

"МИНСК-2/22" - БАЗОВАЯ МАШИНА ДЛЯ ОДНОРОДНЫХ
УНИВЕРСАЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

В.В.Пржиялковский

В работе приводится краткое описание логической структуры машины "Минск-2/22", её параметров и системы команд. Отмечается, что машина "Минск-2/22" может быть использована как основа для построения универсальных вычислительных систем.

I. Блок-схема машины "Минск-2/22".

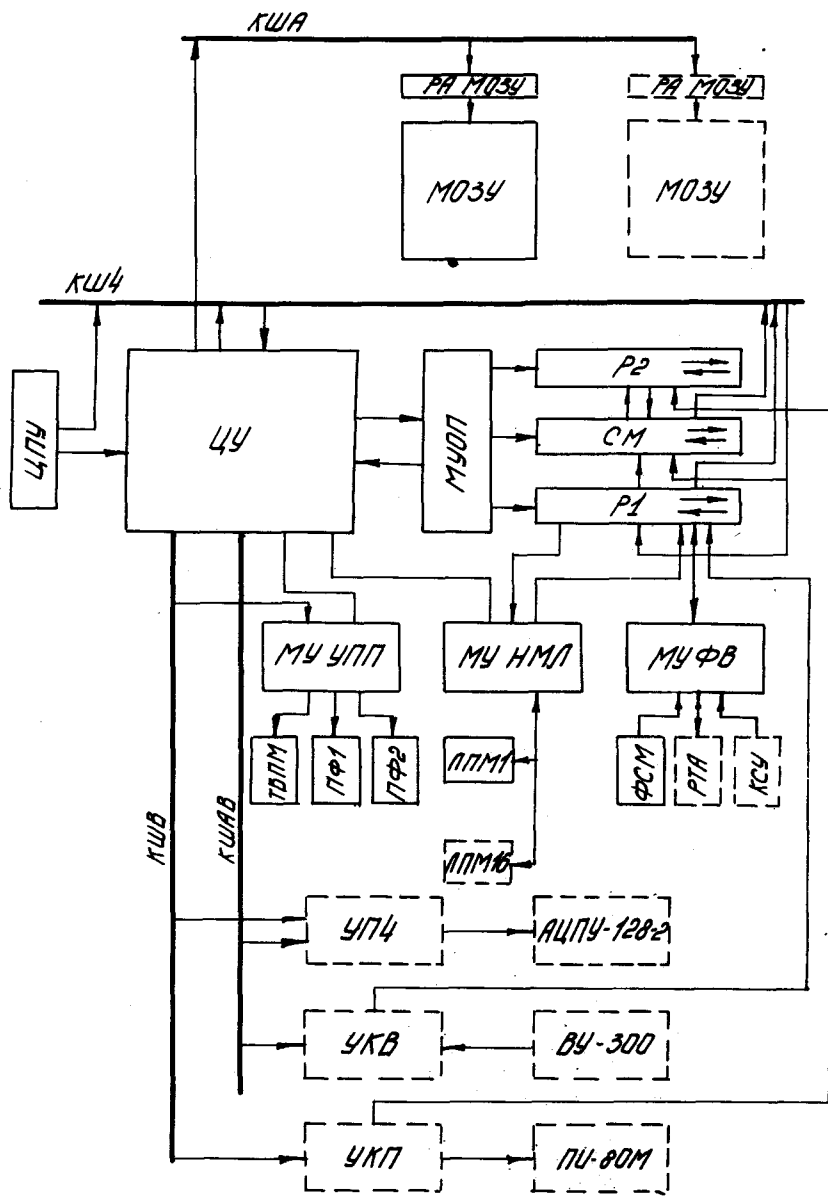
Под машиной "Минск-2/22" будем понимать машину "Минск-2" или "Минск-22". Укрупненная блок-схема этой машины приведена на рисунке.

Сплошными линиями показаны устройства, входящие в "Минск-2"; пунктирными - устройства, дополняющие "Минск-2" до "Минск-22".

Особенностью машины "Минск-2/22" является максимальное использование регистров арифметического устройства при всех передачах информации между устройствами. Такое построение машины сокращает оборудование, но несколько снижает её производительность.

Информация в машине передается по четырем типам кодовых шин: кодовым шинам числа (КШЧ), кодовым шинам адреса (КША), кодовым шинам вывода (КШВ) и кодовым шинам адреса ввода-вывода (КШАВ).

Данные поступают в машину с устройств: фотосчитывающего



Блок-схема машины "Минск-2/22".

механизма (ФСМ), механизма ввода перфокарт (ВУ-300), рулонного телеграфного аппарата (РТА), контрольно-считывающего устройства (КСУ). Через устройство местного управления фото-вводом (МУФВ) или устройство ввода перфокарт (УКВ) информация передается в младшие разряды регистра Р1 арифметического устройства (АУ). Машинное слово формируется путем сдвигов влево на 3, 4 или на 6 двоичных разрядов в зависимости от представления информации (восьмеричная, десятичная или алфавитно-цифровая). Затем машинное слово суммируется с содержимым сумматора (СМ) для образования контрольной суммы и передается в магнитное оперативное запоминающее устройство (МОЗУ).

При вводе цифровой информации с перфоленки заполнение ячеек МОЗУ может определяться адресами, указанными на перфоленке.

Алфавитная информация, поступающая с перфоленки или с перфокарт, записывается в МОЗУ в порядке возрастания адресов ячеек. Для определения (с помощью программы) количества ячеек МОЗУ, заполненных при вводе, из регистра адреса МОЗУ (РА МОЗУ) через кодовые шины числа в регистр Р1 автоматически выдается адрес последнего введенного слова, а из Р1 этот адрес с помощью специальной команды записывается в МОЗУ.

Стандартный цикл работы машины, т.е. время выполнения одной команды, делится на несколько тактов. Каждый такт состоит из шести шагов. Машина может выполнять операции автоматически, не прерываясь, или с остановом после каждого цикла, такта, шага.

Цикл работы машины начинается вызовом из МОЗУ в сумматор АУ очередной команды. Это всегда выполняется в первом такте каждого цикла.

Если индекс-адрес команды не равен нулю, то происходит обращение к МОЗУ по индекс-адресу и модификация адресов команды. В качестве индекс-ячеек используются первые 15 ячеек оперативной памяти. Для модификации используется первый такт машины, выполняющийся повторно.

Во втором такте производится обращение к МОЗУ по первому адресу команды и прием первого операнда в регистр Р1. Адрес МОЗУ поступает в РА МОЗУ по КWA4 через устройство управления (блок связи с МОЗУ) и кодовые шины адреса.

В третьем такте происходит обращение к МОЗУ по второму адресу команды. Второй операнд поступает в сумматор, замещая

хранящуюся там команду.

В четвертом такте выполняются операции над операндами. Так как для выполнения операций умножения, деления, сдвига и всех операций с плавающей запятой не хватает шести стандартных шагов, то управление передается устройству местного управления операциями (МУОП).

В пятом такте результат операции записывается по второму адресу команды, хранящемуся в РА МОЗУ в течение третьего и четвертого тактов.

Набор тактов определяется типом выполняемой команды. Второй, третий, четвертый или пятый такты могут отсутствовать. Первый такт присутствует во всех командах и определяет минимальную длительность команды (24 мксек). К одноктактным командам относятся команды включения и выключения режима округления, реверс перфоленты, предварительные команды обращения к НМЛ.

Максимальный цикл содержит шесть тактов (с учетом такта модификации) и составляет 144 мксек.

Номинальное быстродействие машины в режиме работы с фиксированной запятой $\frac{2}{\text{ном. ф. зап.}} = 5600$ опер/сек, а в режиме работы с плавающей запятой $\frac{2}{\text{ном. пл. зап.}} = 5050$ опер/сек.

Обмен информацией между МОЗУ и накопителем на магнитной ленте (НМЛ) производится через регистр Р1 арифметического устройства. Прием и выдача информации из регистра Р1 в НМЛ осуществляется гексадами. Перед записью слова в МОЗУ или перед передачей его в НМЛ оно суммируется с содержимым сумматора для образования контрольной суммы. Из сумматора информация выдается параллельным кодом на цифровую печать (механизм ТБПМ-16-1200), алфавитную печать (УПЧ) и устройство перфорации карт.

Устройство УПЧ, работающее с алфавитно-цифровым печатающим устройством АЦПУ-128-2, имеет буферный накопитель емкостью 128 алфавитно-цифровых символов. Остальные устройства вывода имеют буферные регистры для хранения слова или символа.

Устройство печати и перфорации (УПП), работающее с механизмом цифровой печати и двумя перфораторами перфоленты, устройство УПЧ, телеграфный аппарат РТА-50 и вводное стартстопное кодое считывающее устройство (КСУ) работают в режиме прерывания программы.

Магнитное оперативное запоминающее устройство имеет емкость 4096 слов. Цикл работы устройства - 24 мксек. Время выборки - 7,5 мксек. В машине "Минск-22" - два блока МОЗУ.

Накопитель на магнитной ленте состоит из устройства местного управления (МУ НМЛ) и шкафов лентопотяжных механизмов (ЛПМ). В "Минск-2" имеется четыре лентопотяжных механизма, в "Минск-22" - до 16 механизмов. Емкость каждого механизма - 100 тыс. слов. Скорость обмена информацией с вычислителем - 2500 слов в секунду. Возможны считывание или запись массивов произвольной длины, вплоть до одного слова. При записи на магнитной ленте информация дублируется и контролируется с помощью специальных контрольных разрядов. Плотность записи - 10 импульсов на миллиметр. Запись информации производится на заранее размеченной ленте, т.е. на ленте с записанными синхросигналами и номерами зон.

Устройство ввода перфоленты работает с фотосчитывающим механизмом (ФСМ), обеспечивающим ввод перфоленты со скоростью 800 строк в сек. Емкость механизма - 35 тыс. строк.

Механизм КСУ работает в стартстопном режиме и вводит перфоленту со скоростью 50 строк в сек.

Телеграфный аппарат типа РТА-50, используемый в качестве пишущей машинки, вводит и выводит информацию со скоростью до 430 знаков в мин.

Скорость цифровой печати механизма ТБПМ-16-1200 составляет 1200 строк в минуту. Длина строки - до 13 разрядов.

Перфорация перфоленты производится двумя перфораторами типа ПЛ-20, имеющими скорость перфорации 20 строк к сек.

В "Минск-2" входит также отдельный аппарат РТА-50 (с трансмиттером Т-50), необходимый для вывода алфавитно-цифровой информации.

Перфокарточные устройства машины "Минск-22" работают с картами Совзашучета. Устройство УКВ, использующее механизм ВУ-300, вводит карты со скоростью 300 карт в мин. Устройство перфорации карт использует перфоратор ПИ-8-М, работающий со скоростью 100 карт в мин.

Устройство печати, использующее механизм АЦПУ-128-2, печатает около 400 строк с мин. Длина строки - 128 разрядов. Количество символов в разряде - 78.

2. Система команд машины "Минск-2/22"

Вычислительная машина "Минск-2/22" оперирует с числами как с фиксированной, так и с плавающей запятой. Вычисления производятся в двоичной системе счисления. Разрядная сетка машины содержит 37 двоичных разрядов, пронумерованных от 0 до 36. При всех видах представления чисел нулевой разряд является знаковым. Мантисса двоичного числа с фиксированной запятой содержит 36 разрядов. Мантисса десятичного числа с фиксированной запятой содержит 9 десятичных разрядов.

При представлении чисел с плавающей запятой порядок (включая знак порядка) занимает 7 двоичных разрядов, а мантисса - 28 двоичных разрядов.

При размещении алфавитно-цифровой информации машинное слово вмещает 6 алфавитно-цифровых символов по 6 двоичных разрядов каждый. Знаковый разряд при работе с алфавитно-цифровой информацией может быть использован для разделения сообщений друг от друга.

Машина "Минск-2/22" работает с двухадресными командами, имеющими вид: $\pm \theta LA_1 A_2$, где $\pm \theta$ - 7-разрядный код операции; L - 6-разрядный символ, представляющий номер блока МОЗУ (по двоичному разряду на каждый адрес) и адрес ячейки (четыре двоичных разряда) A_1 и A_2 - соответственно первый и второй адреса, содержащие по 12 двоичных разрядов каждый.

Основные операции над числами (кодами) имеют четыре модификации:

- 1) $(A_1) * (A_2) \rightarrow A_2$,
- 2) $(A_1) * (A_2)$,
- 3) $(CM) * (A_1) \rightarrow A_2$,
- 4) $(CM) * (A_1)$,

где (A_i) , $i=1,2$, является содержимым ячейки с адресом A_i , * - определенная операция; $\rightarrow A_2$ - занесение результата операции в ячейку с адресом A_2 .

При всех модификациях операций результат сохраняется в сумматоре (СМ). В командах с одним адресом обращение к памяти происходит только по одному адресу, благодаря чему повышается быстродействие машины.

СИСТЕМА КОМАНД „МИНСК-22“

Модификация	ПОСЛЕДНИЙ ЦИФРОВОЙ РАЗРЯД				ОПЕРАЦИЯ	КОД	КОММЕНТАРИЙ	КОД	ОПИСАНИЕ	КОД	ОПИСАНИЕ	КОД	ОПИСАНИЕ
	1	2	3	4									
					-10	$(a_1) \rightarrow a_2$							
					-11	$-(a_1) \rightarrow a_2$							
					-12	$ (a_1) \rightarrow a_2$							
					-13	$(37 \text{ разр. кл. ав. насор}) \rightarrow a_2$							
					-14	$\text{Sign}(a_1, a_2) \rightarrow a_2$							
					-15	$(D1) \rightarrow a_2$							
					-16	$M(a_1) \cdot 2^{n(a_1)} \rightarrow a_2$							
					-17	Ввод с теедтайпа (а ₁ , 2 а ₂) V(5 разр. рег.) - а ₂ в регистр (5 разр.) двенадцать разрядов в 32 - 36 разр. см.							
					-20	Наравнение констант перед адресами, проверка окончания, переход к повторению или на выход.							
					-30	По a_1 ; (см) $\rightarrow a_2$							
					-31	По a_1 ; ком. возвр. $\rightarrow a_2$							
					-32	По знаку: $\pm \rightarrow a_2$							
					-33	По переполн.: нет - a_2 ; есть - a_1							
					-34	По нулю: $\neq 0 \rightarrow a_1$; $= 0 \rightarrow a_2$							
					-35	По ключу: вкл. - a_2 ; выкл. - a_1							
					-36	По a_1 ; $(a_2) \rightarrow \text{СМ}$ (связь блока, регистр, несовл. - a_2)							
					-37	По несовпад. - совпад. - a_1							
					-40	Подвод зоны в прием. напр.							
					-41	Подвод зоны в обратн. напр.							
					-43	Запись на ленту							
					-44	Контрольное чтение с ленты							
					-45	Чтение с ленты							
					-46	Подгот. в прием. напр.							
					-47	Подгот. в обратн. напр.							
					-50	Ввод цифровой с $\%A$							
					-51	Ввод цифр. контр. с $\%A$							
					-52	Ввод текстовый с $\%A$							
					-53	Ввод текстов. контр. с $\%A$							
					-54	Ввод $\%A$ по форматной карте							
					-54	Ввод копии карт							
					-63	Вывод на перфокарты							

ОБОЗНАЧЕНИЯ:

- * - произвольная операция
- (a₁) - содержимое ячейки a₁
- a₁ - запись результ. в ячейку a₂
- M - мантисса
- P - порядок
- КОП - КОД ОПЕРАЦИИ
- N - номер блока МОЗУ
- A_i - адрес i-ячейки
- D - номер шкафа НМА
- Q - номер лентопротяжки
- С - номер слова на МЛ
- П - кол-во повторений цикла
- Δ - конст. пересад. для a₁
- Δ₂ - конст. пересад. для a₂
- J - неиспользуемые разряды
- С - разряд, опреде. вид ввода
- М - кол-во вводимых карт
- К - адрес ячейки буфера АЦПМ
- Z - признак занес. или печати
- Σ - признак типа вых. операции

В таблице (стр. 27) приведен полный список команд машины "Минск-2/22".

Система команд состоит из нескольких основных групп. Наиболее многочисленную группу команд составляют арифметические и логические команды, занимающие коды с "04" по "77". Все команды этой группы имеют по четыре модификации, коды операций имеют положительный знак.

Команды подгруппы "10-17", в которой восьмеричные коды операции есть коды "10" - "17", являются командами сложения. Коды "10" - "13" принадлежат командам сложения с фиксированной запятой, коды "14" - "17" - командам сложения с плавающей запятой. Аналогично построены коды команд вычитания ("20"- "27"), умножения ("30" - "37"), деления ("40"- "47") и вычитания модулей ("50" - "57").

Команды подгруппы "60-67" являются командами сдвига. Коды "60"- "63" соответствуют команде "сдвиг логический", коды "64"- "67" - команде "сдвиг арифметический". Константа сдвига располагается в младших разрядах (разрядах порядка) ячейки памяти, указываемой первым адресом команды сдвига.

Команды подгруппы "70" - "77" являются поразрядными логическими командами. Коды "70" - "73" соответствуют командам "логическое умножение"; коды "74" - "77" - команде "логическое сложение". К поразрядным командам относятся также команды подгруппы "04" - "07", осуществляющие поразрядное сложение.

Команды с отрицательными кодами операций не имеют модификаций. В состав этих команд входят следующие группы: вспомогательные команды (останов, блокировка, округления и т.д.), посылочные команды; команды образования циклов; команды передачи управления; команды обращения к накопителю на магнитной ленте; команды ввода информации; команды вывода информации; команды специальной арифметики.

Команда "00" является командой останова.

При выполнении этой команды содержимое первого и второго адресов соответственно переносятся в регистр (PI) и сумматор (SM) арифметического устройства.

Команды "-04" и "-05" не имеют адресов и используются для включения и выключения режима округления.

Команда "-06" используется для разрешения и запрещения прерывания. В первом адресе команды указываются номера причин прерывания. Выполнение команды зависит от значения 13-го

разряда команды. Если он равен нулю, то разрешается прерывание по указанным в первом адресе причинам. При наличии единицы в 13-ом разряде прерывание запрещается.

В машине "Минск-2" имеются две причины прерывания - окончание работы цифрового печатающего механизма (или перфоратора № 1) и окончание работы перфоратора № 2. В машине "Минск-22" добавляются еще три причины: окончание работы телеграфного аппарата, алфавитно-цифрового печатающего устройства и появление команд - экстракода, расшифровываемой программно.

Команда "-07" адресов не имеет и производит реверс перфо-ленты на одну зону, ограниченную пробивками "границы зоны".

Команды "-10" - "-16" представляют собой команды посылки. Выполнение команд "-10" - "-12" ясно из пояснений, данных в таблице.

Команда "-13" производит запись по второму адресу кода, набранного на клавиатуре центрального пульта управления.

Команда "-14" является командой присвоения знака.

Команда "-15" используется для записи по второму адресу содержимого регистра PI арифметического устройства (обычно запись всегда производится из сумматора). Команда "-15" используется также для запоминания адреса последнего числа, поступившего из устройства ввода. В конце каждой команды ввода адрес последнего принятого в МОЗУ числа автоматически передается в регистр PI, из которого по команде "-15" записывается в МОЗУ.

Команда "-16" используется для присвоения порядка одного числа другому.

Команда "-20" используется для образования цикла. В каждом цикле она увеличивает адресную часть индекс-ячейки и сравнивает число выполненных циклов с заранее заданным. При выполнении заданного количества циклов происходит переход к следующей команде, в противном случае - переход к начальной команде цикла. В индекс-адресе команде указывается номер рабочей индекс-ячейки, в первом адресе - номер начальной команды цикла, во втором адресе - адрес ячейки, хранящей шаг модификации адресов и заданное число циклов.

Коды "-21" - "-27" являются экстракодами. Появление любого из этих кодов вызывает прерывание программы и переход к интерпретирующей программе.

Команды группы "-30" - "-36" реализуют различные варианты передач управления. Характер их выполнения ясен из пояснений в таблице. Команда "-36" используется для выхода из прерывающей программы. Машина "Минск-2/22" имеет одноступенчатое прерывание. Команда "-36" снимает запрет прерывания, включенный при входе в прерывающую программу.

Группа команд "-40" - "-47" используется для обслуживания накопителя на магнитной ленте. В эту группу входят команды подвода зоны в прямом и обратном направлениях ("-40" и "-41"), подготовительные команды ("-46" и "-47"), команды записи и чтения ("-43" - "-45"), а также команда контрольного чтения ("-44").

Команды "-50" - "-53" используются для управления устройством ввода перфокарты. Команды "-60" и "-61" осуществляют вывод информации на механизм цифровой печати и на перфораторы. Модификации команды различаются содержанием первого адреса. (см. таблицу)

Команды группы "-70" - "-76" являются командами специальной арифметики. Команда "-70" используется для получения младших 36 разрядов произведения при умножении чисел с удвоенным количеством разрядов. Команда используется также для умножения целых чисел.

Команда "-71" используется для получения точного остатка от деления.

С помощью команд "-72" и "-73" производится сложение и вычитание порядков в числах с плавающей запятой.

Команда "-74" применяется для контрольного суммирования содержимого оперативной памяти.

По команде "-75" нормализуется число, указанное первым адресом команды. Порядок нормализованного числа записывается по второму адресу команды, а мантисса - в ячейку, номер которой на единицу больше второго адреса команды.

С помощью команды "-76" производится подсчет единиц в числе, указанном первым адресом команды. Результат подсчета записывается по второму адресу. Команда применяется в некоторых матричных операциях, а также для контроля вычислений.

В машину "Минск-22" введены дополнительные команды, управляющие вводом перфокарт ("-08" и "-54"), выводом перфокарт и контролем перфорации ("-63" и "-37"), телеграфным аппаратом ("-17") и алфавитно-цифровым печатающим устройством ("-62").

В машине "Минск-2" насчитывается 101 команда, в машине "Минск-22" - 113 команд. Оставшиеся свободными 15 команд пред-

ставляют собой резерв, который можно использовать для построения различных систем.

3. Вычислительная машина "Минск-2/22" как основа для построения универсальных вычислительных систем

Основными требованиями, предъявляемыми к базовой машине однородных универсальных вычислительных систем [2,3], являются: 1) высокая надежность, 2) малая стоимость, 3) большая серийность (технологичность производства), 4) малые габариты, 5) наличие резерва в списке команд, необходимого для реализации команд системы, 6) агрегатность конструкции.

Машина "Минск-2" имеет довольно высокую надежность: среднее время безотказной работы машины "Минск-2" находится в пределах 60 часов [4]. Среднее время безотказной работы вычислителя машины (в вычислитель входят арифметическое устройство, устройство центрального управления, магнитное оперативное запоминающее устройство и пульт управления) примерно равно 160 часам.

Для машины "Минск-2" среднее время восстановления (среднее время устранения неисправностей) находится в пределах 2 часов.

Машина "Минск-2" является одной из самых дешевых малых отечественных машин. Стоимость часа полезной работы машины составляет 12-26 рублей. Доля амортизационных отчислений от стоимости самой машины приблизительно равна 20% стоимости часа полезной работы.

Машина "Минск-2/22" отвечает и третьему требованию, предъявляемому к базовой машине: в машине отсутствуют дефицитные и дорогостоящие компоненты и детали, требующие редкой и дорогой технологии. Вследствие этого её можно выпускать в больших количествах.

Недостатком машины "Минск-2/22" является её довольно большие габариты. Для размещения машины "Минск-2" требуется не менее 35-40 кв.м. площади, а для "Минск-22" в полном комплекте - 100-120 кв.м. Собственно вычислитель машины занимает около 20 кв.м. Относительно большие габариты машины могут представлять серьезные препятствия для создания систем, состоящих из многих десятков машин, а для систем, состоящих из 2-20 машин, такие затруднения не возникают.

В устройстве центрального управления машины "Минск-2/22" предусмотрена возможность расширения системы команд и увеличения количества причин прерывания. Для этой цели в дешифраторе операций и блоке прерывания оставлен резерв для дополнительного оборудования. Структурная схема устройства центрального управления составлена таким образом, что большинство операций выполняется различным набором стандартных тактов распределителя импульсов. Это позволяет довольно просто вводить в машину дополнительные команды.

Агрегатная конструкция машины "Минск-2/22", в которой каждое устройство, кроме арифметического и устройства центрального управления, автономно, позволяет создавать системы, состоящие из машин разной комплектности. Так, например, можно комплектовать систему из одной машины "Минск-2" и нескольких вычислителей этой машины. Такая конфигурация системы будет весьма экономичной (стоимость вычислителя составляет 70% стоимости машины "Минск-2"), если, например, при небольшом объеме входной и выходной информации мы задаёмся целью повысить скорость счета в системе.

Покажем экономическую целесообразность создания вычислительной системы, состоящей из нескольких машин "Минск-2/22".

Важнейшим экономическим показателем вычислительной машины является себестоимость часа её полезной работы. Она выражается формулой:

$$C = \frac{S}{T},$$

где S - эксплуатационные расходы за период времени, равный одному году;

T - время полезной работы машины за год в часах.

Эксплуатационные расходы можно представить в следующем виде:

$$S = S_M K_a + S_{ТП} S_P + S_3 + S_{пр},$$

где S_M - стоимость вычислительной машины и дополнительного оборудования к ней;

K_a - коэффициент амортизации;

$S_{ТП}$ - годовая заработная плата технического персонала с учетом накладных расходов;

S_P - годовая стоимость расходных материалов, необходимых для нормальной работы машины.

S_3 - стоимость потребляемой машиной электроэнергии в год;

$S_{пр}$ - прочие расходы (амортизация помещения и т.д.)

По данным Вычислительного центра Научно-исследовательского института экономики и экономико-математических методов планирования Госплана БССР стоимость часа работы машины "Минск-2" составляла 20 рублей. Из них доля затрат на техническое обслуживание и прочие расходы составили около 70%. При установке второй машины и организации на их основе вычислительной системы затраты на техническое обслуживание не возрастают. Считая, что $S_{ТП}$ и S_P остаются неизменными, а S_M , S_P и S_3 удваиваются, получаем, что стоимость часа полезной работы системы из двух машин увеличивается не более чем на 30% по сравнению со стоимостью часа полезной работы одной машины. Производительность же такой системы возрастает минимум вдвое.

Поскольку рост эксплуатационных расходов отстает от роста производительности системы, то создание вычислительных систем является экономически выгодным.

ВЫВОДЫ

Вычислительная машина "Минск-2/22", благодаря высокой надежности, малой стоимости, технологичности в производстве, наличию резерва в оборудовании и агрегатной конструкции, может быть использована для создания на её базе однородных универсальных вычислительных систем, открывающих путь к значительному росту производительности. Поскольку при этом соблюдается принцип технической и программной преемственности, создание таких систем является экономически выгодным.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.В. Пржиялковский. Конструкция и эксплуатационные характеристики вычислительной машины "Минск-2". М., Изд-во "Статистика", 1956.
2. Э.В. Евреинов, Ю.Г. Косарев. О вычислительных системах высокой производительности. Изв. АН СССР. Серия: Техническая кибернетика, 1963, № 4, стр. 3-25.
3. Э.В. Евреинов, Г.П. Лопато. Универсальная вычислительная система "Минск-222". (данный сборник, стр. 13-20).

4. В.В.Пржиялковский, А.Г.Пшоник, М.С.Токарь. Об эксплуатационной надежности электронных вычислительных машин " Минск-2 ". (Данный сборник, стр. 97-98).

Поступила в редакцию
22.IV.1966 г.