

Н. П. БРУСЕНЦОВ, Е. А. ЖОГОЛЕВ, С. П. МАСЛОВ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МАЛОЙ ЦИФРОВОЙ МАШИНЫ «СЕТУНЬ-70»

Машина «Сетунь-70» разработана в проблемной лаборатории ЭВМ Вычислительного центра Московского университета в связи, с исследованиями по созданию эффективных структур малых цифровых машин. В ней в значительной степени учтены требования к малой ЭВМ, выявленные на опыте использования машин «Сетунь» в вузах, НИИ и конструкторских бюро, но она не является результатом модернизации «Сетуни», а представляет собой оригинальную машину, в которой воплощены новые структурные и технические решения. Вместе с тем в «Сетуни-70» сохранен и получил дальнейшее развитие основной принцип ее предшественницы [1], согласно которому аппаратно выполняемая машина рассматривается как основа для программной надстройки, обеспечивающая возможность эффективной реализации последней с требуемым уровнем сервиса и вычислительной мощности на ее выходе. В этом отношении «Сетунь» и «Сетунь-70» родственны мини-машинам (мини-компьютерам).

В настоящей статье рассмотрены основные структурные особенности машины «Сетунь-70», кратко описана ее функциональная схема.

Строгое описание алгоритма функционирования и системы команд этой машины имеется в [2].

1. ОСОБЕННОСТИ АЛГОРИТМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ МАШИНЫ

Своеобразие алгоритмической структуры машины «Сетунь-70» проявляется прежде всего в необычности формата команд. Понятие командного слова в его традиционном смысле, т. е. слова, включающего код операции и адрес операнда (или адреса операндов), в машине «Сетунь-70» не используется. Вместо него введено понятие командного или управляющего слога. Управляющий слог состоит из шести троичных разрядов и интерпретируется либо как код операции («слог-операция»), либо как адрес («слог-адрес», «слог-ссылка»). Программа для машины «Сетунь-70» имеет вид последовательности адресных и операционных слогов.

Отказ от обычного формата команды связан с использованием и качеством машинного языка *польской инверсной записи*, что в свою очередь обусловлено стремлением упростить трансляцию с языков программирования на язык машины.

Польская инверсная запись (сокращенно ПОЛИЗ) заключается в том, что знаки операции всегда помещаются после относящихся к ним операндов. При этом знаки операций оказываются записанными в той последовательности, в которой должны выполняться обозначенные ими операции в процессе вычислений. Таким образом, ПОЛИЗ обходится без скобок и без старшинства операций. Иллюстрацией этого способа записи могут служить следующие выражения.

Обычная запись	ПОЛИЗ
$a+b$	$ab+$
$(a+b)\times c$	$ab+c\times$
$a+b\times c$	$abc\times+$

Нетрудно представить себе, как должна работать машина, управляемая программой, записанной в ПОЛИЗ. Буквам-операндам в такой программе соответствуют слоги-адреса, а знакам операций – слоги-операции. По условиям ПОЛИЗ операнды всегда предшествуют своему знаку операции, поэтому процессор сначала получит достаточное количество слогов-адресов, которые он должен воспринимать как команды скопировать хранящиеся оперативной памяти по этим адресам значения операндов в его собственную память. Слоги операции должны восприниматься как команды выполнить обозначенные ими операции над помещенными в память процессора значениями операндов. При этом результаты операций целесообразно помещать в ту же память процессора, так как они обычно используются в качестве аргументов последующих операций.

В данной системе возможна полная автоматизация временного запоминания и выборки в нужный момент промежуточных результатов вычисления. Для этого память процессора должна работать *по принципу магазина*, т. е. выдавать объекты хранения в порядке, обратном тому, в котором эти объекты в нее поступили: поступивший последним выдается первым.

В отличие от обычной машинной памяти с обращением по адресам, в магазине, во-первых, отсутствует возможность доступа к хранимым значениям в произвольном порядке, и даже нет понятия «адрес», во-вторых, выборка значений из магазина – это не копирование, а изъятие: на место каждого взятого из магазина значения автоматически помещается следующее за ним значение.

Место, занимаемое значением, поступившим в магазин последним, называется *головой*, или *вершиной* магазина. Место, занятое предпоследним, называется *подвершиной*. Обычно заполнение магазина и выборка из него производятся только через вершину. Магазин, используемый в процессоре машины «Сетунь-70», допускает одновременную выборку значений парами – из вершины и подвершины. Это удобно при выполнении двухместных операций.

Условимся называть изменение состояния магазина, происходящее при запоминании значения, *сдвигом вперед*, а изменение при выдаче значения – *сдвигом назад*. Запоминание или выдача одного значения вызывает один сдвиг магазина соответственно вперед или назад.

В качестве примера, поясняющего работу процессора с собственной памятью магазинного типа, рассмотрим работу этого процессора при вычислении выражения $(a+b)\times(c+d)$, которое, будучи преобразованным в ПОЛИЗ, имеет вид $ab+cd+\times$.

Мы используем знак $:=$ в смысле «присвоить», «скопировать». Например, $x:=y$ означает, что в ячейку памяти с адресом x следует поместить копию значения, содержащегося в ячейке с адресом y , или что переменной x следует присвоить значение, которым обладает в данный момент переменная y . Далее предположим, что в процессе описываемых действий значения, хранящиеся по адресам a, b, c, d не изменяются, и обозначим их соответственно буква-

Таблица

Слоги программы	Выполняемые операции	Содержимое магазина при выполнении слога			
				S	T
a	$T:=a$				A
b	$T:=b$			A	B
$+$	$T:=T+S$				$(A+B)$
c	$T:=c$			$(A+B)$	C
d	$T:=d$		$(A+B)$	C	D
$+$	$T:=T+S$			$(A+B)$	$(C+D)$
\times	$T:=T \times S$				$((A+B) \times (C+D))$

ми A, B, C, D). Теперь работу нашего процессора по вычислению значения заданного выражения можно описать таблицей, в которой буквой T обозначена вершина магазина, а буквой S подвершина.

В данной таблице каждое выражение, включенное в скобки, обозначает значение, полученное в результате выполнения указанных в этом выражении операций над исходными значениями. При рассмотрении таблицы надо иметь в виду, что в процессе присваивания значения вершине магазина происходит один сдвиг содержимого магазина вперед (на таблице – влево), а выборка значения сопровождается сдвигом назад (вправо). Например, при выполнении операции $T:=T+S$ производится выборка двух значений и присваивание одного значения результату, т. е. происходит два сдвига назад и один сдвиг вперед, в результате чего суммарное смещение составляет один сдвиг назад (вправо).

Расчленение команды на слоги сказалось на системе адресации оперативного запоминающего устройства. Поскольку каждый слог программы является самостоятельной командой, то слог должен быть адресуемой ячейкой оперативной памяти. Но так как слог, естественно, короче обычных командных слов, то в случае сквозной адресации даже при сравнительно небольшой ёмкости памяти требуется адрес значительной длины. Вместе с тем целесообразно иметь слог-адрес небольшой длины, потому что этой же длиной обладает слог-операция, которому большая длина не нужна, ибо число видов операций, выполняемых машиной, невелико.

Выход из этого затруднения был найден на пути развития принципа страничной организации памяти, уже использованного в машине «Сетунь». Оперативная память «Сетуни» состоит из трех страниц (зон), причем старший разряд адреса указывает номер страницы, а четыре младших разряда используются для представления адреса слова или полуслова в пределах одной страницы. Эту систему удалось усовершенствовать так, что при удлинении адреса всего лишь на один троичный разряд была обеспечена возможность значительного увеличения числа страниц в памяти с одновременным увеличением разнообразия длин слова, допустимых при обращении: вместо слова и полуслова стали возможны слова длиной в один, два и три слога.

Сущность данного усовершенствования заключается в применении косвенной адресации страниц. Для того чтобы задать номер страницы в адресном слоге машины «Сетунь-70», как и в адресе оперативной памяти машины «Се-

тунь», используется один троичный разряд, однако значениям этого разряда сопоставлены не страницы памяти, а специальные регистры, называемые *регистрами приписки*. Каждый из этих трех регистров хранит помещенный в него программой номер страницы памяти. Содержащаяся в адресном слоге ссылка на один из регистров приписки вызывает ту страницу, номер которой в момент обращения находится в этом регистре. Страницы, номера которых находятся в регистрах приписки, являются открытыми для обращения к ним посредством слога-адреса. Наличие трех регистров приписки позволяет иметь одновременно открытыми любые три страницы памяти. Полное число страниц, составляющих память, при этом может быть сколь угодно большим, так как длина регистров приписки в принципе не ограничена.

В машине «Сетунь-70» регистры приписки сделаны трехразрядными, потому что емкость памяти по техническим соображениям выбрана равной 27 страниц: 9 страниц – оперативная память и 18 страниц – постоянная память с возможностью изменения содержимого вручную путем смены страниц.

Заметим, что данная система позволяет производить наращивание памяти без изменений формата слога-адреса. Необходимые изменения состоят лишь в соответствующем удлинении регистров приписки и модификации загружающей их команды.

Форматы слога-адреса и слога-операции, используемые в машине «Сетунь-70», показаны на рис. 1. Каждый из этих слогов представляет собой массив, содержащий шесть трехзначных элементов, для которых допустимы значения 0, 1, $\bar{1}$, и обозначаемый $k[1:6]$. Нумерация элементов осуществляется слева направо, начиная с номера 1, поэтому если массив интерпретируется как троичное число, то элемент с первым номером соответствует старшему разряду числа, а элемент с наибольшим номером – младшему разряду. Рассматриваемый как целое троичное число, 6-разрядный слог способен представить $3^6 = 729$ целочисленных значений от -364 до $+364$.

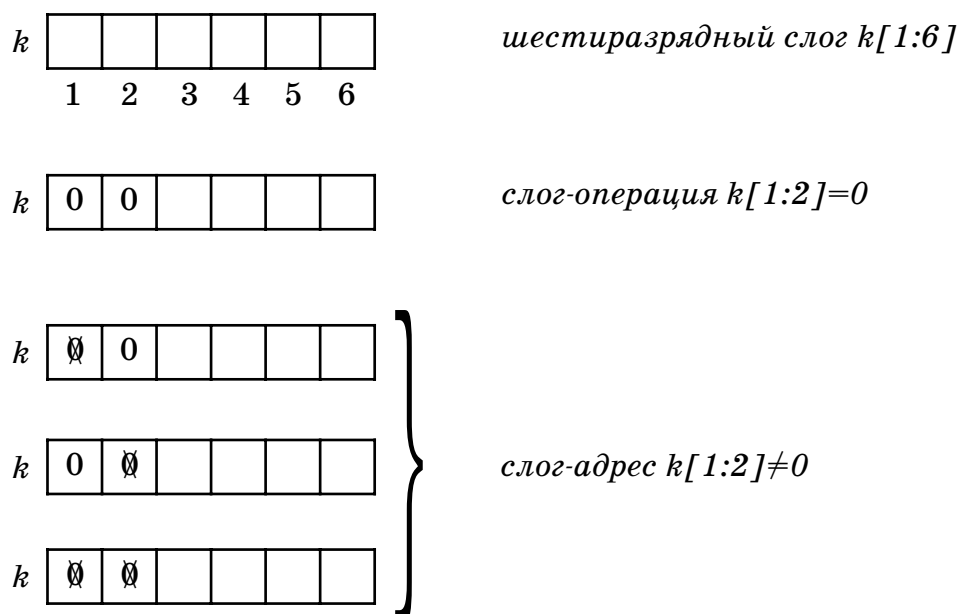


Рис. 1

Отличительным признаком слога-операции является то, что его первые два элемента имеют значение 0, т. е. $k[1:2] = 0$. Остальные элементы этого слога могут принимать значения 0, 1, $\bar{1}$ в любой комбинации. Значение третьего элемента указывает тип операции:

$$k[3] = \begin{cases} 0 & \text{— основная операция,} \\ 1 & \text{— служебная операция,} \\ \bar{1} & \text{— макрооперация.} \end{cases}$$

К основным относятся арифметические операции, операции передачи управления и ряд других операций, связанных с регистрами арифметического устройства.

К служебным относятся операции, связанные с вводом и выводом, с устройствами внешней памяти (магнитные барабаны, диски, ленты) и регистрами устройства управления.

К макрооперациям относятся операции, реализуемые подпрограммами. Содержание этих операций определяется программным обеспечением машины и может варьироваться в зависимости от специализации того или иного экземпляра машины. Аппаратным путем в машине выполнена только общая для всех макроопераций часть, осуществляющая передачу управления подпрограмме, сопоставленной данному коду макрооперации.

Три младших разряда $k [4:6]$ слога-операции составляют собственно код операции. Этот код, рассматриваемый как целое число в системе с цифрами 0, 1, $\bar{1}$, принимает 27 значений, от -13 до $+13$. Таким образом, в каждом типе имеется 27 операций.

Слог-адрес отличается от слога-операции тем, что у него $k [1:2] \neq 0$, т. е. по меньшей мере в одном из двух первых элементов содержится цифра 1 или $\bar{1}$, но не 0.

Первый элемент слога-адреса указывает длину соответствующего данному адресу значения один, два или три слога. Вторым элементом содержит номер регистра приписки. Остальные четыре элемента $k [3:6]$ составляют собственно адрес, указывающий ячейку-слог в пределах страницы.

Длина операнда, соответствующая данному слогу-адресу k , равна $k [1]+2$, т. е. в зависимости от значения $k [1]$ длина обращения к памяти будет следующей:

$$k [1] = \begin{cases} 0 & \text{— один слог,} \\ 1 & \text{— два слога,} \\ \bar{1} & \text{— три слога.} \end{cases}$$

При этом адрес $k [3:6]$ рассматривается как адрес ячейки, соответствующей головному (левому) слогу слова-операнда. Например, слог-адрес 010000 означает обращение к слову, которое состоит из двух слогов, так как $k [1]=0$, причем первому слогу соответствует ячейка с адресом 0000, а второму слову — следующая за ней в порядке возрастания адреса, т. е. ячейка с адресом 0001. Номер страницы, к которой произойдет это обращение, выбирается из регистра приписки номер 1, так как $k [2]=1$.

С данной системой адресации связаны два следующих ограничения.

Во-первых, поскольку недопустим слог-адрес, у которого $k [1:2]=0$ (такой слог машина воспринимает как слог-операцию), то при использовании регистра приписки номер 0 длина операнда не может быть равной двум слогам.

Во-вторых, ограничение имеет место при использовании последней и предпоследней ячеек страницы, так как обращение длиной более одного слога к последней ячейке и обращение длиной в три слога к предпоследней ячейке означают выход за пределы страницы. При возникновении этой ситуации машина действует по-разному в зависимости от режима работы. В специальном *режиме прерывания* при выходе за пределы страницы производится обращение к началу той же страницы, т. е. счетчик адресов работает по модулю 3^4 . В других двух режимах (пользователя и макроопераций) выход за пределы страницы вызывает прерывание выполняемой программы и переход к служебной подпрограмме, сопоставленной данной ситуации.

Выход за пределы страницы возможен также в процессе последовательной выборки слогов программы и в результате многократного сдвига вперед или назад находящейся на данной странице вершины магазина. Во всех этих случаях машина действует аналогичным образом, т. е. в режиме прерывания переходит к началу той же страницы, а в других режимах прерывает выполняемую программу.

2. РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОРА С МАГАЗИННОЙ ПАМЯТЬЮ

Процессор с памятью магазинного типа можно рассматривать как своеобразное, обобщение используемого в обычных одноадресных машинах процессора с аккумулятором – регистром, содержимое которого является результатом очередной операции и, как правило, служит одним из операндов следующей операции. Исходя из этого, можно было бы реализовать магазин, пристроив к аккумулятору ряд регистров с соответствующим аппаратом для сдвига содержимого их вперед и назад по этому ряду. Такое решение было бы, по-видимому, приемлемым при условии, что глубина магазина (т. е. число регистров в нем) требуется небольшая. Однако на практике такое условие не выполняется, а в ряде случаев может потребоваться магазин весьма большой глубины. Поэтому целесообразно построить магазин так, чтобы его продолжением служила основная память машины. При этом в случае необходимости он будет обладать большой глубиной, а в тех случаях, когда большая глубина не нужна, та же память может быть использована для других целей.

Одним из основных вопросов, решаемых в процессе разработки магазина с продолжением в основной памяти, является определение оптимального числа ячеек магазина, выполняемых в виде отдельных запоминающих регистров вне основной памяти. Применение таких регистров оправдывается тем, что они характеризуются большим по сравнению с основной памятью быстродействием и, работая в магазине в качестве своего рода буфера, позволяют увеличить скорость работы процессора. Анализ конкретных условий реализации магазина в машине «Сетунь-70» показал, что в этих условиях оптимальное число таких регистров равно нулю.

Дело в том, что в машине «Сетунь-70», как и в машине «Сетунь», основным элементом логических схем является магнитный усилитель с питанием импульсами тока, характеризующийся фиксированной величиной задержки

сигналов и наиболее удобный для построения устройств последовательного действия. Поэтому, а также ради экономии оборудования в машине применен процессор последовательного типа. При этом такт процессора, т. е. временной интервал между соседними цифровыми позициями в обрабатываемых им последовательностях, составляет точно половину цикла оперативной памяти. Такое соотношение при условии, что выборка из памяти производится 6-разрядными слогами, означает совершенный баланс скоростей работы памяти и процессора. Действительно, время обработки 6-разрядного слога процессором равно трем циклам памяти. т. е. за время, затрачиваемое процессором на получение результата длиной в один слог, память успевает выдать два слога-операнда и принять один слог-результат. Таким образом, при выполнении двухместных операций размещение в основной памяти всего магазина, включая его вершину и подвершину, не вызывает замедления процессора, а при выполнении одномерных операций – тем более. Вместе с тем достигается существенное упрощение процессора благодаря изъятию из него регистров и управляющих ими схем, и значительно сокращаются простой запоминающего устройства, которое во время выполнения операций процессором работает почти непрерывно.

На рис. 2 представлены временные диаграммы, показывающие, как работает память, используемая в качестве магазина при выполнении операции сложения. Для процессора с магазинной памятью команда «сложить» означает, что надо взять из магазина (с его вершины) первое слагаемое (при этом на место него с подвершины сдвинется второе слагаемое), взять второе слагаемое, сложить их и полученную сумму поместить в магазин, где она займет то место, на котором находилось второе слагаемое непосредственно перед его выборкой. Буквальная реализации этого предписания связана с необходимостью иметь в процессоре память для хранения первого слагае-

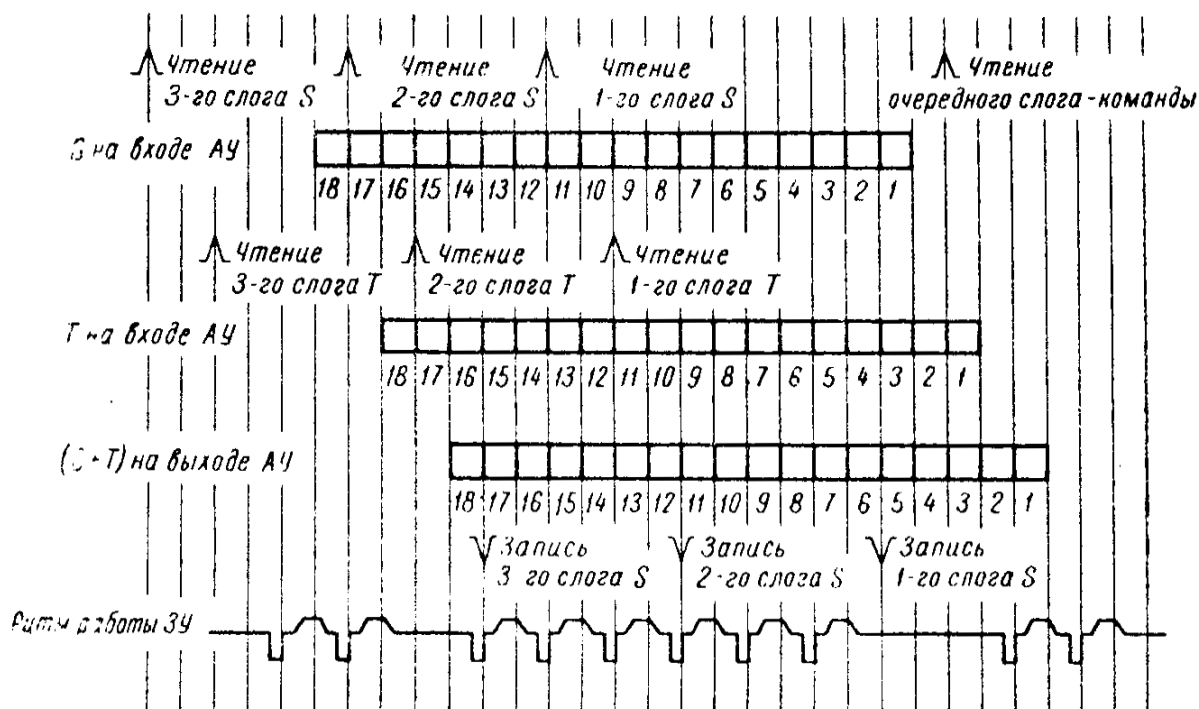


Рис. 2

мого, пока не будет выбрано второе слагаемое. Но как уже было сказано, магазин машины «Сетунь-70» допускает выборку как с вершины, так и с подвершины, поэтому имеется возможность выборки соответствующих друг другу слогов первого и второго слагаемых с интервалом в один цикл запоминающего устройства, т. е. в два такта рабочей частоты процессора. При этом требуется лишь задержка на два такта на входе процессора для того слагаемого, которое выбирается из магазина первым. Последующие слоги каждого слагаемого выбираются из памяти с интервалом в шесть тактов. Поэтому на выходах, имеющих в запоминающем устройстве двух шестиразрядных регистров для преобразования выдаваемой информации из параллельной формы в последовательную считанные слоги сочленяются в непрерывные слова-слагаемые.

Конкретная операция, соответствующая временным диаграммам на рис. 2, заключается в следующем. Первым из памяти считывается третий, т. е. содержащий младшие разряды числа, слог того слагаемого, которое находится на подвершине S магазина. Этот слог преобразуется в последовательную форму и поступает в арифметическое устройство на вход с добавочной задержкой в два такта. Считывание соответствующего слога другого слагаемого, находящегося на вершине T магазина, производится в следующем цикле памяти, т. е. через два такта, причем этот слог поступает на вход арифметического устройства без задержки. Затем, через шесть тактов после чтения третьего слога S , считывается второй слог S и за ним второй слог T , после чего производится запись поступивших с выхода АУ младших шести разрядов суммы $(S+T)$ на место третьего слога S . Далее считываются первые (старшие) слоги S и T , записывается средняя часть суммы, затем ее старшая часть и считывается очередной слог программы, указывающий следующую операцию.

Роль магазина может выполнять любая страница оперативной памяти машины. Для этого ее номер помещается в специальный регистр приписки, опрашиваемый при обращениях к магазину. Адрес вершины (и адрес подвершины) в пределах этой страницы определяется состоянием регистра-указателя окна магазина, т. е. ячейки памяти, в которой находится вершина. В магазине информация хранится не в виде слогов, а в виде слов, содержащих по три слога. Поэтому страница памяти, используемая в качестве магазина, представляется со стоящей из 27 слов, а регистр-указатель окна содержит три разряда, соответствующих разрядам слога-адреса с 3-го по 5-й. Этот регистр является реверсивным счетчиком, причем при подаче на его счетный вход цифры +1 происходит, естественно, увеличение на единицу находящегося в нем адреса вершины магазина, что соответствует сдвигу магазина вперед, а при подаче цифры -1 происходит уменьшение этого адреса, т. е. сдвиг магазина назад.

Так как на странице помещается 27 ячеек магазина, то в результате 27 сдвигов вперед произойдет выход за пределы страницы. Эта ситуация называется *переполнением* страницы магазина. Она вызывает (если машина не находится в режиме прерывания) прерывание и переход к служебной подпрограмме, которая открывает для продолжения магазина новую страницу памяти. В результате сдвига назад в том случае, когда магазином занято более одной страницы, происходит выход за пределы страницы в обратном направлении. Эта ситуация называется *исчерпанием* страницы магазина. Она также вызывает прерывание и переход к соответствующей служебной подпрограмме.

Магазин является основной, но не всей памятью процессора. Помимо магазина в процессоре имеется три отдельных регистра:

- 1) 6-разрядный регистр e , называемый малым сумматором;
- 2) 18-разрядный регистр множителя R ;
- 3) 18-разрядный регистр младших разрядов Y .

Регистр e предназначен для действий с порядками при выполнении операций с плавающей запятой, а также для операций над индексами. Регистр R выполняет функции регистра множителя в устройстве умножения, а, кроме того, может быть использован для целей сигнализации, так как его содержимое отображено на пульте управления при помощи световой индикации состояний каждого из 18 разрядов. На этот же индикатор в неавтоматическом режиме работы машины нажатием кнопки отображается состояние ячейки памяти, составляющей вершину магазина.

Регистр Y служит продолжением вправо ячейки, составляющей подвершину (а иногда вершину) магазина, в том смысле, что в нем запоминаются младшие разряды произведения 18-разрядных сомножителей. Наличие регистра Y позволяет, например, вычислять полиномы и суммы произведений с удвоенной длиной слова. Для этого предусмотрена специальная команда $SY := SY + T \times R$, где SY обозначает 36-разрядное слово, старшей половиной которого является подвершина магазина, а младшей половиной – регистр Y . Операции сдвига и нормализации также выполняются над словом двойной длины, младшей частью которого служит регистр Y .

3. СИСТЕМА ПРЕРЫВАНИЙ И УПРАВЛЕНИЕ ВНЕШНИМИ УСТРОЙСТВАМИ

Система прерываний в машине «Сетунь-70» выполняет две функции. Во-первых, она сигнализирует о возникновении в процессе выполнения программы особых ситуаций: исчерпание очередной страницы программы, переполнение или исчерпание очередной страницы магазина, выход поля слова-операнда за пределы страницы, появление запрещенного в данном режиме слова-операции (служебная операция в режиме пользователя или макрооперация в режиме макроопераций). Во-вторых, она осуществляет прерывание основной программы по сигналам внешних устройств.

Первая из этих функций обусловлена наличием естественных ограничений в структурных элементах машины (например, конечным размером страницы памяти) и стремлением ослабить эти ограничения по отношению к пользователю машины при помощи соответствующих обслуживающих программ. Прерывания, выполняющие эту функцию, называются *внутренними*.

Вторая функция обусловлена стремлением к повышению эффективности взаимодействия внутренних устройств машины с периферийными путем некоторого совмещения их работы во времени, а также желанием придать машине способность достаточно быстрой реакции на поступающие извне сигналы. Прерывания, выполняющие эту функцию, называются *внешними*.

В отношении реализации внутренние прерывания отличаются от внешних тем, что при возникновении ситуации, вызывающей внутреннее прерывание, это прерывание происходит немедленно, так как возникшая ситуа-

ция всегда такова, что дальнейшее выполнение основной программы возможно лишь путем снятия породившего данную ситуацию ограничения. Внешние причины прерывания не означают невозможности продолжения выполняемой программы, поэтому под действием внешних сигналов не происходит немедленного прерывания, а сигналы эти запоминаются как заявки на прерывание, которые затем удовлетворяются в подходящие моменты в порядке сопоставленной каждой причине срочности (приоритета). Все внутренние причины прерывания характеризуются, таким образом, наивысшей срочностью, причем одновременное появление более чем одной из них исключено.

Впрочем, одна из внутренних причин – исчерпание очередной страницы программы – не вызывает немедленного прерывания, и сигнал о ее появлении приходится запоминать, причем этой причине приписана наименьшая срочность. Исчерпание очередной страницы программы означает, что следующий командный слог должен быть считан с новой страницы. Получив сигнал о том, что очередная страница программы исчерпана, машина имеет возможность закончить выполнение операции, заданной последним слогом этой страницы, затем проверить наличие заявок на внешние прерывания и, если они имеются, то выполнить их в установленной очередности. После этого можно продолжить основную программу, т. е. открыть новую страницу и выбрать очередной слог.

Причинами внутренних и внешних прерываний в порядке уменьшения приписанной им срочности являются следующие

- 0 – исчерпание страницы магазина; переполнение страницы магазина; выход поля операнда за пределы страницы; слог, запрещенный в данном режиме.
- 1 – сигнал датчика времени (часы).
- 2 }
3 } – сигналы от устройств ввода-вывода.
4 }
- 5 }
6 } – сигналы от устройств памяти второго уровня.
7 }
- 8 – сигнал от кнопки пульта управления.
- 9 – исчерпание страницы программы.

При выполнении прерывания машина переходит в ...альный режим прерываний и передает управление сопоставленной причине прерывания служебной программе, которая задает необходимую в данной ситуации последовательность действий и заканчивается выходом из режима прерываний. Особенностью режима прерываний является то, что в этом режиме сигналы о ситуациях, порождающих в рабочем режиме внутренние прерывания, игнорируются, а внешние сигналы запоминаются, но не отрабатываются до тех пор, пока не произойдет выход из режима прерываний.

Внешние прерывания используются в качестве основы для построения эффективной системы передачи информации между центральными устройствами машины (процессор, оперативная память) и ее периферией (устройства ввода-вывода и память второго уровня, реализуемая на магнитных барабанах, дисках и лентах). Использование прерываний позволяет существенно сократить те простои нейтральных устройств машины, которые обычно име-

ют место при обмене информацией между этими устройствами и медленнодействующими устройствами ввода-вывода и памяти второго уровня. Например, если в машине, не располагающей системой прерываний, в частности в машине «Сетунь», во время ввода или вывода информации центральные устройства простаивают в режиме ожидания выдаваемых устройствами ввода-вывода редких сигналов, то при наличии системы прерываний работа центральных устройств может производиться параллельно с работой устройств ввода-вывода с кратковременными прерываниями для приема или выдачи порций информации по поступающим от устройств ввода-вывода сигналам.

Машина «Сетунь-70» вводит и выводит информацию в виде символов. Во внутренних устройствах машины символ представляется 6-разрядным троичным слогом, на перфоленте – 7-разрядной двоичной строкой, при печати – печатным 13 знаком. Соответствие между двоичным кодом строки перфоленты и троичным кодом слогов в машине следующее.

1) Положения строки перфоленты с первой по шестую соответствуют элементам слога с шестого по первый, т. е. первая позиция строки отображается в шестой элемент слога, вторая – в пятый и т. д.

2) Непробитым позициям строки перфоленты сопоставляются нулевые состояния соответствующих элементов слога.

3) Если строка перфоленты содержит пробивку на седьмой позиции, то пробивке на всякой другой позиции этой строки сопоставляется состояние «1» соответствующего данной позиции элемента слога.

4) Если строка перфоленты не содержит пробивки на седьмой позиции, то пробивке на всякой другой позиции этой строки сопоставляется состояние «-1» соответствующего данной позиции элемента слога.

5) При отображении слога в строку пробивки производятся на всех позициях, соответствующих элементам с ненулевыми состояниями, а на седьмой позиции пробивка производится лишь в том случае, когда слог не содержит ни одного элемента с состоянием «-1».

Следует заметить, что описанное соответствие не является однозначным: пустая строка перфоленты и строка, содержащая единственную пробивку на седьмой позиции, – обе отображаются в один и тот же нулевой слог, а с другой стороны, ряд слогов, содержащих совместно элементы с состояниями «1» и «-1» и обладающих одинаковыми нулевыми элементами, отображается в одну строку перфоленты. Однако эту неоднозначность нетрудно исключить, ограничив набор допустимых кодовых комбинаций.

Применение двоичного кода символов на входе и выходе машины «Сетунь-70» устраняет то затруднение, которое возникло у пользователей машины «Сетунь» в связи с использованием троичного кода данных на входе и выходе машины, а именно затруднение при стыковке машины с телетайпными и другими линиями связи, работающими в двоичном коде. Двоичный код ввода-вывода естественно упрощает также задачу стыковки машины «Сетунь-70» с двоичными вычислительными машинами и цифровыми приборами. В случае посимвольного обмена информацией с внешними объектами троичная природа внутренних устройств машины при этом вообще никак не проявляется и ее можно рассматривать лишь как особенность технической реализации этих устройств, обеспечивающую известное улучшение их характеристик.

Для связи центральных устройств с периферийными в машине «Сетунь-70» предусмотрено три канала посимвольного обмена с устройствами ввода-вывода и три канала постраничного обмена с устройствами памяти второго уровня. Каждый посимвольный канал рассчитан на подключение к нему до восьми устройств ввода-вывода, причем имеется возможность увеличения этого числа в три или девять раз путем несложной перестройки регистра управления каналом. Каждый постраничный канал рассчитан на подключение к нему запоминающего устройства емкостью до 6561 страницы, причем также имеется возможность увеличения этого числа путем незначительных изменений в схеме управления каналом.

Канал посимвольного обмена содержит управляющий регистр, информационный регистр и схему синхронизации внешних сигналов с внутренним тактом машины.

Управляющий регистр определяет номер включенного в работу устройства ввода-вывода и режим работы этого устройства: «готовность», «ввод», «вывод». Нулевой номер устройства соответствует положению, в котором не включено ни одно из соединенных с каналом устройств; номера, отличные от нуля, включают каждый соответствующее устройство ввода-вывода. Если при включении устройства в данном канале имелось другое включенное устройство, то последнее автоматически выключается. Присваивание значений управляющим регистрам каналов производится специальными командами процессора.

Информационный регистр выполняет роль буфера между процессором и включенным в работу устройством ввода-вывода, а также осуществляет преобразование двоичного кода в троичный при вводе и троичного кода в двоичный при выводе. Этот регистр состоит из семи двоичных разрядов, которые способны запоминать код входного символа и затем выдавать его по запросу процессора преобразованным в троичную форму, а также запоминать поступающий из процессора код выходного символа с предварительным переводом его в двоичную форму и последующей выдачей устройству вывода.

Схема синхронизации формирует из синхроимпульсов, выдаваемых устройствами ввода в качестве сигналов «символ введен», а устройствами вывода в качестве сигналов «символ выведен», синхронные с тактом внутренних устройств машины импульсы, которые служат для управления информационным регистром канала и для подачи заявки на прерывание по вводу-выводу. Под действием синхроимпульса вводного устройства происходит прием входного символа в информационный регистр и возбуждается прерывание, при обслуживании которого содержимое информационного регистра передается в память процессора. Под действием синхроимпульса выводного устройства, сигнализирующего о том, что вывод (печать или перфорация) символа, находящегося в информационном регистре, закончена, возбуждается прерывание, в процессе которого будет выдан очередной символ или будет изменено содержимое управляющего регистра так, чтобы произошло выключение данного устройства вывода.

Обмен информацией с устройствами памяти второго уровня организован следующим образом.

Процессор сообщает устройству, с которым необходимо произвести обмен, номер вызываемой страницы. Это устройство осуществляет поиск требу-

емой страницы и в момент готовности для обмена направляет процессору заявку на прерывание. Программа, обслуживающая данное прерывание, осуществляет обмен информацией между подготовленной страницей устройства и указываемой процессором страницей оперативной памяти, причем направление обмена задается процессором.

4. ОБЩАЯ ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА МАШИНЫ «СЕТУНЬ-70»

Функциональная схема машины «Сетунь-70» представлена на рис. 3. На этой схеме показаны взаимосвязи следующих входящих в состав машины устройств.

1. *Внутренняя память* (память первого уровня) m состоит из оперативного запоминающего устройства (ОЗУ) емкостью девять страниц и постоянного запоминающего устройства (ПЗУ) емкостью 18 страниц. Оба устройства имеют единую адресную систему с нумерацией страниц от -13 до $+13$ (в десятичном представлении), причем к ОЗУ относятся страницы с -4 до $+4$. Страницы, относящиеся к ПЗУ, отличаются лишь тем, что не могут быть использованы для записи информации. Адресуемой единицей внутренней памяти является ячейка емкостью в один слог (шесть троичных разрядов). Каждая страница содержит 81 ячейку с нумерацией от -40 до $+40$ (от 44 до $\bar{4}\bar{4}$ в девятеричном представлении). Выбор страницы при обращении к ОЗУ-ПЗУ определяется в зависимости от содержимого одного из регистров $h_1, h_2, h_3, hf, ph, ch$ устройства управления. Выбор слога в пределах страницы определяется в зависимости от содержимого одного из регистров k, pa, ca . Слог, считанный из ОЗУ-ПЗУ, может быть направлен в процессор или в канал ввода-вывода, или в устройство памяти второго уровня. Все эти устройства обладают также возможностью направлять информацию для записи в ОЗУ.

2. *Процессор* состоит из операционного устройства (ОУ) и устройства управления (УУ).

Операционное устройство осуществляет выполнение арифметических, логических, а также некоторых других операций, используя в качестве магазина страницы оперативной памяти. Номер страницы, работающий в качестве магазина, указывается регистром ph , а положение вершины магазина – регистром pa . Кроме того, в ОУ имеются отдельные регистры: 6-разрядный регистр e , 18-разрядный регистр множителя R и 18-разрядный регистр младших разрядов результата Y .

Устройство управления (УУ) содержит следующие регистры.

1) Регистр c определяет режим работы машины и адрес выполняемого слога программы:

$$\begin{array}{l}
 c1 - \begin{cases} 1 - \text{режим пользователя,} \\ 0 - \text{режим макроопераций,} \\ 1 - \text{режим прерываний,} \end{cases} \\
 ch \quad - \text{номер выполняемой страницы программы,} \\
 ca \quad - \text{адрес выполняемого слога,} \\
 c1=c[1], ch=c[2:4], ca=c[5:8].
 \end{array}$$

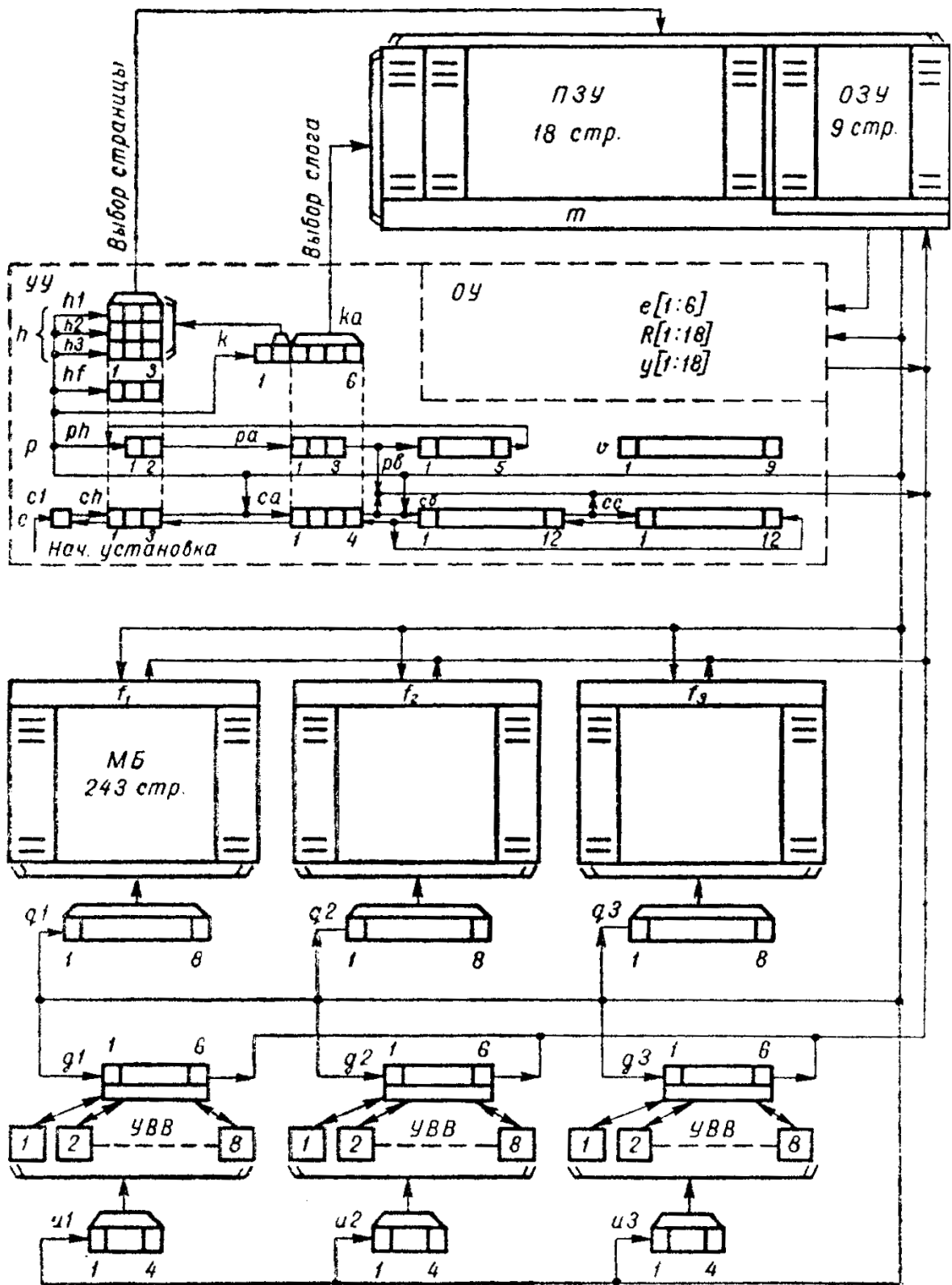


Рис. 3

Две последующие секции регистра c , а именно $cb = c [9:20]$ и $cc = c [21:32]$, образуют вместе с первой секцией $c [1:8]$ магазин глубиной в три ячейки. При переходе в режим прерываний или в режим макроопераций в этом магазине производится один сдвиг вперед, причем в первую секцию выводится информация, определяющая новый режим работы. При выходе из режима прерываний или макроопераций производится сдвиг назад, и в первой секции оказывается информация, восстанавливающая состояние, существовавшее до перехода в данный режим.

Имеется возможность передачи содержимого cb в магазин процессора. При этом в cb поступает содержимое cc , а в cc – содержимое cb .

Имеется также возможность посылки в cb содержимого вершины магазина процессора. При этом прежде содержимое cb передается в cc , а прежнее содержимое cc утрачивается.

В ca может быть послано содержимое вершины магазина процессора (безусловная передача управления, а также содержимое подвершины в случае, если содержимое вершины удовлетворяет заданному условию (условная передача управления))

2) Регистр k является регистром команды, т. е. выполняемого слога-адреса или слога-операции.

3) Регистр p указывает положение вершины магазина:

$ph = p [1:2]$ номер страницы,

$pa = p [3:5]$ номер ячейки-вершины.

Остальная часть этого регистра $pb = p [6:10]$ используется для запоминания содержимого первой его части при переходе в режим прерываний с тем, чтобы по выходе из прерываний это содержимое можно было восстановить.

Имеется возможность двухстороннего обмена между первой частью регистра p , содержащей ph и pa и вершиной магазина процессора.

4) Регистр h состоит из трех регистров приписки, содержимое которых определяет номер страницы памяти при обращении к операндам в зависимости от значения $k[2]$. Посылка номеров страниц в эти регистры осуществляется специальными командами процессора.

5) Регистр hf служит для задания номера страницы внутренней памяти, участвующей в обмене с памятью второго уровня. Посылка этого номера в регистр hf осуществляется командами обмена, выполняемыми в режиме прерываний по сигналам запоминающих устройств второго уровня.

6) Регистр c запоминает заявки на прерывания. Каждый из девяти разрядов этого регистра сопоставлен определенной причине прерывания и устанавливается в состояние «1» соответствующим сигналом. По окончании очередной операции при условии, что машина не находится в режиме прерывания, производится просмотр разрядов регистра v в порядке установленной очередности обслуживания заявок и при обнаружении разряда, содержащего «1», осуществляется прерывание с переходом на соответствующую обслуживающую программу, а данный разряд устанавливается в состояние «0».

В качестве типичных рассмотрим последовательности действий процессора при выполнении слога-адреса и при выполнении слога-операции, например, операции сложения. Выполнение – всякого командного слога начинается анализом состояния его первых двух элементов:

если $k [1:2] = 0$, то имеем слог-операцию,
если $k [1:2] \neq 0$, то имеем слог-адрес.

При выполнении слога-адреса значение $k [2]$ определяет регистр приписки, выбирающий страницу ОЗУ-ПЗУ, значение $k [3:6]$ определяет адрес первого (старшего) слога операнда, значение $k [1]$ - длину (т. е. число слогов) операнда. Регистры ph и pa указывают страницу и адрес ячейки, являющейся вершиной магазина. Работа по выполнению слога-адреса начинается тем, что производится один сдвиг магазина вперед (значение pa увеличивается на единицу), при этом делается проверка, нет ли переполнения страницы магазина. Далее каждый слог операнда, считанный из ячейки памяти, определяемой состоянием регистра k , записывается в ячейку памяти, определяемую состоянием регистров ph и pa , т. е. являющуюся вершиной магазина. Так как длина ячеек магазина фиксирована и равна трем слогам, то в случае, когда длина операнда, определенного регистром k , меньше, чем три слога, незанятой младшей части ячейки магазина приписывается нулевое значение.

При выполнении слога-операции значение $k [3:6]$ указывает тип и вид операции. Работа начинается проверкой допустимости заданной операции в том режиме, в котором находится машина. Затем производится анализ состояния pa на предмете исчерпания страницы магазина. Если результаты этих проверок благоприятны, то далее идет выполнение предписанной операции, в противном случае происходит соответствующее внутреннее прерывание. Поскольку операции выполняются в основном над содержимым магазина, то выборкой из памяти управляют регистры ph и pa , причем имеется возможность чтения и записи как по адресу pa (вершина магазина), так и по адресу $pa-1$ (подвершина магазина).

Выполнение каждого командного слога заканчивается подготовкой к выборке очередного слога программы. Адрес этого слога получается (если только выполняемый слог не вызывает передачи управления) увеличением содержимого регистра sa на единицу. При этом делается проверка, нет ли исчерпания страницы, хранящей выполняемую программу.

3. *Память второго уровня* включает три группы запоминающих устройств с постраничной адресацией, обозначенные на схеме символами $f1$, $f2$, $f3$. Длина номера страницы в каждой из этих групп принята равной восьми троичным разрядам (регистры $q1$, $q2$, $q3$), но может быть при необходимости легко увеличена до 12 или до 18 разрядов. В экспериментальном образце машины имеется только группа $f1$ в виде магнитного барабана емкостью 243 страницы.

Для работы с памятью второго уровня предусмотрены подготовительные и исполнительные команды. Подготовительная команда передает номер требующейся страницы в регистр q соответствующего запоминающего устройства. Это устройство осуществляет поиск заданной страницы и возбуждает прерывание, при обслуживании которого процессор выдает исполнительную команду для передачи информации между ОЗУ и данным устройством в требуемом направлении.

4. Каналы *ввода-вывода*, которых в составе машины, три, содержат каждый: управляющий регистр ui , $i = 1, 2, 3$, информационный регистр gi и схе-

му синхронизации (на рис. 3 схемы синхронизации не показаны). При максимальном использовании трех каналов к машине можно подключить до 24-х устройств ввода-вывода. Экспериментальный образец машины укомплектован в настоящее время следующими внешними устройствами:

- 1) электрическая пишущая машинка «Консул-254» (в качестве пультавой);
- 2) фотосчитывающее устройство с бумажной перфоленты;
- 3) ленточный перфоратор «ПЕРФОМ-30».

ЛИТЕРАТУРА

1. Брусенцов Н. П., Жоголев Е. А. и др. Малая автоматическая цифровая машина «Сетунь». – Вести. Моск. ун-та. Сер. 1, 1962, № 4, с. 3–12.
2. Брусенцов Н. П., Жоголев Е. А. Структура и алгоритм функционирования малой вычислительной машины. – В кн.: Вычислительная техника и вопросы кибернетики. Изд-во Ленингр. ун-та, 1971, вып. 8, с. 34–51.