обладающее функциональной полнотой и в котором бы хранились модели входных сигналов при  $d=0$  и при  $d=1$  [15]. Под функциональной полнотой здесь надо понимать свойство устройства ввода принимать вводимую информацию с любой амплитудой, частотой, видом модуляции из заданного списка. Таким образом, многоканальное приемное устройство должно иметь программируемый универсальный преобразователь уровней, блок выделения сигнала синхронизации, схемы сдвига и подсчета контрольной суммы, запоминающие устройства хранения карт стандартных стыков и хранения промежуточных и конечной информации, коммутатор каналов, высоко стабильный генератор, блок формирования адресов и управления. На рис. 6 показан сигнальный граф, отображающий преобразования входной переменной  $x$  (содиночной выборки) в параллельный код  $D$  для стыка С1-И. Значения входной переменной  $X\{0,1\}$  сдвигаются в каждом временном окне и запоминаются 8 отсчетов, происходит накопление  $X(1) \dots X(8)$ . Решение о приеме информационного бита "0" или "1" принимается по результату выполнения

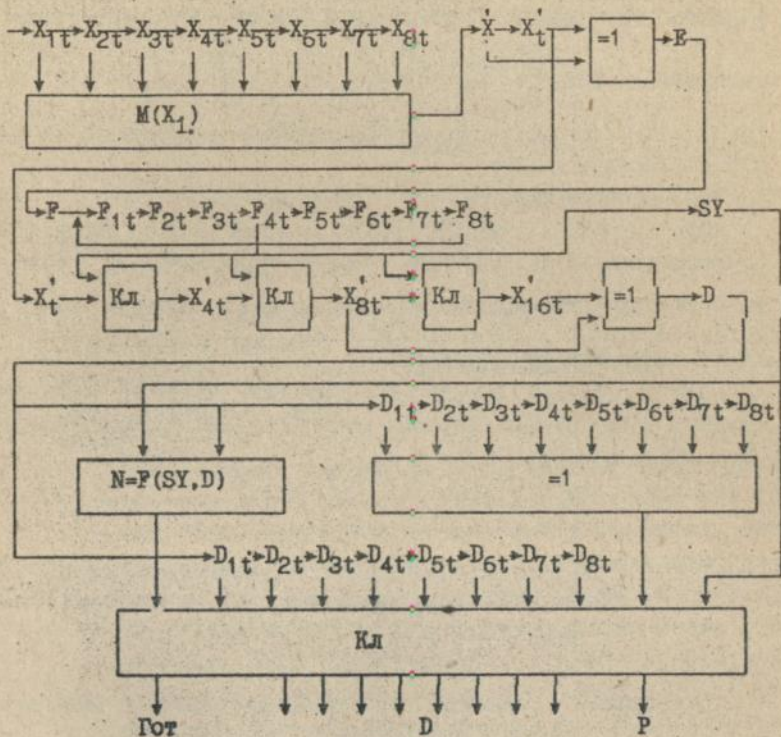


Рис. 6

операции фильтрации, описываемой разностным уравнением

$$\text{рекурсивного фильтра } X'_{j+1} = \sum_{i=1}^{M_1} B_i X_{j+1-i} + \sum_{i=1}^{M_2} A_i X_j^{(i-1)};$$

где  $B_i, A_i$  - коэффициенты нерекурсивной и рекурсивной части фильтра соответственно;

$M_1, M_2$  - порядки фильтра.

При выборе прямоугольного окна интегрирования (суммирования)  $B = 1$ . Учитывая пуассоновский закон распределения помехи с параметром  $\frac{1}{\lambda_n} \gg T$  сигнала порядок рекурсивной части фильтра будет  $M_2 = 1$ .

Таким образом, определение значения входного сигнала сводится к выполнению операции мажорирования с гистерезисом (блок  $M(X_1)$  рис.6):

$$X'_{j+1} = \text{sign} \left[ \sum_{j=1}^{M_1} X_{1j} - \frac{M_1+1}{2} + 1 \cdot X'_j + (-1)X_j \right]$$

$$\text{sign } \psi = \begin{cases} 0, & \text{при } \psi < 0, \\ 1, & \text{при } \psi \geq 0 \end{cases}$$

Гистерезис (значение рекурсивной части фильтра)

$$\Gamma = [1 X'_j + (-1) X_j]$$

влияет на порог срабатывания функции  $\text{sign } \psi$ , увеличивает порог на 1, если предыдущее состояние сигнала  $X_j = 1$  и уменьшает на 1, если  $X_j = 0$ . Здесь операция мажорирования эквивалентна операции оптимальной фильтрации для аналоговых сигналов и позволяет подавить помеху, длительность которой меньше  $2 \Delta t$  - времени дискретизации входного сигнала. Затем на первой итерации также формируется сигнал  $F$  синхронизации по изменению состояния входного сигнала из "0" в "1" или из "1" в "0", т.е.  $F = X'_1 \circ X'(\tau)$ . На второй итерации сигнал синхронизации задерживается на 8-мь тактов и формируется значение входного сигнала в виде телеграфного кода NRZ. Для стыка С1-И

$$D_1 = X'(8\tau) \circ X'(16\tau)$$

Во время третьей итерации подсчитывается количество син-

хроимпульсов SY :

$$N_{j+1} = \begin{cases} 1 & \text{при } N_j = 0, D_j = 0, \\ N_{j+1} & \text{при } 0 < N_j \leq 11, \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

Сдвигается информация  $D_1 \cdot 2$ , формируется значение бита "нечет":  $P = \sum_{j=1}^n D_j \pmod{2}$

По 12 синхроимпульсу из сдвигателя информация записывается в выходной буферный регистр, на этом преобразование заканчивается, принятая информация поступает на следующий уровень обработки вводимой информации процессором ввода.

Для разработки аппаратуры многоканальных адаптируемых приемо-передатчиков, функционирующих по алгоритму рис.4, используется формализованный аппарат синтеза конечных автоматов. Комбинационная часть, формирующая функции перехода, реализована на ПЗУ (или ПЛМ), элементами памяти являются ячейки ОЗУ рис. 5 для каждого канала выделяется одна ячейка. Отличия от классической схемы конечного автомата в представленном устройстве заключаются в том, что в каждом такте работы конечного автомата изменяются функции перехода в соответствии с типом стыка и адреса ОЗУ в соответствии с номером канала ввода.

Алгебраическая интерпретация архитектуры процессора ввода-вывода.

На процессор ввода-вывода БЦВМ возлагаются дополнительные функции:

1. по селекции (принимаются только заданные слова);
2. по сортировке (каждое принятое слово записывается по заданному адресу);
3. сравнение принятых данных с принятой информацией в предыдущем сеансе ввода, при этом любые разряды незначимой информацией могут быть маскированы (формирование признака "новизны"). Исходя из характера предварительной обработки вводимой информации, синтезируем алгебраическую структуру

блока обработки процессора ввода, которая определяется выражением вида  $A(X, Y)$ , где  $X$  - объекты, над которыми оперируют (вводимая информация),  $Y$  - набор операций, обладающий определенными свойствами. Суть предварительной обработки  $Y$  информации  $X$  процессором ввода-вывода заключается в преобразовании множества  $X$  в множество  $X'$ , подготовленного для обработки центральным процессором, т.е.  $X \xrightarrow{Y} X'$  [16].

Множество  $X \in X$  является подмножеством  $X$ , не содержащее незначимой, несущественной информации  $X$  и помечено признаком новизны [16]. Блок обработки процессора должен выполнять следующие  $Y$  операции:

1. Сравнение идентификаторов  $d_1$  принятого слова (служебная часть слова, например, в ГОСТ 18977-79 идентификатором служит первый байт 32-х разрядного слова) с множеством заданных идентификаторов  $D_j$  тех слов, которые являются значимыми для данного канала ввода. Информация будет приниматься только для таких  $d_1$ , для которых найдется хотя бы один  $\exists d_j = D_j, d_j = d_1$ .

2. Сравнение принятой информации  $X_t$  с информацией, введенной в предыдущем сеансе ввода  $X_{t-1}$  с маскированием незначимой информации  $X_t \cdot M = X_{t-1} \cdot M$ .

Булева функция, имеющая значение 1 (истина) для логической эквивалентности (совпадения)  $X_t$  и  $X_{t-1}$  и значения 0 (ложь) в противном случае, будет иметь следующий вид без маскирования:

$$f(X_t = X_{t-1}) = X_t \vee \bar{X}_{t-1} \vee \bar{X}_t \cdot X_{t-1}$$

При маскированном сравнении используются только некоторые разряды, участвующие в сравнении, остальные маскируются кодом маски  $M$ :

$$f(X_t = X_{t-1}) = X_t \cdot X_{t-1} \vee \bar{X}_t \cdot \bar{X}_{t-1} \vee M$$

для операции несравнения (исключающее ИЛИ):

$$f(X_t \neq X_{t-1}) = (X_t \cdot \bar{X}_{t-1} \vee \bar{X}_t \cdot X_{t-1}) \cdot M$$

Процессор ввода-вывода представляет центральному процессору вводимую информацию в виде самоопределяющих данных? Слова хранятся в памяти в виде двух полей - теговая часть слова и поля собственно данных, принятых процессором ввода и записанных в память ЭЕМ без изменения

-----  
: Тег : Введенные данные :  
-----

Биты поля тега формируются по следующим правилам:

$$\text{Бит "ошибки"} F_0 = \begin{cases} 0, & \text{если } \prod_{i=1}^n d_i = 1 \\ 1, & \text{противное} \end{cases}$$

$$\text{Бит "новизны"} F_H = \begin{cases} 0, & \text{если } D(t) = D(t-1) \\ 1, & \text{противное} \end{cases}$$

$$\text{Бит "признака"} F_P = \begin{cases} 1, & \text{если } D'(t) = \Gamma(t) \\ 0, & \text{противное} \end{cases} \quad [11] .$$

где  $\Gamma(t)$ —значение поля данных, для которого подготовлено решение заранее.

Кроме формирования значений тега принимаемых слов, процессор ввода-вывода вычисляет интегральные значения признака новизны, бита ошибки всего вводимого массива, дополняет дескрипторами: номер канала, формат и длина сообщения

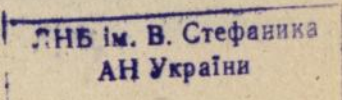
-----  
: Дескриптор :                    Массив данных :  
-----

Бит "ошибки" и бит "новизны" массива определяются следующим образом:

$$F_{0m} = \prod_{i=1}^n F_{0i}$$

$$F_{Hm} = \prod_{i=1}^n F_{Hi}$$

Таким образом, вводимые данные хранятся в памяти ЭВМ в виде упорядоченной информации:



Дескриптор

Тег 1 слова 1 слово ...

 $F_{\text{Ош}}$   $F_{\text{Нш}}$  № канала Формат Длина

О Н Р

Центральный процессор начинает обработку введенной информации с анализа полей дескриптора массива  $F_{\text{Ош}}$ ,  $F_{\text{Нш}}$ . Если  $F_{\text{Ош}}=1$  или  $F_{\text{Нш}}=0$ , то задание снимается со счета.

Эффективность процедур предварительной обработки вводимой информации определяется  $t_3$  - высвобожденным машинным временем центрального процессора за счет прореживания заявок на обслуживание  $\sum_{i=1}^n (1-P_1)t_i$  и временем, затрачиваемым центральным процессором на сортировку и упорядочение вводимых данных  $\sum_{i=1}^n P_1 t_{\text{сорт}}$  (здесь  $n$  - количество обслуживаемых каналов), т.е.

$$t_3 = \sum_{i=1}^n [(1-P_1)t_i + P_1 t_{\text{сорт}}];$$

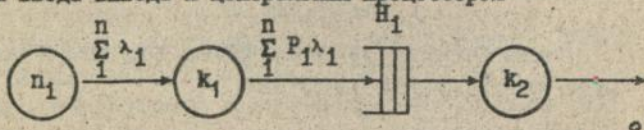
где  $t$  - среднее время обработки  $i$  канала;

$P_1$  - вероятность того, что за цикл обслуживания  $T_0 = \sum_{i=1}^n t_i$  произошло изменение значимой информации источника, требующее обработки центральным процессором;

$t_{\text{сорт}}$  - среднее время работы программы сортировки ПОС/О, зависящее от количества  $k$  вводимых слов и аппроксимируется

(рис.1) функцией вида  $t_{\text{со}} = \frac{k_1^2}{2} a + b$  ( $a=15$ ,  $b=680$ ).

Модель обслуживания источников информации можно представить в виде СМО с последовательно соединенными процессором ввода-вывода и центральным процессором



где  $K_1$  - процессор ввода-вывода,  $K_2$  - центральный процессор,  $U_1$  - источник информации  $i$  канала,  $H_1$  - очередь ожидания на обслуживание,  $\lambda_1$  - интенсивность приема информации по  $i$

каналу.

Процессор ввода-вывода прореживает поток заявок, пропуская только заявки, имеющие значимую и обновленную информацию по сравнению с предыдущим сеансом ввода с вероятностью  $P_1 = F(\tau < T_0)$ , определенной функцией распределения (1).

Имитационное моделирование процесса обслуживания каналов для комплекса радиосвязи проводилось пакетом GPSS/PC.

Результаты моделирования представлены на рис. 7: зависимости загрузки, среднее количество нахождения в очереди, количество циклов обслуживания на 1000 транзактов (запросов на обслуживание) от быстродействия центрального процессора БЦВМ "АМПАК-Б" (с временем выполнения команд регистр-память 2 мкс), "Арлекин А" и "Символ 3" (3 мкс), "Символ ..." (25 мкс), "Символ 1А" (50 мкс) при обслуживании 8, 16, 48 каналов.

Загр. Кол. циклов обл. Кол. заявок  
(%) на 1000 транз. (ед.) в очереди (ед.)

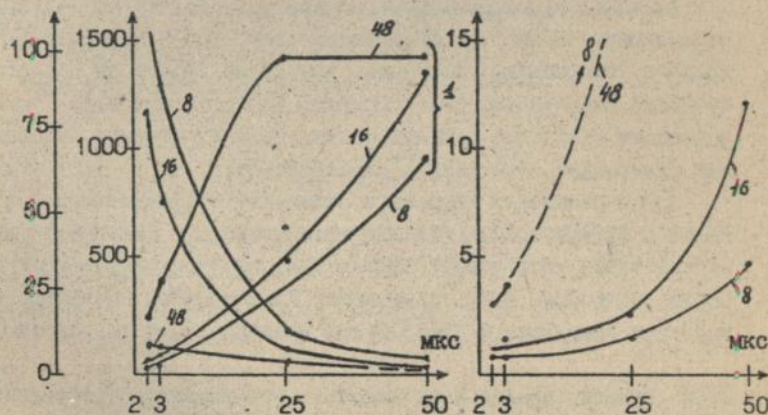


Рис. 7

При увеличении количества каналов обслуживания до 48 для БЦВМ  $t_{ком} > 25$  мкс величина очереди стремится к  $\infty$ . Процент загрузки центрального процессора при организации вычислительного процесса по обслуживанию вводимой информации

на процессоре ввода-вывода и центральном процессоре составляет 6-93% (зависимости 1).

Самотестируемость, самоконтроль процессора ввода-вывода управляющей БЦВМ. Требования контролепригодности и отказоустойчивости для бортовых управляющих ЦВМ являются обязательными и сложными по выполнению, так как многие аппаратные способы обнаружения и локализации отказов (полное дублирование, мажорирование и т.д.) не приемлемы для бортовых ЦВМ из-за жестких массо-габаритных ограничений. Перечислим аппаратные средства контроля и сигнализации сбоев и неисправности, которые традиционно используются в БЦВМ:

- контроль передач и хранение информации на четность;
- формирование сигналов "зависания" адреса на магистрали ЦВМ;
- сбой по питанию;
- недопустимый код команды;
- контроль времени выполнения рабочих программ [9,10].

Поэтому, недостаточность аппаратных средств контроля для управляющих БЦВМ компенсируется тем, что в вычислительный процесс включаются тестовые программы контроля [14,16]. Основной задачей тестовых программ контроля является своевременное выявление неисправностей БЦВМ и передачи управления программам локализации неисправности.

Для определения характера изменения коэффициентов готовности и использования рассмотрим временную диаграмму функционирования управляющей БЦВМ в КРС, представленную на рис.8. После включения БЦВМ проводится предполетная проверка аппаратуры комплекса и БЦВМ. Время проверки  $t_T = \sum_1 t_{T1}$  определя-

ется суммой времен всех тестов, ограничено требованиями предполетной подготовки и для известных бортовых КРС равняется 1,5-2,0 мин. В случае обнаружения неисправности во время предполетной подготовки дефективный модуль (блок, субблок) заменяется из состава группового ЗИП. В случае нормального завершения тестовой проверки, БЦВМ начинает выполнять рабочие программы функционирования КРС. Для выполнения тре-

бований ГОСТ 26656-85 (по контролепригодности и текущему контролю) и получения заданного уровня надежности функционирования БЦВМ (коэффициента готовности  $K_{Г0,9990-0,9999}$ ) в вычислительный процесс включаются тесты проверки работоспособности аппаратуры БЦВМ. Тесты включаются частями  $t_{Т1}$ , но так чтобы за время цикла  $T_{Ц}$  отработали все тесты БЦВМ. Период включения теста влияет на коэффициент готовности, на коэффициент использования и время простоя (или неправильного функционирования) в случае возникновения неисправности. Коэффициент готовности определим следующим образом:

$$K_{Г} = \frac{T_{O}}{T_{O}+t_{В}} = \frac{T_{O}}{T_{O}+t_{пр}+t_{Л}}$$

где  $T_{O}$  - среднее время наработки на отказ;

$t_{В} = t_{пр} + t_{Л}$  - среднее время восстановления складывается из

$t_{пр}$  - среднего времени простоя от момента возникновения неисправности до момента его обнаружения и

$t_{Л}$  - времени локализации неисправности.

Коэффициент использования будет равен

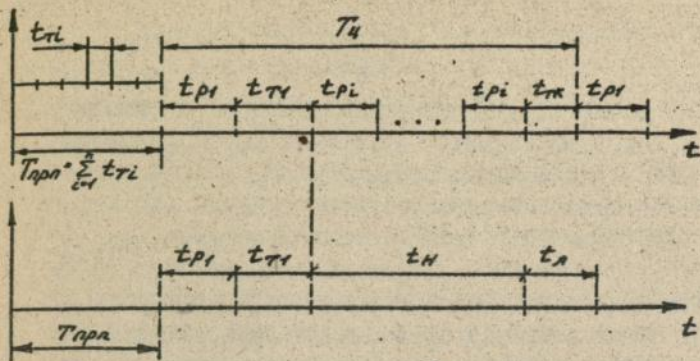
$$(T_{O}-T_{O}/T_{Ц} \cdot t_{Т})$$

$$K_{И} = \frac{(T_{O}-T_{O}/T_{Ц} \cdot t_{Т})}{(T_{O}-T_{O}/T_{Ц} \cdot t_{Т})+T_{O}/T_{Ц} \cdot t_{Т}+t_{пр}+t_{Л}}$$

где выражение  $T_{O}/T_{Ц} \cdot t_{Т}$  определяет суммарное время затраченное БЦВМ на контроль аппаратуры за период  $T_{O}$ . После упрощения

$$K_{И} = \frac{T_{O}-T_{O}/T_{Ц} \cdot t_{Т}}{T_{O}+t_{пр}+t_{Л}}$$

Учитывая, что события появления неисправности и проведения тестирования независимы, время работы БЦВМ  $t_{р}=4-25$  ч, время цикла работы тестов  $T_{Ц} \ll T_{O}$ , поэтому принимаем, что момент возникновения неисправности на интервале времени  $T_{Ц}$  равномерно распределен. Тогда среднее время простоя будет  $t_{пр} = T_{Ц}/2$ , и



$T_{прп}$  - время предполётной подготовки;  
 $t_H$  - время нахождения БЦВМ в состоянии  
 неисправности;  
 $t_{pi}$  - время выполнения рабочей  $i^{ой}$  программы;  
 $t_{tk}$  - время выполнения  $K^{го}$  теста

Рис. 8

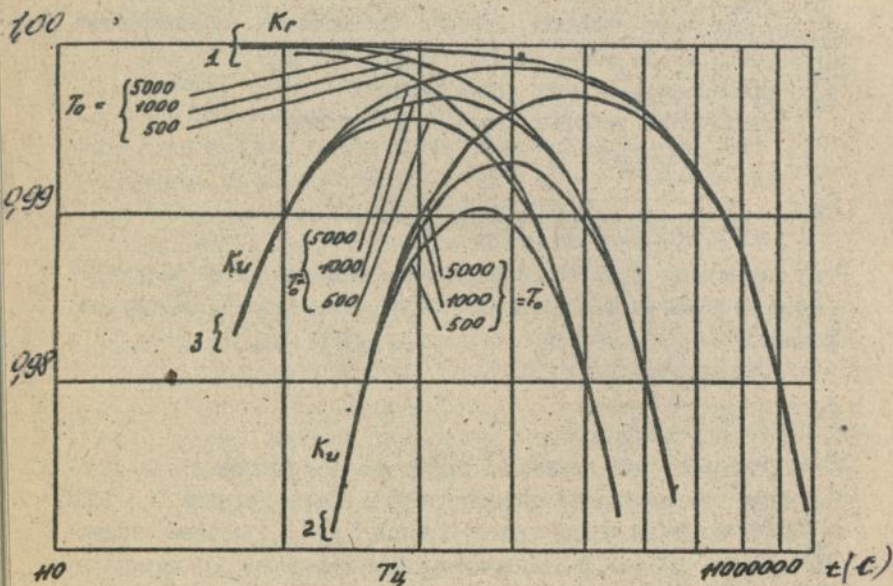


Рис. 9

$$K_T = \frac{T_0}{T_0 + T_{Ц}/2 + t_{Л}} ; \quad K_{И} = \frac{T_0 - T_0/T_{Ц} \cdot t_{Т}}{T_0 + T_{Ц}/2 + t_{Л}}$$

На рис.9 показаны зависимости  $K_{И}$  и  $K_T$  от периода включения тестов, полученные для типичных БЦВМ в КРС с разными временами наработки на отказ  $T_0=500, 1000, 5000$ .

Коэффициент готовности резко уменьшается для  $T_0=500$  час, когда период включения тестов  $T_{Ц} > 0,8$  час; для  $T_0=5000$  час  $T_{Ц} > 1,6$  час (значения коэффициента готовности становятся меньше  $K_T < 0,9990$ ).

Коэффициент использования представляет собой выпуклую функцию  $K_{И}(T_{Ц})$  с одним максимумом. Максимальное значение коэффициента использования можно получить при оптимальном периоде тестирования. Продифференцируем функцию  $K_{И}(T_{Ц})$  и приравняем к нулю

$$K'_{Ц}(T_{Ц}) = \frac{T_0 \cdot t_{Т}/T_{Ц}^2 \cdot (T_0 + T_{Ц}/2 + t_{Л}) - 1/2(T_0 - T_0 \cdot t_{Т}/T_{Ц})}{(T_0 + T_{Ц}/2 + t_{Л})^2} = 0$$

Для  $T_{Ц \text{ опт}}(T_0=500)=4,96$  час;  $T_{Ц \text{ опт}}(T_0=5000)=15,58$  час. Но при оптимальном периоде тестирования коэффициент готовности падает до недопустимых значений  $K_T < 0,09966$ .

Таким образом, для увеличения эффективности использования штатного оборудования, увеличения производительности БЦВМ при безусловном выполнении требований по надежности видятся два пути, во-первых, необходимо высвободить время центрального процессора для контроля собственной работоспособности; во-вторых, уменьшить время тестирования центральным процессором за счет передачи части функций контроля на процессор ввода-вывода. На рис.9 представлены зависимости (3) коэффициента использования от периода тестирования (для случая, когда центральный процессор не занимается тестированием ввода-вывода. Эту задачу выполняет процессор ввода-вывода. При этом можно видеть, что при оптимальном периоде тестирования  $T_{Ц \text{ опт}}(T_0=500 \text{ час})=2,2$  час,  $T_{Ц \text{ опт}}(T_0=5000 \text{ час.})=16$  час достигаются требуемые значения готовности коэффициента  $K_T = 0,9991$ .

Процедура тестирования собственной аппаратуры процессора ввода-вывода сводится к коммутации резервного (неиспользуемого) канала ввода на линии ввода-вывода и его инициализации на операцию ввода информации с формированием признака новизны.

Основные результаты работы. Главным результатом работы явилась разработка и внедрение в серийное производство ряда процессоров и устройств ввода-вывода бортовых управляющих ЭВМ.

Для решения этой проблемы:

1. На основе анализа программного обеспечения и природы источников и потребителей информации бортовых комплексов радиосвязи разработана новая технология обслуживания каналов ввода, обменивающихся последовательным кодом, предполагающая одновременный прием информации от  $n$  независимых источников методом сканирования с высокой частотой мгновенных значений и обработки группового сигнала на одном "приборе";

2. Разработана оптимальная алгебраическая структура блока обработки процессора ввода-вывода и адекватная этой структуре аппаратная реализация.

3. Разработаны алгоритмы обработки, структурные схемы, принципы функционирования многоканального приемника, адаптивного к одновременному приему информации по любому последовательному интерфейсу, оборудование которого не зависит от количества обслуживаемых каналов.

4. Определены способы предварительной обработки вводимой информации, разгружающие центральный процессор от рутинных и непроизводительных затрат. Центральный процессор, анализируя интегральные признаки новизны, значимости, приступает к обработке введенной информации только тогда, когда признаки равны "1".

5. Повышена помехозащищенность приема информации, обеспечиваемая тем, что значение информационного бита определяется результатом выполнения функции мажорирования накопленных мгновенных значений.

6. Уменьшено время цикла тестирования аппаратуры БЦВМ за счет введения режима самотестирования процессора

ввода-вывода, для чего используется команда ввода информации с признаком "новизны".

7. Определены оптимальные дисциплины тестирования устройств управляющей ЭЦМ и пути достижения требуемых показателей надежности.

8. Проведено внедрение процессоров ввода-вывода в серийном производстве.

9. Принципы, заложенные при построении процессоров ввода-вывода, прошли испытания эксплуатацией изделий в комплексах радиосвязи различного назначения.

По теме диссертации опубликовано 18 работ. Основное содержание диссертации в следующих работах:

1. Криков Ю.В. Способы повышения производительности управляющих ЦМ в системах радиосвязи. Техника средств связи, сер. "Техника радиосвязи", вып. 9 1983.

2. Абашин Ю.К. Криков Ю.В. Цифровое устройство для вычисления синусно-косинусных функций. Авторское свидетельство № 868753. бклл.изобр. № 36, 1981.

3. Абашин Ю.К. Криков Ю.В. Цифровое устройство для вычисления синусно-косинусных функций. Авторское свидетельство № 926651. бклл.изобр. № 17, 1982.

4. Абашин Ю.К. Криков Ю.В. Формирователь линейно-частотно-модулированных сигналов. Авторское свидетельство № 1029394. бклл.изобр. № 26 1983.

5. Абашин Ю.К. Криков Ю.В. Устройство ввода информации в ЦМ. Авторское свидетельство № 974365. бклл.изобр. № 42 1981

6. Абашин Ю.К. Криков Ю.В. Серова Т.Ю. Устройство для ввода информации в ЭМ. Авторское свидетельство № 1043620. бклл.изобр. № 35, 1983.

7. Абашин Ю.К. Криков Ю.В. Устройство для вывода информации из ЭМ. Авторское свидетельство № 1056174. бклл. изобр. № 43, 1983.

8. Абашин Ю.К. Криков Ю.В. Серова Т.Ю. Устройство для ввода информации в ЭМ. Авторское свидетельство № 1136173. бклл.изобр. № 3, 1985.

9. Криков Ю.В. Ефремов О.Г. Устройство контроля хода программ. Авторское свидетельство № 1211735. бклл.изобр.

№ 6. 1986.

10. Криков Ю.В. Комарова И.В. Бобарыкин А.В. Устройство для контроля хода программ. Авторское свидетельство № 1328819 бюлл. изобр. № 29. 1987.

11. Криков Ю.В. Серова Т.Ю. Устройство для ввода информации. Авторское свидетельство № 1246103. бюлл. изобр. № 27. 1986.

12. Гусев Д.Ю. Криков Ю.В. Адаптивное устройство ввода-вывода. Тезисы докладов. Межотраслевая НТК "Средства связи в авиации", Горький 1989 г.

13. Криков Ю.В. Кузнецов А.В. Устройство для сопряжения электронной вычислительной машины с дискретными датчиками. Авторское свидетельство № 1540544. 1989.

14. Криков Ю.В. О повышении надежности функционирования управляющей ЦВМ в комплексе радиосвязи. Межотраслевая НТК "Средства связи в авиации", Горький, 1989 г.

15. Гусев Д.Ю. Криков Ю.В. Устройство для ввода информации. Положительное решение по заявке 4778423/24/002968 от 05.01.90 г.

16. Криков Ю.В. О сокращении непроизводительных затрат машинного времени управляющей ЦВМ. Техника средств связи, сер. "Техника радиосвязи", вып. 2, 1991 г.

17. Криков Ю.В. Информационные аспекты распараллеливания вычислительного процесса управляющей ЦВМ в комплексе радиосвязи. Тезисы докладов. Всесоюзная НТК "Однородные ВС, структуры и среды", Москва, 1991 г.

18. Зыков А.В. Криков Ю.В. Махалов В.И. Палочкин Ю.П. Функциональная интеграция оборудования исследовательских информационно-связных комплексов. Тезисы докладов. Международный форум информатизации, Москва, 1992 г.

461238

---

Подп. в печать 26.05.93. Формат 60 X 8 1/16. Бумага типограф. Офсетная пе  
Усл. печ. л. 1,3. Усл. кр.-отт. 1,62. Уч.-изд. л.1,02. Тираж 120 экз,Заказ 9-72  
603600, Нижний Новгород, ГСП-462

---

AB 29.402

**AB 29.402**