

К-143

3941/2-77

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



12/40-77

P9 - 10869

Н.Ю.Казаринов, Н.А.Невская, Ю.А.Яцуенко

ПРИМЕНЕНИЕ ЭВМ М-6000 В ЭКСПЕРИМЕНТАХ
НА УСКОРИТЕЛЕ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ

1977

P9 - 10869

Н.Ю.Казаринов, Н.А.Невская, Ю.А.Яцуненко

ПРИМЕНЕНИЕ ЭВМ М-6000 В ЭКСПЕРИМЕНТАХ
НА УСКОРИТЕЛЕ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ

*Направлено на Совещание по программированию
и математическим методам решения физических задач
/Дубна, 1977/*

Казаринов Н.Ю., Невская Н.А., Яцуенко Ю.А.

P9 - 10869

Применение ЭВМ М-6000 в экспериментах на ускорителе тяжелых ионов

Приводится программное обеспечение экспериментов по формированию магнитного поля в адгезаторе и исследованию параметров электронного пучка на первом обороте.

В экспериментах использовалась измерительная аппаратура в стандарте КАМАК, работающая на линии с ЭВМ-М6000.

Работа выполнена в Отделе новых методов ускорения ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1977

Kazarinov N.Yu., Nevskaya N.A.,
Yatsunenکو Yu.A.

P9 - 10869

Application of M-6000 Computer in Experiments
with Heavy Ion Accelerator

The programs providing the experiments on magnetic field formation in an adhesator and on investigation of parameters of electrons of the beam on the first cycle are presented. The measurement apparatus in CAMAC system was used operating on-line with the M-6000 computer.

The investigation has been performed at the Department of New Acceleration Methods, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1977

В экспериментах на ускорителе тяжелых ионов /УТИ/^{/1/} измерительная аппаратура, выполненная в стандарте КАМАК, работала на линии с ЭВМ М-6000^{/2/}.

В данной работе описывается программное обеспечение экспериментов по формированию магнитного поля в адгезаторе^{/3/} и исследованию параметров электронного пучка на первом обороте^{/4/}.

1. МАГНИТНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Измерение и формирование магнитного поля в компрессоре коллективного ускорителя^{/3/} проводилось по трем алгоритмам:

а/ Снятие полной характеристики магнитного поля - H как функции радиуса R , времени - t , азимута - ϕ

$$H = H(R, t, \phi), \quad /1/$$

По этим данным находился показатель спада магнитного поля при фиксированном времени

$$n = - \frac{R}{H} \frac{\partial H}{\partial R} \quad /2/$$

и далее восстанавливался показатель спада, сопутствующий кольцу.

б/ Измерение магнитного поля в момент времени t_p , соответствующий приходу кольца на радиус R

$$H = H(R, t_p), \quad /3/$$

что позволило непосредственно определять численным дифференцированием показатель спада в месте нахождения кольца.

в/ Моделирование сжатия электронного кольца в адгезаторе - измерение зависимости равновесного радиуса от времени

$$R = R(t), \quad /4/$$

при этом снималась полная характеристика магнитного поля /1/.

Во всех случаях программное обеспечение организовывалось следующим образом: существовала основная управляющая измерительная программа, непосредственно связанная с электронной аппаратурой, и обрабатывающие программы, работающие в режимах OF-LINE, ON-LINE.

Образец основной измерительной программы /функциональная схема программы "EXP"/ показан на рис. 1. В процессе измерений производились засылка и прием данных от электронной аппаратуры, экспресс-обработка. Результаты записывались на диск /НМДр-401А/ или магнитофон /при OF-LINE обработке/ или хранились в памяти ЭВМ /при ON LINE /. Пример обрабатывающей /по третьему алгоритму/ программы "MODEL" показан на рис. 2.

Для нахождения равновесного радиуса электронного кольца использовалось уравнение /5/

$$M = R[A(R,t) - RH(R,t)] = \text{const}, \quad /5/$$

где

$$A(R,t) = \frac{1}{R} \int_0^R rH(r,t)dr. \quad /6/$$

Уравнение /5/ в фиксированный момент времени t решалось методом последовательных приближений

$$R_{i+1} = \frac{1}{H(R_i, t)} \left(A(R_i, t) - \frac{M}{R_i} \right). \quad /7/$$

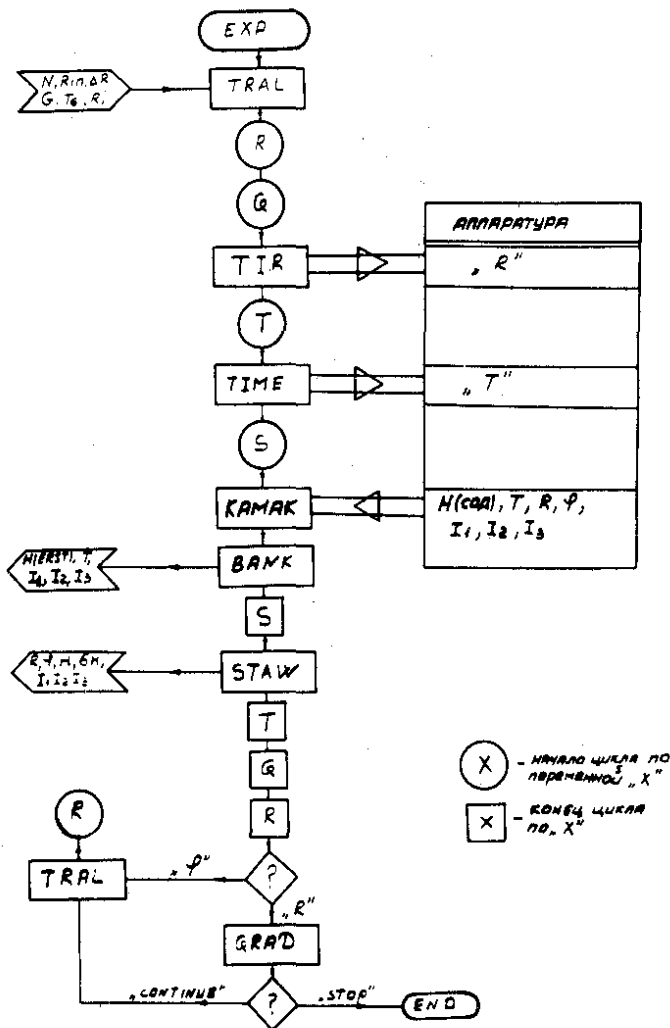
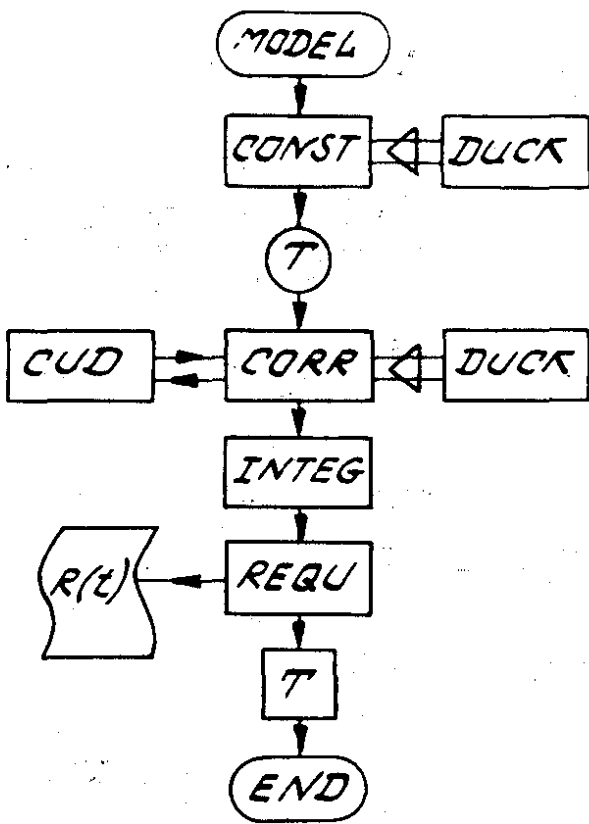


Рис. 1



ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА
ПРОГРАММЫ "MODEL"

Рис. 2

Для обработки использовался записанный на диске двумерный массив значений магнитного поля $H(r_i, t_j)$, измеренных на радиусе r_i в момент времени t_j .

Радиус r в процессе измерения изменялся от 4 до 40 см с шагом, равным 1 см, шаг по времени равнялся 10 мкс.

Постоянная M определялась по начальным условиям в подпрограмме /п.п./ "CONST":

$$M = \frac{mc^2}{e} R_{in} \sqrt{\gamma_{in}^2 - 1} + A(R_{in}, t_{in}). \quad /8/$$

Здесь m , e - масса и заряд электрона, соответственно, c - скорость света, R_{in} , γ_{in} - значения радиуса и релятивистского фактора вращательного движения электронов в момент инжекции t_{in} .

Далее для каждого момента времени ($t_k = t_{in} + \Delta t \cdot k$) из уравнения /8/ определялся равновесный радиус кольца: в п.п. CORR находилось значение функции $H(R, t_k)$ для произвольного значения R /с помощью трехточечной интерполяции/, в п.п. "INTEG" вычислялась функция $\Lambda(R, t_k)$ /интегрирование в /6/ проводилось по формуле Симпсона/ и окончательный результат находился в п.п. "REQU" по формуле /7/, как только начинало выполняться условие:

$$|R_i - R_{i+1}| \leq 0,01 \text{ см.} \quad /9/$$

В качестве начального приближения в /7/ для момента времени t_k бралось значение радиуса на предыдущем шаге по времени. Необходимая точность обычно достигалась за 3-5 итераций.

В каждый момент времени t_k на печать выводились значения равновесного радиуса кольца, магнитное поле, показатель спада магнитного поля.

На рис. 3 построены графики зависимости показателя спада магнитного поля от равновесного радиуса кольца, полученные с помощью программы "MODEL" /точки/ для $\gamma_{in} = 5$, $R_{in} = 36$. Как видно из графика, сформированная n -траектория хорошо согласуется с рассчитанной в работах /6-8/ /сплошная кривая/.

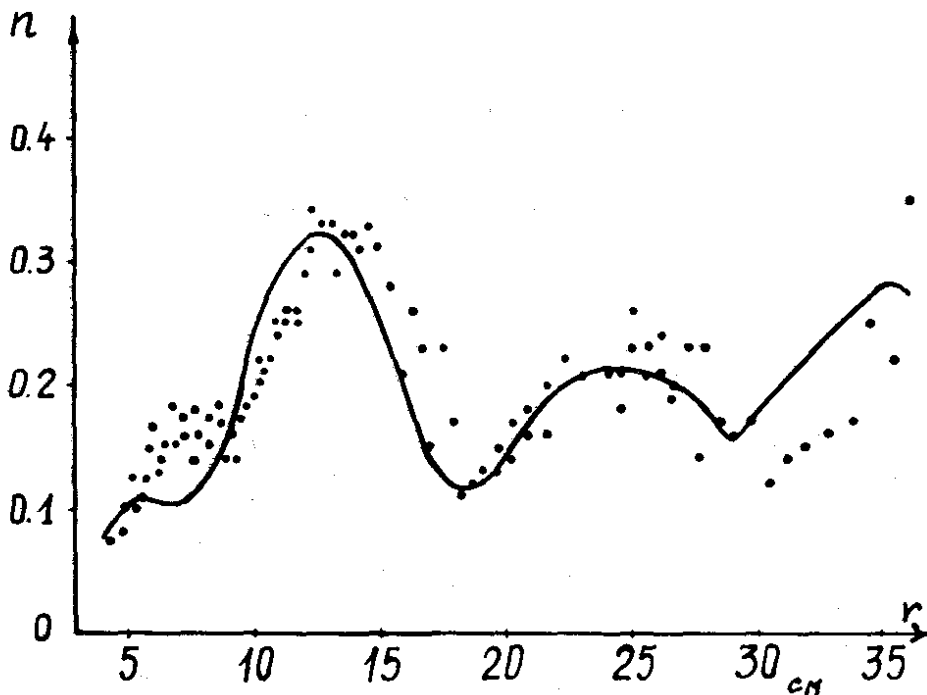


Рис. 3

Следует отметить, что в данном режиме работы магнитной системы адгезатора n -траектория пересекает резонансное значение $n = 0,25$, что при определенных условиях приводит к экспоненциальному увеличению аксиального размера кольца^{9/}. Поэтому в дальнейшем n -траектория была сформирована так, чтобы резонансное значение не пересекалось.

2. ПУЧКОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Исследование параметров электронного пучка на первом обороте в компрессоре коллективного ускорителя проводилось при помощи ламельных систем^{4/}: "прямая" ламельная система - $11Y \times 11Z$ /система А на рис. 4/ и "поворотная" - $32R \times 9Z$ /"система В" на рис. 4/. Блок-

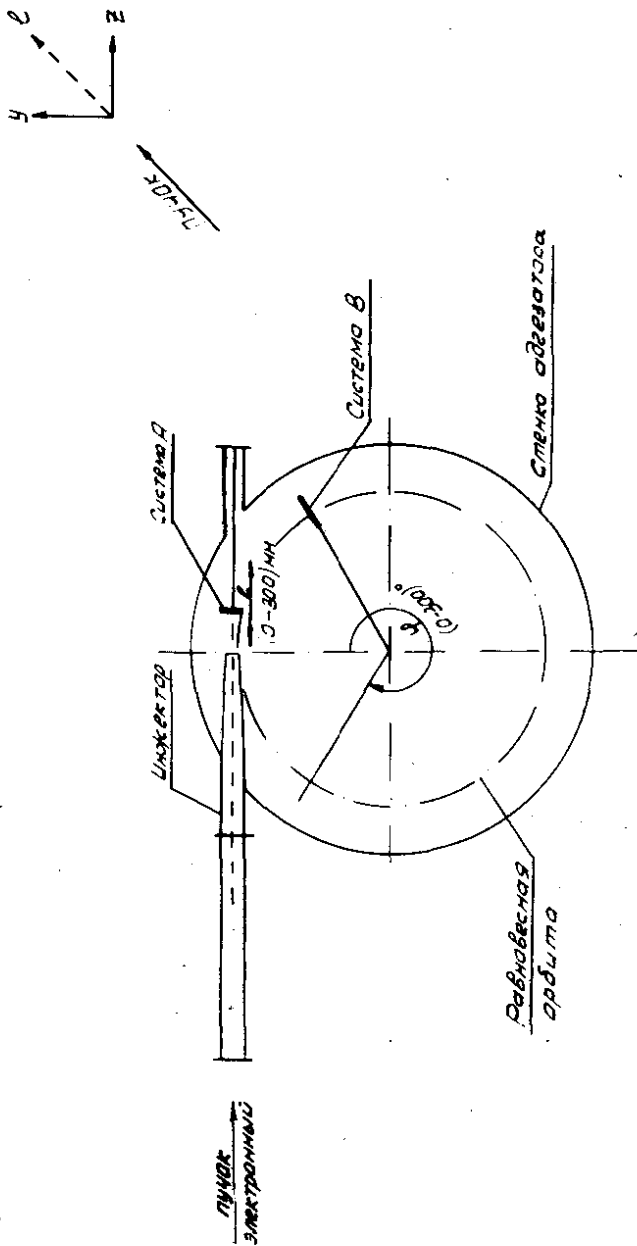


Рис. 4

схема измерительной электронной аппаратуры показана на *рис. 5*.

Задачи измерительного комплекса заключались в следующем: по "системе А" - определение угла между осью пучка и осью инжектора, определение угловой расходимости пучка /"система А" работала при выключенном магнитном поле/, по "системе В" - а/ определение положения центра пучка как функции азимута - ϕ в цилиндрических координатах адгезатора - $R(\phi)$, $Z(\phi)$ б/ определение зависимости размеров пучка от азимута - $S_R(\phi)$ и $S_Z(\phi)$ в/ определение потерь электронов на первом обороте - $N_e(\phi)$, г/ проведение статистического анализа этих параметров.

Выполнение поставленных задач обеспечивали три основные программы: "RING" , "TRAL1" , "TRAL2", созданные на базе системы RTE^{10/}.

Программа "RING" предназначалась для приема, экспресс-обработки и накопления частично обработанных данных на магнитной ленте /функциональная схема программы приведена на *рис. 6*/. Перед началом работы с дисплея СИД-1000 вводилась информация, определяющая режим работы /п.п. "START"/, перед измерениями на каждом азимуте /на блок-схеме переменная " ϕ " / ЭВМ находилась в ожидании готовности остальных систем и запускалась командой оператора /п.п. "READY" /. Далее начинался статистический цикл: п.п. "КАМАК" принимала информацию /показания с 32 R - ламелей $F_1(r)$, с девяти Z - ламелей $F_2(Z)$, сигнал с подложки - Q и показания датчика магнитного поля - H /. По этим данным в п.п. "STORE" определялись основные характеристики электронного пучка: положение центра

$$\bar{R} = \frac{\sum_{r=1}^{32} r \cdot F_1(r)}{\sum_{r=1}^{32} F_1(r)}, \quad /10a,6/$$

$$\bar{Z} = \frac{\sum_{z=1}^9 z \cdot F_2(z)}{\sum_{z=1}^9 F_2(z)}.$$

размеры пучка

$$S_R^2 = \sum_{r=1}^{32} (r - \bar{R})^2 \cdot F_1(r) / \sum_{r=1}^{32} F_1(r), \quad /11a,6/$$

$$S_Z^2 = \sum_{z=1}^9 (z - \bar{Z})^2 \cdot F_2(z) / \sum_{z=1}^9 F_2(z),$$

полное число электронов

$$N_e = A_1 + A_2 \sum_{r=1}^{32} F_1(r) + A_3 \sum_{z=1}^9 F_2(z) + A_4 \cdot Q, \quad /12/$$

где A_1, A_2, A_3, A_4 - калибровочные константы; по значению N_e контролировалась стабильность магнитного поля при статистическом наборе. Вся принятая и обработанная информация, а также время приема данных записывались на магнитной ленте, кроме того, происходило формирование пяти гистограмм:

$$H_1(\bar{R}), H_2(\bar{Z}), H_3(S_R), H_4(S_Z), H_5(N_e), \quad /13/$$

Имелась возможность /используя клавишный регистр М-6000/ увидеть на дисплее профили $F_1(r)$ и $F_2(z)$ пучка и гистограммы /14/. Статистическая обработка осуществлялась в п.п. "STAT": по /14/ вычислялись средние значения и дисперсии, результаты записывались на магнитофон и выводились на печать.

Для более точной обработки предназначалась программа "TRAL1", работавшая в мультипрограммной связи с п.п. "RING" /п. "RING" планировала п. "TRAL1" по состоянию клавишного регистра/, функциональная схема п. "TRAL1" приведена на рис. 7: участок ленты, на котором записано N статистических пакетов информации, просматривается дважды - при первом просмотре определяются экстремальные значения переменных $\bar{R}, \bar{Z}, S_R, S_Z, N_e$ /п.п. "EXTR"/, при втором формируются 5 гистограмм, аналогичных /14/, два графика R - и Z -профилей /на каждом из них можно записать до 30 профилей/. Здесь нет возможности вывода на АЦПУ-128 пяти диаграмм: переменные $\bar{R}, \bar{Z}, S_R, S_Z, N_e$ зависят от времени /образец выдачи показан на рис. 8/ - п.п. "TIMD".

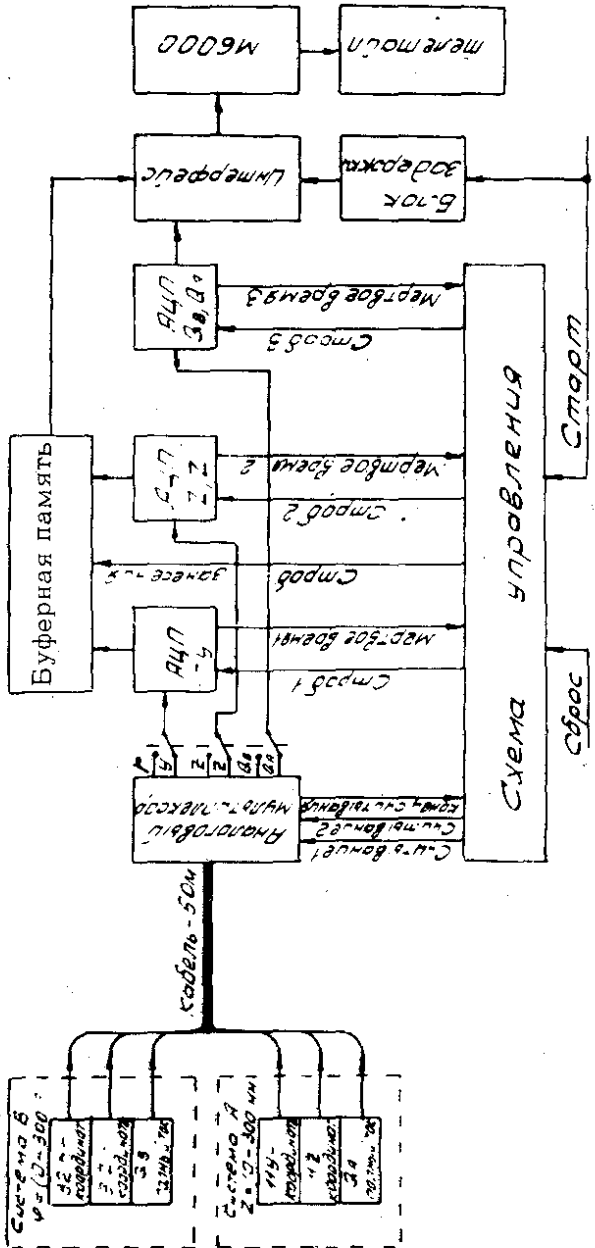
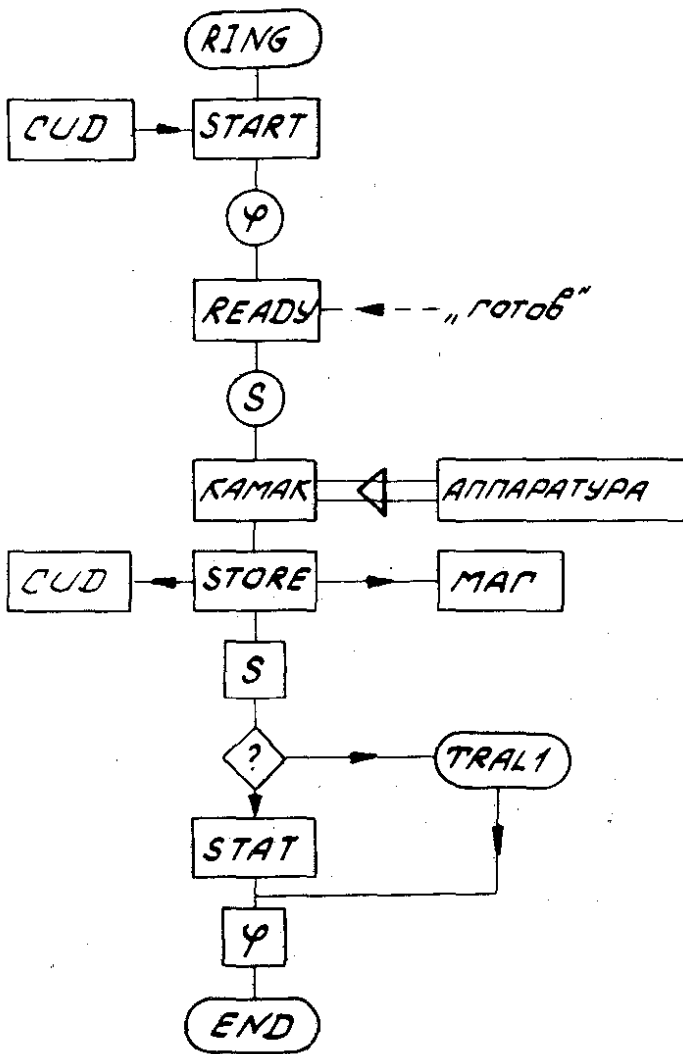
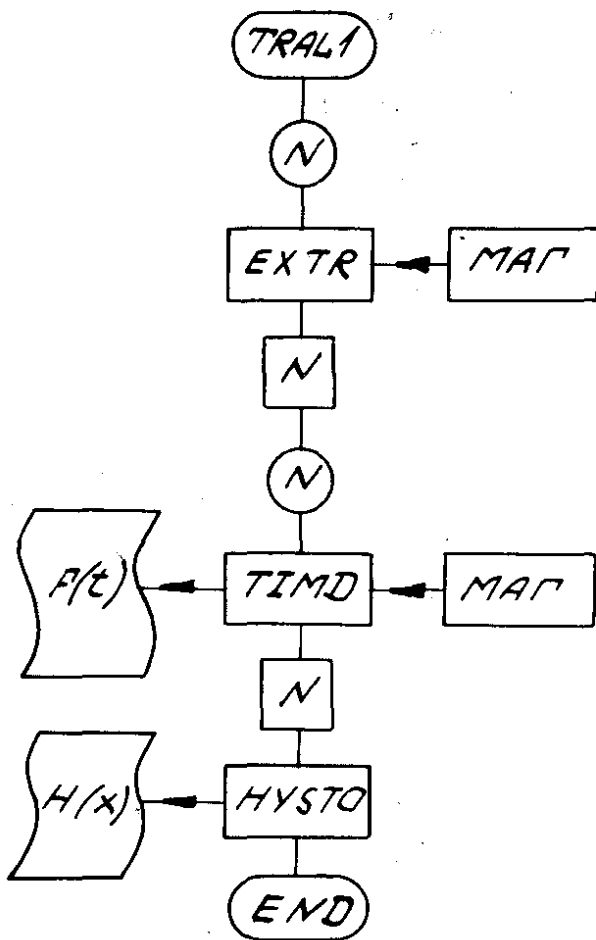


Рис. 5



Функциональная схема программы "RING".

Рис. 6



ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА
ПРОГРАММЫ "TRAL1"

Рис. 7

Y-POS	Z-CENTR	ELECTRON	N-SIZE	Z-SIZE
1	12345678901234567890123456789012345678901			
2	1			
3	1			
4	1			
5	1			
6	1			
7	1			
8	1			
9	1			
10	1			
11	1			
12	1			
13	1			
14	1			
15	1			
16	1			
17	1			
18	1			
19	1			
20	1			
21	1			
22	1			
23	1			
24	1			
25	1			
26	1			
27	1			
28	1			
29	1			
30	1			
31	1			
32	1			
33	1			
34	1			
35	1			
36	1			
37	1			
38	1			
39	1			
40	1			
41	1			
42	1			
43	1			
44	1			
45	1			
46	1			
47	1			
48	1			
49	1			
50	1			

Рис. 8

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114 115 116 117 118 119 120 121 122 123 124 125 126 127 128 129 130 131 132 133 134 135 136 137 138 139 140 141 142 143 144 145 146 147 148 149 150 151 152 153 154 155 156 157 158 159 160 161 162 163 164 165 166 167 168 169 170 171 172 173 174 175 176 177 178 179 180 181 182 183 184 185 186 187 188 189 190 191 192 193 194 195 196 197 198 199 200 201 202 203 204 205 206 207 208 209 210 211 212 213 214 215 216 217 218 219 220 221 222 223 224 225 226 227 228 229 230 231 232 233 234 235 236 237 238 239 240 241 242 243 244 245 246 247 248 249 250 251 252 253 254 255 256 257 258 259 260 261 262 263 264 265 266 267 268 269 270 271 272 273 274 275 276 277 278 279 280 281 282 283 284 285 286 287 288 289 290 291 292 293 294 295 296 297 298 299 300 301 302 303 304 305 306 307 308 309 310 311 312 313 314 315 316 317 318 319 320 321 322 323 324 325 326 327 328 329 330 331 332 333 334 335 336 337 338 339 340 341 342 343 344 345 346 347 348 349 350 351 352 353 354 355 356 357 358 359 360 361 362 363 364 365 366 367 368 369 370 371 372 373 374 375 376 377 378 379 380 381 382 383 384 385 386 387 388 389 390 391 392 393 394 395 396 397 398 399 400 401 402 403 404 405 406 407 408 409 410 411 412 413 414 415 416 417 418 419 420 421 422 423 424 425 426 427 428 429 430 431 432 433 434 435 436 437 438 439 440 441 442 443 444 445 446 447 448 449 450 451 452 453 454 455 456 457 458 459 460 461 462 463 464 465 466 467 468 469 470 471 472 473 474 475 476 477 478 479 480 481 482 483 484 485 486 487 488 489 490 491 492 493 494 495 496 497 498 499 500 501 502 503 504 505 506 507 508 509 510 511 512 513 514 515 516 517 518 519 520 521 522 523 524 525 526 527 528 529 530 531 532 533 534 535 536 537 538 539 540 541 542 543 544 545 546 547 548 549 550 551 552 553 554 555 556 557 558 559 560 561 562 563 564 565 566 567 568 569 570 571 572 573 574 575 576 577 578 579 580 581 582 583 584 585 586 587 588 589 590 591 592 593 594 595 596 597 598 599 600 601 602 603 604 605 606 607 608 609 610 611 612 613 614 615 616 617 618 619 620 621 622 623 624 625 626 627 628 629 630 631 632 633 634 635 636 637 638 639 640 641 642 643 644 645 646 647 648 649 650 651 652 653 654 655 656 657 658 659 660 661 662 663 664 665 666 667 668 669 670 671 672 673 674 675 676 677 678 679 680 681 682 683 684 685 686 687 688 689 690 691 692 693 694 695 696 697 698 699 700 701 702 703 704 705 706 707 708 709 710 711 712 713 714 715 716 717 718 719 720 721 722 723 724 725 726 727 728 729 730 731 732 733 734 735 736 737 738 739 740 741 742 743 744 745 746 747 748 749 750 751 752 753 754 755 756 757 758 759 760 761 762 763 764 765 766 767 768 769 770 771 772 773 774 775 776 777 778 779 780 781 782 783 784 785 786 787 788 789 790 791 792 793 794 795 796 797 798 799 800 801 802 803 804 805 806 807 808 809 810 811 812 813 814 815 816 817 818 819 820 821 822 823 824 825 826 827 828 829 830 831 832 833 834 835 836 837 838 839 840 841 842 843 844 845 846 847 848 849 850 851 852 853 854 855 856 857 858 859 860 861 862 863 864 865 866 867 868 869 870 871 872 873 874 875 876 877 878 879 880 881 882 883 884 885 886 887 888 889 890 891 892 893 894 895 896 897 898 899 900 901 902 903 904 905 906 907 908 909 910 911 912 913 914 915 916 917 918 919 920 921 922 923 924 925 926 927 928 929 930 931 932 933 934 935 936 937 938 939 940 941 942 943 944 945 946 947 948 949 950 951 952 953 954 955 956 957 958 959 960 961 962 963 964 965 966 967 968 969 970 971 972 973 974 975 976 977 978 979 980 981 982 983 984 985 986 987 988 989 990 991 992 993 994 995 996 997 998 999 1000

Сформированные гистограммы обрабатываются в п.п. "HUSTO"; гистограммы, результаты обработки и графики могут быть выведены на печать - образец выдачи приведен на рис. 9.

Программа "TRAL2" по задачам и форме выдачи тождественна программе "TRAL1", но работает автономно. Для запуска программы достаточно ввести с дисплея начальное время того участка измерений, который необходимо обработать - программа просматривает магнитную ленту и, найдя зону, помеченную данным временем, начинает работу.

Все программы хранились на магнитных дисках и вызывались простым операторским требованием или автоматически - п. "RING" вызывала п. "TRAL1".

ЛИТЕРАТУРА

1. Барабаш Л.С. и др. ОИЯИ, Р9-7697, Дубна, 1974.
2. Александров В.С. и др. ОИЯИ, Р9-8181, Дубна, 1974.
3. Александров В.С. и др. ОИЯИ, Р9-8753, Дубна, 1974.
4. Беспалова Т.В. и др. Труды VII симпозиума по ядерной электронике, Будапешт, 1973.
ОИЯИ, Д13-7616, Дубна, 1974.
5. ЭЧАЯ, 1971, т.1, вып. 32, с.
6. Александров В.С. и др. ОИЯИ, Р9-9091, Дубна, 1975.
7. Александров В.С. и др. ОИЯИ, Р9-9215, Дубна, 1975.
8. Александров В.С. и др. ОИЯИ, Р9-9603, Дубна, 1976.
9. Казаринов Н.Ю. и др. ОИЯИ, Р9-9721, Дубна, 1976.
10. Попов Н.И. и др. Дисковые операционные системы реального времени для вычислительных комплексов на базе ЭВМ АСВТ М-6000. Изд-во МИФИ, М., 1974.

Рукопись поступила в издательский отдел
20 июля 1977 года.