

## КОМПЛЕКС СРЕДСТВ ПРОИЗВОДСТВА ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ

Ю.И.Колосова

Работа завершает публикацию Комплекса Программных Анализирующих Средств (КОМПАС), предназначенных для создания параллельных программ в однородной вычислительной системе (ОВС) "Минск-222" [1]. Параллельные программы (р-программы), составленные в соответствии с методикой крупноблочного распараллеливания [2], ориентируются в основном на решение сложных задач. Для таких задач качество программирования имеет принципиальное значение, и его ухудшение может приводить не только к значительному снижению эффективности использования ОВС, а также и к сужению круга решаемых задач.

Для ОВС характерна возможность изменения числа машин и объемов памяти. Для того, чтобы избежать необходимости составлять новую программу при изменении параметров, р-программы должны обладать способностью настраиваться на эти параметры без существенной потери эффективности. Таким образом, к р-программам предъявляются требования быть высококачественными (то есть максимально использовать возможности, предоставляемые ОВС) и универсальными (то есть способными настраиваться на число процессоров и суммарный объем памяти как на параметр при сохранении достаточно высокой эффективности).

В процессе создания таких р-программ приходится решать сложную оптимизационную задачу. Причем оптимизация должна предусматривать возможность изменения в широких пределах параметров ОВС и задачи. Естественно, что современные трансляторы весьма далеки от того, чтобы взять на себя весь объем работ по созданию таких универсальных программ. Поэтому процессом их производства должен уп-

равлять сам составитель р-программы. Задача заключается в том, чтобы максимально облегчить ему этот процесс. Предлагаемый КОМПАС представляет собой попытку в какой-то мере удовлетворить этим требованиям. Особое внимание уделено средствам анализа качества программ и выявлению свойств алгоритма, опираясь на которые программист может оптимизировать р-программу.

Одновременно КОМПАС выполняет и традиционные функции. Обеспечивает получение рабочих программ посредством имеющихся в базовой машине трансляторов, расширенных до реализации взаимодействий р-ветвей. Помогает отлаживать р-программы, и в том числе находить ошибки, связанные с реализацией взаимодействий р-ветвей.

Методика крупноблочного распараллеливания в сочетании с программами КОМПАСа открывает практическую возможность для решения задачи по созданию универсальных эффективных р-программ.

Программы, объединенные в КОМПАС, реализованный для ОВС "Минск-222", делятся на три части (см. таблицу):

- I - автоматизация параллельного программирования;
- II - отладка и редактирование р-программ;
- III - анализ р-программ.

Первая программа [3] - это фактически совокупность одиннадцати программ, расширяющих транслятор до функции создания р-программ и включенных в библиотеку транслятора ТММ 2/22.

Вторая [4] - создает вариант для отладки р-программы имеющихся в базовой машине средствами в предположении, что число ветвей  $\ell = 1$ .

Третья [5] - моделирует на одной машине выполнение р-программы из двух ветвей. Всевозможные взаимодействия (допустимые и недопустимые) ветвей представлены посредством матрицы переходов, в которой содержатся обращения к соответствующим моделирующим или авостным подпрограммам. Матрицу перехода для случая  $\ell$  ветвей ( $\ell = 2, 3, \dots, 16$ ) может заменить блок регулирования [6], где допустимые взаимодействия описываются с помощью односторонней линейной R-грамматики [7]. Программа может также анализировать время простоев машин, время работы отдельных блоков и определять точность вычислений, что может быть полезным и для последовательных программ.

Четвертая, пятая, шестая программы подробно описаны в настоящей работе, согласно требованиям [9].

Т а б л и ц а

	№ № п/п	Наименование программы	Число (8-е) ячеек
I	1	Автоматизация программирования для систем на основе существующих трансляторов	222
	2	Подготовка р-программы к отладке на одной машине	61
II	3	Прокрутка параллельных программ	3260
		а) системный блок: анализ системных взаимодействий и моделирование их выполнения, счет времени простоев	1165
		б) блок последовательных программ, обеспечивающий все режимы работы обычной прокрутки	1416
		в) определение времени работы отдельных блоков исследуемой программы	352
	г) вычисление точности результата двуместных операций	103	
4	Блокировка 222	217	
5	Перестановка 222	а) модификация информации в зависимости от КОПа обычных команд и в зависимости от заданного адреса	457
			б) модификация системных команд
III	6	Анализ распределения памяти	1311
	7	Измерение времени простоев машин	71
	8	Измерение времени работы участков программы	120

Седьмая [8] - заставляет простаивающую машину считать время своего простоя.

Восьмая [8] - одну из объединенных ЭВМ использует как часы. С её помощью определяется время работы исследуемой программы или её участка, включая работу внешних устройств.

Общий объем КОМПАСа 6203 ячеек. Все программы выполнены как стандартные в соответствии с требованиями [9].

Опыт, накопленный при создании КОМПАСа для ОВС "Минск-222", может служить основой для построения аналогичных средств для других ОВС, в частности для ОВС МИНИМАКС [10].

### I. Стандартная программа "Анализ распределения памяти"

Предлагаемая стандартная программа (СП), используя отладочный модуль "прокрутить" [9], позволяет получать распределение числа операций и объема оперативной памяти (ОП) между блоками исследуемой программы для машины "Минск-22". Такая информация помогает судить об активности использования памяти разными блоками программы.

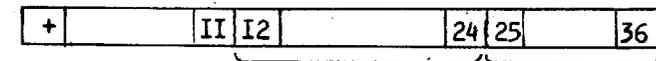
**Назначение.** СП вычисляет количество  $V$  ячеек оперативной памяти, использованных для хранения информации, и количество  $N$  команд, выполненных при работе каждого анализируемого блока программы.

**Оборудование.** Устройство печати результатов УПЧ-22.

**Исходные данные.**

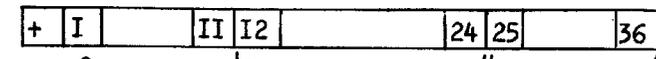
- 1) Исследуемая программа.
- 2) Таблица информации (ТИ), содержащая указание о том, какие блоки следует анализировать. ТИ состоит из ячеек следующей структуры.

Первая ячейка ТИ содержит информацию о начальном и конечном адресах исследуемой программы:



$A_H^n$  (разряды I2-24) - начальный адрес программы,  
 $A_K^n$  (разряды II, 25-36) - конечный адрес программы.

Остальные строки ТИ имеют вид:



$A_H$  (разряды I2-24) - начальный адрес блока,  
 $A_K$  (разряды II, 25-36) - конечный адрес блока,



**Оборудование.** Быстро печатающий выводной механизм (НМ), перфоратор №1, магнитная лента (первая зона) на лентопротяжном механизме №2 (ЛПМ-2).

**Исходные данные.** Перед началом работы СП "Перестановка 222" исправляемая программа разбивается на ряд элементарных массивов, каждый из которых не содержит внутри себя вставок или удаляемых участков. В таблице информации (ТИ) указываются начальный  $H_i$  и конечный  $K_i$  - адреса этих массивов. Строки ТИ располагаются в том порядке, в котором желательно получить исправленную программу, и имеют следующий вид:

ЭН	1 2 3	4 5 6	7 8 9	10 11 12	13 - 24	25 - 36
±	$\varepsilon_i$	0	$\sigma_i$	0	$\bar{H}_i$	$\bar{K}_i$

$\sigma_i$  - признак номеров блоков для начального  $H_i$  и конечного  $K_i$  адресов  $i$ -го массива:

- при  $\sigma_i = 0$   $H_i$  и  $K_i$  из первого блока МОЗУ и  $H_i = \bar{H}_i$ ,  $K_i = \bar{K}_i$ ,
- при  $\sigma_i = 2$  начало  $i$ -массива  $H_i$  находится в первом блоке, а конец  $K_i$  во втором, причем  $K_i = 10000_8 + \bar{K}_i$ ,
- при  $\sigma_i = 6$ ,  $K_i = 10000_8 + \bar{K}_i$ ,  $H_i = 10000_8 + \bar{H}_i$ .

$\varepsilon_i$  - признак, указывающий, какой адрес в командах выделенного участка необходимо перерабатывать:

- при  $\varepsilon_i = 0$  перерабатываются адреса  $i$ -го массива в зависимости от КОПа,
- при  $\varepsilon_i = 1$  перерабатывается только 1-ый адрес,
- при  $\varepsilon_i = 2$  - только второй адрес  $i$ -го массива,
- при  $\varepsilon_i = 3$  перерабатываются оба адреса.

Знак "минус" означает, что  $i$ -ый массив состоит из неперерабатываемых слов.

Таблица информации размещается в любом месте первого блока МОЗУ, не занятом исправляемой программой и СП. Необходимая для работы СП информация помещается вслед за командами обращения к СП.

**Результаты.** В начале работы СП на НМ выдаются новые начальные адреса массивов, указанных в ТИ. После исправления программы печатается её новая контрольная сумма ( $K\Sigma$ ).

Исправленная программа может быть выдана по клавишам:

0001 - на НМ с печатью адресов, кратных восьми.

0002 - на перфоратор №1 с начальным адресом, границами и свободными участками перфоленты.

0004 - на магнитную ленту на ЛПМ-2

0010 - может быть считана с МЛ в МОЗУ на свое новое место с адреса ( $A_H$ ). После чтения с МЛ вновь печатается на НМ полученная КΣ.

**Ограничения.** Длина каждого из элементарных массивов исправляемой программы не должна быть больше  $177_8$  слов. Если такой массив имеется, то при записи ТИ его необходимо разбить на более короткие массивы.

**Обращение.**

K-1) 00 00 0000 № СП

K) -31 00 0100 0017

K+1) 00 00 000ε  $A_H$

K+2) π -1 0000  $T_H$

K+3) -00 00 0000 0000

где  $A_H = \varepsilon \cdot 10000_8 + A$  - начальный адрес, с которого требуется разместить исправляемую программу,  $\varepsilon = 0$  или 1;  $T_H$  - начальный адрес ТИ; π - число строк ТИ в восьмеричной системе счисления.

**Память**

Длина СП -  $457_8$ .

Индексные ячейки - 0011 - 0014, 0017.

Используемые СП. Нет.

**Остановы.**

PI = 0000 000ε  $A_H$

SM =  $\varepsilon_i 0 \sigma_i 0 \bar{H}_i \bar{K}_i$

Остановы происходят в следующих случаях:

- 1) в одной из строк ТИ записан  $H_i > K_i$ ;
- 2) длина одного из массивов ( $K_i - H_i$ )  $> 177_8$  слов;
- 3) исправленная программа не помещается в МОЗУ.

**Замечания.**

1. Характерной особенностью СП "Перестановка 222" является то, что все слова исправляемой программы остаются на своих местах и лишь их адресная часть перерабатывается в соответствии с новым расположением программы в МОЗУ. Это позволяет "сдвигать" исправляемую программу в любое место МОЗУ.



$k+2) -0000\ 0000\ N$   
 $k+3) \dots \dots \dots$  } ТИ  
 $k+?) -0000\ 0000\ 0000$

$A_{II}$  - пусковой адрес контролируемой программы. Если  $A_{II}$  из II-го блока памяти, то в 7-ом разряде должна стоять "1". Обращение всегда должно быть из I-го блока памяти.

**Время.** Если строку ТИ I-го типа считать за одно обращение к СП, а строку ТИ II-го типа за  $\beta$  обращений, то за одну минуту к СП можно сделать 110-120 обращений. Время печати ( $T \cdot m$ ) зависит от числа выводимых кодов -  $m$ ;  $\tau$  - время печати одного кода.

**Память.** Длина СП -  $217_8$ .

**Используемые СП.** Нет.

**Остановы.** Нет.

**Замечания.**

1. СП выполняется в два этапа. Первый этап работает перед началом пуска контролируемой программы. Выполняются команды из ячеек 6000 - 6014, которые во все ячейки  $N_i$  контролируемой программы засылают команду перехода на СП и преобразуют в ТИ строки I-го типа. Используются ячейки I6 и I7, которые не восстанавливаются.

Для одновременного начала выполнения отлаживаемых программ во всех машинах желательно, чтобы в  $A_{II}$  находилась команда  $0M_{II}^0$ .

Второй этап работает вместе с отлаживаемой программой, использует индексную ячейку I7, которую восстанавливает.

2.  $A_2 \geq A_1$ .

3. При задании строк II-го типа  $0 < \beta \leq 77_8$ .

4. Команды  $N_i$  должны иметь вид  $-6500\ 0000\ 0000$  и стоять перед одной или двумя командами обмена.

5. Число машин, участвующих в контрольном счете, не менее 2.

6. При составлении ТИ необходимо учитывать, что каждой строке I-го типа, указывающей номер ячейки с синхронизацией перед командой передачи, в другой машине соответствует строка I-го типа, указывающая номер ячейки с синхронизацией перед командой приема. Строки II-го типа и их число в каждой машине могут быть своими.

7. Обмен моделируется после того, как все приказы ТИ во всех машинах выполнены.

### Инструкция к пользованию.

1. Ввести в каждую из  $\ell$  машин соответствующую параллельную ветвь параллельной программы, все необходимые данные и библиотечные СП.

2. Ввести в каждую из  $\ell$  машин "Блокировку 222", обращение к ней и соответствующую ТИ.

3. Одновременно начать выполнение команд обращения к "Блокировке 222" во всех  $\ell$  машинах.

Ниже приведена блок-схема и программа "Блокировка 222".

#### "Блокировка 222"

$B_0$	6000)	-10 I7 0000 6014	6014: -30 $\square_0$ <sup>*</sup> $A_{II}$ 0000
	I	-05 I7 0001 0000	см. : -00 $\square_0$ 0000 $N_i (i=1,2, \dots)$
	2	-34 00 6003 6014	Поиск строки I-го типа
	3	-32 00 6013 6004	
	4	76 00 6174 6010	6010 : -1020 6150 $N_i$
	5	71 00 6216 0017	см. : -0000 $k+I$ 0000
	6	-30 00 6007 0016	$i_{76}$ : -0000 $k+I$ 0000
	7	12 00 6167 6150	6150: -3100 $k+I+j$ 6166
	6010)	00 00 0000 0000	$N_i$ : -3100 $k+I+j$ 6166
	I	64 00 6154 0016	$i_{76}$ : -0000 0000 $k+I$
	2	-10 I6 6170 0001	$k+I+i$ : -3100 6015 6014
	3	-20 I7 6001 6200	На выбор очередной строки ТИ
	4	00 00 0000 0000	ПУ $A_{II}$
$B_I$	6015)	-65 00 0000 0000	Одновременный переход машин к СП
	6	71 00 6175 6166	см. : -00 $\square_0$ $N_i+I$ 0000
	7	12 00 6200 6150	6150: -00 $\square_0$ $N_i$ 0000
	6020)	-60 00 I400 6150	Печать строки ТИ I-го типа
	I	-10 00 0017 6150	6150 : < 0017 >
$B_2$	6022)	-10 00 6014 0017	0017 : -3000 $k+I+i+j$ 0000
	3	-10 I7 0000 6152	6152 : строка ТИ
	4	-32 00 6025 6144	} Есть ли за строкой I-го типа строка II типа? ДА - 6030
	5	-34 00 6030 6026	
	6	20 00 6200 6014	6014: -3000 $k+I+i+(j+1)$ 0000
	7	-30 00 6022 0000	

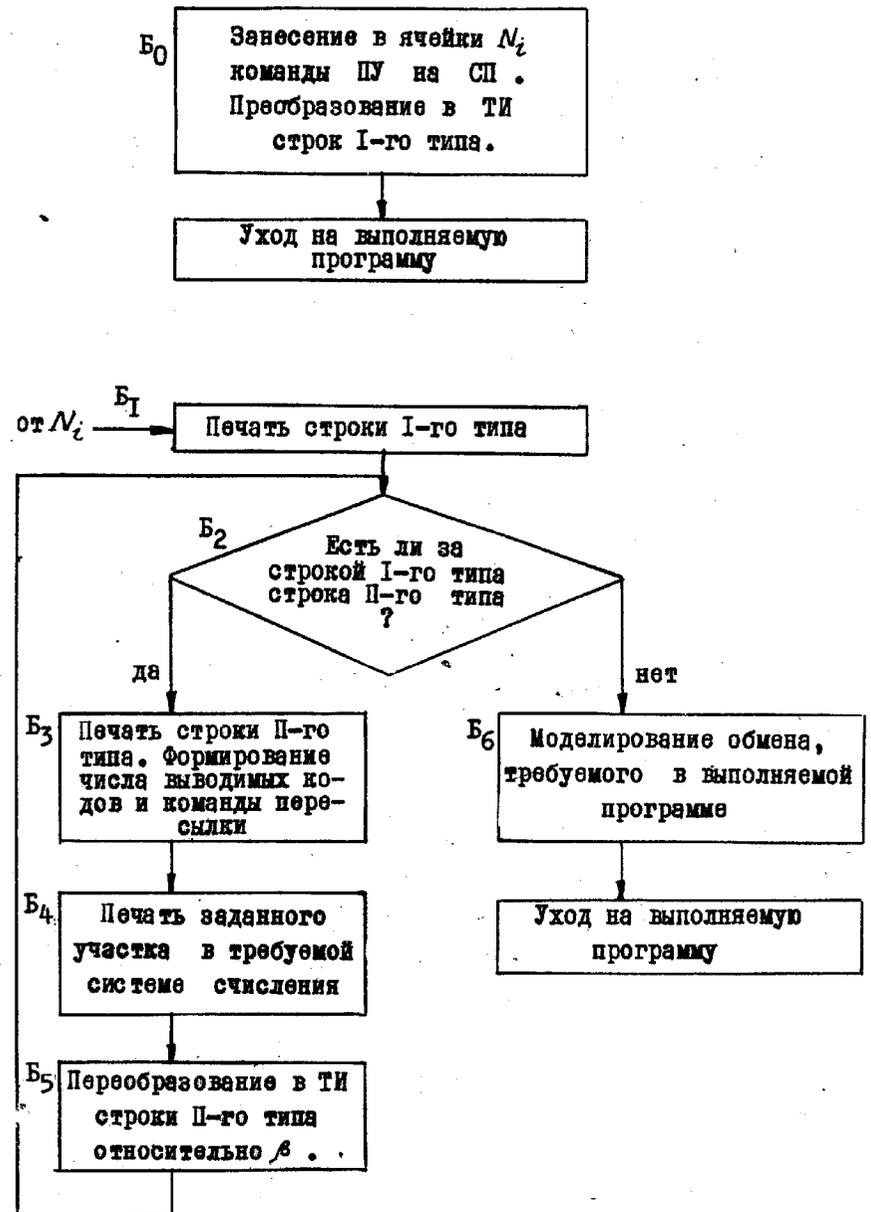
\* В квадрате, кроме указанного числа, может стоять ноль.

Б<sub>3</sub> 6030) 72 00 6176 0017  $i_{17}: 0000 0000 A_2$   
 I -60 00 1400 6152 Печать строки П-го типа  
 2 61 00 6000 6152 см. :  $A_1 A_2 0000$   
 3 62 00 6035 6164 6164: 0000 0000  $A_1$   
 4 73 00 6200 0021 см. : 0000 0000 0000  
 5 63 00 6034 0130 см. : 0000 0000 0000  
 6 76 00 6171 6077 6077: -1017 0000 6152  
 7 71 00 6216 6152 см. : 0000  $A_1 0000$   
 6040) 76 00 6077 6077 6077: -1017  $A_1 6152$   
 I 71 00 6177 6152 }  $A_2$  из П-го блока?  
 2 -34 00 6043 6044 } Да - дальше  
 3 74 00 6200 0017  $i_{17}: 0000 0001 A_2$   
 4 21 00 6164 0017 см. : 0000 0000  $A_2 - A_1$   
 5 62 00 6061 0017  $i_{17}: A_2 - A_1 0000 0000$   
 Б<sub>4</sub> 6046) 71 00 6201 6152 } Вывод 8-ый ?  
 7 -34 00 6052 6050 } Нет - дальше.  
 6050) 71 00 6202 6152 } Вывод 10-ый?  
 I -34 00 6065 6072 } Да - на 6065  
 2 -10 00 6077 6053 6053: -1017  $A_1 6152$   
 3 00 00 0000 0000 6152: очередная команда участка  
 4 -60 00 1400 6152 } 8-ый вывод на ПМ  
 5 -20 17 6053 6200 } заданного участка  
 Б<sub>5</sub> 6056) 65 00 6154 6014 см. : -0000 3000  $k+I+i+j$   
 7 72 00 6176 0017  $i_{17}: 0000 0000 k+I+i+j$   
 6060) 20 17 6203 0000  $k+I+i+j: \alpha \beta -I A_1 A_2$   
 I 73 00 6204 0030 } Участок выдавался  
 2 -34 00 6026 6063 }  $\beta$  раз? Да - дальше  
 3 -10 17 0000 0000  $k+I+i+j: 0$   
 4 -30 00 6026 0000  
 Б<sub>4</sub> 6065) -10 00 6172 6135 6135: -3400 6127 6136  
 6 -31 00 6077 6100 На выбор очередного слова  
 7 -31 00 6103 6143 На СП 2  $\rightarrow$  10 с ПЗ  
 6070) -60 00 0400 6010 Печать в 10-ой с ПЗ  
 I -30 00 6101 0000  
 2 -10 00 6173 6135 6135: -3400 6127 6143  
 3 -31 00 6077 6100 На выбор очередного слова  
 4 -31 00 6125 6143 На СП 2  $\rightarrow$  10 с ПЗ  
 5 -60 00 2400 6010 Печать в 10-ой с ПЗ.

6 -30 00 6101 0000  
 7 00 00 0000 0000 6152: очередной код  
 6100) 00 00 0000 0000 ЯОС  
 I -20 17 6077 6200 Все слова напечатаны?  
 2 -30 00 6056 0000 На уменьшение  $\beta$ .  
 3 -10 00 0000 6164 0  $\rightarrow$  6164  
 4 -30 00 6105 6010 0  $\rightarrow$  6010  
 5 61 00 6113 6152  
 6 -34 00 6107 6125  
 7 -32 00 6110 6113  
 6110) 10 00 6206 6164  
 I 45 00 6207 6152  
 2 -30 00 6105 6152  
 3 53 00 6210 0036  
 4 -32 00 6115 6120  
 5 34 00 6207 6152  
 6 20 00 6206 6164  
 7 -33 00 6105 6143  
 6120) 64 00 6152 6152  
 I 51 00 6211 6152  
 2 -32 00 6125 6123  
 3 40 00 6211 6152  
 4 20 00 6206 6164  
 5 -10 00 0000 6010  
 6 -10 00 6212 6165  
 7 30 00 6213 6152  
 6130) 71 00 6165 6152  
 I -30 00 6132 6053  
 2 76 00 6010 6010  
 3 64 00 6206 6165  
 4 50 00 6053 6152  
 5 00 00 0000 0000  
 6 51 00 6214 6164  
 7 -32 00 6140 6141  
 6140) -74 00 6215 6164  
 I 60 00 6210 6164  
 2 -16 00 6164 6010  
 3 00 00 0000 0000

Б <sub>6</sub>	6I44)	-10 00 6I50 00I7	Восстановление $i_{17}$
	5	7I 00 6I75 6I66	см. : 0040 $N_i+I$ 0000
	6	22 00 620I 6I50	6I50: -1040 $N_i+I$ 0000
	7	22 00 6200 6I52	6I52: -1040 $N_i+2$ 0000
	6I50)	00 00 0000 0000	см. : $\langle N_i+I \rangle$
	I	-30 00 6I52 6I64	6I64: $\langle N_i+I \rangle$
	2	00 00 0000 0000	см. : -1040 $N_i+2$ 0000
	3	-30 00 6I54 6I65	6I65: $\langle N_i+2 \rangle$
	4	63 00 6I55 0II4	см. : 0000 0000 00KП KП = 67?
	5	07 00 6205 0I37	
	6	-34 00 6I57 6I6I	нет - дальше
	7	-10 00 0000 6I65	6I65 : 0
	6I60)	-30 00 6I62 0000	
	I	20 00 6200 6I66	6I66 : -3000 $N_i+I+I$ 0000
	2	20 00 6200 6I66	6I66 : -3000 $N_i+I+2$ 0000
	3	-65 00 0000 0000	
	4	00 00 0000 0000	Обмен между машинами 0BC
	5	00 00 0000 0000	
	6	00 00 0000 0000	Уход на выполняемую программу
	6I67)	-3I 00 000I 6I66	
	6I70)	-3I 00 60I5 60I4	
	I	-10 I7 0000 6I52	
	2	-34 00 6I27 6I36	Константы
	3	-34 00 6I27 6I43	
	4	10 00 6I50 0000	
	5	-00 40 7777 0000	
	6	00 00 0000 7777	
	7	00 02 0000 0000	
	6200)	00 00 000I 0000	
	I	10 00 0000 0000	
	2	20 00 0000 0000	
	3	00 10 0000 0000	
	4	07 70 0000 0000	
	5	00 00 0000 0067	
	6	0I 00 0000 0I04	
	7	50 00 0000 0004	
	6210)	03 00 0000 0I36	

Блок-схема программы "Блокировка-222".



1	06 31 4631 4632	Константы
2	-74 00 0000 0000	СП 2 - IO
3	50 00 0000 0000	
4	12 00 0000 0000	
5	06 00 0000 0000	
6	-00 00 7777 0000	

### Л и т е р а т у р а

1. ЕВРЕЙНОВ Э.В., КОСАРЕВ Ю.Г. Однородные универсальные вычислительные системы высокой производительности. Новосибирск, "Наука", 1966.
2. КОСАРЕВ Ю.Г. Распараллеливание по циклам. -Вычислительные системы, Новосибирск, 1967, вып. 24, с. 3-19.
3. ГОЛОВЯШКИНА Л.В., КОЛОСОВА Ю.И., КОСАРЕВ Ю.Г., МИРЕНКОВ Н.Н. Автоматизация программирования для систем на основе существующих трансляторов. -Вычислительные системы, Новосибирск, 1968, вып. 30, с. 63-69.
4. ЖУКОВ Е.Н., БУСЛАЕВА Г.Н., ЛЕВЧЕНКО Г.И. Особенности работы на системе "Минск-222" - Вычислительные системы, Новосибирск, 1967, вып. 24, с. 77-83.
5. КОЛОСОВА Ю.И. Об отладочных программах для вычислительной системы "Минск-222" -Вычислительные системы, Новосибирск, 1972, вып. 51, с. 76-81.
6. КОЛОСОВА Ю.И., МИРЕНКОВ Н.Н. Исследование взаимодействий параллельных программ. -Настоящий сборник, с.115-124.
7. ВЕЛЫБИЦКИЙ И.В., ИЩЕНКО Е.Л. Метаязык, ориентированный на синтаксический анализ и контроль. Кибернетика, Киев, 1970, №2, с. 50-53.
8. КОЛОСОВА Ю.И., КАЗУШКИ В.А., КОСАРЕВ Ю.Г. Измерение временных характеристик программ системы. -Вычислительные системы, Новосибирск, 1968, вып. 30, с. 55-62.
9. ПАЛЫЦЕВ А.А. Стандартные программы для ЭЕМ "Минск-222", Минск, "Наука и техника", 1967.
10. КЕРЕЕЛЬ В.Г., КОЛОСОВА Ю.И., КОРНЕЕВ В.Д., КОНСТАНТИНОВ В.И., МИРЕНКОВ Н.Н. Программное обеспечение системы МИНИМАКС. -Комплекс технических средств и программного обеспечения М-6000 АСВТ для АСУ цехами и технологическими процессами, Москва, 1973, с. 35-37.
11. КОСАРЕВ Ю.Г., ПЫХТИН В.Я., ЖУКОВ Е.И., ГОЛОВЯШКИНА Л.В., КОЛОСОВА Ю.И. Особенности употребления команд системы "Минск-222". -Вычислительные системы, Новосибирск, 1967, вып. 24, с. 41-54.

Поступила в ред.-изд.отд.  
29 марта 1973 г.