

СЗУУ. 1ш

Ш-86

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



УЗУУ / 2-78

P11 - 11759

Э.Шрейбер, Г.Бергхолц

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭВМ,
РАБОТАЮЩЕЙ В РЕАЛЬНОМ МАСШТАБЕ ВРЕМЕНИ

1978

P11 - 11759

Э.Шрейбер, Г.Бергхолц*

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭВМ,
РАБОТАЮЩЕЙ В РЕАЛЬНОМ МАСШТАБЕ ВРЕМЕНИ

* Технический университет, Дрезден, ГДР

Шрейбер Э., Берггольц Г.

P11 - 11759

Анализ эффективности ЭВМ, работающей в реальном масштабе времени

Проведен анализ эффективности ЭВМ в комплексе с экспериментальной установкой "ФОТОН", работающей в реальном масштабе времени. Рассмотрена модель обслуживания вышеуказанного комплекса, представляющая собой определенную систему программ. Проведено исследование входных потоков и относительных коэффициентов важности блоков обслуживания, а также их представления в матрице передачи.

Указана возможность определения интенсивности потока для разных точек модели обслуживания по заданной входной интенсивности.

Выполнено аналитическое исследование модели посредством вероятностных соотношений. Вычислены относительная и абсолютная пропускная способность, вероятность отказа поступающих заявок и время обслуживания всех важных ресурсов модели.

Полученные результаты сведены в отдельную таблицу. Как следствие, отмечены слабые места в модели обслуживания и указана возможность их устранения.

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1978

Schreiber E., Bergholz G.

P11 - 11759

Analysis of Efficiency of Real Time Processor System

The analysis of efficiency of computer in the complex with the experimental installation "FOTON" operating in real-time has been performed. A service model for the system program is considered. Input data and relative coefficients of the importance of service blocks as well as their representation in the transmission matrix are investigated. Determination of effective speed of transmission for different points of service model by given input speeds of transmission is indicated. Analytic investigation of the model is performed by means of random relations. Relative and absolute capacity, probability of refusals of entering stack requests and service time for all the important resources of the model. The obtained results are given in a table. From the obtained results weak points are mentioned in the service model and a possibility of their removal is indicated.

The investigation has been performed at the Laboratory of Computing Techniques and Automation, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1978

Для исследования процессов радиационных распадов резонансов в ОИЯИ создана установка "ФОТОН" /1/, работающая на линии с ЭВМ HP-2116B. Накопление экспериментальной информации, ее статистическая обработка и контроль работы оборудования в реальном масштабе времени потребовали создания специальной системы программ /2/.

Во время работы ЭВМ загрузка внешних устройств совместно с системой программ очень велика. Для анализа эффективности и качества системы удобно построить для нее стохастическую модель, которая позволяет определить следующие величины:

- степень загрузки ресурсов,
- время занятия ресурсов,
- вероятность потери заявки.

При этом существуют две возможности:

1. Аналитическое исследование посредством вероятностных соотношений.
2. Стохастическое моделирование с помощью системы программ VOPS SIMDIS /3/ на ЭВМ EC-1040.

Общая структура системы

Исследование радиационных распадов резонансов требует параллельного решения ряда задач в реальном масштабе времени. Система объединяет 17 отдельных программ (AP) и 5 информационных каналов (IAK). Запуск системы программ происходит периодически с интервалом около двух часов и инициируется программой INIT. Реакцию на прерывание и анализ заявок обеспечивает программа CHIEF. Она позволяет упростить структуру программы-диспетчера. В качестве внешних источников заявок выступает ускоритель (сигналы SOS, EOS), физическая аппаратура (события) и оператор (сигналы RUN, STOP, ENDRUN, ERASE).

Математическую модель можно описать посредством графической схемы алгоритмов (рис.1). При этом элементы обслуживания (AP, IAK)

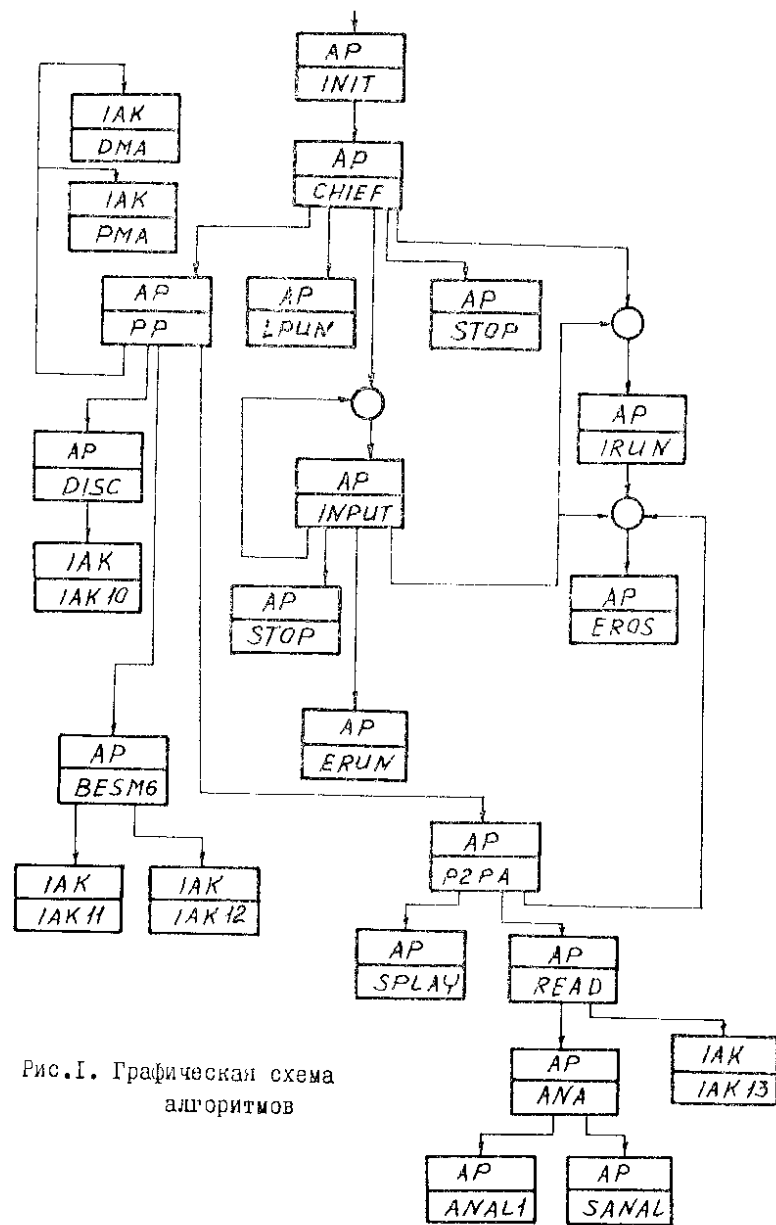


Рис.1. Графическая схема алгоритмов

задаются в виде узловых точек, а потокам заявок соответствуют линии.

Система программы осуществляет прием данных с установки посредством буферов S1 и S2 для событий, которые попадают во время цикла ускорителя.

Количество событий, поступающих между периодическими сигналами SOS и EOS, является случайным числом. Длина каждого события — ~800 слов. Программа PP постоянно готова принять данные с установки.

Прием данных осуществляется двумя каналами DMA и PMA. При заполнении буфера емкостью 1600 слов управление передается программе DISC, которая записывает информацию по каналу IAK 10 на диск. На диске резервируется два буфера, емкость каждого из них достаточна для хранения информации, полученной в течение одного цикла. Когда заканчивается прием событий одного цикла, происходит передача одного кванта измерительных значений на оперативном буфере по каналу IAK 11 с целью обработки данных с помощью программ SPLAY, ANAL1, SANAL, и вывод результатов на дисплей, на графическое устройство, на АЦПУ. Для последующего анализа информации предусмотрена запись ее на магнитную ленту.

При открытой системе в источнике заявок может быть бесконечное их число. При этом поступление заявок во входном потоке распределено во времени по случайному закону.

Естественно предположить, что распределение событий во входном потоке подчиняется закону Пуассона. Это означает, что число Z событий в определенном интервале времени t дается распределением Пуассона. С другой стороны, интервалы времени между двумя последовательными событиями удовлетворяют экспоненциальному закону.

$$F(t) = P(T_a \leq t) = 1 - e^{-\lambda t}, \quad (1)$$

причем λ есть интенсивность (среднее число событий в одном интервале времени). Вместо функции $F(t)$ часто используют ее производную $f(t) = F'(t)$, которая не что иное, как плотность распределения. Наиболее простым пуассоновским потоком является поток с постоянной (не зависящей от времени) интенсивностью:

$$\lambda = \text{const}. \quad (2)$$

В нашей модели λ определяется количеством событий в одном цикле ускорителя. Для получения информации о величине λ можно использовать информацию, полученную при реальной работе установки.

Описание стохастической сети в графической схеме заявок

Модель обслуживания рассматриваемой вычислительной машины следует трактовать как стохастическую модель, поскольку она учитывает как сетевой аспект, так и аспект обслуживания (допускается некоторое время ожидания и вероятность отказа). Сеть алгоритмов показывает параллельное взаимодействие компонентов исследуемой системы. Предположим, что наша система программ работает в мультипрограммном режиме и что различные заявки для программ обрабатываются различными операционными блоками. В этом случае модель можно представить в виде графической схемы заявок (рис.2), содержащей последовательную и последовательно - параллельную обработку.

В таблице I представлены символы для разных типов операционных блоков.

Передача интенсивности поступления заявок в модели обслуживания

Пусть T_j и λ_j - время обслуживания и интенсивность поступления заявок входного потока j -ого элемента обслуживания. Величину T_j можно оценить из практического анализа, в то время как λ_j определяется по взаимодействию элементов обслуживания. В качестве независимого параметра выбирается некоторое λ_i (входная интенсивность модели). В этом случае остальные λ_j вычисляются по формуле:

$$\lambda_j = \alpha_{ij} \cdot \lambda_i \quad (j = 1, 2, \dots, n), \quad (5)$$

где α_{ij} - относительный коэффициент важности. Каждый поток в различных местах системы характеризуется разными интенсивностями λ_j . Для дальнейшего анализа пронумеруем характерные точки (рис.2).

Значения интенсивностей λ_j для некоторых специальных блоков

Для простых блоков имеем $\alpha_{ij} = 1$.

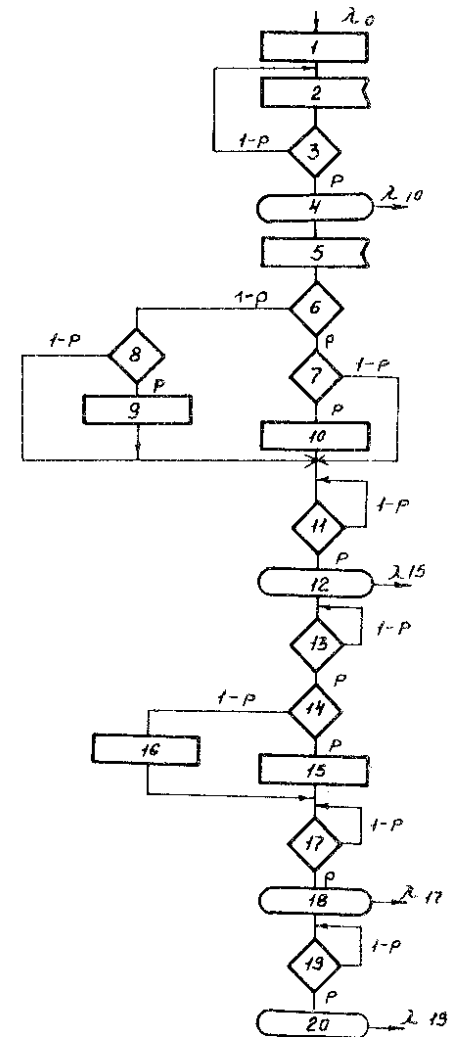
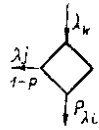


Рис.2. Графическая схема заявок

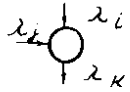
Для разветвления:



$$\lambda_i = p \cdot \lambda_k \quad (4)$$

$$\lambda_j = (1-p) \cdot \lambda_k \quad (5)$$

Для объединения:



$$\lambda_k = \lambda_i + \lambda_j \quad (6)$$

Для разделения:

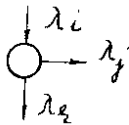


Таблица I.

Символы для разных типов операционных блоков	
Символ	Семантическое название
	ИНИЦИИРОВАНИЕ
	УДАЛЕНИЕ
	РАЗДЕЛЕНИЕ
	ОЖИДАНИЕ
	ОБСЛУЖИВАНИЕ
	РАЗВЕТВЛЕНИЕ
	ЗАНЯТИЕ
	ОСВОБОЖДЕНИЕ
	ЗАДЕРЖКА
	ПРОДОЛЖЕНИЕ

Выходные интенсивности блоков равны между собой:

$$\lambda_i = \lambda_j = \lambda_k \quad (7)$$

Для анализа коэффициентов относительной важности необходимо разделить графическую схему заявок на множество линейных отрезков, соответствующих определенным значениям состояния. Прохождение одной заявки представляется как однородная марковская цепь.

Для интенсивности потока заявок линейного отрезка имеем

$$\lambda_{Aj} = \sum_{i=1}^u \alpha_{ij} \cdot \lambda_{Ai} \quad (j=1, 2, \dots, u) \quad (8)$$

Интенсивности заявок линейных отрезков представлены на рис.3.

Рассмотрим вопрос об определении интенсивности линейных отрезков через входную интенсивность λ_0 (рис.4).

Коэффициенты α_{ij} соответствуют вероятностям разветвления блоков графической схемы.

Совокупность операционных блоков, линейно связанных между собой, будем называть линейным отрезком; каждый линейный отрезок обладает собственной интенсивностью потока заявок.

$$\lambda_{10} = \lambda_{A3}, \quad \lambda_{15} = \lambda_{A12}, \quad \lambda_{17} = \lambda_{A18}, \quad \lambda_{19} = \lambda_{A20} \quad (II)$$

Чтобы определить интенсивность потока λ_j в точке наблюдения j по заданной интенсивности на входе λ_0 , необходимо найти относительные коэффициенты важности операционных блоков.

Можно показать, что:

$$\begin{aligned} \lambda_{10} &= \alpha_{010} \cdot \lambda_0, & \lambda_{15} &= \alpha_{015} \cdot \lambda_0 \\ \lambda_{17} &= \alpha_{017} \cdot \lambda_0, & \lambda_{19} &= \alpha_{019} \cdot \lambda_0 \end{aligned} \quad (I2)$$

Отсюда вытекает соотношение:

$$\alpha_{010} = \frac{1}{p}, \quad \alpha_{015} = p(1-p), \quad \alpha_{017} = \alpha_{019} = 1-p \quad (I3)$$

В табл.2 приведена матрица передачи.

$$\begin{aligned}
\lambda_{A1} &= \lambda_{A0} \\
\lambda_{A2} &= \lambda_{A1} + (1-p) \cdot \lambda_{A3} \\
\lambda_{A3} &= \lambda_{A2} \\
\lambda_{A4} &= \lambda_{A5} = \lambda_{A6} = p \cdot \lambda_{A3} \\
\lambda_{A7} &= p \cdot \lambda_{A6} \\
\lambda_{A8} &= (1-p) \cdot \lambda_{A6} \\
\lambda_{A9} &= p \cdot \lambda_{A8} \\
\lambda_{A10} &= p \cdot \lambda_{A7} \\
\lambda_{A11} &= \frac{(1-p) \cdot \lambda_{A8} + \lambda_{A9} + (1-p) \cdot \lambda_{A7}}{p} \\
\lambda_{A12} &= (1-p) \cdot \lambda_{A8} + \lambda_{A9} + (1-p) \cdot \lambda_{A7} \\
\lambda_{A13} &= \frac{\lambda_{A12}}{p} \\
\lambda_{A14} &= \lambda_{A12} \\
\lambda_{A15} &= p \cdot \lambda_{A14} \\
\lambda_{A16} &= (1-p) \cdot \lambda_{A14} \\
\lambda_{A17} &= \frac{\lambda_{A16} + \lambda_{A15}}{p} \\
\lambda_{A18} &= \lambda_{A17} \\
\lambda_{A19} &= \frac{\lambda_{A18}}{p} \\
\lambda_{A20} &= \lambda_{A18}
\end{aligned}$$

Рис.3. Интенсивности заявок линейных отрезков

$$\begin{aligned}
\lambda_{A1} &= \lambda_0 \\
\lambda_{A2} &= \lambda_{A3} = \frac{\lambda_0}{p} \\
\lambda_{A4} &= \lambda_{A5} = \lambda_{A6} = \lambda_0 \\
\lambda_{A7} &= p \cdot \lambda_0 \\
\lambda_{A8} &= (1-p) \cdot \lambda_0 \\
\lambda_{A9} &= p[(1-p) \cdot \lambda_0] \\
\lambda_{A10} &= p(p \cdot \lambda_0) \\
\lambda_{A11} &= \frac{(1-p) \cdot \lambda_0}{p} \\
\lambda_{A12} &= (1-p) \cdot \lambda_0 \\
\lambda_{A13} &= \frac{(1-p) \cdot \lambda_0}{p} \\
\lambda_{A14} &= (1-p) \cdot \lambda_0 \\
\lambda_{A15} &= p(1-p) \lambda_0 \\
\lambda_{A16} &= (1-p)(1-p) \cdot \lambda_0 \\
\lambda_{A17} &= (1-p) \cdot \lambda_0 \\
\lambda_{A18} &= p(1-p) \cdot \lambda_0 \\
\lambda_{A19} &= (1-p) \cdot \lambda_0 \\
\lambda_{A20} &= p(1-p) \cdot \lambda_0
\end{aligned}$$

Рис.4. Определение интенсивности линейных отрезков через входную интенсивность

Передача интенсивности в сети алгоритмов

Интенсивность заявок между алгоритмами можно вычислить по формуле:

$$\lambda_j = \sum_{i=1}^S \alpha_{ij} \cdot \lambda_i \quad (j = 1, 2, \dots, S), \quad (I4)$$

где S представляет собой количество алгоритмов, а коэффициенты α_{ij} составляют матрицу передачи α^*

$$\alpha^* = \begin{pmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \dots & \alpha_{1s} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \dots & \alpha_{2s} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \alpha_{s1} & \alpha_{s2} & \dots & \alpha_{ss} \end{pmatrix} \quad (I5)$$

Таблица 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1		1																			
2			1																		
3		α_{32}		α_{34}																	
4					1																
5						1															
6							α_{67}	α_{68}													
7										α_{710}	α_{711}										
8									α_{89}		α_{811}										
9											1										
10												1									
11											α_{111}	α_{112}									
12													1								
13													α_{136}	α_{137}							
14														α_{143}	α_{144}						
15																					
16																1					
17																α_{177}	α_{178}				
18																				α_{1818}	
19																				α_{1919}	α_{1920}
20																					

Относительные коэффициенты важности α_{ij} в формуле (I5) нельзя трактовать как вероятности, так как в случае, когда интенсивность на выходе превышает интенсивность на входе, α_{ij} могут принимать значения больше единицы. За время цикла ускорителя (~ 10 с) только определенное число событий будет регистрироваться. Рассматриваемый поток событий ($\lambda = const$) является простейшим.

Другой величиной, характеризующей поток, является работоспособность, которая определяется временем обслуживания одной заявки ($t_{обсл}$). В системе $t_{обсл}$ является случайной величиной и меняется от заявки к заявке. Распределение времени обслуживания подчиняется следующему закону:

$$\Phi(t) = \mu \cdot e^{-\mu t} \quad \text{при } t > 0, \quad (I6)$$

где $\mu = \frac{1}{E(t_{обсл})}$. (I7)

В простейшем случае, когда система не имеет очереди ожидания, нетрудно определить абсолютную и относительную пропускную способность.

В этом случае относительная пропускная способность в пределе $t \rightarrow \infty$ равна q^* , где

$$q^* = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \quad (I8)$$

Зная q^* , легко найти вероятность отказа

$$P^*_{отк} = 1 - q^* \quad (I9)$$

Для абсолютной пропускной способности Q^* представляется выражением

$$Q^* = \lambda \cdot q^* = \frac{\lambda \cdot \mu}{\lambda + \mu} \quad (20)$$

В качестве примера рассмотрим канал обмена информации JAK 10 и определим соответствующие ему параметры для входной плотности потока $\lambda = E(M) \approx 40 [s^{-1}]$. Средняя продолжительность промежутка времени до поступления события на дисковый буфер составляет 0.040 с. Определим параметр μ для времени обслуживания:

$$\mu = \frac{1}{E(t_{обсл})} = 25.$$

По формуле (18) имеем $q^* = 0.38$, следовательно канал JAK 10 будет обслуживать около 38% поступивших событий. Далее, по формуле (20) найдем абсолютную пропускную способность $Q^* = 15.2$; это значит, что канал способен пропустить в среднем 15,2 событий в секунду. Вероятность отказа есть:

$P_{отк}^* = 1 - 0.38 = 0.62$, т.е. около 62% всех поступивших событий будут получать отказ. Номинальная пропускная способность канала $Q_{ном} = \frac{1}{E(t_{осл})} = 25$ событий в секунду (21).

Мы получили пропускную способность и другие величины для всех ресурсов. Результаты приведены в таблице 3.

Вычисления показывают, что для большинства ресурсов относительная способность выше 50%. Иначе говоря, ресурсы могут обслуживать большое число заявок в единицу времени.

Наибольшая вероятность того, что поступающие заявки получают отказ, связана с программами PP, P2PA и буферизацией на оперативном буфере и на диске. Для других ресурсов число поступающих заявок содержится в диапазоне 10±50%. Значения в колонках 8 и 9 таблицы 3 представляют собой границы пропускной способности ресурсов. Минимальные значения чисел связаны с наиболее слабыми местами в схеме загрузки ресурсов. Результаты получаются по формулам:

$$G = \lambda_{max} = \min \left\{ \frac{1}{\alpha_i \cdot E(T_{e_i})} ; \alpha_i = \frac{\lambda_i}{\lambda} \quad (i=1,2,\dots,4) \right\} \quad (22)$$

Здесь α_i - относительные коэффициенты важности, λ_i - интенсивность i -го ресурса, λ - сумма интенсивностей для программ, буферов и информационных каналов. Под T_{e_i} понимается среднее время занятия всех ресурсов. Оно есть сумма времени обслуживания $E(T_{b_i})$ и времени задержки $E(T_{s_i})$

$$E(T_{e_i}) = E(T_{b_i}) + E(T_{s_i}) \quad (23)$$

Время занятия ресурсов колеблется в интервале от миллисекунды до секунды. Программы CHIEF, IRUN, INPU, EROS являются слабыми местами в схеме загрузки ресурсов тогда, когда интенсивность потока событий достаточно большая, а среднее время занятия этих ресурсов мало. Аналогичная ситуация имеет место для каналов JAK 11, JAK 12, когда интенсивность λ_i растет при фиксированном времени

Таблица 3

Пропускная способность

Ресурсы	λ_i	$E(T_{e_i})$	α_i	q^*	Q^*	$P_{отк}$	$Q_{ном}$	G
JAK (DMA/PPM)	10	0.015	0.04	0.8	8	0.2	66	1660
JAK 10	5	0.040	0.02	0.8	4	0.2	25	12500
JAK 11	12.5	0.025	0.06	0.7	8.75	0.3	40	660
JAK 12	12.5	0.036	0.06	0.5	6.25	0.5	28	462
JAK 13	0.6	0.036	0.02	0.9	0.54	0.1	28	13930
AP INIT	0.00013	15	0.00006	0.9	0.0001	0.1	0.06	1110
AP CHIEF	0.1	10	0.0004	0.9	0.09	0.1	0.1	250
AP STOP	0.1	0.7	0.0004	0.9	0.09	0.1	33	3571
AP IRUN	20	0.05	0.09	0.7	14	0.3	50	222
AP EROS	15	0.06	0.07	0.8	12	0.2	100	238
AP LRUN	0.1	0.03	0.004	0.9	0.09	0.1	33	83333
AP INPU	90	0.011	0.4	0.5	45	0.5	90	227
AP ERUN	0.1	0.02	0.0004	0.9	0.09	0.1	50	125000
AP STOPØ	0.1	0.03	0.0004	0.9	0.09	0.1	33	83333
AP PP	0.1	0.3	0.0004	0.2	2	0.8	3.3	8333
AP DISK	5	0.04	0.02	0.8	4	0.2	25	1250
AP BESM6	3.3	0.08	0.01	0.7	2.3	0.3	12.5	1250
AP P2PA	1.2	1.53	0.0005	0.3	0.36	0.7	0.66	1307
AP ANA	0.6	0.036	0.002	0.9	0.54	0.1	28	13888
AP ANALL	0.6	0.5	0.002	0.7	0.42	0.3	2	1000
AP SANAL	0.6	0.5	0.004	0.7	0.42	0.3	2	1000
AP SPLAY	0.6	0.5	0.002	0.7	0.42	0.3	2	1000
S1								
S2	10	0.07	0.04	0.4	4	0.6	14	357
S3								
S4	5	1.6	0.02	0.11	0.55	0.89	0.62	31

занятия этих каналов. Что касается дисковых буферов S3 и S4, то они характеризуются высоким временем занятия и средней интенсивностью событий.

Для предотвращения перегрузки следует уменьшить время их занятия. С этой целью используют еще два дополнительных дисковых буфера, которые принимают половину всех событий. Таким образом, вдвое уменьшается время занятия и расширяются границы пропускной способности.

Авторы считают своим долгом выразить благодарность К.Хаманну и А.Е.Сеннеру за ценные советы и помощь при подготовке рукописи к публикации.

Литература

1. Н.Н.Говорун и др. ОИЯИ, РЮ-7460, Дубна, 1973.
2. Н.Н.Говорун и др. ОИЯИ, РЮ-7707, Дубна, 1973.
3. Anwender Hand Buch, Programm System für Diskrete Simulation Vops Simdis, veb Robotron, Dresden, (1974).

Рукопись поступила в издательский отдел
14 июля 1978 года.