

СЗ45А1
А-465

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



9-8181

4478/2-74

18/11-74

В.С.Александров, Л.С.Барабаш, И.А.Голутвин,
Н.Ю.Казаринов, Н.А.Невская, Э.А.Перельштейн,
А.Г.Федунов, Ю.А.Яцуненко

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ПРИ МАГНИТНЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ В АДГЕЗАТОРЕ
УСКОРИТЕЛЯ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ

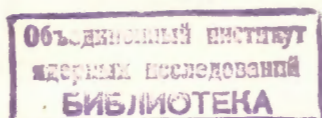
1974

ОТДЕЛ НОВЫХ МЕТОДОВ УСКОРЕНИЯ

9-8181

В.С.Александров, Л.С.Барабаш, И.А.Голутвин,
Н.Ю.Казаринов, Н.А.Невская, Э.А.Перельштейн,
А.Г.Федунов, Ю.А.Яцуенко

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ПРИ МАГНИТНЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ В АДГЕЗАТОРЕ
УСКОРИТЕЛЯ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ



Александров В.С., Барабаш Л.С., Голутвин И.А.,
Казаринов Н.Ю., Невская Н.А., Перельштейн Э.А.,
Федунов А.Г., Яцуенко Ю.А.

9-8181

Организация программного обеспечения при магнитных измерениях
в адгезаторе ускорителя тяжелых ионов

Приведено описание комплекса программ, использованных в работе
по формированию импульсного магнитного поля в адгезаторе ускорителя
многозарядных ионов. Описываются режимы измерений пространственных
и временных распределений магнитного поля и его показания спада,
исследуется работа программ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований
Дубна, 1974

Для формирования и сжатия электронного кольца
в компрессоре коллективного ускорителя тяжелых ионов^{/1/},
разрабатываемого в Отделе новых методов ускорения
ОИЯИ, необходимо обеспечить определенное временное и
пространственное распределение магнитного поля в камере
адгезатора. Это поле создается тремя парами импульсных
катушек, через которые пропускаются токи до 6 кА. Управление
токами осуществляется специальными импульсными коммутаторами,
выполненными на основе тиристорных блоков.

Блок-схема автоматизированной системы измерения и
формирования магнитного поля показана на рис. 1. Электронная
аппаратура, выполненная в стандарте КАМАК, работала на
линии с ЭВМ М-6000. Схема размещения ЭВМ М-6000 и
периферических устройств приведена на рис. 2.

Измерялись азимутальное распределение магнитного поля
на разных радиусах

$$H = H(\phi) \quad /1/$$

и показатель спада магнитного поля n , как функция
радиуса R , при временах - t_γ , соответствующих такому
значению поля $H(t)$, при котором электронное кольцо
с начальной энергией электронов - γ сожмется до
радиуса R /равновесное время/

$$n(R, t_\gamma) = - \frac{R}{H(R, t_\gamma)} \cdot \frac{\partial}{\partial R} H(R, t_\gamma), \quad /2/$$

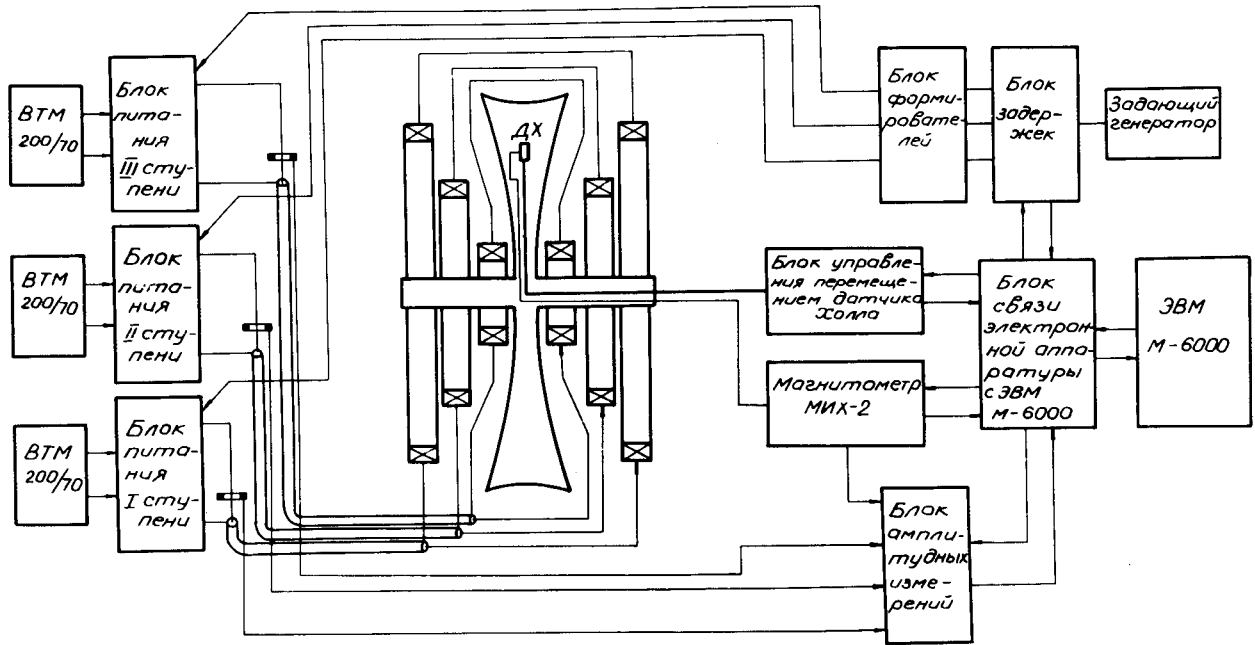


Рис. 1. Блок-схема автоматизированной системы измерения и формирования магнитного поля.

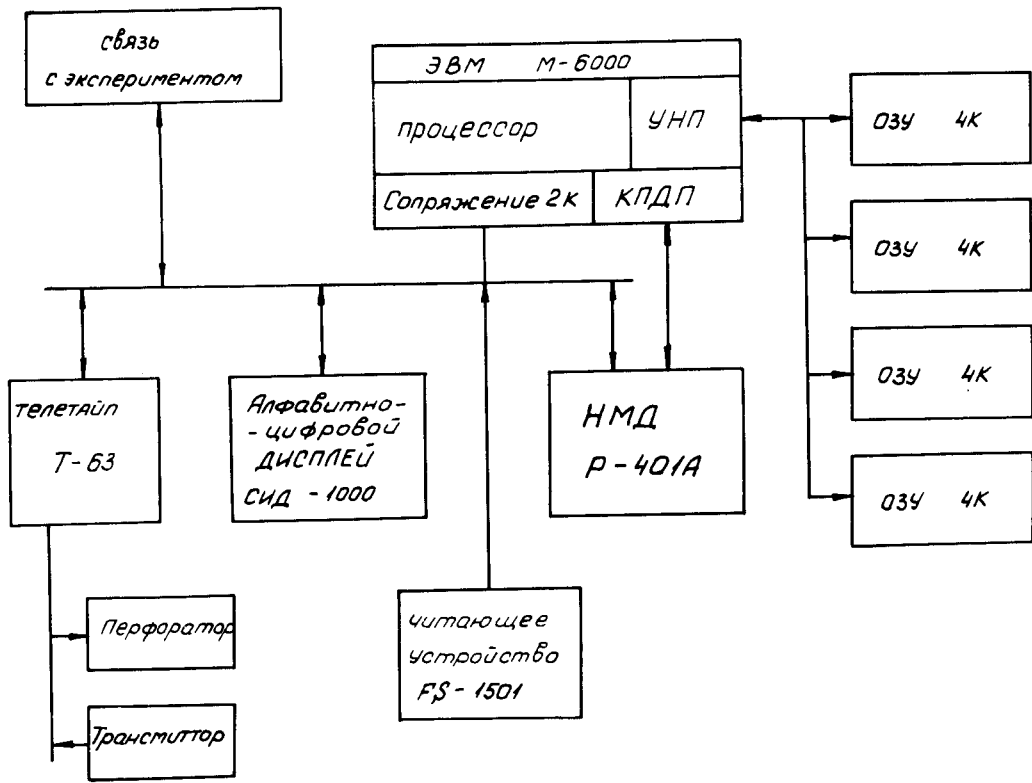


Рис. 2. Схема размещения ЭВМ М-6000 и периферических устройств.

В задачи программного обеспечения магнитных измерений входило:

- 1/ управление измерениями;
- 2/ прием и обработка данных;
- 3/ контроль измерительной аппаратуры.

Для выполнения этих задач была создана основная управляющая и обрабатывающая программа "EXP". Функциональная схема программы приведена на рис. 3. Программа "EXP" работает в двух режимах:

- а/ "R" - режим; измерение магнитного поля

$$H = H(R, t_\gamma), \quad /3/$$

результатом которых является табличная функция показателя спада поля /2/

$$n = n(R, t_\gamma); \quad /4/$$

- б/ "φ" - режим; измерение азимутальной неоднородности поля /1/.

Работа программы "EXP" в режиме "R".

Перед началом работы указываются границы массива измерений: N - число точек по R ; R_{in} - начальный радиус, ΔR - шаг по радиусу, G - набор начальных энергий и заносится предварительно определенный массив равновесных времен T₀(R). Эти данные вводятся в память ЭВМ с помощью подпрограммы /п.п./ "TRAL".

В процессе измерений для каждого R_i

$$R_i = R_{in} - \Delta R \cdot (i - 1), \quad i = 1, 2, \dots, N \quad /5/$$

организуется цикл по переменной G: для каждого j формируется массив из трех времен измерений

$$T_j(R_k), \quad j = 1, 2, \dots, G; \quad k = i-1, i, i+1 \quad /6/$$

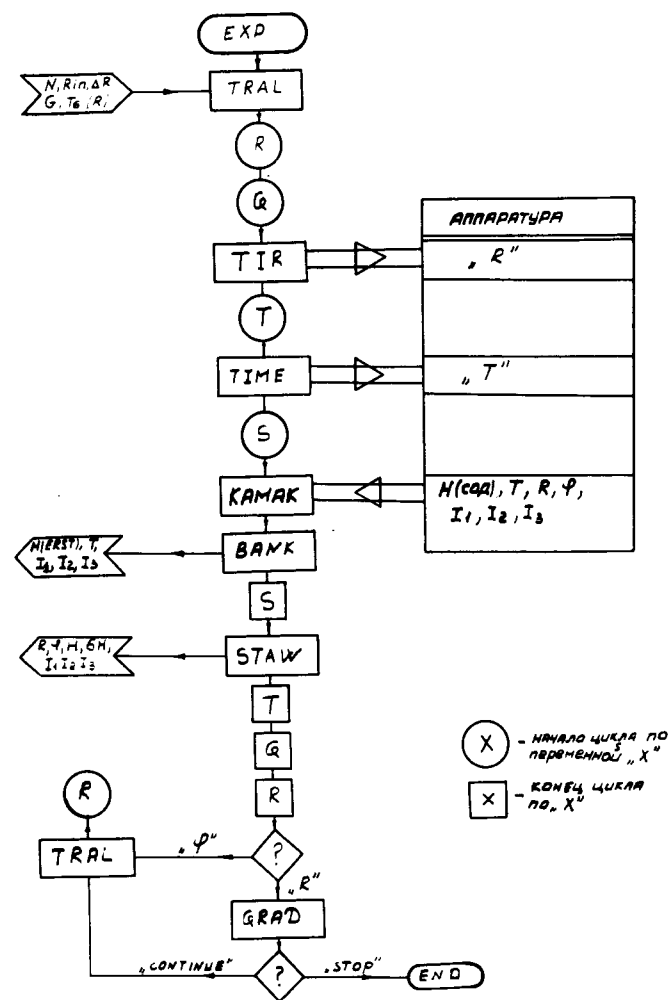


Рис. 3. Функциональная схема программы "EXP".

для последующего численного дифференцирования по трем точкам. Этот массив /6/ формируется из равновесных времен в подпрограмме "TIR". Время измерения /6/ последовательно заносится в аппаратуру с помощью подпрограммы "TME". С целью повышения точности измерения производится несколько раз при одном времени /статистический цикл "S"/. Подпрограмма "КА-МАК", служащая для связи ЭВМ с аппаратурой /так же как "TIR" и "TME"/, принимает измеряемую информацию; поле Н в показаниях кодировщика, время измерения - для контроля с /6/, время включения трех катушек, создающих магнитное поле - для контроля стабильности соответствующей аппаратуры, радиус R, азимут ϕ и амплитуды токов, питающих катушки I_1, I_2, I_3 . Эти данные, переведенные в физические единицы измерений, выводятся на дисплей и заносятся в память ЭВМ /п.п. "BANK"/.

Далее происходит статистическая обработка результатов /п.п. "STAW"/: после трехкратной браковки по тройной дисперсии вычисляются среднее значение поля и дисперсия. Результаты обработки выводятся на дисплей и телетайп, в памяти ЭВМ формируются таблицы:

$$H_{ijk} = H[R_i, T_j(R_k)], \quad /7/$$

$$\sigma_{ijk} = \sigma[R_i, T_j(R_k)]. \quad /8/$$

По окончании измерений управление передается в п.п. "GRAND", где для каждого j вычисляется и выводится на печать показатель спада магнитного поля в виде таблицы

$$n_j [R_i, T_j(R_i)] = \frac{0,5 \cdot R_i}{\Delta R \cdot H_{iji}} \cdot (H_{i-1ji-1} - H_{i+1ji+1}) /9/$$

и абсолютная ошибка n - σ_n ;

$$\sigma_n = n \cdot \left[\left(\frac{\sigma_{i-1ji-1} + \sigma_{iji}}{H_{i-1ji-1} - H_{iji}} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{iji} + \sigma_{i+1ji+1}}{H_{iji} - H_{i+1ji+1}} \right)^2 \right]^{1/2}$$

N	TJD	TMD	PHY	R	NST	NW	H-COD	D(H-C)	H-ERST	J-KV
1	6500	3810	30	410	10	0	525.68	.50	266.77	27.83
2	6500	3810	30	400	10	0	556.71	.58	283.35	27.83
3	6500	3810	30	390	10	0	588.74	.48	300.99	27.80
4	6500	3810	30	380	10	0	619.58	.56	318.04	27.77
5	6500	3810	30	370	10	0	649.37	.41	334.55	27.83
6	6500	3810	30	360	10	0	679.13	.31	351.04	27.80
7	6500	3810	30	350	10	0	706.31	.38	366.14	27.80
8	6500	3810	30	340	10	0	732.22	.60	380.67	27.83
9	6500	3810	30	330	10	0	758.05	.32	395.16	27.83
10	6500	3810	30	320	10	0	782.56	.58	408.91	27.83
11	6500	3810	30	310	10	0	806.50	.42	422.30	27.86
12	6500	3810	30	300	10	0	830.48	.60	435.58	27.83
13	6500	3810	30	290	10	0	851.53	.53	447.25	27.86
14	6500	3810	30	280	10	0	873.04	.71	459.16	27.86
15	6500	3810	30	270	10	0	893.61	.49	470.56	27.86
16	6500	3810	30	260	10	0	912.73	.52	481.19	27.86
17	6500	3810	30	250	10	0	931.86	.42	491.85	27.89
18	6500	3810	30	240	10	0	949.39	.53	501.61	27.83
19	6500	3810	30	230	10	0	966.50	.43	511.14	27.89
20	6500	3810	30	220	10	0	983.07	.54	520.37	27.92
21	6500	3810	30	210	10	0	998.23	.55	528.81	27.89
22	6500	3810	30	200	10	0	1012.81	.51	537.00	27.92
23	6500	3810	30	190	10	0	1025.56	.43	545.06	27.89

T-J	DALAY	T-MEAS.	PHY	N	R	GRAD	DGR	H-COD	D(H-C)	H-ERST
6500		3810	30	1	410	88.000	88.00	525.68	.50	266.77
				2	400	-2.460	-.038	556.71	.58	283.35
				3	390	-2.250	-.041	588.74	.48	300.99
				4	380	-2.001	-.030	619.58	.56	318.04
				5	370	-1.820	-.027	649.37	.41	334.55
				6	360	-1.614	-.023	679.13	.31	351.04
				7	350	-1.403	-.024	706.31	.38	366.14
				8	340	-1.278	-.017	732.22	.60	380.67
				9	330	-1.163	-.027	758.05	.32	395.16
				10	320	-1.050	-.016	782.56	.58	408.91
				11	310	-.974	-.024	806.50	.42	422.30
				12	300	-.859	-.018	830.48	.60	435.58
				13	290	-.764	-.024	851.53	.53	447.25
				14	280	-.711	-.017	873.04	.71	459.16
				15	270	-.631	-.020	893.61	.49	470.56
				16	260	-.572	-.014	912.73	.52	481.19
				17	250	-.516	-.015	931.86	.42	491.85
				18	240	-.459	-.011	949.39	.53	501.61
				19	230	-.420	-.013	966.50	.43	511.14
				20	220	-.372	-.011	983.07	.54	520.37
				21	210	-.327	-.012	998.23	.55	528.81
				22	200	-.282	-.010	1012.81	.51	537.00
				23	190	88.000	88.000	1025.56	.43	545.06

Рис. 4. Образец выдачи информации на телетайп при работе программы "EXP".

Образец выдачи измеренной и обработанной информации на телетайп показан в таблице.

Работа программы "EXP" в режиме "φ" происходит аналогично режиму "R" переменная R играет роль азимута φ, измерения происходят при фиксированных переменных G и T.

Программы связи ЭВМ с аппаратурой

Обмен информацией между ЭВМ М-6000 и спецконтроллером ^{12/} системы КАМАК происходит с помощью программ "TIR", "TIME" и "КАМАК"/программы "TIR" и "TIME" подобны программе "КАМАК" и отличаются лишь функциональным назначением/. Обмен информацией производится 16-разрядными словами. Каждому выдаваемому или принимаемому /относительно ЭВМ/ информационному слову предшествует выдача в спецконтроллер командного слова NAF ^{15/}. При работе программа "КАМАК" использует четыре группы последовательных ячеек памяти ЭВМ, которые названы: "Поле NAF", "Поле JUMP", "Буфером (R)" и "Буфером (W)". В поле NAF на стадии настройки программ вводятся команды NAF в последовательности, определяемой задачами эксперимента. После ввода происходит просмотр поля NAF и в соответствии с функцией F для каждой команды в поле JUMP формируются команды обращения к одной из подпрограмм "READ", "WRITE" или "CLEAR", являющихся составными частями программы "КАМАК".

В буфер (R) принимается информационное слово, а из буфера (W) - выдается в спецконтроллер.

Функциональная схема программы "КАМАК" приведена на рис. 5. Перед приемом информации снимается запрет на опрос системы КАМАК, размаскируется вход в ЭВМ и включается система прерывания.

ЭВМ находится в режиме ожидания сигнала "Готов" от аппаратуры, появление которого означает, что поступила экспериментальная информация. После появления сигнала "Готов" происходит прерывание работы процессо-

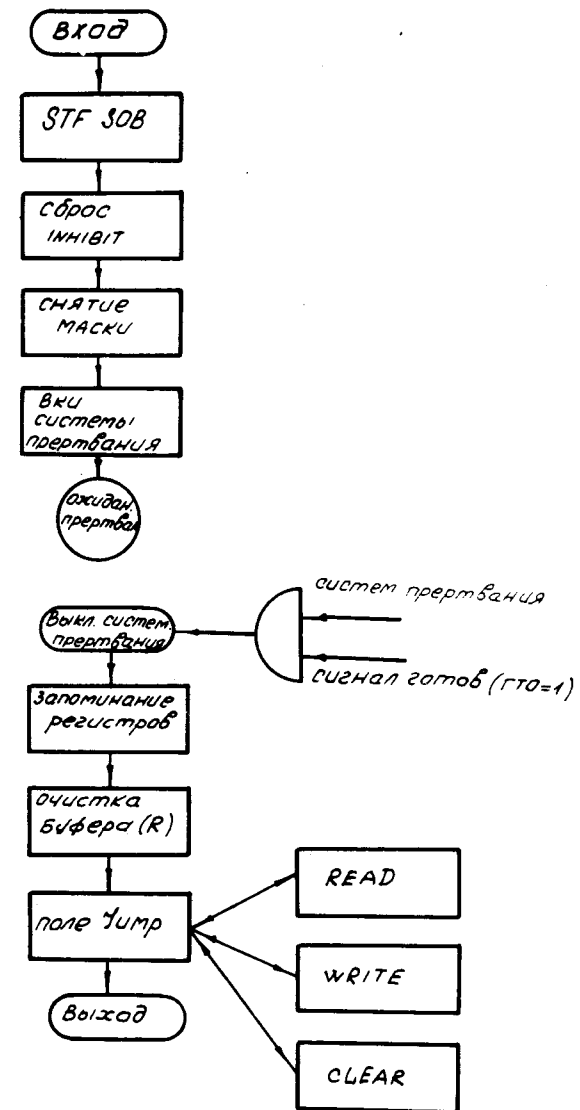


Рис. 5. Функциональная схема программы "КАМАК".

ра, запоминается состояние регистров в момент прерывания и управление передается в поле JUMP, откуда происходит ранее запланированное обращение к подпрограммам "READ", "WRITE", "CLEAR". Обработка принятых данных происходит при отключенной системе прерывания, что исключает возможность порчи принятой информации. По окончании обработки ЭВМ снова переходит в режим ожидания прерывания от аппаратуры.

Непосредственное взаимодействие между ЭВМ и спецконтроллером осуществляют подпрограммы "READ", "WRITE" и "CLEAR".

Подпрограмма "READ" передает содержимое субадреса А блока N в память ЭВМ, подпрограмма "WRITE" осуществляет обратную задачу, подпрограмма "CLEAR" очищает регистры блока N. Функциональные схемы подпрограмм приведены на рис. 6. Сначала в спецконтроллер выдается команда NAF и проверяется - расшифрована ли она: если нет, то операция повторяется, если да, то для подпрограммы "READ" производится прием информационного слова и выдача - для подпрограммы "WRITE".

Программа определения равновесного времени

Для нахождения равновесного времени /времени измерения на радиусе R / использовалось соотношение^{/3/}:

$$H(t) + H_c = \frac{mc^2 \beta \gamma}{eR} \cdot (1 + \mu P), \quad /11/$$

где H_c - постоянная составляющая магнитного поля, $H(t)$ - ускоряющее поле, создаваемое парамп импульсных катушек.

Из /11/ методом хорд^{/4/}, реализованным в программе "MARK" /рис. 7/, определялись равновесные времена на $T_G(R)$.

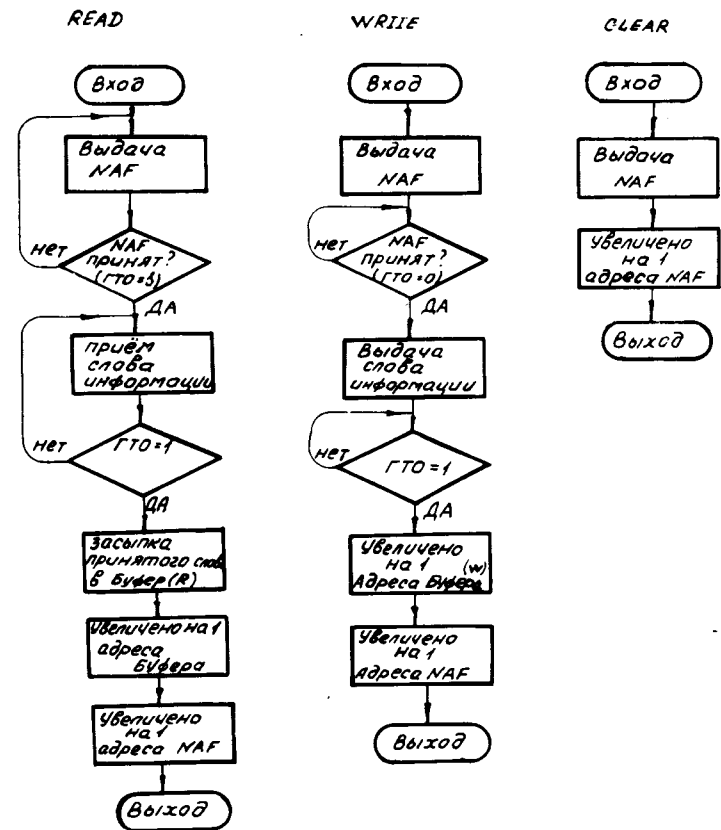


Рис. 6. Функциональные схемы подпрограмм "READ", "WRITE", "CLEAR".

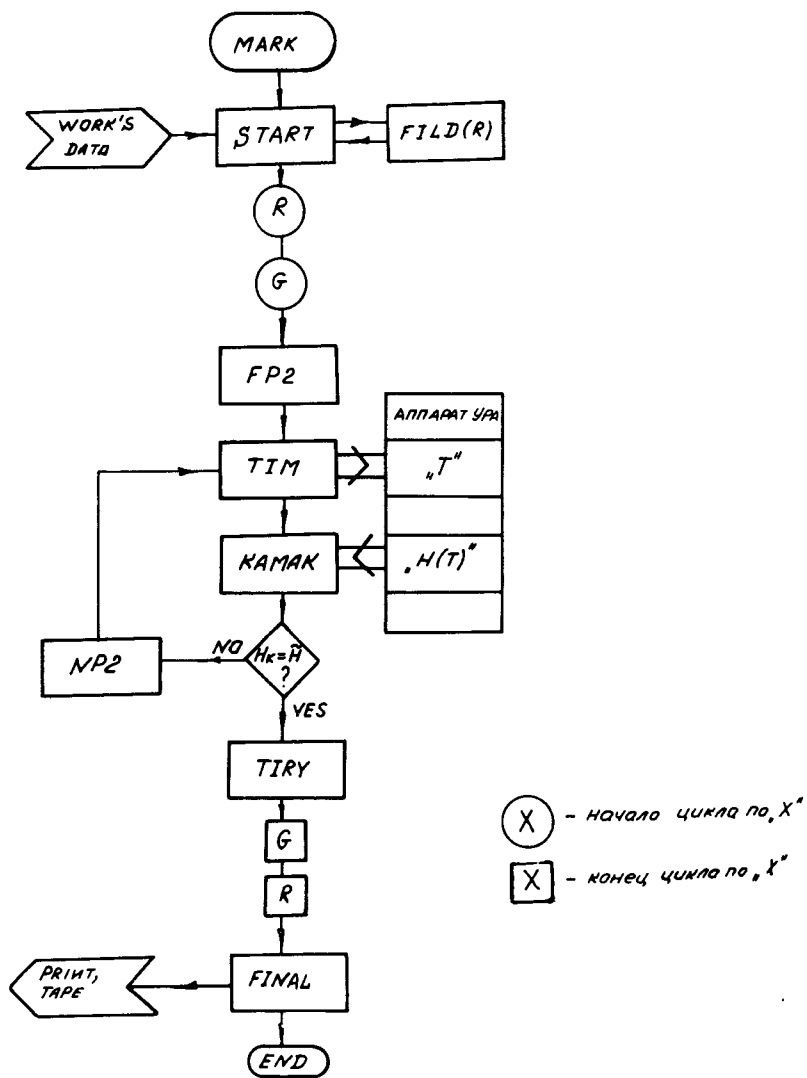


Рис. 7. Функциональная схема программы определения равновесных времен - "MARK".

Перед началом измерений с помощью подпрограммы "START" вводятся необходимые константы и для каждого значения радиусов измерений по формуле /11/ вычисляются значения равновесных полей

$$H_e = H(R, \gamma) \quad /12/$$

Подпрограммы "FP2" и "NP2" для каждого R и каждого значения начальной энергии γ определяют итерационные хорды, подпрограмма "TIM" заносит в аппаратуру итерационное время - t_r , "КАМАК" принимает значение поля в данный момент времени $H_r(t_r)$.

Как только начинает выполняться неравенство

$$|H_e - H_r(t_r)| < 10^{-4} \cdot H_e \quad /13/$$

соответствующее время t_r запоминается, и подпрограмма "TIRY" формирует в памяти ЭВМ таблицу

$$T_j(R) = t_r, \quad j = 1, 2, \dots, G. \quad /14/$$

По окончании измерений таблица /14/ выводится на печать и на перфоратор /подпрограмма "FINAL"/. Полученная лента используется в программе "EXP".

Компенсация неустойчивости источников питания импульсных катушек адгезатора

В связи с использованием нестабилизированных источников питания для получения корректных результатов возникла необходимость приводить значение поля при каждом измерении к квазистабильному значению. В приближении:

$$H(I_1, I_2, I_3) = \sum_{i=1}^3 a_i(R, T_i, t) \cdot I_i \quad /15/$$

где I_i - амплитудное значение тока i -ой катушки, T_i - время включения i -ой катушки, a_i - коэффициенты, зависящие от геометрии всей магнитной системы и требующие экспериментального определения.

Получается формула приведения

$$\bar{H} = H + \sum_{i=1}^3 \alpha_i \cdot (\bar{I}_i - I_i) . \quad /16/$$

H, I_1, I_2, I_3 - реальные /измеряемые/ значения поля и амплитуд токов, $\bar{I}_1, \bar{I}_2, \bar{I}_3$ - выбранные /опорные/ значения амплитуд токов и \bar{H} - приведенное значение поля.

Для экспериментального нахождения коэффициентов α_i была создана программа "ALFA". Функциональная схема программы приведена на рис. 8. Перед началом измерений вводятся массивы равновесного времени - $T_G(R)$ и время включения катушек - T_i /п.п."START"/. Для переменных R, G, T организуются соответствующие циклы. Подпрограмма "TIME" засылает в аппаратуру время измерения, подпрограмма "NET", сравнивая время измерения и время включения катушек, определяет число измерений N , необходимое для решения системы уравнений:

$$\bar{H}_k = H_k + \sum_{i=1}^{N-1} \alpha_{ik} \cdot (\bar{I}_i - I_{ik}) , \quad /17/$$

$$N = 2, 3, 4 \quad k = 1, 2, \dots, N$$

относительно неизвестных \bar{H} и α_i .

Подпрограмма "КАМАК" принимает измеряемую информацию: H_k, I_{ik} ; подпрограмма "BANK" выводит ее на дисплей и заносит в ЭВМ. Далее в подпрограмме "RES" решается система уравнений /17/, в памяти ЭВМ формируется массив искомых коэффициентов

$$\alpha_i = \alpha_i(R, t, \gamma) , \quad /18/$$

который может быть передан в программу "EXP" через COMMON - блок.

Результаты проверки такого метода коррекции для работы первой ступени /первой пары катушек/ приведены на рис. 9. По оси абсцисс отложены амплитудные значения тока 1-й катушки, по оси ординат - приведенное значение H . Как видно из рисунка, при изменении тока от 3,6 до 6 кА изменение H лежит в пределах 0,3%.

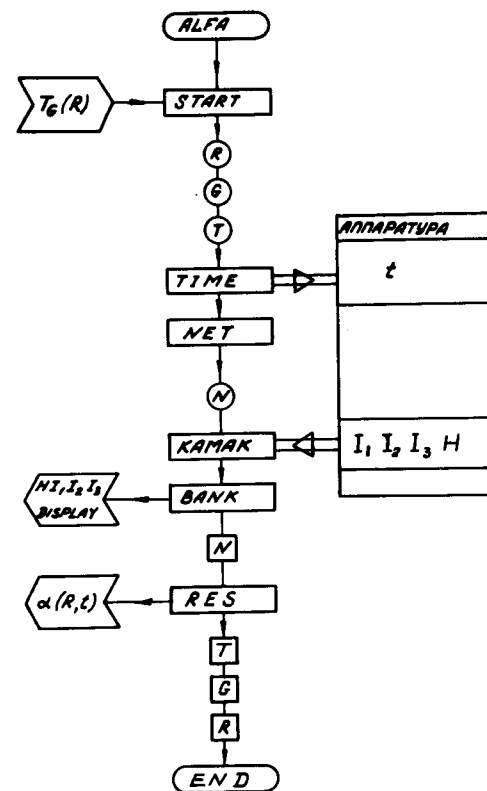


Рис. 8. Функциональная схема программы определения коэффициентов приведения - "ALFA".

Заключение

Благодаря применению ЭВМ в магнитных измерениях за короткий срок удалось обработать большое количество информации, что позволило облегчить работу по формированию магнитного поля в камере адгезатора.

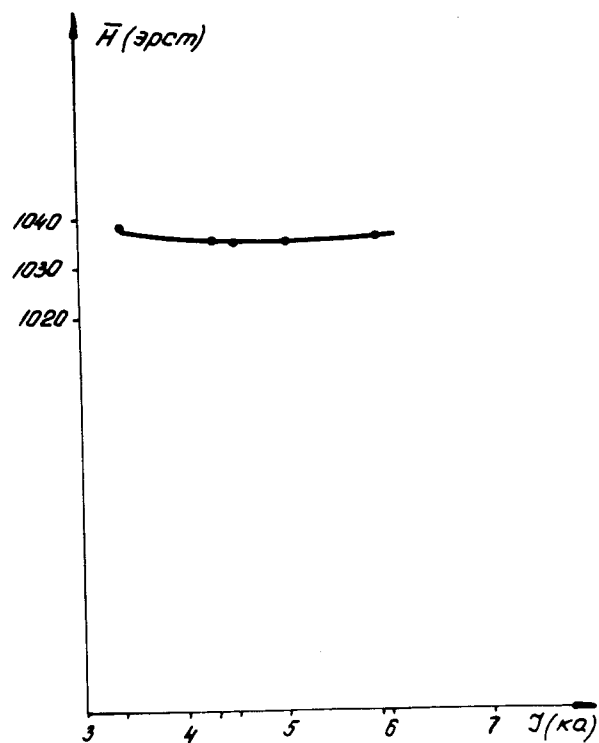


Рис. 9. Результаты проверки компенсации нестабильности источников питания.

Авторы выражают благодарность руководителю группы ЭВМ С.С.Кириллову, а также В.Н.Сотникову, Ю.И.Краснову, М.И.Киселеву и В.В.Аверьяновой за обеспечение бесперебойной работы ЭВМ.

Литература

1. Л.С.Барабаш и др. Препринт ОИЯИ Р9-7697, Дубна, 1974.

2. Т.В.Беспалова и др. "Труды VII Международного симпозиума по ядерной электронике". Будапешт, 1973 г. ОИЯИ, Д13-7616, Дубна, 1974.
3. ЭЧАЯ, т. 1, вып. 2, Атомиздат, М., 1971.
4. П.Ф.Фильчиков. "Численные и графические методы прикладной математики". "Наукова Думка", Киев, 1970.
- 5.

Рукопись поступила в издательский отдел
7 августа 1974 года.